



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

**AUF EFFIZIENTEM WEGE  
VON DEN DATEN ZUM  
MODELL (DATMOD)**

**SANIERUNGS- UND  
ANPASSUNGSPLANUNG  
VON KLEINEN UND MITT-  
LEREN KANALNETZEN**

## IMPRESSUM



Medieninhaber und Herausgeber:  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT  
Stubenring 1, 1010 Wien

Text und Redaktion:

Projektleitung:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla  
TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft  
Stremayrgasse 10  
8010 Graz

AutorInnen:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla (TU Graz)  
DI Rosa Maria Sulzbacher (TU Graz)  
DDI Johannes Leimgruber (TU Graz)  
DI Roman Maier (TU Graz)  
Univ.-Prof. DI Dr.nat.techn. Thomas Ertl (BOKU Wien)  
DI Dr. nat. techn. Roman Neunteufel (BOKU Wien)  
DI Florian Kretschmer (BOKU Wien)  
DI Dr. Manfred Kleidorfer (Uni Innsbruck)  
DI Franz Tscheikner-Gratl (Uni Innsbruck)  
Unter der Mitarbeit von Manuel Fellner und Dorian Fyrer

Bildnachweis:  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, TU Graz

Weitere relevante Angaben:  
Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,  
Umwelt und Wasserwirtschaft sowie der am Projekt beteiligten Wasserversorgungsunternehmen.

Druck: Zentrale Kopierstelle des BMLFUW, UW-Nr. 907.  
Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens.

Endbericht

Alle Rechte vorbehalten.

Wien, Dezember 2015



## DATMOD – Projektpartner



Technische Universität Graz  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau  
Stremayrgasse 10/I, 8010 Graz



Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)  
Muthgasse 18, 1190 Wien



Universität Innsbruck  
Institut für Infrastruktur - Arbeitsbereich Umwelttechnik  
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

[bmlfuw.gv.at](http://bmlfuw.gv.at)

# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis .....                                                       | 4   |
| 1. Zielsetzung .....                                                           | 6   |
| 2. Methodik.....                                                               | 7   |
| 2.1. Arbeitsprogramm .....                                                     | 7   |
| 2.2. Kurzdarstellung der Arbeitspakete .....                                   | 7   |
| 2.2.1. Arbeitspaket 1 – Methodik / Grundlagenermittlung .....                  | 7   |
| 2.2.2. Arbeitspaket 2 – Erstellung des Leitfadens .....                        | 8   |
| 2.2.3. Arbeitspaket 3 – Fallstudien .....                                      | 8   |
| 3. Bedarfserhebung.....                                                        | 9   |
| 4. Daten .....                                                                 | 12  |
| 4.1. Datenbedarf.....                                                          | 12  |
| 4.2. Allgemeine Aspekte zur Beurteilung der Datenqualität .....                | 14  |
| 4.3. Datenerhebung und Datenbezug.....                                         | 15  |
| 4.3.1. Einzugsgebietsbezogene Daten.....                                       | 15  |
| 4.3.2. Leitungsbezogene Daten.....                                             | 28  |
| 4.3.3. Hydrologische Daten .....                                               | 29  |
| 4.3.4. Monitoringdaten .....                                                   | 34  |
| 5. Allgemeine Modellbildung.....                                               | 43  |
| 5.1. Prozesse in der Siedlungsentwässerung .....                               | 43  |
| 5.1.1. Prozesse der Niederschlag-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung) ..... | 43  |
| 5.2. Grundsätze der Modellierung des Entwässerungssystems .....                | 77  |
| 5.2.1. Räumliche Auflösung .....                                               | 77  |
| 5.2.2. Zeitliche Auflösung .....                                               | 81  |
| 5.3. Modellierung der Oberfläche .....                                         | 84  |
| 5.3.1. Festlegung und Aggregation von Gebieten.....                            | 84  |
| 5.3.2. Einzugsgebietsabstraktion allgemein.....                                | 85  |
| 5.3.3. Abstraktion von Aussengebieten .....                                    | 87  |
| 5.3.4. Abstraktion von kanalisierten Flächen.....                              | 88  |
| 5.4. Modellierung des Kanalsystems.....                                        | 96  |
| 5.4.1. Abbildung des Kanalnetzes .....                                         | 96  |
| 5.4.2. Abbildung von Sonderbauwerken .....                                     | 102 |
| 6. Von den Daten zum Modell.....                                               | 112 |
| 6.1. Datenbedarf und Datenanforderungen.....                                   | 112 |
| 6.2. Datenaufbereitung .....                                                   | 112 |
| 6.2.1. Einzugsgebietsbezogene Daten.....                                       | 112 |
| 6.2.2. Leitungsbezogene Daten.....                                             | 125 |
| 6.2.3. Meteorologische Daten.....                                              | 125 |
| 6.3. Modellerstellung .....                                                    | 128 |
| 6.3.1. Manuell.....                                                            | 128 |
| 6.3.2. Automatisiert .....                                                     | 128 |

|        |                                                                             |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.   | Modellkalibrierung.....                                                     | 129 |
| 7.     | Nachweisführung.....                                                        | 132 |
| 7.1.   | Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit .....                         | 132 |
| 7.2.   | Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen.....    | 134 |
| 7.3.   | Kombinierte Nachweisführung .....                                           | 137 |
| 7.3.1. | Methodik .....                                                              | 137 |
| 7.3.2. | Ergebnisse .....                                                            | 142 |
| 8.     | Umgang mit Unsicherheiten .....                                             | 145 |
| 8.1.   | Unsicherheiten von Eingangsdaten .....                                      | 146 |
| 8.1.1. | Regendaten .....                                                            | 147 |
| 8.1.2. | Oberflächendaten (z. B. Befestigungsgrad) .....                             | 151 |
| 8.1.3. | Abflussmessdaten .....                                                      | 153 |
| 8.2.   | Unsicherheiten hinsichtlich der Kalibrierung .....                          | 153 |
| 8.3.   | Unsicherheiten in der Modellstruktur.....                                   | 154 |
| 8.4.   | Unsicherheiten bei Prognosen externer Einflüsse .....                       | 155 |
| 8.5.   | Unsicherheiten numerischer Lösung zu Modellgleichungen.....                 | 155 |
| 8.6.   | Unsicherheitsanalysen in der Planungspraxis.....                            | 155 |
| 9.     | Fallstudien .....                                                           | 160 |
| 9.1.   | Fallstudie Telfs.....                                                       | 160 |
| 9.1.1. | Beschreibung der Fallstudie .....                                           | 160 |
| 9.1.2. | Beschreibung der Messkampagne .....                                         | 161 |
| 9.1.3. | Kalibrierung und Kalibrierungsszenarien .....                               | 168 |
| 9.1.4. | Einfluss der Flächenerhebung.....                                           | 171 |
| 9.1.5. | Einfluss der Szenarien unter Nutzung des Bemessungsregens .....             | 172 |
| 9.1.6. | Einfluss der Szenarien unter Nutzung von 10-Jahres Langzeitsimulation ..... | 184 |
| 9.1.7. | Fazit.....                                                                  | 189 |
| 9.2.   | Fallstudie Ostösterreich.....                                               | 190 |
| 9.2.1. | Datengrundlagen und Zielsetzung .....                                       | 190 |
| 9.2.2. | Datenerhebung und Datenaufbereitung .....                                   | 190 |
| 9.2.3. | Modellerstellung.....                                                       | 199 |
| 9.2.4. | Variantenvergleiche.....                                                    | 200 |
| 9.3.   | Fallstudie Weiz.....                                                        | 207 |
| 9.3.1. | Stadtgemeinde Weiz .....                                                    | 207 |
| 9.3.2. | Verwendete Daten .....                                                      | 209 |
| 9.3.3. | Erstellen des Modells.....                                                  | 215 |
| 9.3.4. | Kalibrieren des Modelles.....                                               | 225 |
| 9.3.5. | Nachweisführung.....                                                        | 231 |
| 9.4.   | Fazit der Fallstudien .....                                                 | 235 |
|        | Abbildungsverzeichnis .....                                                 | 237 |
|        | Tabellenverzeichnis .....                                                   | 244 |
|        | Literaturverzeichnis .....                                                  | 246 |

# 1. ZIELSETZUNG

Die Beurteilung der hydraulischen sowie der umweltrelevanten Funktionsfähigkeit einer Kanalisationsanlage sind zwei der kritischsten Aspekte bei der ganzheitlichen Sanierungsplanung. Die hydraulische Zustandsbeurteilung umfasst hierbei die Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, z. B. gemäß ÖNORM EN 752 oder ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV 2009). Die umweltrelevante Zustandsbeurteilung beinhaltet u. a. die Analyse der stofflichen Belastung in Richtung der empfangenden Oberflächengewässer, z. B. durch Anwendung des ÖWAV-Regelblattes 19 (ÖWAV 2007). Traditionell werden hierfür unterschiedliche Modellierungsumgebungen verwendet, was sowohl für die Datenverwaltung als auch für die Modellierung einen (vermeidbaren) Mehraufwand bedeutet. Zusätzlich ist der benötigte Investitionsbedarf neben den lokalen Gegebenheiten auch von der Güte der Planung abhängig. Eine zielgerichtete Planungsmethodik verbunden mit einer gesteigerten Planungskompetenz kann direkt zur Reduzierung benötigter Investitionen beitragen.

Aus der flächendeckenden Berücksichtigung der beiden genannten Funktionsfähigkeiten lässt sich der Projektbedarf bei der zukünftigen Planung für Sanierung, Netzerweiterung und Netzanpassung bei kleinen und mittleren Kanalisationsunternehmen (KMKU) direkt ableiten.

Die Zielsetzung des Projekts ist die Entwicklung einer Methodik, die unter effizienter und wirtschaftlicher Nutzung der vorhandenen Daten in den wachsenden Leitungsinformationssystemen eine kombinierte Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 ermöglicht. Hierbei wird eine Methode entwickelt, die auf Basis einer gemeinsamen, optimierten Modellstruktur und unter Vermeidung von redundanten Daten eine zielgerichtete und effiziente Nachweisführung ermöglicht. Herausforderung hierbei ist ein zielgerichteter sowie modellunabhängiger Arbeitsablauf

- zur Aufbereitung der vorhandenen Daten,
- zum Ableiten der Modellstruktur aus den Daten,
- zur Auswahl geeigneter Modellansätze,
- zum Aufbau der Modelle,
- zur Modellkalibrierung,
- zur Durchführung der Nachweisführung
- sowie zur Verknüpfung der Ergebnisse mit der Datenbasis.

Ein weiteres erwartetes Ergebnis ist dabei die wesentlich vereinfachte Aktualisierung des Modells für die kombinierte Nachweisführung bei sich verändernder Datenbasis infolge von Modifikationen in der Systemstruktur (z. B. Abkopplung von Flächen), aktualisierten (verbesserten) Daten oder bei der Verwaltung von verschiedenen Ausbauszenarien. Um den angestrebten Planungsprozess zu unterstützen, werden zusätzlich wichtige Aspekte der Modellerstellung und des Umgangs mit Unsicherheiten in der Planung adressiert, mit dem Ziel, einen kosteneffektiven Planungsprozess umfangreich zu unterstützen, aber auch eine wesentliche Reduzierung des resultierenden Investitionsbedarfs zu erreichen.

## 2. METHODIK

### 2.1. ARBEITSPROGRAMM

Das Arbeitsprogramm des Projekts DATMOD umfasst 3 übergeordnete Arbeitspakete:

- Methodik / Grundlagenermittlung (Kapitel 4 bis 9)
- Erstellung des Leitfadens (eigenes Dokument)
- Fallstudien (Kapitel 9)

Die Struktur der Arbeitspakete des Projekts DATMOD stellt sich wie folgt dar:

- Arbeitspaket 1 – Methodik
  - Modul 1.1: Bedarfserhebung
  - Modul 1.2: Daten
  - Modul 1.3: Allgemeine Modellbildung
  - Modul 1.4: Von den Daten zum Modell
  - Modul 1.5: Nachweisführung
  - Modul 1.6: Umgang mit Unsicherheiten
- Arbeitspaket 2 – Erstellung des Leitfadens
- Arbeitspaket 3 – Fallstudien

Im Folgenden werden die Arbeitspakete und deren Inhalte kurz beschrieben. Die Arbeitspakete stellen zwar einzeln bearbeitbare Blöcke dar, bauen aber zum Teil aufeinander auf bzw. besitzen Abhängigkeiten untereinander.

### 2.2. KURZDARSTELLUNG DER ARBEITSPAKETE

#### 2.2.1. ARBEITSPAKET 1 – METHODIK / GRUNDLAGENERMITTLUNG

Im ersten Arbeitspaket werden die Grundlagen für den vorgeschlagenen Planungsprozess ermittelt und zusammengetragen. Inhaltlich wird hierbei unterteilt in:

- Modul 1.1: Bedarfserhebung
- Modul 1.2: Daten
- Modul 1.3: Allgemeine Modellbildung
- Modul 1.4: Von den Daten zum Modell
- Modul 1.5: Nachweisführung
- Modul 1.6: Umgang mit Unsicherheiten

Im Modul 1.1 erfolgt die genaue Erhebung und Festlegung des Planungs- bzw. Sanierungsbedarfs für aktuelle und gegebenenfalls künftige Fragestellungen. Ziel ist hierbei die Erstellung einer Übersicht bzw. eines Katalogs aller wesentlichen Anwendungsmöglichkeiten von hydraulischen Nachweisführungen bei Entwässerungssystemen.

Im Modul 1.2 werden

- die für die einzelnen Nachweise benötigten Datengrundlagen definiert,
- die Struktur der zu verarbeitenden Daten festgelegt,
- die unterschiedlichen Möglichkeiten der Datensammlung beschrieben sowie

- eine Systematik der Datenaufbereitung, Datenvalidierung und Datenkorrektur definiert.

Im folgenden Modul 1.3 werden alle wesentlichen Grundlagen zur zielgerichteten Modellbildung für die Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 zusammengestellt. Dabei werden insbesondere die Grundlagen der Erstellung von konzeptionellen und von hydrodynamischen Modellen, die Grundlagen der Schmutzfrachtmodellierung sowie die Besonderheiten bei der Berücksichtigung von Außengebieten dargestellt.

Im Modul 1.4 wird eine Systematik bei der Identifikation der benötigten Datenquantitäten und -qualitäten für die jeweilige Nachweisführung bzw. die (individuelle) Planungsanwendung festgelegt. Zudem werden die Möglichkeiten der Modellerstellung beschrieben und Grundlagen der Modellkalibrierung zusammengestellt.

Im Modul 1.5 wird auf die Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 (OEWAV 2009) und ÖWAV-Regelblatt 19 (OEWAV 2007) sowie auf die kombinierte Nachweisführung nach den genannten Regelblättern eingegangen. Behandelt wird zudem die strukturierte Ablage der Berechnungsergebnisse und deren Interpretation und Darstellung. Des Weiteren werden einfache Dimensionierungsrichtlinien zur Einhaltung der neuen Grenzwerte nach ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 sowie besondere praxisrelevante Fragestellungen untersucht.

Im Modul 1.6 werden Mindestanforderungen an den Datenbedarf für Systemdaten und Messdaten festgelegt. Außerdem wird die Berücksichtigung (unsicherer) zukünftiger Entwicklungen wie Klimawandel oder Landnutzungsänderung in der vorausschauenden Planung behandelt. Des Weiteren wird die Genauigkeit von Simulationsergebnissen in Abhängigkeit der verfügbaren Datenlage abgeschätzt, Empfehlungen zur Verminderung von Unsicherheiten durch Erhebung von Eingangsdaten und Kalibrierungsdaten sowie Empfehlungen zur Kommunikation von Unsicherheiten an verschiedene Gruppen und Berücksichtigung in der Entscheidungsfindung geliefert.

### **2.2.2. ARBEISPAKET 2 – ERSTELLUNG DES LEITFADENS**

Im zweiten Arbeitspaket wird die erarbeitete Methodik in einen für die Praxis flächendeckend anwendbaren Leitfaden übertragen. Dieser Schritt ist bewusst vor der Bearbeitung des dritten Arbeitspakets (bzw. zum Teil parallel) angesiedelt, so dass in einer finalen Phase die gewonnenen Erkenntnisse bei der im dritten Arbeitspaket vorgesehenen Anwendung des Leitfadens auf Fallbeispiele genutzt werden können, um den Leitfaden im Nachgang zu den Fallstudien zu modifizieren.

### **2.2.3. ARBEISPAKET 3 – FALLSTUDIEN**

Die theoretische Projektbearbeitung wird durch drei Fallstudien unterstützt. Dadurch wird sichergestellt, dass die realen praxisrelevanten Fragestellungen und Randbedingungen in einer effizienten Nachweisführung beachtet werden.

Neben der Unterstützung bei der Entwicklung der Methodik durch Rückkopplung ist ein zweites wesentliches Ziel der Fallstudien die Überprüfung und Verbesserung des Leitfadens. Damit wird die Praxisrelevanz des Leitfadens sichergestellt und der Leitfaden selbst um Demonstrationsbeispiele erweitert.

### 3. BEDARF SERHEBUNG

Im Zuge der Bedarfserhebung soll der aktuelle wie gegebenenfalls auch der künftige hydraulische Sanierungsbedarf eines Entwässerungssystems definiert werden. Darauf aufbauend kann eine Maßnahmenplanung entwickelt werden.

Als Grundlage möglicher Planungsansätze ist abzuklären, ob aus rohrhydraulischer bzw. oberflächengewässerrelevanter Sicht Sanierungs- und/oder Anpassungsbedarf im Kanalisationssystem besteht oder ob betriebliche Maßnahmen ausreichend sind. Je nach Art des Entwässerungssystems können folgende Probleme auftreten:

- Schmutzwasserkanalisation:
  - Problem: Überstau bei Trocken- und/oder Regenwetter
  - Ursache:
    - hydraulisch (Bevölkerungswachstum, zusätzliche Industrie und Gewerbe) oder
    - betrieblich (Querschnittsreduktion, Fehllanschlüsse, Undichtigkeit)
- Regenwasserkanalisation:
  - Problem: Überstau bei Regenwetter
  - Ursache:
    - hydraulisch (vergrößertes EZG, geändertes Niederschlagsverhalten) oder
    - betrieblich (Querschnittsreduktion, Undichtigkeit)
- Mischwasserkanalisation:
  - Problem: Überstau bei Trocken- und/oder Regenwetter
  - Ursache:
    - hydraulisch (gewachsenes EZG, geändertes Niederschlagsverhalten) oder
    - betrieblich (Querschnittsreduktion, Fehllanschlüsse, Undichtigkeit)
  - Problem: Entlastung bei Trockenwetter
  - Ursache:
    - hydraulisch (gewachsenes EZG) oder
    - betrieblich (Querschnittsreduktion, Fehllanschlüsse, Undichtigkeit)
  - Problem: Nichteinhaltung des Standes der Technik bei Mischwasserentlastungen
  - Ursache:
    - Zu geringe Rückhaltekapazitäten im System

Überstau sowie Entlastungen bei Trockenwetter können durch Vor-Ort-Untersuchungen (Begehungen, Bürgerbefragungen, Beschwerdemanagement des Kanalisationsunternehmens) erhoben werden. Betriebliche Ursachen werden in der Regel durch Inspektionen (Schachtzoomkamera, TV-Befahrung, etc.) erfasst. Die Identifikation von hydraulischen Ursachen sowie darauf aufbauend die Ableitung entsprechender Lösungsansätze für vorhandene rohrhydraulische bzw. oberflächengewässerrelevante Probleme kann mithilfe von hydraulischen Modellierungen/Simulationen erfolgen.

Die wesentlichen Anwendungsmöglichkeiten von hydraulischen Nachweisführungen bei Entwässerungssystemen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Umweltrelevante Zustandsbeurteilung der Kanalisation,
  - Funktionalanforderung „Schutz des Oberflächenvorfluters“ (EN 752, 2008),
  - Nachweis des Mindestwirkungsgrads der Weiterleitung (ÖWAV-RB 19, 2007):
    - Ermittlung des aktuellen Weiterleitungsgrads im gesamten EZG.
    - Ermittlung der Jahressummen der entlasteten Mischwassermengen im EZG bzw. bei den einzelnen Entlastungsbauwerken.
    - Darstellung der Entlastungsraten der einzelnen Entlastungsbauwerke in einem EZG.
    - Identifikation von kritischen Entlastungsbauwerken im System.
    - Evaluierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Rückhaltekapazitäten im System (Rückhaltebecken, Erhöhung der Wehrschwellen, Aktivierung von Stauräumen in der Kanalisation, etc.)
    - Etc.
- Hydraulische Zustandsbeurteilung der Kanalisation,
  - Funktionalanforderung „Schutz vor Überflutung“ (EN 752, 2008),
  - Überstaunachweis nach ÖWAV-RB 11, 2009,
  - Hydraulische Zustandsklassenverteilung nach ÖWAV-RB 22 neu:
    - Quantifizierung des Überstauvolumens bei den einzelnen Schächten im System.
    - Ausweisung von überstau- bzw. überflutungsgefährdeten Bereichen und Ermittlung von Wiederkehrintervallen.

- Ermittlung der Gründe für Überstau (Rückstau, falsche Rohrdimensionen, etc.) und Evaluierung von Lösungsansätzen.
- Analyse der vorhandenen hydraulischen Reserven im System und Aussagen zu noch verfügbaren Kapazitäten in Hinblick auf Netzerweiterungen.
- Darstellung der möglichen Auswirkungen von baulichen Maßnahmen auf das Gesamtsystem (Anforderungen an die Wasserhaltungen im Zuge von Sanierungsmaßnahmen, Querschnittsreduktion nach Rohrrenovierung bzw. Rohrerneuerung, Absicherung der baulichen Sanierung, etc.).
- Evaluierung der Auswirkungen von Abkopplungsmaßnahmen im Zuge von naturnaher Regenwasserbewirtschaftung auf einzelne Teilgebiete des Systems.
- Abschätzung der zu erwartenden Langzeitauswirkungen (Änderungen in der Bevölkerungsstruktur, geänderte Niederschlagsverhältnisse, etc.) aufgrund baulicher Anpassungen des Entwässerungssystems.
- Etc.
- Sonstige Nachweise bzw. Beurteilungsmöglichkeiten:
  - Grundlagenaufbereitung für und mögliche Auswirkungen von Gebührensplitting auf das Entwässerungssystem.
  - Beurteilung von Sedimentationserscheinungen im Kanalsystem.
  - Frachtbasierte Analyse von Schadstoffeinträgen in die Gewässer über Regenwasserkanäle und Mischwasserentlastungen (Spitzenkonzentrationen der Verunreinigungen nach einem Regenereignis, etc.)
  - Etc.

Im Zuge der Bedarfserhebung werden auch konkrete Probleme in der Anwendung und Umsetzung der ÖWAV-RB 11 und 19 zusammengefasst. Hier greift man auf die bisherigen Erfahrungen der Projektpartner sowie auf aktuelle Probleme bei der Bearbeitung der Projektfallstudien zurück. Zusammenfassend ergibt sich derzeit folgender Bedarf zur Präzisierung in einem Leitfaden:

- Hinweise zum Datenbedarf zur Umsetzung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19
- Anforderungen an Genauigkeit der Daten und die zu verwendenden Erhebungsmethoden
- Hinweise zur effizienten Datenhaltung
- Hinweise zur effizienten Modellerstellung für eine kombinierte Nachweisführung
- Anforderungen an Messdaten für die Modellkalibrierung
- Hinweise zum ausgewogenen Mitteleinsatz zur Erhebung von Eingangsdaten im Vergleich zur Erhebung der Kalibrierungsdaten
- Einfluss von Datenunsicherheiten auf die Güte der Modellierungsergebnisse

Prinzipiell werden die wesentlichen Anwendungsmöglichkeiten für hydraulische Nachweisführungen bei Entwässerungssystemen gemäß den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 in diesem Leitfaden übersichtlich zusammengefasst und kurz beschrieben.

Die oben angeführten Punkte werden dabei ebenfalls präzisiert und in einem Diagramm gemeinsam mit anderen, für die Modellerstellung relevanten Aspekten chronologisch zusammengefasst (Abbildung 1).

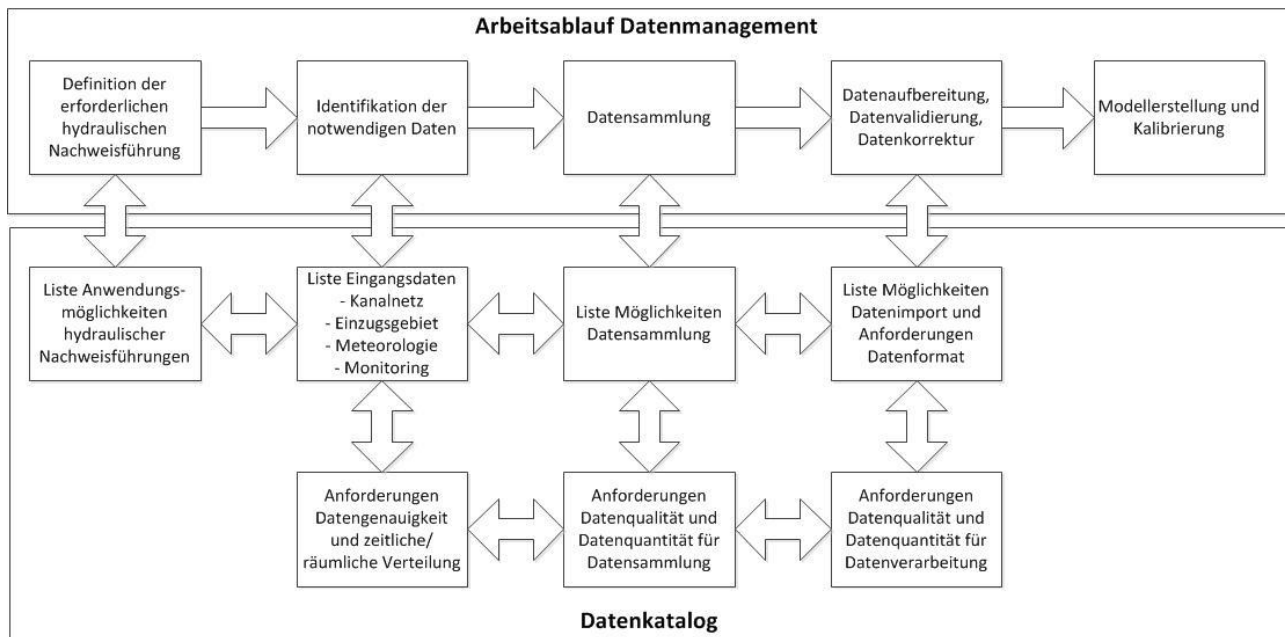


Abbildung 1: Ganzheitliches Datenmanagement in der Kanalnetzmodellierung

Diese Abbildung stellt die thematische Verbindung zu den Modulen 1.2 und 1.4 („Daten“ und „von den Daten zum Modell“) her, auf deren Inhalte in den folgenden Kapiteln eingegangen wird.

## 4. DATEN

### 4.1. DATENBEDARF

Der für eine hydraulische Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) sowie nach ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) erforderliche Datenbedarf, lässt sich in folgende Kategorien unterteilen:

- einzugsgebietsbezogene Daten
- leitungsbezogene Daten
- hydrologische Daten (Bemessungsniederschläge / Zeitreihen)
- Monitoringdaten (zur Modellkalibrierung)

Die **einzugsgebietsbezogenen Daten** beinhalten die Bemessungsgröße der ARA, den Abwasseranfall (angeschlossene EW, Art des Abwassersystems), die flächenbezogenen Daten (Einzugsgebiet, Teileinzugsgebiet, Teilflächen, Geometrie, Geländeneigung, Befestigungsgrad, Beschaffenheit der Fläche / Materialien) und Anfangs- und Dauerverluste zu Beginn und während eines Regenereignisses.

Wenn verfügbar, können **leitungsbezogene Daten** aus einem Leitungsinformationssystem generiert werden. Bei Unvollständigkeit oder Unsicherheit bezüglich der Datenqualität muss eine Vor-Ort-Aufnahme durchgeführt werden. Ein Großteil der erforderlichen leitungsbezogenen Daten ist für Systeme, die nach ÖWAV-Regelblatt 40 (Leitungsinformationssystem – Wasser und Abwasser) erfasst wurden vorhanden. Nicht geregelt ist in RB 40 die Datenanforderung für die zu entwässernden Flächen (Einzugsgebiete), die Niederschlagsdaten und Monitoringdaten (Messdaten).

Bei den für die hydraulische Modellierung relevanten **hydrologischen Daten** handelt es sich um Niederschlagsdaten. Diese können für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet im Zuge einer Monitoring-Kampagne eigens gemessen oder aus bereits verfügbaren Aufzeichnungen entnommen werden.

Bei den **Monitoringdaten** handelt es sich um Wasserstands- und Durchflussmessungen im Kanalnetz sowie Niederschlagsmessungen, welche in weiterer Folge für die Kalibrierung eines Modells benötigt werden.

Die Unterschiede im Datenbedarf zwischen Regelblatt 11 und Regelblatt 19 ergeben sich vor allem aus dem unterschiedlichen Detaillierungsgrad der Abbildung des Entwässerungssystems. Während für den Nachweis der Mischwasseremissionen nach RB 19 eine sehr stark vereinfachte Abbildung des Systems für Langzeitsimulationen über zumindest 10 Jahre ausreichend ist, ist für den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Kanäle nach RB 11, ein detailliertes Kanalnetzmodell erforderlich. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die erforderlichen Einzeldaten, mit der jeweiligen Zuordnung zu einer der vier Hauptkategorien.

Tabelle 1: Vergleich der erforderlichen Daten nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 mit den verfügbaren Daten nach Regelblatt 40

| Datenbedarf                                                                         | Nachweis<br>gem. RB 11   | Nachweis<br>gem. RB 19     | Verfügbar<br>gem. RB 40 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Einzugsgebietsbezogene Daten</b>                                                 |                          |                            |                         |
| • Bemessungsgröße der ARA                                                           | -                        | X                          | -                       |
| • EW angeschlossen an TS                                                            | X                        | X                          | (X)                     |
| • EW angeschlossen an MS                                                            | X                        | X                          | (X)                     |
| • Fläche des EZG                                                                    | X                        | X                          | -                       |
| • Breite des EZG                                                                    | X                        | -                          | -                       |
| • Gelände- / Flächenneigung                                                         | X                        | -                          | -                       |
| • Befestigungsgrad des EZG (befestigte und nicht befestigte Fläche im EZG)          | X                        | X                          | -                       |
| • Art / Beschaffenheit der Fläche (zB Dach / Verkehr / etc.)                        | X                        | -                          | -                       |
| • Teil-EZG je MW-Entlastung                                                         | X                        | X                          | -                       |
| • Anfangsverlust                                                                    | X                        | X                          | -                       |
| • Dauerverlust                                                                      | X                        | X                          | -                       |
| <b>Leitungsbezogene Daten</b>                                                       |                          |                            |                         |
| • Bezeichnung, Lage und Geometrie der Mischwasserüberläufe (Wehrhöhe, etc.)         | X                        | X                          | X                       |
| • Bezeichnung, Lage und Geometrie der Speicherbauwerke (Zu-, Ab-, Überlauf)         | X                        | X                          | X                       |
| • Bezeichnung, Lage und Geometrie der Pumpensämpfe                                  | X                        | -                          | X                       |
| • Pumpenkennlinien                                                                  | X                        | -                          | -                       |
| • Ein- / Ausschaltpunkte der Pumpen                                                 | X                        | -                          | -                       |
| • Lage der Schächte                                                                 | X                        | -                          | X                       |
| • Schachtbezeichnung                                                                | X                        | -                          | X                       |
| • Schachthöhen (GOK, Sohle)                                                         | X                        | -                          | X                       |
| • Schachtgeometrie                                                                  | X                        | -                          | X                       |
| • Leitungsbezeichnung / -art                                                        | X                        | -                          | X                       |
| • Lage der Haltungen (Anfangs- / Endschacht)                                        | X                        | -                          | X                       |
| • Profil / Durchmesser / Material (Rauigkeit) je Haltung                            | X                        | -                          | X                       |
| • Höhe Rohranfang und -ende                                                         | X                        | -                          | X                       |
| • Länge der Haltungen                                                               | X                        | Nur Haupt-<br>samm-<br>ler | X                       |
| • Gefälle der Haltungen                                                             | X                        | -                          | X                       |
| • Schieberausgangs- / -endstellungen                                                | X                        | -                          | -                       |
| • Durchflussquerschnitte / -beiwerte von Regelorganen und Schiebern                 | X                        | -                          | -                       |
| <b>Hydrologische Daten</b>                                                          |                          |                            |                         |
| • Ganglinie der Regenintensität (Regenkontinuum, (Stark-) Regenserien, Modellregen) | X                        | -                          | -                       |
| • Ausgewertete Niederschlagsstatistiken                                             | X                        | -                          | -                       |
| • Niederschlagszeitreihen                                                           | Für Starkre-<br>genserie | X                          | -                       |
| <b>Monitoring Daten</b>                                                             |                          |                            |                         |
| • Trockenwetterabfluss                                                              | X                        | X                          | -                       |
| • Fließzeit im EZG                                                                  | X                        | X                          | -                       |
| • Niederschlagsereignisse                                                           | X                        | -                          | -                       |

Wie in Abbildung 1 dargestellt, bezieht sich der Datenkatalog für ein ganzheitliches Datenmanagement in der Kanalnetzmodellierung im Wesentlichen auf zwei Ebenen: Einerseits die Liste der Eingangsdaten samt der Möglichkeiten der Datensammlung und andererseits den Anforderungen an die Datenqualität (Genauigkeit, Umfang, Aktualität etc.).

Im Folgenden sind die einzelnen Datensätze im Hinblick auf die Ebenen des Datenkataloges zum einen nach ihrer Art, Entstehung, Informationsinhalt, Möglichkeit der Datenerhebung bzw. des Datenbezugs und der Aktualität der Daten beschrieben. Dies inkludiert dementsprechend die Datenverfügbarkeit hinsichtlich der herausgebenden Stellen, möglicher Datenformate, des Erhebungsaufwandes bzw. der zu erwartenden Kosten für den Datenbezug. Zum anderen ergibt sich aus der Art der Daten und der Entstehung eine zu erwartende Datenqualität (Zuverlässigkeit und Genauigkeit), die einer genaueren Betrachtung bedarf, um die Qualität der ableitbaren Information richtig einschätzen zu können.

## 4.2. ALLGEMEINE ASPEKTE ZUR BEURTEILUNG DER DATENQUALITÄT

Eine wesentliche Überlegung betrifft die Datenqualität der für die Modelle verwendeten Grundlagendaten. Ungenauigkeiten dieser Daten pflanzen sich in der Berechnung fort. Wie stark sich einzelne Ungenauigkeiten auf das Endergebnis auswirken können hängt von der Bedeutung der jeweiligen Parameter innerhalb des Rechenmodells ab. Die Feststellung von Gewichtungen ist komplex und kann durch eine Sensitivitätsanalyse erfolgen.

Hinsichtlich der Bewertung der Güte von Daten haben sich verschiedene ein- oder zweidimensionale Klassifizierungssysteme etabliert. Die Datenherkunft oder Datenquelle beeinflusst dabei maßgeblich die Bewertung der Zuverlässigkeit, während die Art der Datengewinnung und die damit in Zusammenhang stehende Präzision der Erhebung die zu erwartende Genauigkeit festlegen.

Eindimensionale Klassifizierungssysteme gehen davon aus, dass eine bestimmte Datenherkunft auch gleichzeitig mit einer zuordenbaren Datengenauigkeit einhergeht. Die zu bewertenden Daten erhalten dabei der Einfachheit halber nur ein Attribut, das gleichzeitig die Zuverlässigkeit und Genauigkeit ausdrückt. Ein Beispiel für ein einfach zu handhabendes eindimensionales Klassifizierungssystem ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Beispiel eines eindimensionalen Klassifizierungssystems (NEUNTEUFEL et al., 2006, ergänzt)

| Bewertung | Beschreibung                         | Beispiel                                                                 |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| A         | sehr zuverlässig; Fehler bis 5 %     | Gemessen mit guter Auflösung, Messwerte aufgezeichnet                    |
| B         | zuverlässig; Fehler 5 % bis 25 %     | Gemessen, geringere Auflösung / Extrapolation repräsentativer Stichprobe |
| C         | unzuverlässig; Fehler 25 % bis 100 % | Qualifizierte Schätzung / Extrapolation                                  |
| D         | sehr unzuverlässig; Fehler > 100 %   | Unsichere Schätzung / Extrapolation von sehr kleiner Stichprobe          |

Zweidimensionale Klassifizierungssysteme bewerten die Datenherkunft und die Datengenauigkeit mit zwei unterschiedlichen Attributen, wobei üblicherweise gewisse Kombinationen von vornherein ausgeschlossen sind (z. B. Schätzung mit extrem hoher Genauigkeit).

Tabelle 3 zeigt ein zweidimensionales Klassifizierungssystem (MATOS et al., 2003) in dem die Buchstaben die Klassen für die Zuverlässigkeit der Daten und die Zahlen die Genauigkeit der Daten als Bandbreite (+/- %) um den angegebenen Wert bezeichnen.

Die Zuverlässigkeit A steht für sehr zuverlässige und aktuelle, gemessene oder mit den besten verfügbaren Methoden erhobenen und protokollierten Daten.

B steht für zuverlässige Daten die nur geringe Defizite hinsichtlich der Dokumentation oder Aktualität aufweisen bzw. nicht zur Gänze gemessen oder bestätigt sind.

C steht für unzuverlässige Daten, die ausgehend von einer Stichprobe der Zuverlässigkeit A oder B extrapoliert sind.

D steht für sehr unzuverlässige Daten die aus unbestätigten oder mündlichen Informationsquellen stammen oder die auf Extrapolationen von Stichproben basieren, deren Zuverlässigkeit nicht den zuvor genannten Klassen A, B oder C entsprechen.

Tabelle 3: Beispiel eines zweidimensionalen Klassifizierungssystems (MATOS et al., 2003)

| Zuverlässigkeit →<br>Genauigkeit (%) ↓ | A  | B  | C  | D  |
|----------------------------------------|----|----|----|----|
| [0; 1]                                 | A1 | nv | nv | nv |
| [1; 5]                                 | A2 | B2 | C2 | nv |
| [5; 10]                                | A3 | B3 | C3 | D3 |
| [10; 25]                               | A4 | B4 | C4 | D4 |
| [25; 50]                               | nv | nv | C5 | D5 |
| [50; 100]                              | nv | nv | nv | D6 |

“nv” steht für nicht verfügbare (inkompatible) Kombinationen aus Zuverlässigkeit und Genauigkeit

Wenn lediglich die Fortpflanzung der Ungenauigkeiten in der weiteren Verwendung der Daten berücksichtigt wird, so gilt, dass das Ergebnis einer Berechnung keine bessere Datenqualitätsklasse aufweisen kann als die Eingangsparameter. Gegebenenfalls ist nach dem Einfluss der jeweiligen Eingangsparameter innerhalb des Rechenmodells zu gewichten.

Wenn davon ausgegangen werden muss, dass die Ungenauigkeiten nicht zufällig verteilt sind, sondern sich einseitig bzw. systematisch in der Berechnung niederschlagen, so müssen gegebenenfalls die möglichen Fehler der Eingangsparameter aufaddiert werden. Unter diesen Umständen könnte aus zwei Eingangswerten der Datenqualität A1 ein Ergebnis entstehen, das nur die Datenqualität A2 aufweist.

In der Praxis ist es schwierig diesen theoretischen Überlegungen Folge zu leisten. Eine Abschätzung der möglichen Bandbreite des endgültigen Ergebnisses lohnt sich aber jedenfalls und zeigt, dass den verfügbaren Datengrundlagen nicht blind vertraut werden muss.

## 4.3. DATENERHEBUNG UND DATENBEZUG

### 4.3.1. EINZUGSGEBIETSBEZOGENE DATEN

Diese Datenkategorie beinhaltet im Detail die **Kläranlagendaten** (Bemessungsgröße der ARA), den **Abwasseranfall** (Schmutzwasseranfall resultierend aus den angeschlossenen EW, Regenwasseranfall und Fremdwasseranfall), die **flächenbezogenen Daten** (Einzugsgebiet, Teileinzugsgebiet, Teilflächen, Geometrie, Geländeneigung, Befestigungsgrad, Beschaffenheit der Fläche / Materialien) und **Anfangs- und Dauerverluste** zu Beginn und während eines Regenereignisses.

#### 4.3.1.1. KLÄRANLAGENDATEN

Die Ermittlung der Bemessungsgröße der ARA erfolgt üblicherweise aus Angaben der betreffenden Gemeinde, bzw. des ARA Betreibers oder Planers. Diese wird in Einwohnerwerten (EW) angegeben. Einwohnerwerte werden aus der Summe aus Einwohnerzahl (EZ) und Einwohnergleichwerten (EGW) ermittelt. Einwohnergleichwerte sind wiederum ein Maß für die eingeleitete Schmutzfracht von gewerblichem Abwasser.

#### 4.3.1.2. ABWASSERANFALL

Der Abwasseranfall setzt sich aus Schmutzwasseranfall, Niederschlagwasseranfall und Fremdwasseranfall zusammen, wobei die jeweiligen Anteile von Einwohner- und gebietsspezifischen Daten (Indirekteinleiter), der Art der Kanalisation (Trenn- oder Mischsystem) sowie dem Zustand des Kanals (Fremdwassereintritt) abhängen.

##### Schmutzwasseranfall

Dieser Anteil ergibt sich aus der Summe aus angeschlossener Einwohnerzahl (EZ) und eingeleiteten Einwohnergleichwerten (EGW). Die einwohnerspezifischen Kennwerte bezüglich Anschluss eines Objektes an Trenn- und Mischkanalisation können aus Angaben der projektierenden Gemeinde erhoben werden oder gegebenenfalls aus einem Leitungsinformationssystem gemäß ÖWAV RB 40 (2010) stammen.

Zu beachten ist, dass einwohnerspezifische Angaben der Gemeinden mit einer Unsicherheit bezüglich Fehlan Schlüssen behaftet sein können, die nur durch eine genaue Erhebung der Systemverhältnisse (in ÖWAV RB 40 (2010) erläutert) minimiert werden können.

Weitere Informationen mit Hinblick auf die zukünftige Entwicklung von Einwohner- und gebietsspezifischen Daten können durch Extrapolation der lokalen Bevölkerungsentwicklung (siehe z. B. Bevölkerungszahlen der Statistik Austria) oder aus Regionalentwicklungsplänen bzw. Flächenwidmungsplänen sowie konkreten Planungsprojekten entnommen werden.

### Niederschlagwasseranfall

Der Niederschlagwasseranfall wird im Wesentlichen durch die angeschlossenen (abflusswirksamen) Flächen und die Regenspende beeinflusst. Diesbezügliche Details folgen in den Kapiteln 4.3.1.3 und 4.3.3.

Zu beachten ist, dass der Niederschlagwasseranfall nicht nur in Regenwasserkanälen und Mischsystemen eine Rolle spielt, sondern aufgrund von Fehlan schlüssen auch im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems relevant sein kann.

### Fremdwasseranfall

Als Fremdwasser wird Wasser bezeichnet, das im Kanalsystem unerwünscht ist, aber dennoch auftreten kann und mit dem Abwasser abgeleitet wird. Die mögliche Fremdwassermenge ist vom Zustand des Kanals sowie von anderen Faktoren wie der Lage des Grundwasserspiegels, unzulässige Drainageanschlüsse, etc. abhängig.

In Hinblick auf die Fremdwassermenge bei Trockenwetter empfiehlt das ÖWAV Regelblatt 11 (2009) einen einwohnerspezifischen Wert von  $1 \text{ l/s} \cdot 1000 \text{ EW}$  anzusetzen. Eindringendes Regenwasser (bei Schmutzkanalisationen) sollten mit bis zu  $2 \text{ l/s} \cdot 1000 \text{ EW}$  zusätzlich berücksichtigt werden.

#### 4.3.1.3. FLÄCHENBEZOGENE DATEN

Die abflusswirksamen Flächen im Betrachtungsgebiet sind eine der wesentlichsten Kenngrößen bei der hydraulischen Kanalnetzbe-rechnung. Die Erhebung dieser Daten stellt im Allgemeinen die umfangreichste Aufgabenstellung innerhalb aller Datenerhebungen dar.

Die Ermittlung der abflussrelevanten Flächen in einem Einzugsgebiet, kann in der Regel ohne größere Probleme vom Büro aus erfolgen. Die Frage nach der tatsächlichen Abflusswirksamkeit und dem Anschlussgrad der ermittelten abflussrelevanten Flächen kann nur durch Vor-Ort-Begehungen genau beantwortet werden.

Zu Beginn ist die Frage der gewünschten Genauigkeit zu klären. Dadurch wird festgelegt, nach welcher Methode die flächenbezogenen Daten ermittelt werden sollen und auch welche Datenquellen dafür herangezogen werden können bzw. müssen. Diesbezüglich kann bei der Betrachtung der Flächendaten je nach Grad der Aggregierung in vier Detailstufen bzw. Ebenen der Genauigkeit unterschieden werden:

- Einzugsgebiet (Abflussabschätzung für das Gesamtgebiet) – Ebene 1
- Teileinzugsgebiete (Stichprobenmethode, Abflussabschätzung separat für homogene Teileinzugsgebiete) – Ebene 2
- Grundstücksfläche (Stichprobenmethode, Abflussabschätzung separat für jedes Einzelgrundstück) – Ebene 3
- Teilflächendifferenzierung (vollständige Erhebung, Abflussabschätzung anhand der Summe aller undurchlässigen Flächen) – Ebene 4

### Arten von flächenbezogenen Daten

Nach der Art des Informationsinhaltes lassen sich die flächenbezogenen Daten in

- Lagedaten (Flächen, Breite des Einzugsgebietes, Teilflächen, Befestigungsgrad),
- Höhendaten (Gelände- und Flächenneigung) und
- Daten zur Beschaffenheit der Flächen (Art der Oberflächen / Materialien)

unterteilen.

Die einzelnen Datenprodukte oder Erhebungsverfahren können dabei entweder eine oder mehrere Informationsarten (Lagedaten, Höhendaten, Beschaffenheit der Flächen) aufweisen bzw. liefern. Ein Orthofoto lässt über die Bildinformation neben der Lage von Objekten auch Rückschlüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit zu. Ein Gebäudekataster kann mit Höhenschichtlinien kombiniert werden usw.

Je nach der verfügbaren Datenquelle gibt es entsprechende Einschränkungen hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit. Daten zu den Flächen und deren Befestigungsgrad können durch verschiedene Methoden der Vor-Ort-Erhebung (Vermessung) oder der Fernerkundung erhoben werden. Je nach Verfahren ergeben sich daraus eine bestimmte Lage- und Höhengenaugigkeit sowie unterschiedliche Möglichkeiten einer Aussage über den Befestigungsgrad der erhobenen Flächen. Je nach Weiterbearbeitung der Daten entstehen aus den ursprünglich erhobenen Daten aggregierte Informationen (Datenprodukte), die auch eine geringere Detailtiefe bzw. Genauigkeit

aufweisen können als die Ausgangsdaten.

### Grundlagenerhebung und Datenprodukte für flächenbezogene Daten

Zur Gewinnung der Datengrundlagen aller flächenbezogenen Daten stehen prinzipiell die Vor-Ort-Erhebung (Vermessung) und die Fernerkundung zur Verfügung.

Bei der Vor-Ort-Erhebung mittels terrestrischen oder satellitengestützten Verfahren wird üblicherweise die höchste Genauigkeit erreicht. Außerdem ist eine gesicherte Aussage über die Art der Flächenbefestigung sowie gegebenenfalls auch über die Abflusswirksamkeit (tatsächlicher Anschluss der Fläche an das Entwässerungssystem) möglich. Die Fernerkundung verwendet im Allgemeinen Luftbilddaufnahmen und Laserscans die durch Geländeüberfliegungen oder von Satelliten aus gemacht werden.

Die für die hydraulische Modellierung relevanten situationsbezogenen (Lage) Datenprodukte sind Orthofotos, Flächenwidmungspläne, Katastralmappen, und Bebauungspläne. Die reliefbezogenen (Höhe) Datenprodukte sind Höhenschichtenpläne, Oberflächenmodelle und Geländemodelle. Die Beschaffenheit der Flächen kann anhand von Orthofotos (Echtfarnebild oder Falschfarnebild) oder Bebauungsplänen ermittelt werden.

### Luftbilder und daraus abgeleitete Datenprodukte

Aus analogen oder digitalen Luftbildern entstehen durch Entzerrung maßstabsgetreue Abbildungen der Erdoberfläche, sogenannte **Orthofotos**. Für die Berechnung der Entzerrung werden digitale Geländemodelle verwendet, die je nach verfügbarer Genauigkeit auch die Genauigkeit der daraus berechneten Orthofotos beeinflussen. Die Informationsinhalte der Bilder stellen gemeinsam mit der terrestrischen oder satellitengestützten Vermessung und der Sichtbarmachung der Messpunkte auf den Luftbildern, die wesentliche Grundlage für jegliches **Kartenmaterial** dar.

Orthofotos stehen für das gesamte Bundesgebiet zur Verfügung. Eine Aktualisierung der Aufnahmen erfolgt in einem Dreijahreszyklus. Die Auflösung digitaler Luftbilder (Pixelgröße) beträgt auf Bodenniveau 20 cm. Analoge Aufnahmen stehen mit einer Bodenaufösung von 25 cm zur Verfügung. Die Lagegenauigkeit von Orthofotos ist abhängig von der Dichte der Datenpunkte aus dem digitalen Geländemodell und wird laut BEV (2013) mit folgenden geländeabhängigen Genauigkeiten beziffert:

- flach 0,5 - 1 m
- hügelig 1 - 2 m
- Gebirge 2 - 5 m

(BEV, 2013).

Der Informationsinhalt zur Beschaffenheit der Flächen kann durch die Verwendung von Echtfarnebildern (RGB) oder Falschfarnebildern (CIR – Color Infra Red) noch erhöht werden. Falschfarnebilder nutzen Bildinformation in einem für das menschliche Auge nicht sichtbaren Bereich durch die Aufnahme des Nahe-Infrarot Farbspektrums. Mit CIR Bildern ist zum Beispiel eine gesonderte Darstellung und Bewertung der Vegetation (alle Pflanzenteile werden in Rot dargestellt) möglich (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: links: Echtfarnebild (RGB), rechts Falschfarnebild (CIR); Datenquelle: Land Tirol - [data.tirol.gv.at](http://data.tirol.gv.at)

Ein Produkt, das üblicherweise nicht auf Luftbildern basiert sondern terrestrischen Grundlagendaten entstammt ist die „Die Digitale Katastralmappe (DKM). Die **DKM** ist der grafische Datenbestand des Grundstückskatasters im Koordinatensystem der Österreichischen Landesvermessung und wird von den zuständigen Vermessungsämtern katastralgemeindeweise geführt. Die DKM veranschaulicht die Lage der Grundstücke und enthält

- die Grenzen der Grundstücke
- die Grundstücksnummern
- Nutzungsgrenzen und -symbole
- die Fest-, Grenz- und Staatsgrenzpunkte mit deren Nummern und
- sonstige Darstellungen

(BEV, 2015).

Aus der DKM kann mittels GIS Anwendung direkt die Fläche jedes Grundstückes entnommen werden. Die praktische Anwendung der Grundstücksinformation hinsichtlich der Modellierung ist, dass eine Abflussabschätzung die für ein oder mehrere bestimmte Grundstücke vorliegt, auf alle ähnlich bebauten Grundstücke übertragen werden könnte.

Eine weitere Aggregation von Flächendaten erfolgt zum Beispiel in **Flächenwidmungsplänen**. Dabei sind einzelne Grundstücke einer bestimmten Flächenwidmung zusammengefasst. In den Flächenwidmungsplänen wird in drei Hauptwidmungskategorien unterschieden:

- Bauland
- Grünland
- Verkehrsflächen und sonstige Widmungen

Weitere Differenzierungen erfolgen entsprechend den Raumordnungsgesetzen auf Bundesländerebene.

Die praktische Anwendung von Flächenwidmungsplänen hinsichtlich der Modellierung ist, dass eine Abflussabschätzung die für ein Teilgebiet einer bestimmten Flächenwidmung vorliegt, allen Teileinzugsgebieten der gleichen Flächenwidmung zugrunde gelegt werden könnte. Die tatsächlich vorliegende Bebauung innerhalb der betrachteten Flächenwidmung bleibt bei dieser Vorgehensweise jedoch unberücksichtigt.

### **Airborne Laser Scanning (ALS) und daraus abgeleitete Datenprodukte**

Beim Airborne Laser Scanning (ALS) wird bei einer Überfliegung des Geländes die Laufzeit eines Laserimpulses zwischen Aussendung und Empfang nach der Reflexion an der Oberfläche gemessen und daraus der Abstand des Flugzeuges zur Oberfläche ermittelt.

Damit nicht nur die Messung einer Linie erfolgt wird durch rotierende oder oszillierende Spiegel ein zick-zack-förmiges, oder ein zeilenförmiges Muster für eine breite Abdeckung der Oberfläche erzeugt. Abbildung 3 zeigt das Messprinzip des ALS. Über die Charakteristik des empfangenen Echos kann auch darauf geschlossen werden, ob es sich bei dem Scanpunkt um die nackte Erdoberfläche (Terrain-Echo) oder Vegetation (Baum-Echo) handelt.

Über die gleichzeitig bestimmte Position des Flugzeuges mittels Global Positioning System (GPS) in Kombination mit dem Trägheitsnavigationssystem des Flugzeuges, kann die Lage (Koordinaten) jedes Laserscanpunktes bestimmt werden. Die Punktdichte von ALS Überfliegungen kann sehr unterschiedlich sein und beträgt zwischen 1 und 15 bis 20 Punkte pro Quadratmeter. Im Gegensatz zu Luft- oder Satellitenbildern liefert das ALS jedoch keine Bilder der Oberfläche im herkömmlichen Sinn. Hinweise auf die Beschaffenheit der Oberflächen sind daher nicht so augenscheinlich erkennbar wie auf Bildern. ALS eignet sich als Methode zur großflächigen Aufnahme der Erdoberfläche (Warner et al., 2009).

Die Lagegenauigkeit hängt von den einzelnen Systemkomponenten ab und liegt horizontal bei ca. 40 cm und vertikal bei weniger als 10 cm (de LANGE, 2013).

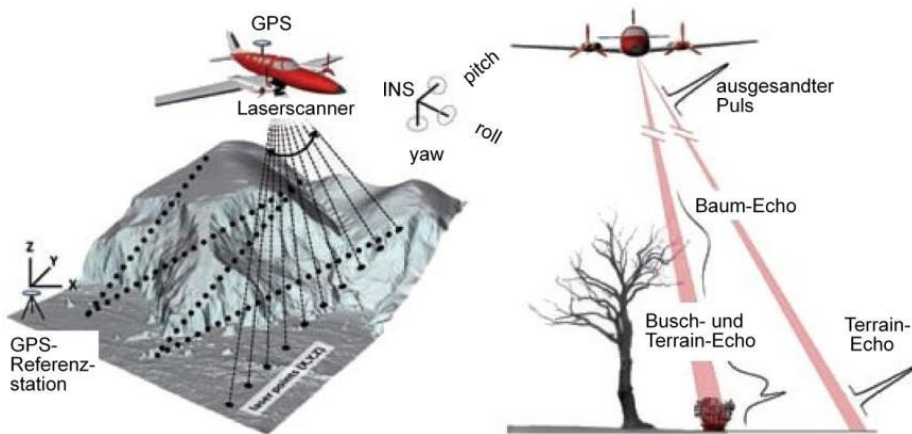


Abbildung 3: Prinzip des Airborne Laserscanning (de LANGE, 2013)

Datenprodukte die aus dem ALS abgeleitet werden und für die Darstellung des Reliefs herangezogen werden können, sind digitale Gelände- und Oberflächenmodelle (DGM und DOM). Wie in Abbildung 4 ersichtlich, wird bei einem DGM (digitales Geländemodell) die „nackte“ Oberfläche der Erde dargestellt, während beim DOM (digitales Oberflächenmodell) Attribute wie Bewuchs und Bebauung zu erkennen sind.

Das ursprüngliche digitale Geländehöhenmodell (DGM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen verwendet eine photogrammetrische Auswertung in einem Raster von 50 Metern der durch Interpolation auf 10 Meter verdichtet wurde. Ein aus den ALS-Daten abgeleitetes Oberflächenmodell kann hingegen auch eine Rasterweite von nur 50 Zentimeter haben.

Das DOM bietet somit die Möglichkeit, mittels ALS genaue Modelle von einzelnen Gebäuden zu erstellen. Abbildung 4 (links) zeigt das DOM im Vergleich mit dem Gebäudekataster. Daraus wird ersichtlich, dass die Dachflächen des Hauses über die im Gebäudekataster dargestellte Grundfläche hinausreichen. Insgesamt würden die festgestellten abflusswirksamen Flächen bei der Verwendung nur des Gebäudekatasters gegenüber der tatsächlichen Dachfläche unterschätzt.

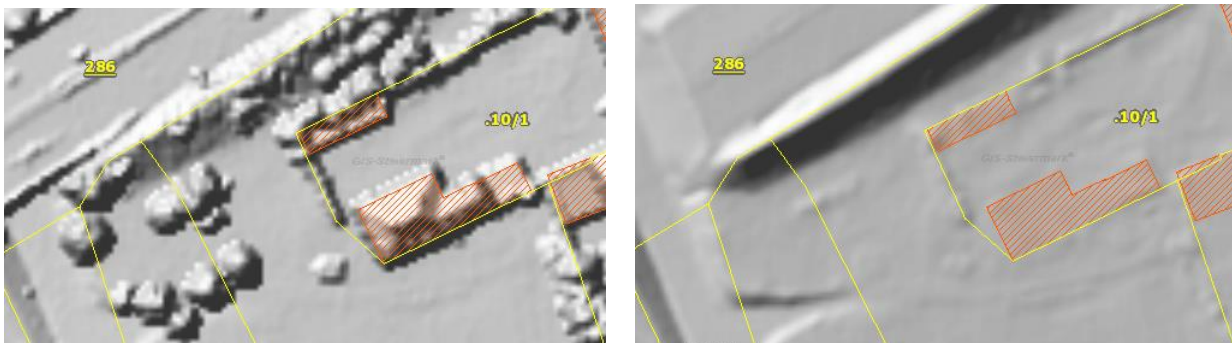


Abbildung 4: links: Digitales Oberflächenmodell (DOM), rechts Digitales Geländemodell (DGM),  
Datenquelle: Land Steiermark - data.steiermark.gv.at

### Genauigkeiten von flächenbezogenen Daten

Die Genauigkeiten der Grundlagenerhebung bzw. der daraus abgeleiteten Datenprodukte sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Triangulierungspunkte (TP) und Einschaltspunkte (EP), als Ausgangspunkte für terrestrische Vermessungen, beziehen sich auf das österreichische Festpunktnetz. Die Zusammenfassung zeigt deutlich, dass die verfügbaren Genauigkeiten mitunter ganz wesentlich von der Datenquelle abhängen.

Tabelle 4: Zusammenfassung der verfügbaren Genauigkeiten (maximale Abweichungen)

| Genauigkeit        | Vor-Ort-Erhebung    | Orthofotos                                   | Airborne Laser Scanning (ALS) | Flächenwidmungspläne           | Digitales Höhenmodell (DGM, DOM)  |
|--------------------|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Lage               | TP 2cm, EP 7cm *)   | Bodenauflösung<br>Pixelgröße 20 bis 25 cm *) | bis zu 15 cm **)              | Parzellengenau bzw. aggregiert | 10 m *)<br>bis 50 cm **)          |
| Höhe               | TP 5cm *)           | nicht erkennbar                              | bis zu 10 cm **)              | nicht erkennbar                | 1 bis 10 m *)<br>bis zu 10 cm **) |
| Flächenbefestigung | Überprüfung möglich | Abschätzung möglich                          | nicht erkennbar               | nicht erkennbar                | nicht erkennbar                   |

\*) Genauigkeiten laut Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV, 2014)

\*\*) Genauigkeiten laut Wiener Stadtvermessung (Stadtvermessung Wien, 2014)

### Anwendung der flächenbezogenen Daten für die Modellierung

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes eines Kanalnetzes mit Hinblick auf das Niederschlagswasser benötigt Informationen über den Befestigungsgrad der Fläche und der Neigung zur Bestimmung der Fließrichtung des Oberflächenabflusses. Neben der Vor-Ort-Erhebung können diese Informationen auch aus der Kombination von Orthofotos und ALS Daten oder Geländehöhenmodellen abgeleitet werden.

Im Zuge der Bestimmung des flächenabhängigen Niederschlagswasserabflusses ist neben der Ermittlung der befestigten Flächen auch die Berücksichtigung der Abflusswirksamkeit und von (Abfluss-) Verlusten von Bedeutung. Hierbei sind Fließzeit, Anfangsverluste (Benetzungs- und Muldenverluste) und Dauerverluste (Versickerungen und Abflüsse aus dem Einzugsgebiet) zu berücksichtigen. Eine Teilflächendifferenzierung mit Bestimmung der Abflusswirksamkeit ist am sichersten vor Ort möglich. Alternativ zur Teilflächendifferenzierung kann die abflusswirksame Fläche auch als Anteil des jeweils betrachteten Flächenteiles (Einzugsgebiet, Teileinzugsgebiet oder Grundstücksfläche) abgeschätzt werden. Diesbezügliche Details sind im Kapitel 6 (Von den Daten zum Modell) zu den Möglichkeiten der Flächenermittlung beschrieben.

### Datenbezugsmöglichkeiten und Datenformate von flächenbezogenen Daten

Für den Bezug von Flächendaten gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, wovon einige zum Teil nur wenig bekannt sind. Bei der Betrachtung der Vor- und Nachteile verschiedener Bezugsmöglichkeiten sind jedenfalls auch die jeweiligen Nutzungsbedingungen der Datenquellen zu berücksichtigen.

Nebst den etablierten Methoden zur Erhebung von Flächendaten wie dem Bezug von Katastermappen, Orthofotos und Geländemodellen von lokalen Vermessungsämtern bzw. dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen sowie der Vor-Ort-Erhebung durch Detailvermessung, stehen zunehmend alternative Datenquellen zur Verfügung, die entsprechend ihrer Nutzungsbedingungen zum Teil auch kostenfreie und kommerziell verwendbare Geoinformationsdaten anbieten.

Als Anstoß kostenfreie Geoinformationsdaten zur Verfügung zu stellen, kann die EU Richtlinie 2007/2/EG (INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in the European Community) gesehen werden. Sie sieht die Schaffung einer gemeinsamen Geodateninfrastruktur (Geodatensätze, Geodatendienste, Netzdienste und –technologien sowie Nutzungs- und Zugangsvereinbarungen etc.) in der Europäischen Gemeinschaft vor. Ihr Ziel ist es, eine Geodateninfrastruktur für gemeinschaftliche Umweltpolitik der Union aufzubauen. Dazu werden existierende Geodateninfrastrukturen der Mitgliedsstaaten verwendet, deren Kompatibilität durch die Richtlinie festgelegt wird und die gemeinschaftsweit, grenzüberschreitend und von verschiedenen Nutzern (Verwaltungsbehörden) und für unterschiedliche Anwendungen genutzt werden können. Die Schaffung der nationalen Infrastrukturen erfolgte dabei schrittweise und nach Nutzungsprioritäten gestaffelt. Außerdem sieht die Richtlinie vor, auch der Öffentlichkeit eine Mindestanzahl von Diensten bzw. Geodatenätzen (zumindest Such und Darstellungsdienste) kostenlos anzubieten. Die kommerzielle Nutzung kostenloser Geodatensätze kann dabei aber eingeschränkt sein. Neben den grundsätzlich benötigten Koordinatenreferenzsystemen und geografischen Gittersystemen sind unter anderem auch geografische Bezeichnungen, Höhen (Digitale Geländemodelle), Verkehrsnetze, Bodenbedeckung (Physische und biologische Bedeckung einschließlich künstlicher Flächen), Orthofotografie (Georeferenzierte Bilddaten der Erdoberfläche), Gebäude und Bodennutzung (Funktion oder Zwecks wie z. B. Wohn-, Industrie- oder Gewerbegebiete) unter der INSPIRE Richtlinie geregelt.

Einige Netzdienste (Web GIS) stellen die Geoinformationen für Internetnutzer zwar kostenlos zur Verfügung, die Nutzungsbedingungen erlauben jedoch keine kommerzielle Nutzung der Dienste und Informationen. Andere Umsetzungen erfolgen oftmals unter den Prinzipien des Open Government Data (OGD). Diese kostenlosen Geoinformationen dürfen unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen auch kommerziell verwendet und weiterbearbeitet werden.

Im Folgenden sind die jeweiligen Service-Portale sowie deren Geoinformationsangebot zusammengefasst:

Ein Service das eine aktuelle, auf amtlichen Geodaten basierende Grundkarte von Österreich anbietet, ist auf [basemap.at](http://basemap.at) zu finden. Hier wird eine internetfähige frei verfügbare Karte, die unter anderem seit Mai 2015 auch aktuelle **Orthofotos** beinhaltet, entsprechend den Nutzungsbedingungen (Open Government Data Österreich Lizenz CC-BY 3.0 AT) zur Verfügung gestellt. Die Karte ist als Open GIS Web Map Tile Service verfügbar und kann direkt in eine GIS-Anwendung eingebunden werden.

In rasch zunehmendem aber noch sehr unterschiedlichem Umfang werden verschiedenste Datensätze und Dienste aus der öffentlichen Verwaltung entsprechend den Prinzipien des *Open Government Data* (OGD) zur Verfügung gestellt.

Der Zugang zu **OGD** erfolgt am einfachsten über das Webportal [data.gv.at](http://data.gv.at). Über diese Plattform kann direkt auf den Katalog offener (verfügbarer) Datensätze und Dienste bzw. auf die Liste der veröffentlichten Stellen (Bundesländer, Städte, Gemeinden, Ministerien, öffentliche Stellen etc.) zugegriffen werden.

Die Daten die derzeit in Österreich über OGD zur Verfügung gestellt werden, betreffen verschiedenste Kategorien wie z. B. Verkehr, Umwelt, Bevölkerung, Geographie, Land- und Forstwirtschaft, Wirtschaft und Tourismus etc. Die flächenbezogenen Daten finden sich dabei in der Kategorie *Geographie und Planung*.

Die frei verfügbaren Inhalte sind je nach Bundesland unterschiedlich und können hinsichtlich der flächenbezogenen Daten unter anderem folgende, georeferenzierte Informationen umfassen:

- Landesgrenzen, Bezirke, Gemeinden, Orte
- Flächenwidmungspläne, Raumordnungskonzepte, Grundkarten, Gebäudeflächen, Hauptverkehrsnetz
- Orthofotos (RGB und CIR),
- Höhenschichtlinien, digitale Höhenmodelle (DGM, DOM)
- Hauptgewässer, Wasserschutzgebiete, Hochwasserabflussbereiche, Oberflächengewässer-Einzugsgebiete

Die **DKM** (Digitale Katastralmappe) ist ein Datenprodukt, das von keinem Anbieter kostenlos bzw. frei verfügbar angeboten werden darf, sondern nur kostenpflichtig z. B. vom Bundesamt für Eich und Vermessungswesen (BEV) bezogen werden kann.

Die zur Verfügung gestellten Datenformate sind je nach veröffentlichender Stelle und Anwendung unterschiedlich und umfassen unter anderem:

- Bilddateien (z. B. jpeg oder tif Dateien)
- Listen / Textdokumente etc. (z. B. ASCII, CSV, PDF, HTML)
- Vektorgrafikdateien (Shapefiles (dbf, prj, sbx, sab, sbn) die direkt in einer GIS-Anwendung verwendet werden können)
- WMS-Dienste (Web-Map-Service – kann über einen Link direkt mit einer GIS-Anwendung verbunden werden)

Wenn Vektorgrafikdateien oder WMS-Dienste in ein GIS importiert werden bzw. eingebunden werden, muss jedenfalls die korrekte Koordinatentransformation überprüft werden. Dies ist vor allem, dann von großer Bedeutung, wenn sich Datenquellen auf unterschiedliche Bezugsellipsoide beziehen. Derzeit sind für Österreich im Wesentlichen folgende zwei geodätische Referenzsysteme maßgeblich, die sich aber auf zwei unterschiedliche Referenzellipsoide beziehen: MGI und WGS 84 (künftig europäisches System ETRS89). Beziehen sich alle verwendeten Daten auf dasselbe Referenzsystem (Ellipsoid), können etwaige Koordinatenumrechnungen im GIS in der Regel problemlos (automatisch) durchgeführt werden. Sollen allerdings Daten aus unterschiedlichen Referenzsystemen verwendet werden, müssen die entsprechenden Transformationen, die standortabhängig sind, definiert werden.

Die meisten Daten liegen in Österreich heute im MGI System vor. Geodaten inklusive der **Orthofotos** die auf [basemap.at](http://basemap.at) zu finden sind, verwenden den neuen Standard WGS 84. Wenn keine entsprechende Transformation durchgeführt wird, kommt es zu Lagefehlern und Verzerrungen wodurch Flächen bis zur doppelten Größe der realen Flächen aufweisen können. Bei der Verwendung von WMS-Diensten ist es je nach GIS Programm gegebenenfalls nötig zu definieren, dass laufend und automatisch die passende Transformation durchgeführt wird (Menüpunkt z. B. „Spontanprojektion für Layer in unterschiedlichen Koordinatenbezugssystemen aktivieren“). Der sicherste Weg ist, alle in ein GIS eingefügten Layer koordinativ sowie anhand einer oder mehrerer bekannter Längen und Flächen zu überprüfen.

Zusätzlich zu den Daten die über OGD bezogen werden können, bieten alle Bundesländer ein eigenes Onlineportal über das auf Dar-

stellungsdienste (vgl. INSPIRE Richtlinie) zugegriffen werden kann. Über den Online-Darstellungsdienst hinaus ist der Erwerb kostenpflichtiger Geodatenprodukte für private und kommerzielle Nutzung bei den zuständigen Landesstellen möglich. Dies betrifft z. B. ALS-Daten bzw. daraus abgeleitete Produkte wie das Digitale Geländemodell (DGM – Darstellung der natürlichen Erdoberfläche) oder das Digitale Oberflächenmodell (DOM – Darstellung der Erdoberfläche mit allen darauf befindlichen Objekten wie Häuser, Bewuchs und Straßen) und Folgeprodukte wie z. B. das Differenzhöhenmodell (DOM-DGM zur Ermittlung von Gebäude- oder Bewuchshöhen).

Neben den Daten die von öffentlichen Stellen zur Verfügung gestellt werden, gibt es auch noch internationale und nationale Projekte, die sich mit unterschiedlichen Aspekten hinsichtlich Flächendaten und Flächennutzungen befassen.

Im Rahmen des EU-weiten CORINE-Programms werden digitale Bilder von Satelliten einheitlich erfasst und ausgewertet, um eine flächendeckende Erfassung der Landbedeckung und –nutzung zu erhalten. Diese Daten dienen als Informationsquelle für Landnutzung und deren Veränderung sowie für umweltrelevante Fragestellungen. Daten der Jahre 1990, 2000 und 2006 stehen der Öffentlichkeit bereits zur Verfügung. Die CORINE Landbedeckungsdaten inklusive Bodenversiegelung mit dem Referenzjahr 2012 stehen ab dem Jahr 2014 zur Verfügung. Die durchführende Stelle in Österreich ist das Umweltbundesamt. An einer automatisierten Auswertung von Orthofotos, die in Zukunft alle drei Jahre wiederholt werden soll, wird im Zuge des Projekts LISA – Land Information System Austria – gearbeitet. Die Auswertungen stehen für kommerzielle und nicht kommerzielle Zwecke kostenlos zur Verfügung.

Abschließend sind auch die Onlineportale privater Anbieter zu nennen. Zu den bekanntesten Anbietern von Luftbildinformationen gehören sicher Google und BING. Die Verwendung dieser Produkte unterliegt jedoch den geltenden Nutzungsbeschränkungen.

Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung einiger Geodatenportale die auf EU, Bundes- und Länderebene eingerichtet sind mit den dazugehörigen Web-Links zu den jeweiligen Seiten.

Tabelle 5: Zusammenfassung wichtiger Geodatenportale auf EU, Bundes- und Länderebene

| Anbieter / Portalname                                                        | Link                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EU                                                                           | <a href="http://inspire.ec.europa.eu">inspire.ec.europa.eu</a>                                                                                           |
| INSPIRE Österreich                                                           | <a href="http://www.inspire.gv.at">www.inspire.gv.at</a>                                                                                                 |
| Verwaltungsgrundkarte von Österreich (Bundesländer, BMVIT, u.a.m.)           | <a href="http://www.basemap.at">www.basemap.at</a>                                                                                                       |
| Open Government Data (OGD)                                                   | <a href="http://www.data.gv.at">www.data.gv.at</a>                                                                                                       |
| Bundesamt für Eich- und Messwesen (BEV): Austrian Map online                 | <a href="http://www.austrianmap.at">www.austrianmap.at</a>                                                                                               |
| Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft | <a href="http://www.bmlfuw.gv.at/geo-informationen">www.bmlfuw.gv.at/geo-informationen</a>                                                               |
| Umweltbundesamt, CORINE Land Cover                                           | <a href="http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/raumordnung/flaechennutzung/corine/">www.umweltbundesamt.at/umwelt/raumordnung/flaechennutzung/corine/</a> |
| Wien, ViennaGIS                                                              | <a href="http://www.wien.gv.at/viennagis">www.wien.gv.at/viennagis</a>                                                                                   |
| Niederösterreich, NÖ Atlas                                                   | <a href="http://atlas.noel.gv.at">atlas.noel.gv.at</a>                                                                                                   |
| Oberösterreich, DORIS                                                        | <a href="http://doris.ooe.gv.at">doris.ooe.gv.at</a>                                                                                                     |
| Salzburg, SAGISonline                                                        | <a href="http://www.salzburg.gv.at/sagis">www.salzburg.gv.at/sagis</a>                                                                                   |
| Tirol, tiris - Tiroler Rauminformationssystem                                | <a href="http://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris">www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris</a>                                                       |
| Vorarlberg, Vorarlberg Atlas                                                 | <a href="http://www.vorarlberg.at/atlas">www.vorarlberg.at/atlas</a>                                                                                     |
| Kärnten, KAGIS                                                               | <a href="http://www.kagis.ktn.gv.at">http://www.kagis.ktn.gv.at</a>                                                                                      |
| Steiermark, GIS Steiermark                                                   | <a href="http://www.gis.steiermark.at">www.gis.steiermark.at</a>                                                                                         |
| Burgenland, GeoDaten Burgenland                                              | <a href="http://geodaten.bglld.gv.at">geodaten.bglld.gv.at</a>                                                                                           |

Da die einzelnen Bundesländerseiten sehr unterschiedlich aufgebaut und die relevanten Geodateninformationen nicht immer leicht auffindbar sind, sind im *Anhang Geo-Datenbezug* genaue Beschreibungen der jeweiligen Webseiten und Wege zu den Geodaten enthalten.

## Nutzungsbedingungen

Seit dem Beginn von OGD in Österreich im Jahr 2010 gehen laufend neue OGD Portale ans Netz und stellen Datensätze online. Die OGD Daten können durch die Bevölkerung, die Wirtschaft, die Wissenschaft, die Kunst und Kultur und dementsprechend auch für kommerzielle Zwecke frei genutzt werden. Wesentlich dabei ist, dass die Nutzungsbedingungen erfüllt sind, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- Nennung der Datenquelle wie es vom Anbieter vorgegeben ist (Urheber- und Rechteangaben inklusive Link)
- Änderungen müssen gekennzeichnet werden (Material kann verändert werden bzw. darf darauf aufgebaut werden)
- Es dürfen keine zusätzlichen Einschränkungen erfolgen (gegenüber dem, was durch die Lizenz erlaubt ist).

OGD Daten werden dabei durch die Verwaltungseinheiten unter der Lizenz: Creative Commons Namensnennung 3.0 Österreich (CC BY 3.0 AT) veröffentlicht und folgen verschiedenen Prinzipien hinsichtlich Verfügbarkeit und Zugänglichkeit. Ein Link zu der Lizenz *Creative Commons Namensnennung 3.0 Österreich* (CC BY 3.0 AT) ist sowohl über [basemap.at](http://basemap.at) wie auch über das Webportal [data.gv.at](http://data.gv.at) verfügbar.

Die Onlineportale und Darstellungsdienste der Bundesländer unterliegen unterschiedlichen Nutzungsbedingungen. Nicht alle sind frei kommerziell nutzbar.

Onlineportale privater Anbieter (z. B. Google und BING) sind zwar die bekanntesten Quellen von Geoinformation, jedoch dürfen die Inhalte entsprechend der jeweiligen Nutzungsbeschränkungen im Allgemeinen nicht ohne Genehmigung weiterverwendet, abgewandelt oder kommerziell genutzt werden.

### 4.3.1.4. ANFANGS- UND DAUERVERLUSTE

Bei der Abflussbildung treten vom Niederschlagsereignis zum abflusswirksamen Niederschlag verschiedene Verluste auf. Zuerst muss eine trockene Oberfläche benetzt werden, wodurch Benetzungsverluste entstehen. In weiterer Folge kommt es zu Muldenfüllungen, die in Muldenverlusten resultieren. Nach diesen Prozessen entsteht erst ein Abfluss der wiederum durch Versickerung, Verdunstung und Verwehung reduziert wird (GUJER, 2007). Abbildung 5 gibt einen Überblick über Verluste in Abhängigkeit von Niederschlagsintensität und Regendauer.

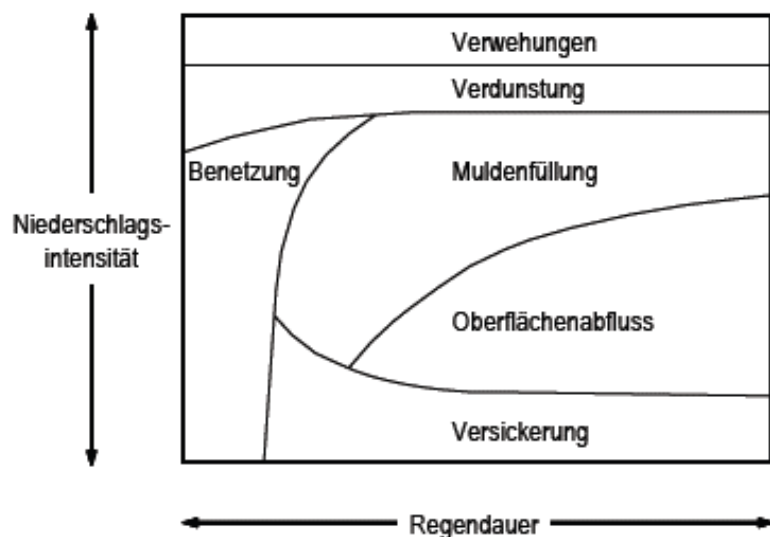


Abbildung 5: Qualitative Darstellung der Abflussbildung während eines Regenereignisses mit konstanter Intensität (GUJER, 2007)

Unter dem Begriff **Anfangsverluste** fallen die Muldenverluste und die Benetzungsverluste. Laut ÖNORM EN 752 (2008) werden Muldenverluste als „in Oberflächenmulden zurückgehaltener Niederschlag, der nicht zum Regenabfluss beiträgt“ und Benetzungsverluste als „durch die Benetzung der Oberflächen zurückgehaltener Regen, der nicht zum Regenabfluss beiträgt“ definiert.

Der Begriff **Dauerverluste** beinhaltet Versickerungsverluste, Verdunstung, und Verwehung. Aus Abbildung 6 geht hervor, dass speziell die Dauerverluste vom Versiegelungsgrad des Einzugsgebietes abhängen.

Das Arbeitsblatt (DWA, 2006a) gibt Bandbreiten für Benetzungs- und Muldenverluste an. Der Benetzungsverlust wird mit 0,3 bis 0,7 mm beziffert, der Muldenverlust mit 0,5 bis 2 mm. Diese Werte gelten für Einzelregen. Für Kontinuumssimulationen sind gesonderte Überlegungen anzustellen.

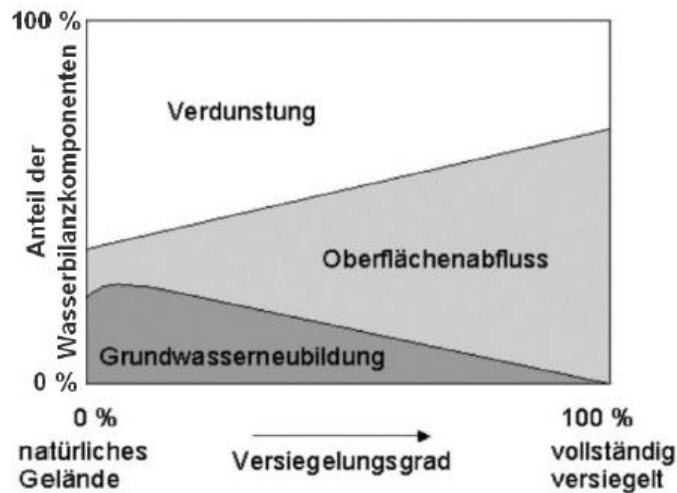


Abbildung 6: Änderung des Oberflächenabflusses in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad (DVWK, 2000)

Im Zuge der Ermittlung der Flächendaten ist es für die hydraulische Modellierung von Kanalsystemen nötig zu wissen, welcher Anteil der befestigten Flächen auch tatsächlich an das Kanalsystem angeschlossen ist und welche Abflusswirksamkeit von den angeschlossenen Flächen ausgeht.

Je nach Betrachtungsweise werden die Faktoren

- Anteil der angeschlossenen Flächen innerhalb aller befestigten Flächen,
- Grad der Undurchlässigkeit innerhalb aller angeschlossenen Flächen (beeinflusst den Anteil der Versickerungsverluste an den Dauerverlusten)
- Sonstige Verluste (Muldenverluste und Benetzungsverluste sowie Verdunstung, und Verwehung)

zu einem allgemeinen Abflussbeiwert zusammengefasst.

Oftmals findet dabei die Betrachtung des Anteils der angeschlossenen Flächen innerhalb aller befestigten Flächen keine Beachtung, weil bereits nur angeschlossene Flächen erhoben wurden oder weil damit gerechnet wird, dass alle befestigten Flächen auch tatsächlich an das Kanalsystem angeschlossen sind. Hierbei kann es zu wesentlichen Abweichungen des betrachteten Flächenausmaßes kommen, die im Zuge einer Kalibrierung eines Modells korrigiert werden.

Laut ÖWAV RB 11 (2009) ist der Abflussbeiwert ein „Anwendungsbezogener Verhältniswert zur Quantifizierung des abflusswirksamen Niederschlagsanteiles“. Geländegegebenheiten, Neigung, Befestigungsart und deren Durchlässigkeit, die Beschaffenheit eines Einzugsgebiets bzw. unterschiedlicher Flächen sind somit durch den Abflussbeiwert subsummiert (KACZMARCZYK et al., 2009).

Für die Ermittlung von Abflussbeiwerten sind laut (GUJER, 2007) die Art der Bauzone (Wohn-, Industrie-, Kernzonen-, und Bebauungsgrad), die Art der Parkplätze (unterirdisch, oberirdisch, Garagen), die Art der Dächer (Steil-, Flach-, Gründächer), das Gefälle des Einzugsgebiets, die Versickerungsmöglichkeiten und die Realisierung der Versickerung von Bedeutung.

#### Mittlerer Abflussbeiwert

„Der mittlere Abflussbeiwert  $\Psi_m$  (früher Gesamtabflussbeiwert) kann sich je nach Fragestellung auf ein abgegrenztes, einzelnes Niederschlagsabflussereignis oder einen definierten Zeitraum, z. B. als Jahreswert im langjährigen Mittel, beziehen. Als **Bemessungswert** erlaubt  $\mu_m$  die Ermittlung der abflusswirksamen Niederschlagshöhe, einer vorgegebenen Niederschlagsbelastung bzw. eines Abflussvolumens bei Einbeziehung der zugehörigen Fläche“ (ÖWAV RB 11, 2009).

Bei der Auswahl der Beiwerte ist zu unterscheiden, um welchen Aggregierungszustand der Flächenermittlung es sich handelt (Gesamteinzugsgebiet, Teileinzugsgebiete, Grundstücksebene, Teilflächendifferenziert). Bei Teileinzugsgebieten wird der Abflussbeiwert z. B. nach Siedlungsstruktur, bei Teilflächendifferenzierung nach der jeweiligen Oberfläche bzw. materialbezogen gewählt. Des Weiteren kann dabei eine Unterscheidung der unterschiedlichen Gefälle der Flächen berücksichtigt werden.

Abflussbeiwerte von Aggregierungen bzw. von Teil- und Gesamteinzugsgebieten können entweder aus einer Tabelle entnommen oder als gewichtete Mittel der Abflussbeiwerte von Teilflächen berechnet werden (GUJER, 2007).

Flächen- und materialabhängige Abflussbeiwerte aus der Literatur sind in Tabelle 6 bis Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 6: Abflussbeiwerte für Flächen nach (AGW, 1982)

| Befestigte Teilflächen | $\psi$ | Unbefestigte Teilflächen   | $\psi$    |
|------------------------|--------|----------------------------|-----------|
| Eternit, Blech, Glas   | 0.95   | Gärten, Wiesen             | 0         |
| Ziegel                 | 0.90   | Parkanlagen                | 0         |
| Asphalt, Beton         | 0.80   | Wald                       | 0         |
| Pflasterung            | 0.50   | Steilwiesen:               |           |
| Kiesklebedach          | 0.25   | – Boden normal durchlässig | 0         |
| Schotterdecke          | 0.25   | – gehemmt durchlässig      | 0.3 – 0.5 |
| Rasengittersteine      | 0.15   | Rebberge                   | 0.3 – 0.5 |

Tabelle 7: Abflussbeiwerte für Flächen nach KACZMARCZYK et al. (2009)

| Befestigte Teilflächen     | $\psi$  | Unbefestigte Teilflächen       | $\psi$ |
|----------------------------|---------|--------------------------------|--------|
| Hartdächer, geneigt        | 0.9-1,0 | Wiese, Garten: je nach Neigung | 0-0.3  |
| Hartdächer, flach          | 0.8     |                                |        |
| Flachdächer, bekiest       | 0.6     |                                |        |
| Asphalt                    | 0.9     |                                |        |
| Pflaster, engfugig         | 0.8     |                                |        |
| Pflaster, weitfugig        | 0.6     |                                |        |
| Grasdächer je nach Neigung | 0.3-0.5 |                                |        |
| Kies/Grandwege             | 0.2     |                                |        |

Tabelle 8: Abflussbeiwerte für Flächen nach (ATV-DVWK, 2001)

| Flächentyp                                                                          | Befestigungstyp                       | $\psi$  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------|
| Schrägdach                                                                          | Metall, Glas, Schiefer, Faserzement   | 0,9-1   |
|                                                                                     | Ziegel, Dachpappe                     | 0,8-1   |
| Flachdach (Neigung bis ca.5°)                                                       | Metall, Glas, Faserzement             | 0,9-1   |
|                                                                                     | Dachpappe                             | 0,9     |
|                                                                                     | Kies                                  | 0,7     |
| Straßen, Wege und Plätze (flach)                                                    | Asphalt, fugenloser Beton             | 0,9     |
|                                                                                     | Pflaster mit dichten Fugen            | 0,75    |
|                                                                                     | fester Kiesbelag                      | 0,6     |
|                                                                                     | Pflaster mit offenen Fugen            | 0,5     |
|                                                                                     | lockerer Kiesbelag, Schotterrasen     | 0,3     |
|                                                                                     | Verbundsteine mit Fugen, Sickersteine | 0,25    |
|                                                                                     | Rasengittersteine                     | 0,15    |
| Böschungen, Bankette und Gräben mit Regenabfluss in das Entwässerungssystem         | toniger Boden                         | 0,5     |
|                                                                                     | lehmiger Boden                        | 0,4     |
|                                                                                     | Kies- und Sandboden                   | 0,3     |
| Gärten, Wiesen und Kulturland mit möglichem Regenabfluss in ein Entwässerungssystem | flaches Gelände                       | 0,0-0,1 |
|                                                                                     | steiles Gelände                       | 0,1-0,3 |
|                                                                                     |                                       |         |

Aus diesen Tabellen ist ersichtlich, dass für dieselbe Art von Fläche, unterschiedliche Beiwerte angegeben werden. Daraus folgt, dass man bei der Auswahl von Abflussbeiwerten möglichst Erfahrungen aus der Praxis mit einfließen lassen sollte.

Abflussbeiwerte für Flächenaggregationen sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 9: Abflussbeiwerte für Siedlungsflächen nach (AGW, 1982)

| Siedlungsflächen                                                                                                       |                  |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-------------|
| Art der Überbauung und Dichte                                                                                          | mit Versickerung | Flachdächer | Steildächer |
| Einfamilienhäuser, freistehend, locker                                                                                 | 0.15             | 0.2         | 0.3         |
| Einfamilienhäuser, freistehend, dicht und Doppel-, Reihen-, Mehrfamilienhäuser<br>Doppel-, Reihen-, Mehrfamilienhäuser | 0.2              | 0.25        | 0.4         |
| Wohn- und Gewerbezone                                                                                                  | 0.35             | 0.45        | 0.7         |
| Dorfkern, ländlich                                                                                                     |                  |             | 0.5         |
| Stadtkern, Altstadt, Citygebiet                                                                                        |                  |             | 0.75        |
| Industrie, neu                                                                                                         |                  | 0.6         |             |
| Industrie, alt                                                                                                         |                  |             | 0.75        |

Tabelle 10: Abflussbeiwerte für Flächenaggregationen nach KACZMARCZYK et al. (2009)

| Siedlungsflächen                                       |         |
|--------------------------------------------------------|---------|
| Art der Überbauung und Dichte                          | $\psi$  |
| Dichte Innenstadtbauung ohne Grünflächen               | 0.8-0.9 |
| Geschlossene Bebauung, Gelände fast gänzlich befestigt | 0.6-0.8 |
| Zusammenhängende Bebauung, max. 20 % Grün              | 0.5-0.7 |
| Reihenhausbebauung mit Gartenflächen                   | 0.45    |
| Aufgelockerte Einzelhausbebauung                       | 0.35    |
| Grünflächen, Sportplätze<br>Grünflächen, Sportplätze   | 0.0-0.1 |

Des Weiteren kann laut (GUJER, 2007) eine überschlägige Berechnung mit einem mittlerem Abflussbeiwert für versiegelte Flächen von 0.85 durchgeführt werden. Dabei sollten aber die Versickerungsflächen von den versiegelten Flächen abgezogen werden.

In einem Fallbeispiel wurden die Literaturangaben anhand von realen Flächendaten überprüft. Die dabei berechneten Gesamtabflussbeiwerte für verschiedene Flächenaggregationen beinhalten

- einen Faktor für den Anteil der befestigten Fläche an der Gesamtfläche,
- einen Faktor für den Anteil der angeschlossenen Flächen innerhalb aller befestigten Flächen und
- einen Faktor für den Grad der Undurchlässigkeit innerhalb aller angeschlossenen Flächen

Die Gesamtabflussbeiwerte in Tabelle 11 repräsentieren somit den Quotient aus abflusswirksamer Fläche zur Gesamtfläche verschiedener Teileinzugsgebiete. Nicht inkludiert in diesen Gesamtabflussbeiwerten sind die sonstigen Verluste (Muldenverluste und Benetzungsverluste sowie Verdunstung und Verwehung, da diese im Allgemeinen direkt im Modell in Form eines pauschalen Abzuges in mm vom Niederschlag berücksichtigt werden.

Tabelle 11: Gesamtabflussbeiwerte verschiedener Flächenaggregationen eines Fallbeispiels

| Flächenaggregationen                                 | Mit teilweiser Versickerung | Ohne Versickerung |
|------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Teileinzugsgebiet Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhaus | 18%                         | 39%               |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus dicht              | 27%                         | 29%               |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus extensiv           | 11%                         | 21%               |
| Teileinzugsgebiet Grünland                           | 0%                          | 0%                |

Die im Fallbeispiel festgestellten Gesamtabflussbeiwerte liegen im Wesentlichen innerhalb der Bandbreiten der Literaturwerte. Auffällig ist lediglich, dass in dem Fallbeispiel in der Kategorie mit teilweiser Versickerung speziell im Teileinzugsgebiet „Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhaus“ durch einen hohen Anteil alternativ abgeleiteter Flächen ein besonders niedrigerer Gesamtabflussbeiwert existiert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Literaturwerte als erste Abschätzung und Plausibilitätskontrolle herangezogen werden können, eine genaue Feststellung der abflusswirksamen Flächen insbesondere auch einhergehend mit der Feststellung der tatsächlich angeschlossenen Flächenanteile nicht ersetzt werden kann.

### 4.3.2. LEITUNGSBEZOGENE DATEN

Die leitungsbezogenen Daten können in drei Gruppen unterteilt werden. Dabei handelt es sich um das Leitungssystem selbst, Sonderbauwerke und die maschinelle Ausstattung und Steuerung.

#### 4.3.2.1. LEITUNGSSYSTEM

Nachfolgend sind all jene benötigten Daten angeführt, die das Leitungssystem (ausgenommen Sonderbauwerke) selbst betreffen. Dies inkludiert Schachtdaten, Haltungsdaten und Angaben zu Regelorganen und Schiebern.

Die Schachtdaten umfassen u.a. die Lage der Schächte, Schachtbezeichnung, Schachthöhen (GOK, Sohle) und Schachtgeometrie. Zu den Haltungsdaten gehören die Leitungsbezeichnung und -art, Lage der Haltungen (Anfangs- / Endschacht), Profil, Durchmesser, Material (Rauigkeit), Höhe von Rohranfang und -ende, Länge der Haltungen und somit auch das Gefälle der Haltungen. Die Angaben zu den Regelorganen und Schiebern beinhalten Schieberausgangs- und Endstellungen, Durchflussquerschnitte und Durchflussbeiwerte der jeweiligen Regelorgane und Schieber.

Für Entwässerungssysteme die nach ÖWAV-Regelblatt 40 (Leitungsinformationssystem – Wasser und Abwasser) erfasst wurden, können die zuvor genannten leitungsbezogenen Daten aus dem Leitungsinformationssystem generiert werden.

Gemäß (ÖWAV, 2010) sind Schächte „...Bauwerke in netzspezifischer Regelausführung, die ausschließlich der Be- und Entlüftung sowie der Kontrolle und Reinigung der Kanalhaltungen dienen“. „Als Haltung im Sinne dieser Richtlinie wird eine Kanalstrecke zwischen zwei benachbarten Schächten oder Fiktivschächten (Knoten) definiert“

Das Datenmodell eines Leitungsinformationssystem (LIS) nach ÖWAV-Regelblatt 40 ist in Abbildung 7 dargestellt.

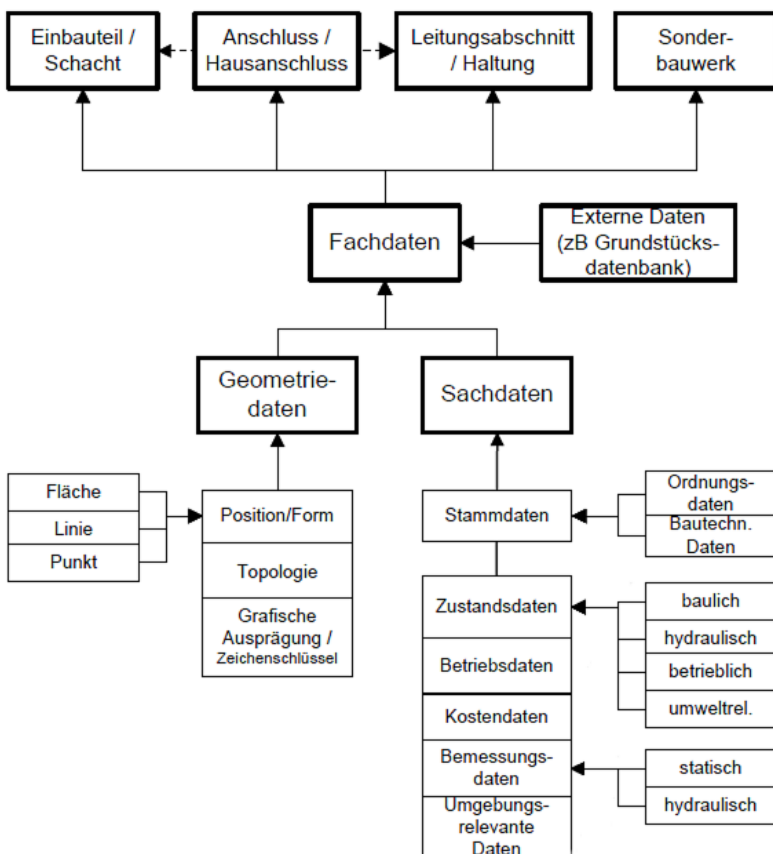


Abbildung 7: LIS bezogenes Datenmodell (ÖWAV, 2010)

Bei Unvollständigkeit oder Unsicherheit bezüglich der Datenqualität muss eine Vor-Ort-Aufnahme durchgeführt werden.

#### 4.3.2.2. SONDERBAUWERKE

Sonderbauwerke haben in der Regel besondere hydraulische und betriebliche Funktionen. Zu den Sonderbauwerken zählen z. B. Regenrückhaltebecken, Mischwasserüberläufe, Mischwasserüberlaufbecken und Pumpwerke.

Ein Leitungsinformationssystem (LIS) nach ÖWAV-Regelblatt 40 umfasst auch alle nötigen Angaben zu den Sonderbauwerken wie Bauwerksbeschreibung, Bezeichnung, Strangzuordnung, Geometrie, Länge, Breite, Höhe, Sonderbauwerksart und insbesondere bei den Mischwasserüberläufen die Wehrhöhe, bei den Speicherbauwerken die Zu-, Ab-, und Überlaufhöhen und deren Geometrie sowie Lage und Geometrie von Pumpensämpfen.

Die Genauigkeiten sind nach ÖWAV-Regelblatt 40 folgendermaßen definiert:

- Detailpunkte im ebenen, flachen Gelände: Lagegenauigkeiten von 5 cm, Höhenngenauigkeiten von 10 mm
- Detailpunkte im hügeligen, gebirgigen Gelände: Lagegenauigkeiten von 10 cm, Höhenngenauigkeiten von 30 mm

#### 4.3.2.3. MASCHINELLE AUSSTATTUNG UND STEUERUNG

Im Wesentlichen geht es dabei um pumpenspezifischen Kennwerte nämlich die Pumpenkennlinie und die Ein- / Ausschaltpunkte.

Eine Abwasserpumpe wird neben der Bauart und Baugröße durch den Verlauf der Kennlinien charakterisiert. Diese werden über die Berücksichtigung der vier Hauptparameter Förderhöhe, Antriebsleistung, Wirkungsgrad und NPSH-Wert (Kavitationsverhalten) erstellt. Dabei erfolgt die Darstellung dieser vier Größen jeweils in Abhängigkeit vom Volumenstrom des Fördermediums. Die Kurven der Diagramme sind dementsprechend auch von der spezifischen Drehzahl der Pumpe abhängig (SUREK, 2014).

Wenn über die Stamm- bzw. Geometriedaten einer Kanalisationsanlage inklusive aller Sonderbauwerke (Rohrlängen, Material, Bauwerksabmessungen, etc.) keine entsprechenden digitalen Grundlagen vorhanden sind, können die benötigten Daten beispielsweise aus vorhandenen analogen Plänen entnommen werden, wobei hier aufgrund der möglichen Heterogenität der Unterlagen eine Qualitätsprüfung in der Regel unerlässlich erscheint. Alternativ können die benötigten Angaben zu den Bauwerken auch in der Natur lokalisiert und erhoben bzw. vermessen werden (Theodolit, Präzisions-GPS, Maßband, etc.).

Sofern für eine hydraulische Modellierung auch Betriebsdaten (Schaltpunkte der Pumpen, Schieberstellungen, etc.) benötigt werden, können diese den Steuer- bzw. Leitsystemen des Kanalisationsunternehmens (Planunterlagen bzw. Steuerungssoftware) entnommen werden.

Im Zuge einer Modellerstellung können prinzipiell auch bauliche und betriebliche Zustandsdaten (z. B. Querschnittsreduktionen) berücksichtigt werden. Diese Informationen sind idealerweise ebenfalls in einem Leitungsinformationssystem digital verwaltet, ansonsten können sie auch aus den Inspektionsprotokollen entnommen werden.

#### 4.3.3. HYDROLOGISCHE DATEN

Bei den für die hydraulische Modellierung relevanten Daten handelt es sich um Niederschlagsdaten. Diese können für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet im Zuge einer Monitoring-Kampagne eigens gemessen oder aus bereits verfügbaren Aufzeichnungen entnommen werden. Letzteres ist vor allem dann relevant, wenn für die Nachweisführung langjährige Datenreihen benötigt werden.

Prinzipiell stehen folgende „Niederschlagsarten“ für eine hydraulische Nachweisführung zur Verfügung:

- Regenkontinuum: Umfasst sämtliche Regenereignisse (Regenintensitäten) eines mehrjährigen Zeitraumes, damit verbunden ist ein entsprechend hoher Rechenaufwand.
- Starkregenserie: Umfasst nur die aussagekräftigsten Regenereignisse (Regenintensitäten) eines mehrjährigen Zeitraumes, der Rechenaufwand kann damit reduziert werden.
- Modellregen: Statistische Auswertung von Niederschlagsdaten (Regenspenden) basierend auf einer festgelegten Regenhäufigkeit, für kleinräumige Nachweise anwendbar.

Weitere Hinweise zur Verwendung von Niederschlagsdaten (Erstellung von Starkregenserien und Einzelmodellregen, etc.) finden sich auch im ÖWAV-RB 11 (2009).

Um ein einheitliches Verständnis für die unterschiedlichen Arten von Regendaten, seitens Anwender und Bereitsteller zu schaffen, sind die wichtigsten Begriffsdefinitionen im Folgenden zusammengefasst.

##### *Regenintensität und Regenspende*

Unter der Regenintensität versteht man die Niederschlagshöhe je Zeiteinheit. Bei der Regenspende handelt es sich um den Quotient aus dem Volumen des Regens und dem Produkt aus der Fläche und der Zeit (ON, 2008).

### *Regenkontinuum*

Das Regenkontinuum inkludiert alle zur Verfügung stehenden Regendaten in hoher zeitlicher Auflösung (im Allgemeinen in Zeitschritten zwischen 1 und 10 Minuten) sowie die dazwischenliegenden Trockenperioden. Dies führt, mit Hilfe einer Simulation, zu realitätsnahen Ergebnissen. Nachteil ist der relativ hohe Zeitaufwand bei der Abflussberechnung (Rauch, W. und Kinzel, H., 2007).

Wegen der hohen Genauigkeit wird die Verwendung von Regenkontinuen beim Nachweis der Effizienz von Mischwasserentlastungen nach (ÖWAV RB19, 2007) empfohlen. Dabei ist laut Regelblatt zu beachten, dass bei der Verwendung von durchgehenden Jahresreihen das Kollektiv wenigstens 10 Jahre umfassen sollte und die Zeitreihe als repräsentativ zu erachten ist (dies ist gegeben wenn zumindest die mittlere jährliche Niederschlagssumme dem langjährigen Mittel entspricht). Des Weiteren sollten die Daten in 10-minütigen Intervallen vorliegen.

### *Starkregenserie*

Als Starkregenserie wird die Auswahl der Niederschlagsmaxima, die aus den vorhandenen Niederschlagsaufzeichnungen eruiert wurden, bezeichnet. Um den Aufwand der Simulation von Abflussberechnungen zu verringern, werden nur diese Starkregenereignisse betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass die ausgewählten Ereignisse auch maximale Abflüsse in der betrachteten Periode zur Folge haben (ÖWAV RB 11, 2009).

### *Modellregen*

Unter den Begriff Modellregen fallen Einzelmodellregen und Blockregenserien. Diese werden aus statistischen Auswertungen in Form von Regenspendelinien generiert und bauen daher nicht auf originale Daten auf. Eine Berechnung mit Modellregen erfolgt durch die Auswahl der Regenhäufigkeit bei der es zu beachten gilt, dass diese wiederum von der Versagenshäufigkeit (Überstau, Überflutung) des Kanalsystems mehr oder weniger abweicht (ÖWAV RB 11, 2009).

### *Einzelmodellregen*

Der am häufigsten in der Praxis verwendete Einzelmodellregen ist Euler Typ 2. Die Aussage des Eulerregens kommt einer Langzeitsimulation mit Starkregenserien sehr nahe. Das Niederschlagsverhalten wird aber nicht ausreichend in allen Fragestellungen abgedeckt (z. B. bei Systemen bei der eine Steuerung über das Beckenvolumen erfolgt) (ÖWAV RB 11, 2009).

### *Blockregen*

Im Wesentlichen kommt der Blockregen beim Fließzeitverfahren zur Anwendung. Dabei erfolgt die Auswahl der Regenbelastung anhand einer mittleren Regenspende in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit des Ereignisses (ÖWAV, 2007). Beim Blockregen kommt es zu einer tendenziellen Unterschätzung der tatsächlichen Belastung. Das verfahren ist daher weniger geeignet als der Eulermodellregen (ÖWAV RB 11, 2009).

### *Niederschlagszeitreihen*

Eine Zeitreihe wird durch die Messung einer Variablen, an einem Punkt im Raum (Standort des Messgerätes), über einen längeren Zeitraum aufgenommen. Dabei erfolgt eine Aneinanderreihung von Messwerten in der Ordnung ihres zeitlichen Auftretens. Die Darstellung erfolgt in Form von Ganglinien und je nach Messverfahren und Verwendung kann die zeitliche Auflösung zwischen wenigen Minuten bis hin zu Stunden schwanken.

### *Starkniederschlagsauswertungen*

Für das gesamte Bundesgebiet stehen beim hydrographischen Dienst drei Arten von Niederschlagsdatensätzen zur Verfügung:

- Maximierte Modellniederschläge (MaxModN)
- interpolierte ÖKOSTRA- Messstellenauswertungen (Österreichweit koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und – Auswertung)
- Bemessungsniederschläge (eine Kombination aus den erstgenannten Datensätzen)

(BMLFUW, 2013).

Die maximierten Modellniederschläge (MaxModN) sind als „wahrscheinlich zu hoch“ anzunehmen während die interpolierte ÖKOSTRA- Messstellenauswertungen „wahrscheinlich zu niedrige“ Werte ergibt. Jedenfalls werden durch diese Niederschlagsdatensätze die möglichen Bandbreiten abgesteckt.

Abbildung 8 zeigt die mögliche Lage und Bandbreite des Bemessungsniederschlags relativ zu den beiden andern Datensätzen.

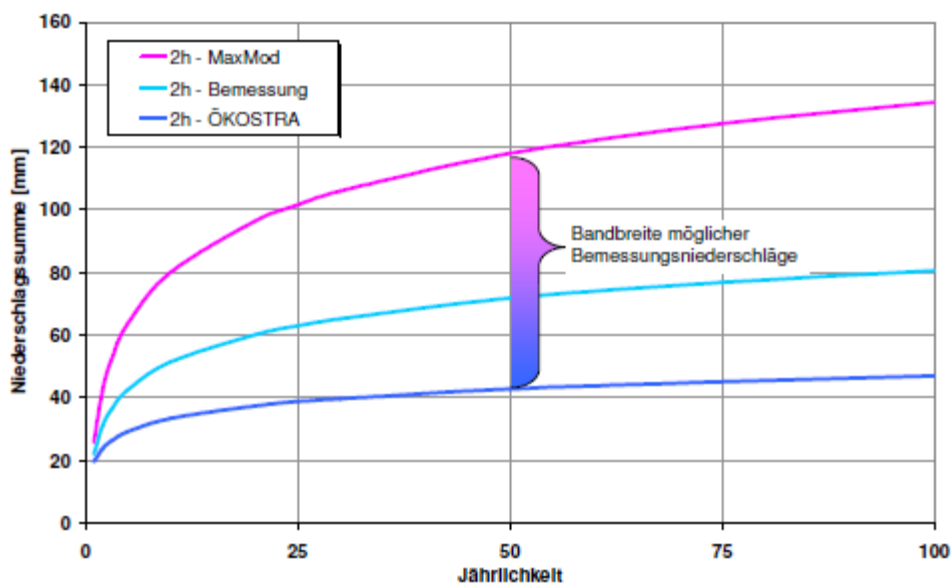


Abbildung 8: Darstellung der Bandbreite des Bemessungsniederschlags (BMLFUW, 2013)

#### Historische Einzelereignisse

Historische Einzelereignisse, welche gezielt aus Regenkontinuen gewählt werden, können eine analoge Funktion wie Modellregen erhalten. Da diese eine ähnliche Dauer und vergleichbare Gesamtniederschlagshöhen unterschiedlicher Auswirkungen besitzen, erweitern sie das Systemverständnis. Durch die Verwendung von historischen Einzelereignissen ist die Nachvollziehbarkeit der Daten gegenüber der statistischen Ermittlung von Modellregen erleichtert. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass den Ereignissen eine Häufigkeit zugeordnet werden kann (ÖWAV RB11, 2009).

Um eine Übersicht der Anwendungsmöglichkeiten von Niederschlagsdaten darzustellen, kann das (DWA, 2006a) zielführend sein. Darin werden in Abhängigkeit von der Anwendung die in Abbildung 9 bis Abbildung 11 dargestellten Einsatzmöglichkeiten von Niederschlagsdaten empfohlen.

|                                       | Fließzeit-<br>verfahren | hydrologische<br>Modelle | hydro-<br>dynamische<br>Modelle |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Regen-<br>spendenlinie,<br>Blockregen | empfohlen               |                          |                                 |
| Modellregen<br>Euler (Typ II)         |                         | möglich                  | möglich                         |
| Modellregen-<br>gruppen               |                         | nicht<br>empfohlen       | nicht<br>empfohlen              |
| Gemessene<br>Starkregen-<br>serien    |                         | nicht<br>empfohlen       | nicht<br>empfohlen              |

Abbildung 9: Empfehlungen für die Neubemessung von Entwässerungssystemen (DWA, 2006a)

|                                       | Fließzeit-<br>verfahren | hydrologische<br>Modelle | hydro-<br>dynamische<br>Modelle |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Regen-<br>spendenlinie,<br>Blockregen | möglich                 |                          |                                 |
| Modellregen<br>Euler (Typ II)         |                         | möglich                  | empfohlen                       |
| Modellregen-<br>gruppen               |                         | möglich                  | empfohlen                       |
| Gemessene<br>Starkregen-<br>serien    |                         | möglich                  | empfohlen                       |

Abbildung 10: Empfehlungen für die Nachrechnung bestehender Systeme (DWA, 2006a)

|                                       | Fließzeit-<br>verfahren | hydrologische<br>Modelle | hydro-<br>dynamische<br>Modelle |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Regen-<br>spendenlinie,<br>Blockregen | nicht möglich           |                          |                                 |
| Modellregen<br>Euler (Typ II)         |                         | nicht möglich            | empfohlen                       |
| Modellregen-<br>gruppen               |                         | nicht möglich            | empfohlen                       |
| Gemessene<br>Starkregen-<br>serien    |                         | nicht möglich            | empfohlen                       |

Abbildung 11: Empfehlungen für den Nachweis der Überstauhäufigkeit (DWA, 2006a)

### Datenbezugsmöglichkeiten von hydrologischen Daten

Der Bezug von Niederschlagsdaten kann von der ZAMG, aus dem e-HYD (ehyd.gv.at), dem Hydrographischen Jahrbuch sowie von hydrographischen Landesdiensten erfolgen.

*Datenbezug von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik)*

Benötigte Daten können über die Website der ZAMG angefordert werden ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)). Gegen einen Kostenersatz ab € 60 wird vom Kundenservice das gewünschte Datenmaterial zusammengestellt. Die Übersicht der verfügbaren Daten und der Kontakt zum zuständigen Kundenservice findet sich auf der Website durch die Auswahl folgender Unterpunkte:

Produkte → Klima → Daten und Statistiken → Messdaten

*Datenbezug aus dem Webportal eHYD (elektronische Hydrografische Daten)*

Die hydrographischen Daten können direkt von der Website [www.ehyd.gv.at](http://www.ehyd.gv.at) bezogen werden. Das umfangreiche Messstellennetz wird in Zusammenarbeit zwischen Bund und Länder zur Bestimmung des Wasserhaushaltes in Österreich betrieben. Es umfasst 950 Niederschlagsmessstellen, 750 Schneehöhenmessstellen, 586 Lufttemperaturmessstellen, 800 Oberflächenwasserstandsmessstellen, 600 Abflussmessstellen, 210 Wassertemperaturmessstellen, 3040 Grundwasserstandsmessstellen, 350 Grundwassertemperaturmessstellen und 40 Quellmessstellen.

Unter dem Menüpunkt MESSSTELLEN UND DATEN können die in der Übersicht angezeigten Messstellen auf ein Thema (z. B. Niederschlag oder Grundwasser etc.) eingegrenzt werden. Unter dem Menüpunkt AKTUELLE DATEN können z. B. die Niederschlags-Stundensummen der letzten 6 bis 72 h angezeigt werden. Bis zur Veröffentlichung der neu gemessenen Werte unter dem Menüpunkt MESSSTELLEN UND DATEN dauert es dann jedoch rund 2 Jahre für Überprüfungen und Berechnungen. Unter KENNWERTE UND BEMESSUNG stehen Bemessungsniederschläge für Gitterpunkte zur Verfügung, die durch den Hydrographischen Dienst aus Niederschlagsdatensätzen für Dauerstufen von 5 Minuten bis 6 Tagen und Jährlichkeiten bis 100 errechnet wurden.

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Auswahl eines Gitterpunktes aus der WebGIS Applikation eHYD sowie einen Auszug aus der downloadbaren Tabelle der Bemessungsniederschläge. In der Tabelle stehen die oberen Zahlen jeder Dauerstufe für die MaxModN Werte, die unteren Zahlen für die Berechnung nach ÖKOSTRA und die mittleren fett gedruckten Werte für den errechneten Bemessungsniederschlag.

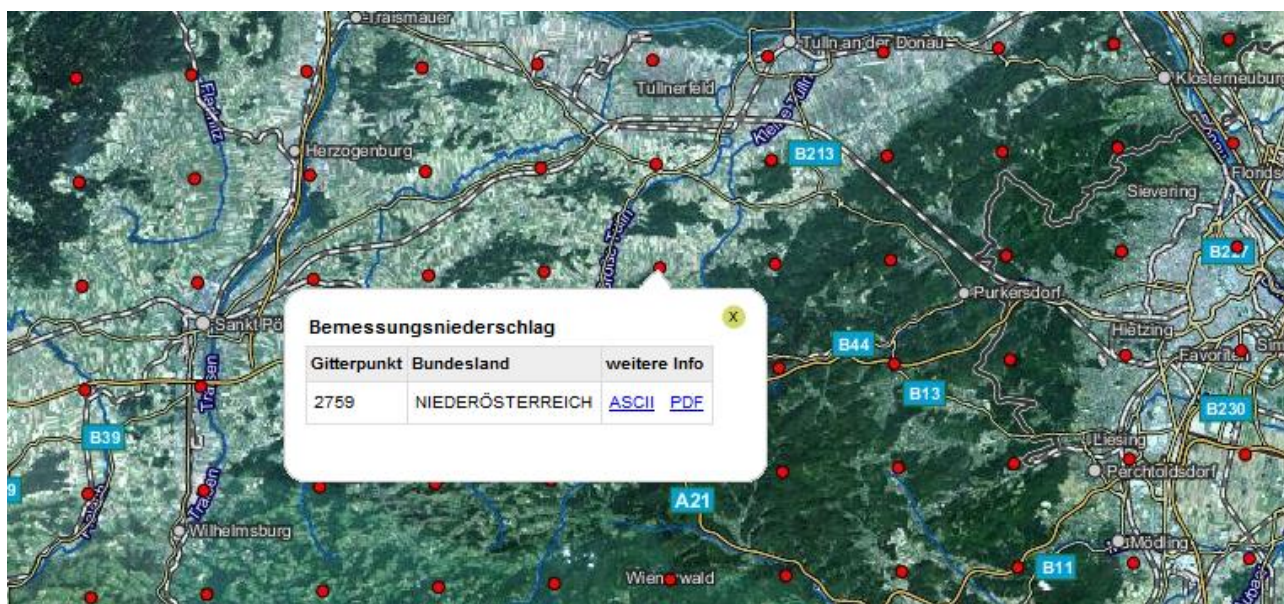


Abbildung 12: Auswahl eines Gitterpunktes für den Download der Bemessungsniederschläge (Quelle: eHYD.gv.at)

| Wiederkehrzeit (T) | 1    | 2    | 3    | 5    | 10   | 20   | 25   | 30   | 50   | 75   | 100  |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Dauerstufe (D)     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5 Minuten          | 7.4  | 11.0 | 13.2 | 15.8 | 19.4 | 23.1 | 24.2 | 25.2 | 27.8 | 30.0 | 31.5 |
|                    | 6.2  | 8.8  | 10.3 | 12.2 | 14.8 | 17.5 | 18.3 | 19.0 | 20.8 | 22.4 | 23.5 |
|                    | 4.6  | 5.9  | 6.7  | 7.6  | 9.0  | 10.3 | 10.7 | 11.0 | 12.0 | 12.8 | 13.3 |
| 10 Minuten         | 9.3  | 14.0 | 16.8 | 20.2 | 24.9 | 29.7 | 31.2 | 32.4 | 35.9 | 38.7 | 40.6 |
|                    | 7.8  | 11.2 | 13.2 | 15.7 | 19.1 | 22.6 | 23.7 | 24.6 | 27.1 | 29.1 | 30.5 |
|                    | 6.2  | 8.2  | 9.3  | 10.8 | 12.8 | 14.8 | 15.5 | 16.0 | 17.5 | 18.7 | 19.4 |
| 15 Minuten         | 10.8 | 16.4 | 19.7 | 23.7 | 29.3 | 35.0 | 36.8 | 38.2 | 42.3 | 45.6 | 47.9 |
|                    | 9.0  | 13.0 | 15.4 | 18.3 | 22.2 | 26.3 | 27.6 | 28.6 | 31.6 | 33.9 | 35.5 |
|                    | 7.3  | 9.7  | 11.1 | 12.9 | 15.2 | 17.7 | 18.4 | 19.1 | 20.9 | 22.3 | 23.2 |
| 20 Minuten         | 11.8 | 18.0 | 21.7 | 26.2 | 32.4 | 38.7 | 40.7 | 42.2 | 46.9 | 50.5 | 53.1 |
|                    | 10.0 | 14.4 | 16.9 | 20.2 | 24.6 | 29.0 | 30.4 | 31.5 | 34.8 | 37.3 | 39.2 |
|                    | 8.3  | 11.0 | 12.4 | 14.5 | 17.2 | 19.9 | 20.7 | 21.4 | 23.4 | 24.9 | 26.1 |
| 30 Minuten         | 13.6 | 20.8 | 25.0 | 30.4 | 37.6 | 44.9 | 47.1 | 49.0 | 54.4 | 58.7 | 61.7 |
|                    | 11.6 | 16.5 | 19.5 | 23.2 | 28.1 | 33.2 | 34.7 | 36.0 | 39.8 | 42.7 | 44.8 |
|                    | 9.8  | 12.8 | 14.7 | 17.0 | 20.0 | 23.1 | 24.1 | 24.9 | 27.2 | 29.0 | 30.3 |
| 45 Minuten         | 15.5 | 23.9 | 28.9 | 35.1 | 43.5 | 51.9 | 54.6 | 56.9 | 63.1 | 68.0 | 71.5 |
|                    | 13.4 | 19.0 | 22.3 | 26.5 | 32.1 | 37.8 | 39.6 | 41.1 | 45.3 | 48.6 | 51.0 |
|                    | 11.7 | 15.1 | 17.2 | 19.7 | 23.2 | 26.7 | 27.8 | 28.8 | 31.4 | 33.4 | 34.9 |

Abbildung 13: Auszug aus der Tabelle der Bemessungsniederschläge für den gewählten Gitterpunkt (Quelle: eHYD.gv.at)

Über das eHYD Portal des BMLFUW können diese Daten bereits seit dem Jahr 2007 direkt bezogen werden. Die verfügbaren Messreihen (z. B. Niederschlagstagesummen oder Grundwasserstands-Monatsmittel) reichen vielfach bis Anfang der 70er Jahre manchmal auch noch deutlich weiter zurück.

#### *Datenbezug aus den Hydrografischen Jahrbüchern*

Seit dem Gründungsjahr des Hydrografischen Dienstes in Österreich 1893 werden die gesammelten Daten im Hydrografischen Jahrbuch veröffentlicht. Enthalten sind im Wesentlichen Tabellen mit charakteristischen Kennzahlen der Wasserhaushaltskomponenten Niederschlag, Abfluss und Grundwasser. Das aktuelle Jahrbuch sowie ältere Ausgaben können auf der Website des BMLFUW ([www.bmlfuw.gv.at](http://www.bmlfuw.gv.at)) heruntergeladen werden.

Wie im Onlineportal eHYD, werden auch in den Jahrbüchern des Hydrografischen Dienstes die aufgezeichneten und weiterverarbeiteten Daten im Allgemeinen erst mit einer Verzögerung von rund zwei Jahren veröffentlicht. Dieser Zeitraum wird benötigt um die Daten zu überprüfen und zu verifizieren bevor sie veröffentlicht werden.

#### **4.3.4. MONITORINGDATEN**

Monitoring Daten werden für die Kalibrierung eines hydraulischen Modells benötigt. Hierbei kann zwischen Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet sowie Wasserstands- und Durchflussmessungen im Kanalnetz unterschieden werden.

##### **4.3.4.1. NIEDERSCHLAGSMESSUNG**

Bei der Niederschlagsmessung kommen heute hauptsächlich Wippen und Waagen zum Einsatz. Da Regenereignisse regional sehr unterschiedlich ausfallen können, empfiehlt es sich in Abhängigkeit von Größe und Topographie des untersuchten Gebietes mehrere Messstellen einzurichten. Mögliche Standorte sollten idealerweise nicht öffentlich zugänglich sein, auch eine Regenabschattung durch Bäume odgl. muss vermieden werden. Auch ist auf eine horizontale Ausrichtung der Messeinrichtung zu achten (Vermeidung von Schiefstellungen).

Verschieden Messinstrumente zur Erfassung des Niederschlags sind:

- Einfache analoge Niederschlagsmesser  
Nach oben offene zylindrische Gefäße die den Gesamtniederschlag punktuell messen.
- Totalisator / Niederschlagsmesser nach Hellmann (Ereignissumme, Punktmessung)  
Normierter Trichter mit einem geeichten Messbehälter zur punktuellen Messung des Gesamtniederschlags während eines Ereignisses.
- Niederschlagswippe (kontinuierliche Messung, Punktmessung)  
Misst punktuell kontinuierlich den Niederschlag nach dem Wippenprinzip (ein Wippenumschlag → ein Ausschlag am Datensreiber). Kann in analoger oder digitaler Form ausgeführt sein.
- Niederschlagswaage (kontinuierliche Messung, Punktmessung)  
Misst punktuell kontinuierlich den Niederschlag sowie die Verdunstung mit einer Waage, die die Volumenunterschiede der aufgefangenen Regenmenge digital mitprotokolliert.
- Regenradar  
Misst flächendeckend die Niederschlagsintensität anhand der Reflexion von ausgesendeten Mikrowellen. Ohne punktuelle Messungen der Niederschlagsmenge am Boden kann damit aber keine genaue Aussage über die tatsächliche Niederschlagsmenge getroffen werden.
- Optische Messungen  
Misst punktuell kontinuierlich den Niederschlag ähnlich wie die Niederschlagswippe, wobei einzelne Tropfen anhand einer Laserdiode und einem Fototransistor gemessen werden.
- Akustische Regenmessungen  
Misst punktuelle kontinuierlich den Niederschlag anhand der akustischen Eigenschaften der einzelnen Regentropfen wenn diese auf eine Wasseroberfläche auftreffen.

#### 4.3.4.2. ABFLUSSMESSUNG

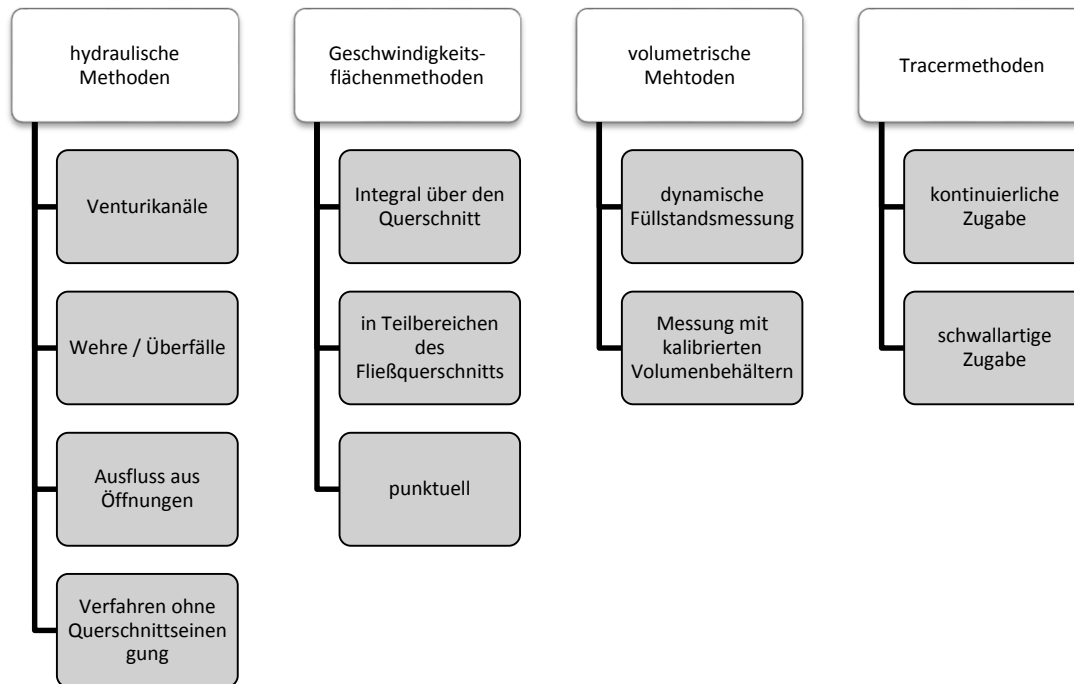


Abbildung 14: Übersicht der Methoden zur Durchflussmessung (DWA, 2011, modifiziert)

Abflussmessdaten resultieren aus der Bestimmung des tatsächlich vorhandenen Volumenstroms innerhalb des Kanalisationssystems in Korrelation mit Niederschlagsereignissen und sind für die Kalibrierung eines Modells unerlässlich. Dieser Volumenstrom kann entweder als Volumen, das pro Zeiteinheit fließt bzw. als Produkt aus durchströmter Fläche und mittlerer Strömungsgeschwindigkeit angegeben werden. Daraus ist ersichtlich, dass der Volumenstrom nicht direkt gemessen werden kann. Er wird dementsprechend aus den jeweiligen Messgrößen berechnet. Die meisten Verfahren zur Abflussmessung erfordern daher eine Erfassung von Wasserstand und/ oder mittlerer Fließgeschwindigkeit (Frey 2004). Allgemein wird von Volumenstrommessungen ein maximaler Fehler von rund 10-15 % erwartet (Hoppe 2006). Als gebräuchliche Messmethoden werden unterschieden (Frey 2004):

- **Magnetisch Induktive Durchflussmessung:**  
Für die Ermittlung des Volumenstroms durch Messung der Fließgeschwindigkeit kommt häufig ein MID (Magnetisch Induktiver Durchflussmesser) zum Einsatz. Dabei wird die geschwindigkeitsproportionale Spannung durch Wechselwirkung zwischen strömender Flüssigkeit (elektrisch leitfähig) und einem Magnetfeld gemessen – anschließend wird daraus der Volumenstrom berechnet. Dementsprechend ist eine Mindestleitfähigkeit der Flüssigkeit (in der Regel 5 mS/m) erforderlich, damit die induzierte Spannung nicht von der Beschaffenheit der Flüssigkeit abhängt (bei Abwasser und Schlamm wird sie immer überschritten). Dieses System basiert auf der Geschwindigkeitsmessung in einem bekannten Fließquerschnitt – daher ist für die Kenntnis des Fließquerschnittes Vollfüllung des Messrohres erforderlich. Um dies in einer Freispiegelleitung zu gewährleisten muss die Messstelle in Übergangsschächten angeordnet werden. Durch das Messsystem an sich würden im Grunde keinerlei hydraulische Verluste entstehen. Ganz im Gegenteil ist dies jedoch für die innerhalb von Freispiegelleitungen erforderlichen Konstruktionen zur Gewährleistung der Vollfüllung der Fall – sie müssen dementsprechend hydraulisch nachgewiesen werden. Es gibt neuere Geräte, die für Messungen bei Teilfüllung konzipiert sind, zu deren Eignung für Durchflussmessungen von Abwasser jedoch noch wenige Referenzen vorliegen. Vorteile der magnetisch-induktiven Durchflussmessung liegen beispielsweise in der hohen Messgenauigkeit, der problemlosen Messung bei Rückstauverhältnissen oder möglicher Messung von Schlämmen. Nachteile bilden hingegen hohe Investitionskosten, schlechte Kontrollmöglichkeit oder die problematische Reinigung (Frey 2004).
- **Ultraschall-Laufzeitverfahren/ Ultraschall-Phasendifferenzverfahren:**  
Hierbei wird mittels zweier Messköpfe die Laufzeit der Schallimpulse diagonal zur Strömung gemessen – eine Messung erfolgt ausschließlich auf der durch die Sensoren definierten Strecke. In der Regel geht man davon aus, dass das Strömungsprofil radialsymmetrisch ist, demnach entspricht die linienförmige mittlere Geschwindigkeit einer flächenhaft gemessenen Geschwindigkeit. Vorteile dieses Verfahrens liegen beispielsweise in einer möglichen nachträglichen Anbringung, der einfachen Montage und der Vermeidung von Druckverlusten. Bei Teilfüllung ist diese Messmethode nicht einsetzbar (es sind

jedoch Sonderkonstruktionen für Gerinne verfügbar). Einen weiteren Nachteil bildet die hohe Störanfälligkeit durch Verunreinigungen (Frey 2004).

- **Ultraschall-Dopplerverfahren:**  
Bei diesem Verfahren befinden sich Sender und Empfänger an der Gerinnesohle – es werden Ultraschallsignale abgegeben, die durch Partikel in der Flüssigkeit reflektiert werden. Zuzufolge der bewegten Partikel entsteht eine geschwindigkeitsproportionale Frequenzverschiebung (Überlagerung der Schallkegel von Sender und Empfänger). Somit wird die punktuelle Geschwindigkeit gemessen. Für eine adäquate Umrechnung auf die mittlere Geschwindigkeit der strömenden Flüssigkeit ist zwingend eine Kalibrierung erforderlich. Vorteile bestehen bei dieser Messmethode aufgrund der Möglichkeit des nachträglichen Einbaus und problemlosen Messung bei Rückstausituationen. Des Weiteren ist kein Aufstau erforderlich und der Strömungsquerschnitt wird nur marginal eingeengt. Als wesentlicher Nachteil sind regelmäßige Anlagerungen an Sensor und Kabel zu nennen – diese können die Messungen beeinträchtigen, somit besteht auch ein hoher Wartungsaufwand. Zudem ist die Montage des Sensors aufwändig und eine Kalibrierung vor Ort erforderlich. Niedrige Wasserstände können mit dieser Messmethode nicht erfasst werden (Frey 2004).
- **Radarmessung:**  
Vermehrt kommen inzwischen Radarmessungen zum Einsatz – ihr Vorteil gegenüber anderen Messsystemen liegt überwiegend im berührungslosen und somit weniger wartungsintensiven Funktionsprinzip (Baumann 2009). Mittels Dopplerverschiebung wird anhand des reflektierten Radarsignals die Oberflächengeschwindigkeit der strömenden Flüssigkeit ermittelt. Mit dieser Methode kann, unter Voraussetzung eines leichten Wellenschlags, ein im Vergleich zu anderen Methoden großer Oberflächenbereich bei der Messung erfasst werden. Der zugehörige Wasserstand wird mittels Ultraschall gemessen. Die Strömung wird durch die Messeinrichtung nicht beeinflusst und es entstehen keinerlei Druckverluste. Nachteile dieser Messmethode sind die vor Ort erforderliche Kalibrierung, Messabweichungen verursacht durch Ablagerungen oder Einstau sowie die Messung von Geschwindigkeit und Wassertiefe an unterschiedlichen Stellen (Frey 2004).
- **Venturikanal und Messwehr**  
Venturikanal und Messwehr zählen zum Sonderfall von Messmethoden mit Staukörpern im Gerinnequerschnitt. Vorteile des Venturikanals liegen dabei in der guten Eignung für ungereinigtes Abwasser, während der hohe Platzbedarf und Bauaufwand nachteilig anzuführen sind. Bei Messungen mittels Venturikanal müssen Wasserstandsmessungen erfolgen. Messwehre sind für ungereinigtes Abwasser mit Sediment- und Grobstoffen ungeeignet (Frey 2004).

Für Wasserstandsmessungen werden überwiegend piezometrische Verfahren (Druckmessung) und Ultraschallmesssysteme (Echolot) eingesetzt. Beim Ultraschallverfahren wird die Reflexion von Signalen an der Wasseroberfläche aufgezeichnet und somit der jeweilige Wasserstand ermittelt. Neuere Geräte verfügen über Temperaturkompensatoren zur Berücksichtigung von Schwankungen der Schallausbreitung zufolge der Temperaturverhältnisse am Messkopf – Temperaturveränderungen entlang des Messpfades können jedoch nicht berücksichtigt werden. Schaumbildung an der Wasseroberfläche oder starker Wellenschlag stören die Reflexion und verfälschen somit die Messergebnisse (Baumann 2009). Druckmessungen reagieren sensibel auf Ablagerungen aufgrund direkten Verschmutzens oder lokaler Strömungsverfälschung (Frey 2004). Des Weiteren gibt es Untersuchungen zur Nutzung von billigen Messmethoden zur Unterstützung der Abflussmessungen bzw. der Messungen von Mischwasserüberläufen mittels Temperatursensoren (Hofer *et al.* 2014) und/oder anderen Sensoren welche nur binäre Daten liefern (Wani *et al.* 2015).

Um Fehler bzw. Unsicherheiten in den Messdaten zu minimieren, müssen die genutzten Sensoren überprüft und kalibriert werden. Dies kann zuerst durch Funktionsprüfung unter Laborbedingungen erfolgen, muss dann allerdings auch an der Messstelle erfolgen. Frey (2004) empfiehlt dazu drei Schritte:

- Die richtige Wahl der Messstelle durch Beurteilung der Strömungsverhältnisse, Ablagerungen, defekte Einrichtungen (verbogene Halterungen, usw.), Einstau (Fließwechsel), Abmessungen und Einbaugeometrie der Messeinrichtungen (z. B. Beruhigungsstrecken), etc.
- Nach der Funktionsprüfung vor Einbau Kontrolle ob die Messwertverarbeitung richtig eingestellt ist (z. B. Nullpunkt, Wasserstandsmessung, H-Q-Linie) und die Signalübertragung funktioniert (Anzeige vor Ort – Signalausgang – Schaltwarte – Registrierung).
- Parallelmessungen bei denen der Durchfluss oder Wasserstand mit einem unabhängigen Messverfahren zu ermitteln ist. Die Auswahl des Messverfahrens richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und der erforderlichen Genauigkeit. Die zur Vergleichsmessung eingesetzten Messverfahren sollten idealerweise eine höhere Messwertgenauigkeit aufweisen als die zu überprüfende Messmethode.

Weiterführende Informationen zur Durchführung von Messkampagne sowie zu den gängigen (Durchfluss-) Messverfahren können unter anderem dem DWA-M 181 (2011) und dem ÖWAV-RB 38 (2007) entnommen werden.

#### 4.3.4.3. QUALITÄTSMESSUNG

Im Folgenden werden die gängigen Parameter zur Qualitätsmessung aufgelistet. Die nachfolgende Auswahl legt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und dient lediglich zur Einführung in die Thematik. Für weiterführende Informationen kann in Gujer (2007), Kainz et al (2012) oder Rouault (2009) nachgeschlagen werden.

- Partikuläre Parameter
  - Abfiltrierbare Stoffe (AFS)
- Kohlenstoffparameter
  - Biochemischen Sauerstoffbedarf während 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>)
  - Homogener chemischer Sauerstoffbedarf (CSB<sub>hom</sub>)
  - Membranfiltrierbarer chemischer Sauerstoffbedarf (CSB<sub>mf</sub>)
  - Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon – DOC)
  - Gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon – TOC)
- Stickstoffparameter
  - Ammonium-Stickstoff (NH<sub>4</sub>-N)
  - Nitrat-Stickstoff (NO<sub>3</sub>-N)
- Phosphorparameter
  - Phosphat (PO<sub>4</sub>)
  - Phosphor (P<sub>tot</sub>)
- Sonstige messbare Parameter
  - Chlorid (Cl)
  - Kalium (Ka)
  - Leitfähigkeit (Lf)
  - pH-Wert (pH)
  - Sauerstoffkonzentration (O<sub>2</sub>)
  - Temperatur

#### **Probenahme**

Die repräsentative Entnahme von Abwasserproben ist insbesondere bei partikelhaltigen Rohabwasser-proben der wichtigste und fehleranfälligste Arbeitsschritt bei der Bestimmung von Abwasserinhaltsstoffen. Im Unterschied zur Analytik im Labor ist dieser Arbeitsschritt für den betrachteten Zeitpunkt bzw. Zeitraum auch nicht mehr wiederholbar.

Gemäß der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV, 1996) sind die Konzentrationen und Frachten von Abwasserinhaltsstoffen (Eigenschaften) der Anlage A an Hand mengenproportionaler nicht abgesetzter homogenisierter Tagesmischproben zu bestimmen.

Ausgenommen davon sind die Parameter Temperatur, abfiltrierbare Stoffe, absetzbare Stoffe, pH-Wert, Chrom-VI, freies Chlor, Gesamtchlor, Cyanid, Nitrit, Sulfid, Sulfit, POX und BTX der Anlage A. Bei diesen Abwasserinhaltsstoffen sind Stichproben zu ziehen. Tägliche Häufigkeit und Intervalle der Stichprobennahmen sind in Abhängigkeit vom Abflussverhalten der Abwasserinhaltsstoffe (Eigenschaften) festzulegen.

Konzentrationen und Frachten sind gleichfalls mengenproportional (in Ausnahmefällen zeitproportional) zu ermitteln.

Nachdem im gegenständlichen Projekt eine frachtmäßige Abschätzung von in die Oberflächengewässer eingetragenen Spurenstoffen erfolgen sollte, sollten demnach alle chemischen Analysen an mengenproportional gezogenen Mischproben analysiert werden, insoweit dies möglich war. War die Entnahme mengenproportionaler Proben aufgrund lokaler Gegebenheiten nicht möglich, so waren die Proben zeitproportional zu ziehen.

Für die ereignisabhängige, mengenproportionale Probenahme über die gesamte Dauer eines Niederschlags- bzw. Entlastungsereignisses waren ereignisgesteuerte, automatische Probenahmegeräte und für die mengenproportionale Ansteuerung geeignete Durchflussmesseinrichtungen erforderlich, welche die gesamte mögliche Variabilität des Abflussgeschehens messtechnisch erfassen konnten.

Entsprechende Anforderungen an automatische Probenahmesysteme sind in den folgenden Normenwerken formuliert:

- ÖNORM M 6258 (1992): Richtlinien für die Probenahme-Technik – Probenahme von Abwasser
- ÖNORM M 5891 (2003): Automatisierte Entnahme von Wasser- und Abwasserproben - Allgemeines
- ÖNORM M 5892 (2003): Automatische Probenentnahmestationen für die Entnahme von Wasser- und Abwasserproben – Anforderungen und Prüfung
- ÖNORM M 5893 (2003): Automatische Probenentnahmegeräte (Sampler) für die Entnahme von Wasser- und Abwasserproben – Anforderungen Prüfung und Normkonformität
- ÖNORM M 5894 (2003): Abnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfung automatischer Probenentnahmegeräte (Sampler)

### **Arten der Probenahme**

Prinzipiell unterscheidet die ÖNORM M 5891 (2003) zwischen einer kontinuierlichen und einer diskontinuierlichen Probenahme und versteht unter der kontinuierlichen Probenahme eine Probenentnahme eines dem Volumenstrom im Untersuchungswasser durchflussproportionalen Teilstroms und unter einer diskontinuierlichen Probenahme eine Probenentnahme im Rahmen eines zeit-, volumen- oder durchflussproportionalen bzw. ereignisgesteuerten Entnahmeprogramms.

Die kontinuierliche Probenahme ist theoretisch die genaueste Art der Probenahme und immer dann vorrangig zu verwenden, wenn sowohl der Volumenstrom als auch die Konzentration der gesuchten Inhaltsstoffe signifikant und beliebig schwanken, was bei den zu untersuchenden Stofffrachtflüssen dieses Projektes zumeist auch zu erwarten war.

Auf Grund der beschriebenen niederschlagsbedingten Dynamik und Variabilität des Abflussgeschehens ist eine kontinuierliche, mengenproportionale Probenahme praktisch nicht zuverlässig durchführbar, weshalb in der Praxis nur diskontinuierliche Probenahmen zur Anwendung kommen.

Dabei unterscheidet die ÖNORM M 5891 (2003) zwischen:

- Zeitproportionale Probenahme
- Mengenproportionale Probenahme
  - Volumenproportionale Probenahme
  - Durchflussproportionale Probenahme
- Ereignisgesteuerte Probenahme

#### *Zeitproportionale Probenahme*

Es werden in konstanten Zeitabständen ebenfalls konstante Probenvolumina entnommen und danach gemischt. Die Anwendung dieser Methode ist nur bei gleich bleibenden bzw. gering schwankenden Volumenströmen möglich.

#### *Mengenproportionale Probenahme*

Es kann zwischen einer volumenproportionalen und einer durchflussproportionalen Probenahme unterschieden werden. Bei Anwendung einer volumenproportionalen Probenahme erfolgt die Entnahme von konstanten Teilprobenvolumina nach Durchfluss einer ebenfalls konstanten Wassermenge.

Im Gegensatz dazu werden bei einer durchflussproportionalen Probenahme in konstanten Zeitabständen im Verhältnis zum jeweiligen Durchfluss stehende Teilprobenvolumina entnommen. Dieses kann theoretisch als genaueres Verfahren bezeichnet werden, ist aufgrund der variablen Teilprobenentnahme in der Praxis aber deutlich schwieriger umzusetzen, da eine Beschränkung des aufnehmbaren

Gesamtprobenvolumens durch das vorhandene Volumen des Auffangbehälters besteht.

### Ereignisgesteuerte Probenahme

Die Probenentnahme wird in Abhängigkeit eines Ereignisses durchgeführt. Der Beginn und das Ende eines Ereignisses werden dabei durch die Festlegung von Grenzwerten definiert. Es erfolgt die Entnahme von konstanten Probevolumina bezogen auf ein ebenfalls konstantes Zeitintervall.

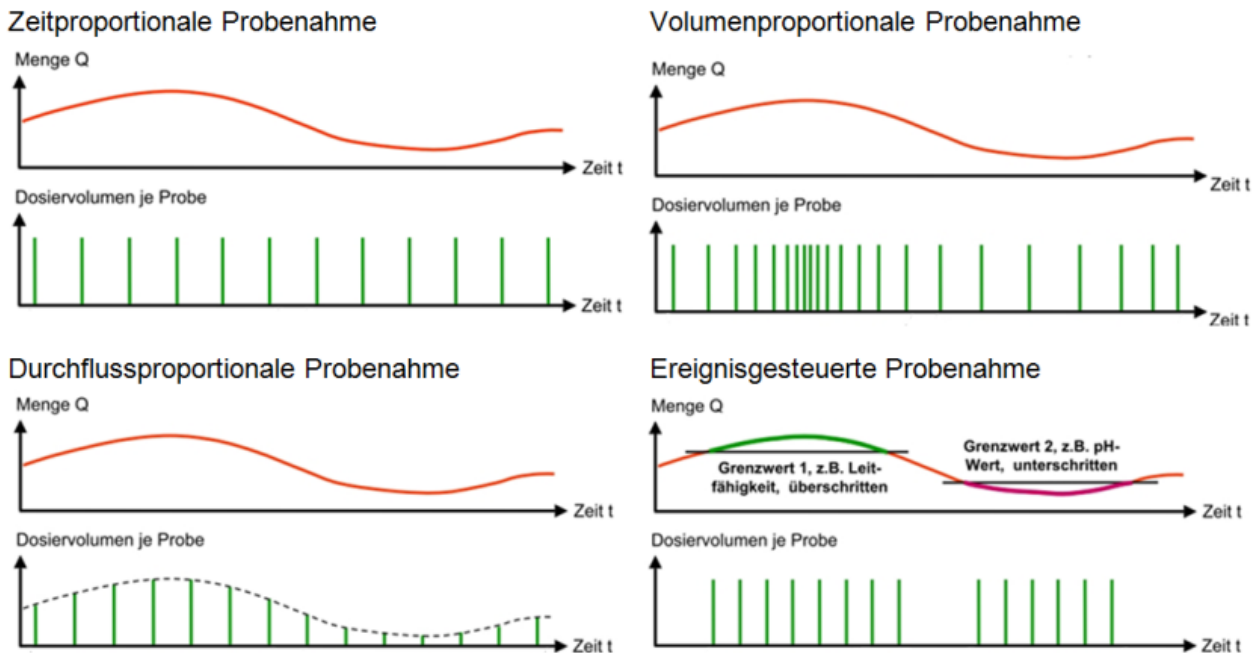


Abbildung 15: Arten der diskontinuierlichen Probenahme nach ÖNORM M 5891 (2003) (Pfund, 2005)

Die durchflussproportionale Probenentnahme wäre die theoretisch genauere und vollständigere Methode, sie ist jedoch auf Grund der dafür erforderlichen variablen Teilvolumenentnahmen deutlich schwieriger technisch zuverlässig umzusetzen, als die volumenproportionale Probenentnahme, weshalb man diese in der Praxis bei den gängigen automatischen Probenahmegerätehersteller zumeist antrifft.

Dabei ist man zumeist auf maximal 24 Probenahmeflaschen beschränkt, was bei der zu erwartenden Dynamik bei den zu untersuchenden Abflussgeschehen die Parametrierung der ereignisgesteuerten Probenahmegeräte schwierig macht.

Für die Teilprobenentnahme und -förderung sind entweder schöpfende (z. B. Dr. Haider) oder saugende Systeme (Vakuum oder Peristaltik) am Markt, wobei die Vakuumsysteme generell die Teilproben nur volumenproportional ziehen können, da bei ihnen die automatische Entnahme von durchflussproportionalen, variablen Teilproben praktisch nicht möglich ist.

### Probenahme mit Peristaltiksystemen

Eine Peristaltikpumpe (Schlauchquetschpumpe) funktioniert nach dem Verdrängungsprinzip. Dabei wird das zu fördernde Medium mithilfe äußerlicher, mechanischer Verformung durch einen Schlauch gedrückt, der sich außen im Gehäuse der Pumpe abstützt und von innen durch einen rotierenden Gleitschuh abgeklemmt wird (siehe Abbildung 16).

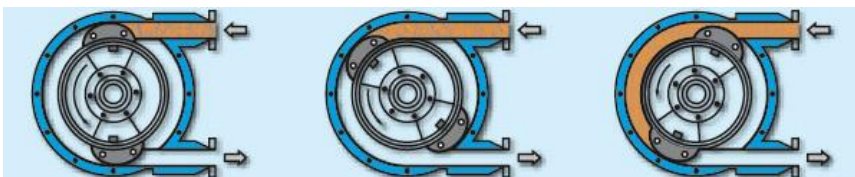


Abbildung 16: Funktionsprinzip eines Peristaltiksystems (steinle-pumpen.de, Stand 2012-02-07)

Die Entnahme einer Teilprobe erfolgt in vier Schritten. Zunächst muss die Leitung freigeblasen werden. Dies geschieht durch ein kurzes Rückwärtslaufen der Pumpe. Nach der Registrierung eines Impulssignals läuft die Pumpe vorwärts und saugt das Fördermedium

an. Nach der Abfüllung des erforderlichen Teilprobenvolumens erfolgt ein erneutes Freiblasen der Leitung. Eine Darstellung des Funktionsablaufs kann Abbildung 17 entnommen werden.

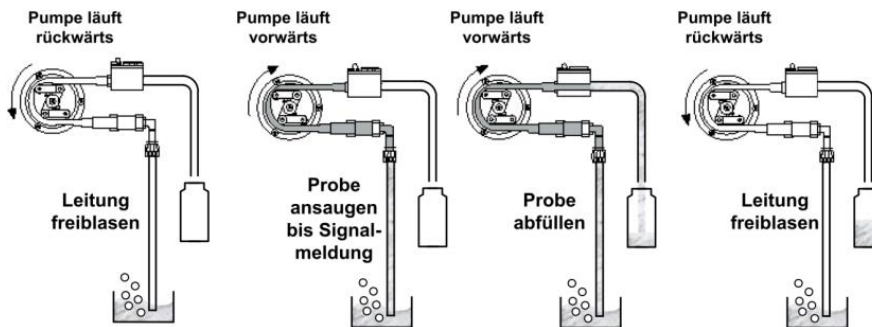


Abbildung 17: Probenahmeablauf eines Peristaltiksystems (Pfund, 2005)

#### Probenahme mittels Vakuumsystemen

Beim Einsatz einer Vakuumpumpe erfolgt die Entnahme einer Teilprobe diskontinuierlich über ein Vakuumsystem. Im Bereich der Abwassertechnik besteht dieses Probenahmesystem aus einer Vakuum-Membranpumpe, einem Pneumatikschrittschalter und dem Dosiersystem (Abbildung 18).

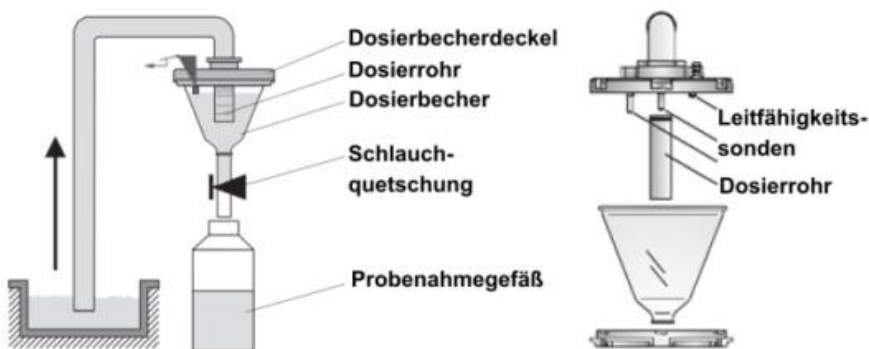


Abbildung 18: Dosiersystem eines Vakuumsystems (www.at.endress.com, Stand 2012-02-09)

Die Entnahme einer Teilprobe kann in vier Arbeitsschritte unterteilt werden (Abbildung 19). Zunächst erfolgt ein Freiblasen der Ansaugleitung durch die Membranpumpe über das Dosiersystem. Danach wird durch den Pneumatikschrittschalter der Luftweg der Membranpumpe auf Ansaugen umgestellt, wodurch die Förderung des Untersuchungsmediums in den Dosierbecher erfolgt.

Im Deckel des Dosierbechers sind zumeist drei Leitfähigkeitssonden angeordnet. Beim Ansaugvorgang erreicht das Fördermedium zunächst die ersten beiden Leitfähigkeitssonden, wodurch die Füllung des Dosierbechers erkannt und der Ansaugvorgang unterbrochen wird. Bei einem Ausfall dieser Sonden sorgt die dritte angeordnete Leitfähigkeitssonde für eine Sicherheitsabschaltung des Systems.

In Abhängigkeit der Stellung des Dosierrohres fließt das überschüssige Probenvolumen zur Entnahmestelle zurück (das erforderliche Teilprobenvolumen kann durch eine Verschiebung des Dosierrohres eingestellt werden). Danach wird die Schlauchquetschung geöffnet und somit das vordefinierte Teilprobenvolumen in das Probenahmegefäß abgelassen und gesammelt.

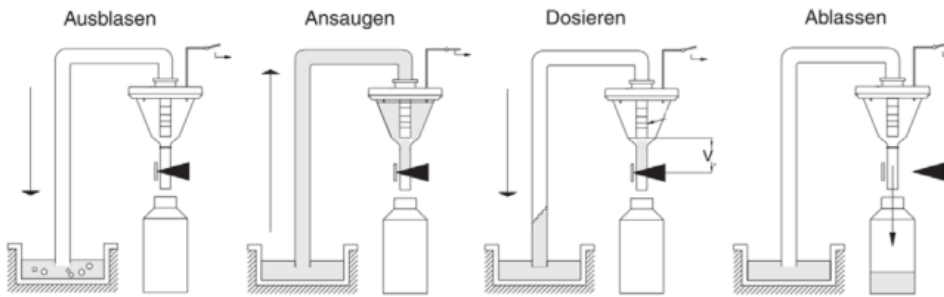


Abbildung 19: Probenahmeablauf eines Vakuumsystems ([www.at.endress.com](http://www.at.endress.com), Stand 2012-02-09)

Für die Durchführung einer automatisierten Probenahme gelten für die verwendeten Probenahmegeräte (Sampler) laut ÖNORM M 5891 – 5894 (2003) sinngemäß folgende Grundsätze:

- Zeitintervall zwischen zwei Entnahmen sollte 15 Minuten nicht überschreiten (Gilt vor allem für die automatische Probenahme von Tagesmischproben auf Kläranlagen; bei der Beprobung von kurzen Regenereignissen können die Zeitintervalle zwischen den Teilprobenentnahmen auch unter 15 min betragen).
- Die zu erfassenden Inhaltsstoffe dürfen durch den Entnahmevorgang und die Aufbewahrung im Sampler nicht verändert werden. Dies gilt besonders bei leicht flüchtigen oder instabilen Inhaltsstoffen.
- Proben sind nach Erfordernis zu konservieren (Kühlen auf  $4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , Ansäuern oder Vergiften).
- Sicherstellung einer ausreichenden Durchmischung am Entnahmepunkt bei hohem Feststoffgehalt.
- Verhinderung einer Fraktionierung oder Verzopfung im Probenahmesystem.
- Schlaucheinbau und Fixierung des Ansaugpunktes sind von Bedeutung.
- Der Ansaugpunkt sollte nicht an der Gerinnesohle liegen und die Ausrichtung der Entnahmeöffnung muss in Fließrichtung erfolgen.
- Bei Anbringung eines Siebkorb ist bei stark zur Verzopfung neigenden Inhaltsstoffen auf ein beschleunigtes Zuwachsen des Ansaugpunktes zu achten.
- Es ist auf eine höhere Entnahmegeschwindigkeit im Ansaugschlauch im Vergleich zur Fließgeschwindigkeit am Entnahmepunkt zu achten.
- Es muss die Entnahme eines Teilprobenvolumens von mind. 20 ml ( $\pm 5\text{ \%} = 1\text{ ml}$ ) sichergestellt werden.
- Der Innendurchmesser des Entnahmeschlauchs sollte mind. 9,5 mm betragen.
- Die optimale, mittlere Entnahmegeschwindigkeit liegt bis zu einer Förderhöhe von 7 m bei mindestens 0,6 m/s.
- Eine Variabilität des Zuflusses von 1:12 soll bewältigbar sein (Variabilität kann bei Mischwasserkanälen deutlich höher liegen).
- Die erforderliche Messgenauigkeit der Durchflussmessung ist über folgende Verkehrsfehlergrenzen nach ÖNORM M 5892 (2003) definiert:
  - Durchflussmessung kleiner 30 % von  $Q_{\max}$  → Fehlergrenze  $\leq 8\text{ \%}$
  - Durchflussmessung größer 30 % von  $Q_{\max}$  → Fehlergrenze  $\leq 6\text{ \%}$

Automatische Probenehmer haben sehr oft auch technische Probleme (Brombach und Fuchs, 2002). Ist die Ansaughöhe groß, weil z. B. der Kanal tief unten in der Erde liegt, das Probenahmegerät aber über Flur aufgestellt ist, lässt sich beobachten, dass es im langen, vertikalen Ansaugschlauch zu Klassierungseffekten kommt. Schnell absinkende Partikel, z. B. Sandkörner, lassen sich nicht vollständig bis in den Probenehmer hochsaugen. Es bilden sich auch bei großer Ansaughöhe auch manchmal Pfropfen aus absinkenden Stoffen, die wiederum als Filter für das nachgesaugte Wasser wirken.

Es ist auch bekannt, dass häufig die Einsaugöffnung des Probenahmeschlauches durch Toilettenpapier verlegt wird, welches wie ein Filter wirkt. Auch gibt es gelegentlich Verstopfungen in der Saugleitung. All diese Effekte sind im Nachhinein schwer zu erkennen.

Nach der Lösung der zuvor beschriebenen Probleme beim Probenehmen bleibt zum Schluss dann noch die ganz konkrete Frage, wo

genau im Fließquerschnitt soll man eigentlich die Proben entnehmen? Von der Oberfläche, tief am Boden, nahe der Seitenwand oder mehr in Strömungsmittelpunkt? Dabei kommen Brombach und Fuchs (2002) zum Schluss, dass es keinen Punkt im Fließquerschnitt gibt, der für alle Stoffklassen eine repräsentative Konzentration liefert.

Die zuverlässige Probenahme aus Abwasserkanälen zur Messung von Schmutzstoffkonzentrationen wird bei der vorhandenen Variabilität des Stofftransportes in diesen Transportsystemen immer ein sehr schwieriges Problem und eine große Herausforderung bleiben und damit aber ganz wesentlich die Genauigkeit und die Schlussfolgerungen betreffend der transportierten und emittierten Stofffrachten mitbestimmen.

Für die Frachtermittlung ist eine mengenproportionale Probenahme mit einem (sofern möglich) gekühlten Probenahmegerät Voraussetzung und es wurden dafür auch mengenproportionale Probenahmen angestrebt. Da dies aufgrund der lokalen Gegebenheiten jedoch nicht überall möglich war, wurden an diesen Probenahmestellen zeitproportionale Probenahmen durchgeführt.

Die Ansteuerung der Probenahmegeräte muss über eine (möglichst stationäre) Durchflussmengenmessung erfolgen. Der Start der Probenahme erfolgt ereignisgesteuert. Das Probenahmesystem sollte sofort bei Eintreffen eines relevanten Niederschlagsereignisses einen Alarm (z. B. via GSM Modem) an die betreuenden Personen versenden können. Wegen der zu erwartenden hohen hydraulischen Dynamik musste spätestens nach 24 Stunden das Probenahmegerät gewartet werden und die ersten (Teil-) Proben entnommen werden. Die Teilproben wurden unter richtiger Gewichtung vereinigt. Der Impulsteiler im Probenahmegerät kann in der Regel nicht variabel programmiert werden. Die optimale Ansaugung der Probe sollte den Konzentrationsverlauf über die gesamte Probe repräsentieren. Im Idealfall gelingt dies durch den Einsatz eines flexibel gelagerten Schlauchs, der beim Ausblasen während des Spülvorgangs aufschwimmt und dann während der eigentlichen Probenahme absinkt.

# 5. ALLGEMEINE MODELLBILDUNG

## 5.1. PROZESSE IN DER SIEDLUNGSENTWÄSSERUNG

### 5.1.1. PROZESSE DER NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-MODELLIERUNG (N-A-MODELLIERUNG)

Vom Auftreffen auf der Oberfläche bis zur Einleitung in ein Oberflächengewässer durchläuft das Niederschlagswasser mitunter mehrere Prozesse, welche bei der Niederschlag-Abfluss-Modellierung berücksichtigt und abgebildet werden müssen. Dabei gilt es die Prozesse im Einzugsgebiet und in den Gerinnen bzw. Kanalnetzen abzubilden. Die Abmessungen von existierenden oder geplanten Profilen müssen hierbei bekannt sein. Eine unmittelbare Bemessung der erforderlichen Profile kann auf diese Weise nicht durchgeführt werden, sondern nur durch einen iterativen Prozess bestimmt werden.

Niederschlag-Abfluss-Modelle bestehen im Allgemeinen aus den folgenden zwei Komponenten:

- Oberflächenabfluss bzw. Hydrologie
- Abflusstransport im Entwässerungsnetz bzw. Hydraulik

Mit dem Oberflächenabflussmodell werden die Abflussvorgänge auf der Oberfläche abgebildet. Diese gehen vom Auftreffen des als Belastung angesetzten Niederschlags auf der Oberfläche bis zum Eintreffen des Wassers an einem bestimmten Punkt, etwa dem Eintritt in das Kanalnetz. Der Abflusstransport im Entwässerungssystem behandelt hingegen die Überlagerung und Weiterleitung der Abflussteilwellen im Kanalnetz.

Beim Oberflächenabfluss wird eine weitere Unterscheidung getroffen in:

- Abflussbildung
- Abflusskonzentration

Es stellt sich die Frage, welcher Anteil des vorgegebenen Niederschlags abflusswirksam wird (effektiver Niederschlag) und welcher nicht. Dieser Vorgang wird als Abflussbildung bezeichnet. Es wird hierbei also berechnet, wieviel des gefallenen Niederschlags zum Abfluss kommt. Gesucht ist folglich der Inhalt bzw. das Volumen der Abflusswelle. Das Ergebnis der Abflussbildung wird in weiterer Folge als Eingangsgröße für die Abflusskonzentration benötigt.

Unter Abflusskonzentration versteht man die Berechnung von Abflussganglinien aus dem abflusswirksamen Niederschlag, bezogen auf Endpunkte von Teileinzugsgebieten. Umfassen Teileinzugsgebiete dabei mehrere Haltungsflächen, so wird durch die Abflusskonzentration sowohl der Abfluss auf der Oberfläche als auch der Transport im Kanal, zumeist Nebensammeln, zusammengefasst. Im Extremfall kann dies dazu führen, dass ein N-A-Modell nur noch aus der Abflussbildung und der Abflusskonzentration besteht, wenn ein gesamtes Kanalnetz oberhalb einer Entlastungsanlage oder eines Speicherbeckens in die Abflusskonzentration einbezogen wird.

Die Abflusskonzentration beschreibt die zeitliche Verteilung des Abflusses am betrachteten Punkt. Während bei der Abflussbildung nach dem Volumen der Abflusswelle gesucht wurde, beschäftigt sich die Abflusskonzentration mit der Form der Abflusswelle.

Beim Abflusstransport werden die Abflussvorgänge im Kanalnetz beschrieben. Man unterscheidet hierbei unterschiedliche Ansätze:

- Hydrologische bzw. konzeptionelle Ansätze
- Hydrodynamische Ansätze

Der gewählte Ansatz hat große Auswirkungen auf die möglichen Berechnungsergebnisse, die erforderliche Rechenzeit und damit auch auf die Anwendungsbereiche der Simulationen. Aus diesem Grund wird zumeist zwischen hydrologischen und hydrodynamischen N-A-Modellen unterschieden, wobei sich der Unterschied nur auf den Bereich des Abflusstransportes bezieht, während die Abflussbildung und Abflusskonzentration in beiden Ansätzen gleich behandelt wird, wenn auch auf unterschiedlichen räumlichen Skalen.

Weitere Prozesse der N-A-Modellierung sind die Aufteilung und/oder Speicherung an Sonderbauwerken. Dabei wird die Frage beantwortet, wie der Abfluss im Kanalsystem an vorhandenen Bauwerken aufgeteilt und/oder gespeichert wird (Verzweigungen, Mischwasserüberläufe, Mischwasserüberlaufbecken etc.).

### 5.1.1.1. NIEDERSCHLAG

Das Niederschlagsgeschehen ist die grundlegende und zumeist dominante Belastung für eine Vielzahl von siedlungswasserwirtschaftlichen Fragestellungen. Daher kommt ihm sowohl in seiner zeitlichen als auch in seiner räumlichen Ausprägung eine besondere Bedeutung zu.

Das Ziel der N-A-Modellierung bestimmt, in welcher Form der Niederschlag als Belastungsgröße für die Modellierungsstudie angesetzt wird. Dies hängt hauptsächlich vom jeweiligen Anwendungsfall (Ziel der Modellierung) ab. Traditionell wird zwischen Bemessungsregen, z.B. in Form von unterschiedlichen Modellregen, einer aus einer langjährigen Messreihe gewonnenen Starkregenserie und dem Ansatz eines mehrjährigen Niederschlagskontinuums unterschieden.

#### Bemessungsregen

Aufgrund begrenzter Rechnerkapazitäten waren Konzepte zur N-A-Berechnung in der Vergangenheit häufig dadurch limitiert dass der Rechenaufwand möglichst gering und damit in vertretbaren Grenzen gehalten werden musste. Hierfür wurde das Konzept des Bemessungsregens entwickelt. Dabei wird aus für ein bestimmtes Gebiet bekannten meteorologischen Kenngrößen ein statistisch aufbereiteter Einzelregen erstellt und dieser als Belastungsgröße für die Modellierung angesetzt.

#### *Regenspendenlinie und Blockregen*

Bei der Berechnung des Regenabflusses nach vorgegebenen Regenspendenlinien geht man von der Erkenntnis aus, dass starke Regenfälle in der Regel von kurzer Dauer sind, während schwache Regen generell länger anhalten. Die mittlere Regenintensität  $i$  [mm/min] bzw. die Regenspende  $r$  [l/(s\*ha)] nehmen bei gleicher statistischer Häufigkeit des Niederschlags mit zunehmender Regendauer ab. Die statistische Auswertung von Niederschlagsregistrierungen zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen mittlerer Regenspende  $r$ , Regendauer  $D$  und Häufigkeit  $n$  [1/a] bzw. Wiederkehrzeit  $T_n$  [a] ist in (OEWA, 2007a) bzw. (DWA, 2012) beschrieben.

In Abbildung 20 sind schematisch Regenhöhenlinien und daraus abgeleitete Regenspendenlinien dargestellt.

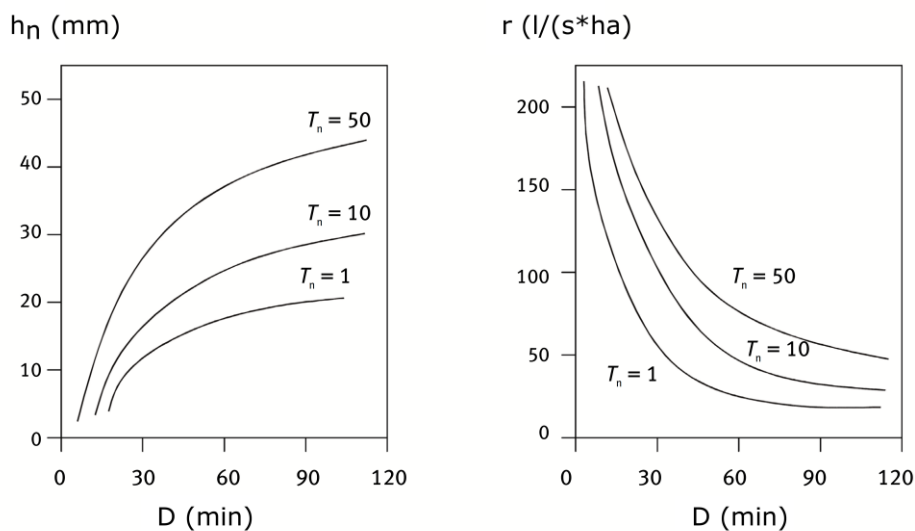


Abbildung 20: Schematische Darstellung von Regenhöhenlinien (links) und Regenspendenlinien (rechts); adaptiert nach (DWA, 2012)

Beim Blockregen wird die Regenhöhe bzw. die Regenspende einer bestimmten Dauer umgesetzt in einen Regen mit konstanter Intensitätsverteilung. Bei einer Regenhöhe für eine vorgegebene Jährlichkeit von beispielsweise 9,0 mm für die Dauer von 15 min ergeben sich bei Aufteilung in mehrere Intervalle der Dauer  $\Delta t$ :

- $\Delta t = 5\text{min}$ : 3 Intervalle á 3,0 mm
- $\Delta t = 3\text{min}$ : 5 Intervalle á 1,6 mm

#### *Einzelmodellregen*

Blockregen mit ihrer charakteristischen konstanten Intensitätsverteilung kommen in der Natur nicht vor. Natürliche Regenereignisse weisen eine über ihren zeitlichen Verlauf ungleichmäßige Intensitätsverteilung auf. Diesem Umstand wird bei der Generierung bzw.,

dem Ansatz von Modellregen Rechnung getragen.

Modellregen weisen über die gewählte Regendauer eine variable Intensität auf. Hierzu werden die Regenspendenlinien abschnittsweise ausgewertet. Modellregen werden somit nicht direkt von den Originaldaten abgeleitet, sondern basieren auf deren statistischer Auswertung in Form von Regenspendenlinien. Vor der eigentlichen Berechnung muss die benötigte Auftrittswahrscheinlichkeit des Regens festgelegt werden. Die statistische Kenngröße wird somit für den Niederschlag festgelegt und damit in Kauf genommen, dass diese Regenhäufigkeit von der eigentlichen Versagenshäufigkeit, zum Beispiel dem Überstau einzelner Schächte des Kanalnetzes und der dadurch verursachten Überflutung der Oberfläche je nach Entwässerungsgebiet mehr oder weniger deutlich abweicht.

Ein in der Literatur oft genannter und in der Praxis häufig verwendeter Modellregen ist jener nach Euler (Typ II). Bei diesem tritt die größte Intensität bei rund 30 % der Regendauer auf. Der ansteigende Ast des Modellregens ist dabei steiler als der abfallende Ast. Hinweise zur Konstruktion eines Modellregens nach Euler (Typ II) finden sich in (Verworn, 1999), (OEWAV, 2009) und (DWA, 2006b).

Der Modellregen nach Euler (Typ II) zielt darauf ab, dass möglichst an allen Punkten des Kanalnetzes Abflüsse gleicher Häufigkeit auftreten. Die Gesamtniederschlagshöhe ergibt sich für die vorgegebene Regendauer und die Häufigkeit aus der Regenhöhenlinie (Daten z. B. bezogen aus eHYD (BMLFUW, 2011)). Nach (OEWAV, 2009) sollte die Dauer des Modellregens in etwa der doppelten Fließzeit im Kanal entsprechen, wobei jedoch eine Minstdauer von einer Stunde nicht unterschritten werden sollte.

In Abbildung 21 ist ein Beispiel für einen Einzelmodellregen nach Euler (Typ II) dargestellt.

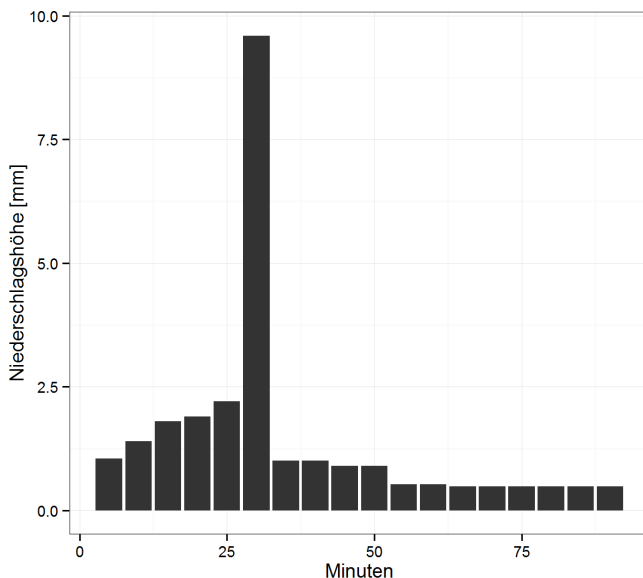


Abbildung 21: Beispiel für Einzelmodellregen nach Euler (Typ II)

### Modellregengruppen

Modellregen können auch als Regengruppe für N-A-Modelle zur Anwendung kommen. In größeren Einzugsgebieten können kritische Abflusszustände sowohl von kurzen Starkregen als auch durch lang andauernde Regen mit großer Niederschlagshöhe hervorgerufen werden. Daher sollten bei längeren Fließzeiten im Netz für die Bemessung und den Überstaunachweis anstelle eines Einzelregens Modellregen unterschiedlicher Dauer aber gleicher Wiederkehrzeit angewendet werden. Man bezeichnet dies als Modellregengruppen. Die einzelnen Regen einer Modellregengruppe sollen dabei die Regenspendenlinie jeweils im Bereich ihrer Regendauer abschnittsweise abdecken (DWA, 2006b). Ein Beispiel zur Aufstellung von Modellregengruppen findet sich in (DWA, 2006b).

### Langzeitsimulation

Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit der Rechner ist die Frage des Rechenaufwandes in jüngerer Vergangenheit immer mehr in den Hintergrund gerückt. Somit kann auch ein grundsätzlich anderes Berechnungskonzept zum Einsatz kommen. Dabei wird eine lange Reihe zeitlich diskretisierter natürlicher Niederschläge vorgegeben und die Vielzahl der jeweils zugehörigen Abflüsse berechnet. Eine Auswertung und Zuordnung von Häufigkeiten erfolgt erst anhand der simulierten Wasserstände, Abflüsse oder Volumina. Somit wird die Wahrscheinlichkeitsaussage des Versagens des Kanalnetzes, zum Beispiel Überstau und Überflutung, nicht mehr auf Seiten der Belastung sondern direkt auf Seiten des Kanalnetzes, der eigentlichen Fragestellung, getroffen. Für diese Vorgehensweise hat sich der

Begriff „Langzeitsimulation“ durchgesetzt. Je nach Aufgabenstellung kann hierbei eine Serie in sich abgeschlossener, voneinander unabhängiger Einzelregen (Seriensimulation) oder ein Kontinuum von Regen- und Trockenperioden (Kontinuumsimulation) verwendet werden.

#### Kontinuumsimulation

Ein gemessenes Niederschlagskontinuum umfasst sämtliche Regenereignisse einer mehrjährigen Niederschlagsmessreihe. Dabei sind neben Starkregen und schwächeren Regenabschnitten auch Trockenphasen enthalten. Eine statistische Bearbeitung der Niederschlagsdaten wird vorweg nicht vorgenommen. Die statistische Auswertung erfolgt erst im Nachgang aufgrund der berechneten Abflussvorgänge.

Das Niederschlagskontinuum enthält eine Vielzahl an Regenereignissen, welche für die Bemessung eventuell nicht relevant sind. Der damit verbundene enorme Rechenaufwand führte dazu, dass die Kontinuumsbetrachtung in der Vergangenheit zumeist auf hydrologische Verfahren beschränkt war. Anwendung findet die Kontinuumsimulation mittlerweile standardmäßig bei der Dimensionierung von Speicheranlagen (Mischwasserrückhalte und -überlaufbecken, Kanalstauräume) und beim Nachweis des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung von Schmutzfrachten bei Mischwasserabfluss (ÖWAV-Regelblatt 19) (OEWAV, 2009).

#### Seriensimulation (Starkregenserie)

Von einer Starkregenserie spricht man, wenn aus dem Regenkontinuum die für den Anwendungsfall relevanten Regenereignisse ausgewählt und die restlichen Daten entfernt werden. Die nicht relevanten Abschnitte der Niederschlagsaufzeichnungen werden also bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Dadurch ergeben sich deutlich reduzierte Berechnungszeiten und die Möglichkeit, Rechenläufe separat abarbeiten zu können.

Die Auswahl der relevanten Regenereignisse aus dem Kontinuum zur Bildung einer Starkregenserie erfolgt nach bestimmten Kriterien. Die Vorgehensweise ist in (DWA, 2006b) und (OEWAV, 2009) bzw. (Verworn, 1999) beschrieben.

Um Starkregenserien aufstellen zu können, sind Aufzeichnungsdauern der Niederschläge von 30 Jahren oder mehr wünschenswert. Allerdings stehen Aufzeichnungen dieser Dauer heute eventuell (noch) nicht zur Verfügung. Die mindestens notwendige Registrierdauer hängt von der nachzuweisenden Überstauhäufigkeit ab. Richtwerte können aus Tabelle 12 entnommen werden (DWA, 2006b).

Tabelle 12: Empfohlene Richtwerte zur Minstdauer von Niederschlagsregistrierungen, adaptiert nach (DWA, 2006b)

| Überstauhäufigkeit       | Minstdauer der Niederschlags-Registrierungen |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| 1 in 1 bis 1 in 2 Jahren | 10 Jahre                                     |
| 1 in 3 Jahren            | 15 Jahre                                     |
| 1 in 5 Jahren            | 20 Jahre                                     |
| 1 in 10 Jahren           | 30 Jahre                                     |

Auch bei Anwendung von Starkregenserien erfolgt vorab keine statistische Bearbeitung der Regendaten. Es werden beispielsweise die Anzahl der Überschreitungen  $x$  des vorgegebenen Bezugsniveaus ausgezählt. Daraus folgt die jährliche Häufigkeit der Überschreitungen  $n_0$  (hier für die Überstauhäufigkeit) durch Division der Anzahl  $x$  der Überschreitungen durch die Anzahl der Jahre  $M$  der Niederschlagsreihe, welche der Starkregenserie zugrunde liegt (DWA, 2006b):

$$n_0 = x : M$$

#### Anwendung der Niederschlagsbelastungen abhängig von der gewünschten Aussage

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Varianten der Niederschlagsbelastung lassen sich nicht für jeden Anwendungsfall und die dabei jeweils gewünschte Berechnungsaussage anwenden. In der nachfolgenden Tabelle 13 sind die Niederschlagsbelastungen und die damit möglichen Berechnungsaussagen angeführt.

Tabelle 13: Niederschlagsbelastung und mögliche Berechnungsaussagen

|                                      | Überstau (z.B. nach ÖWAV-Regelblatt 11) | Überflutung (z. B. nach EN 752) | Abflussbilanz (z. B. nach ÖWAV-Regelblatt 19) |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Regenspendenlinie, Blockregen</b> | nicht empfohlen                         | nicht empfohlen                 | nicht möglich                                 |
| <b>Modellregen</b>                   | möglich                                 | möglich                         | nicht möglich                                 |
| <b>Starkregenserie</b>               | empfohlen                               | empfohlen                       | Anwendung wurde im Zuge von DATMOD erarbeitet |
| <b>Niederschlagskontinuum</b>        | möglich                                 | möglich                         | empfohlen                                     |

Ein Blockregen weist wie bereits erwähnt keine Intensitätsvariabilität auf und kommt in der Form in der Natur nicht vor. Für die Berechnung bzw. den Nachweis von Überstau und Überflutung ist die Verwendung eines Blockregens daher nicht zu empfehlen. Um Abflüsse mengenmäßig zu bilanzieren (z. B. Entlastungsmengen an Mischwasserüberläufen) ist ein Blockregen nicht geeignet.

Mit einem Modellregen ist die Berechnung von Überstau und Überflutung prinzipiell möglich. Da Modellregen jedoch nicht auf Originaldaten sondern auf deren statistischen Auswertung basieren, wird die Anwendung nicht empfohlen. Bei Modellregen muss bereits im Vorhinein eine Regenhäufigkeit gewählt werden, welche von der eigentlichen Versagenshäufigkeit (Überstau, Überflutung) mehr oder weniger abweichen kann. Die statistische Häufigkeitsaussage liegt also nicht auf der Seite des Versagens sondern auf der Seite des Niederschlags und somit „auf der falschen Seite“. Zur Abflussbilanzierung sind Modellregen nicht einsetzbar.

Zur Berechnung von Überstau und Überflutung wird die Anwendung von Starkregenserien empfohlen. Hierbei werden nur die relevanten Ereignisse aus dem Regenkontinuum ausgewählt, wodurch die Rechenzeit der Simulation reduziert wird. Die Niederschlagsdaten werden vorab nicht statistisch bearbeitet. Die statistische Häufigkeitsaussage erfolgt erst nach den Berechnungen (Auswertung der Anzahl der Versagensfälle) und liegt somit „auf der richtigen Seite“. Die Anwendung von Starkregenserien zur Bilanzierung der Abflüsse wurde als eine zusätzliche Möglichkeit im Zuge des Projektes DATMOD erarbeitet (siehe dazu Kapitel 7.3).

Ein Regenkontinuum kann zur Berechnung von Überstau und Überflutung angewendet werden. Allerdings ergeben sich hierbei im Vergleich zur Anwendung von Starkregenserien erhöhte Rechenzeiten, wodurch die Anwendung dieser Vorgehensweise noch limitiert und auf kleine bis mittlere Netzgrößen eingeschränkt ist. Zur Abflussbilanzierung ist ein Niederschlagskontinuum als Modellbelastung, abgesehen von den möglicherweise langen Berechnungszeiten, empfehlenswert.

#### 5.1.1.2. ABFLUSSBILDUNG

Bei der Abflussbildung werden die abflusswirksamen Anteile der vorgegebenen Niederschläge berechnet. Es wird also die Frage behandelt, wieviel des gefallenen Niederschlags zum Abfluss kommt. Häufig wird hierbei auch von der Ermittlung des Effektivniederschlags gesprochen.

##### Modellansätze für die Abflussbildung

Für die Abflussbildung existieren drei übergeordnete vereinfachte Modellansätze. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

##### *Schwellenwertmethode*

Die Schwellenwertmethode ist die einfachste Modellvorstellung, da hierbei lediglich ein Anfangsverlust berücksichtigt wird.

$$h_{Ne} = h_N - h_A$$

$h_{Ne}$  Abflusswirksamer Niederschlag (L)

$h_N$  Gemessener Niederschlag (L)

$h_A$  Anfangsverlust (L)

##### *Prozentwertmethode*

Neben dem Benetzungsverlust (Anfangsverlust) wird hier noch ein prozentualer Verlust angesetzt, um den abflusswirksamen Niederschlag zu ermitteln.

$$h_{\phi,t} = \varphi \cdot (\Delta h_{N,\Delta t} - h_B)$$

$h_{\phi,t}$  Prozentwertverlust-Verlustrhöhe zum Zeitpunkt t (L)

$\varphi$  Konstanter Verlust-Prozentsatz (-)

$\Delta h_{N,\Delta t}$  Niederschlagshöhe im betrachteten Zeitschritt  $\Delta t$  (L)

$h_B$  Benetzungshöhe (L)

### Grenzwertmethode

Bei der Grenzwertmethode werden neben dem Benetzungsverlust noch zusätzlich die Dauerverluste und die Muldenverluste berücksichtigt.

$$h_{Ne} = h_N - (h_B + h_D + h_M)$$

$h_{Ne}$  Abflusswirksamer Niederschlag (L)

$h_N$  Gemessener Niederschlag (L)

$h_B$  Benetzungsverlust (L)

$h_D$  Dauerverlust (L)

$h_M$  Muldenverlust (L)

In Abbildung 22 sind die Prinzipien bei Abflussbildungsansätzen graphisch dargestellt.

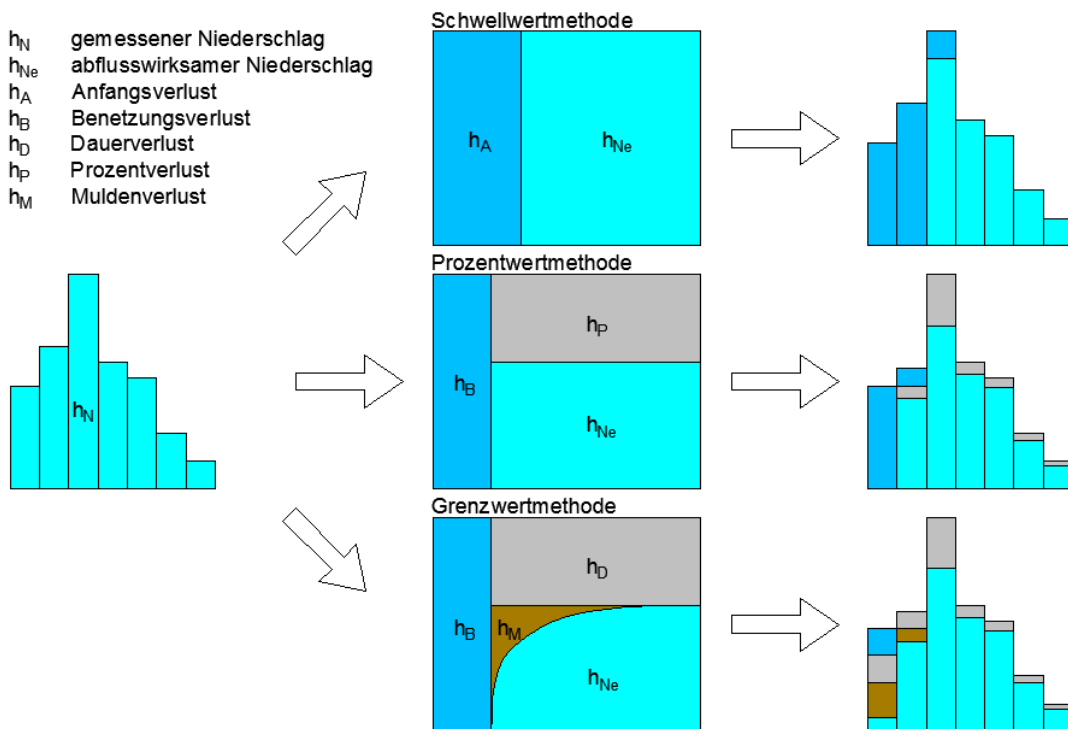


Abbildung 22: Abflussbildungsansätze

Eine einfache Umsetzung der Prozentwertmethode zur Bestimmung des Effektivniederschlags ist die Abflussbeiwert-Methode. Hierbei wird der (Brutto)-Niederschlag mit einem Beiwert multipliziert. Unterschieden wird hierbei zwischen Gesamtabflussbeiwert und Spitzenabflussbeiwert. Der Gesamtabflussbeiwert berechnet sich hierbei als Quotient aus gesamter abflusswirksamer Niederschlagshöhe und der totalen Niederschlagshöhe und bezieht sich dabei auf das gesamte Regenereignis. Der Spitzenabflussbeiwert ist das Verhältnis der maximalen Regenintensität zum resultierenden Spitzenabfluss und bezieht sich somit auf die Abfluss- bzw. Regenspitze. Abbildung 23 verdeutlicht den Ansatz der Abflussbeiwert-Methode.

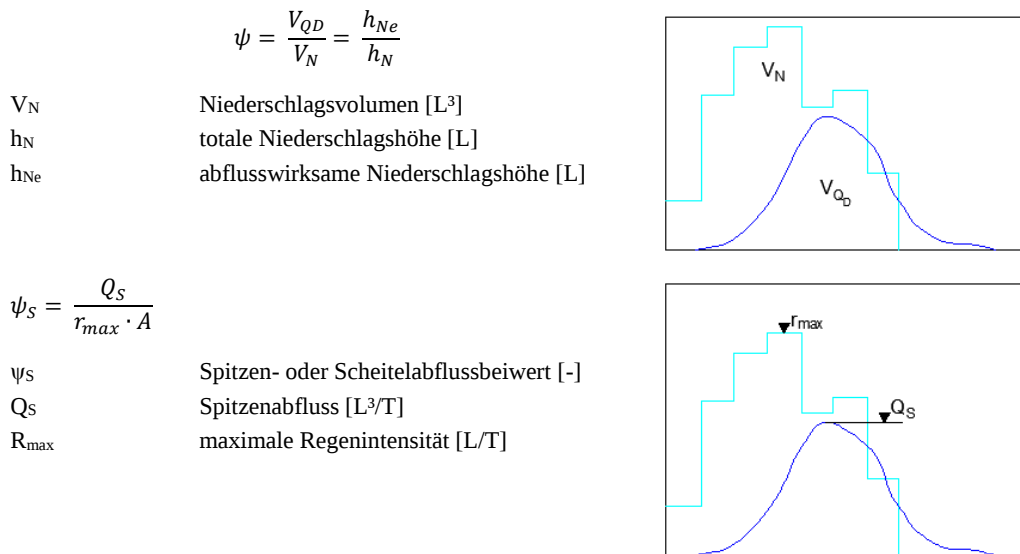


Abbildung 23: Ermittlung der Abflussbeiwerte

Literaturwerte zu Abflussbeiwerten finden sich im Kapitel 4.3.1.4.

Bei der Kanalnetzmodellierung wird die Abflussbildung in der Regel etwas differenzierter behandelt und berechnet. Die Abflussbildung umfasst die physikalischen Vorgänge, welche die Umwandlung des auf eine Einzugsgebietsfläche gefallenen Niederschlags in einen Abfluss von der Oberfläche (Regenabfluss) bewirken. Hierzu zählen die Befeuchtung, Muldenauffüllung, Verdunstung und Versickerung in den Boden. Jene Anteile des Niederschlags, welche nicht zum Abfluss kommen, werden als Verluste bezeichnet. Die Größe des abflusswirksamen Niederschlags hängt in erster Linie von folgenden Einflussfaktoren ab (DWA, 2006b):

- Anteil der befestigten Flächen
- Art der Flächenbefestigung
- Geländeneigung
- Regenstärke und Regendauer
- Bodenart und Bewuchs (durchlässige Flächen)

Aufgrund ihres unterschiedlichen Abflussverhaltens sind befestigte Flächen (Dächer, Straßen) und unbefestigte Flächen (Hausgärten, Straßenböschungen, Grünflächen u. ä.) möglichst genau voneinander abzugrenzen.

Für den Abfluss in Kanalnetzen sind nur solche Flächen zu berücksichtigen, welche direkt oder indirekt an das Netz angeschlossen sind oder bei welchen ein oberirdischer Abfluss auf kurzem Weg und/oder mit ausreichendem Gefälle zum nächsten Einlauf möglich ist (ATV, 2004). Werden also nur die vollständig abflusswirksamen Flächenanteile bezüglich des Entwässerungssystems berücksichtigt, so treten keine **Dauerverluste** auf. Ansonsten werden durch die Dauerverluste die Flächenanteile berücksichtigt, welche bezüglich des Entwässerungssystems nicht abflusswirksam sind (Verworn, 1999).

In Abbildung 24 ist der zeitliche Verlauf der einzelnen an der Abflussbildung beteiligten Komponenten dargestellt. Angenommen wird hierbei ein Niederschlag mit konstanter Intensität nach einer längeren niederschlagsfreien Periode (Anfangsbedingung „trocken“). Abbildung 25 veranschaulicht das Prinzip der Abflussbildung graphisch.

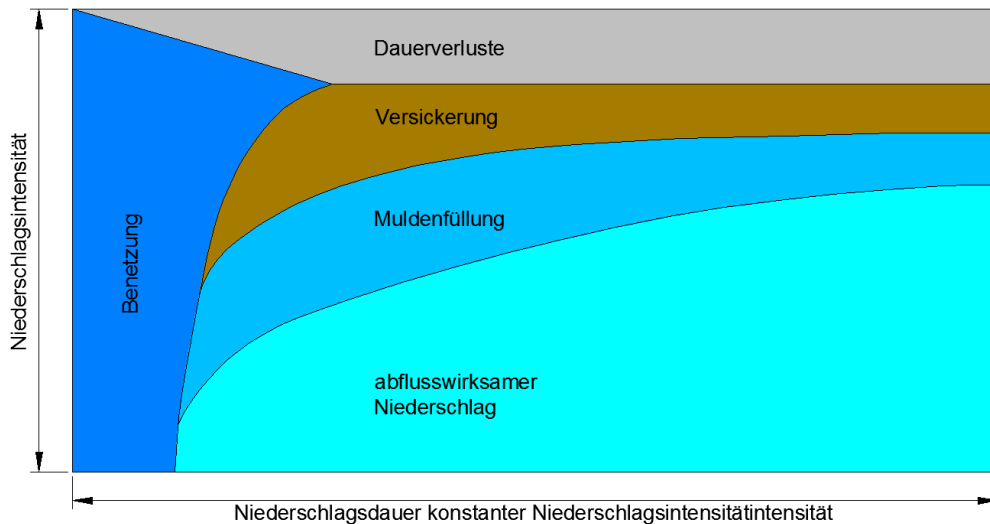


Abbildung 24: Prinzipieller Verlauf der Abflussbildung

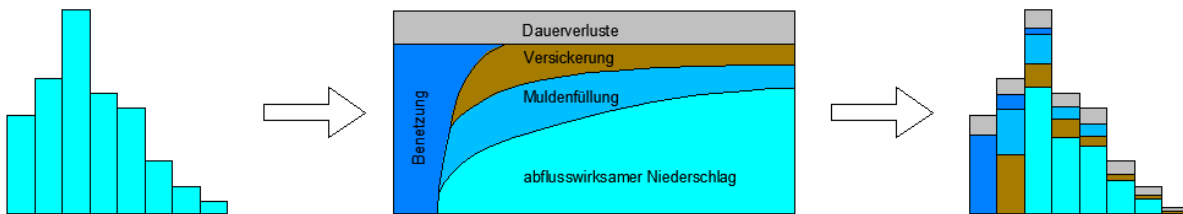


Abbildung 25: Abflussbildung – Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags

Je nach Aufgabenstellung sind mehr oder weniger starke Vereinfachungen möglich (ATV, 2004):

- Gleichmäßige Gebietseigenschaften für die einzelnen Teilflächen
- Festlegen von Anfangsbedingungen
- Treffen von Annahmen über Verlusthöhen als Summe während eines Ereignisses und über ihre zeitliche Verteilung

Abhängig von der zu bearbeitenden Aufgabenstellung ergeben sich hierbei Unterschiede bei der Festlegung der Anfangsbedingungen sowie bei der Berücksichtigung der Verluste. Es können folgende drei Fälle unterschieden werden:

- a) Simulation von Bemessungsabflüssen aus Modellregen bzw. Modellregengruppen (Einzelereignisse):

Die Anfangsbedingungen sind festzulegen. Bei undurchlässigen Flächen wird im Allgemeinen von trockenen Anfangsbedingungen ausgegangen, bei durchlässigen Flächen von mittleren Bedingungen.

- b) Kontinuumsimulation:

Die Anfangsbedingungen jedes Ereignisses ergeben sich aus den Endbedingungen des vorangegangenen Ereignisses und den Veränderungen von  $h_M$  (Muldenverlust),  $h_B$  (Benetzungsverlust) und  $h_S$  (Versickerungshöhe) während der dazwischen liegenden niederschlagsfreien Zeit.

- c) Seriensimulation:

Abhängig davon ob die verwendeten Niederschlagsereignisse Regenspauzen aufweisen oder nicht, gilt das zu b) oder a) Genannte.

### Abflussbildung der Einzelereignisse (Verlustansätze)

#### *Undurchlässig befestigte Flächen*

Bei den undurchlässig befestigten Flächen treten im Wesentlichen Benetzungs- und Muldenverluste auf.

Häufig wurden in der Vergangenheit beide Verlustarten gemeinsam als Schwellenwert berücksichtigt. Es stellte sich jedoch heraus,

dass wegen der unterschiedlichen Verlustarten eine getrennte Behandlung zielführender ist.

a) Benetzungsverlust  $h_B$

Bevor Abfluss stattfinden kann, müssen zunächst alle Flächen benetzt sein. Daher kann bei den Benetzungsverlusten mit guter Näherung die Schwellenwertmethode angewendet werden. Von den ersten Niederschlagsintervallen wird der Benetzungsverlust demnach als Anfangsverlust abgezogen.

Für abgetrocknete Flächen kann der Benetzungsverlust je nach deren Beschaffenheit mit 0,3 mm bis 0,7 mm angesetzt werden (DWA, 2006b).

Nach (Verworn, 1999) gelten folgende Richtwerte:

Üblicher Wertebereich: 0,15 bis 0,8 mm

Üblicher mittlerer Wert: 0,5 mm

b) Muldenverlust  $h_M$

Bei den Muldenverlusten findet schon Abfluss statt, bevor diese Verluste vollständig abgedeckt sind. Unmittelbar nach Abdeckung der Benetzungsverluste liefern bereits Flächenteile Abfluss ins Entwässerungssystem. Andere Flächenteile sind noch nicht abflusswirksam, da der auf sie fallende Regen in Mulden zurückgehalten wird. Durch zunehmende Muldenfüllung wird der Anteil der abflusswirksamen Flächen immer größer, da das Rückhaltevermögen der Mulden durch die fortschreitende Füllung nach und nach erschöpft ist. Lediglich sehr große Mulden können noch länger abflussmindernd wirken.

Nach (Verworn, 1999) gelten folgende Richtwerte:

Üblicher Wertebereich: 0,4 bis 2,5 mm

Üblicher mittlerer Wert: 1,8 mm

Der mittlere Wert wird hierbei allgemein für schwach geneigte Oberflächen angesetzt. Für steileres Gelände sollte dieser Wert reduziert werden.

Nach (DWA, 2006b) kann für befestigte, abgetrocknete Flächen je nach Art der Befestigung und Geländeneigung von Werten zwischen 0,5 mm und 2,0 mm ausgegangen werden.

Die zeitliche Verteilung während eines Ereignisses erfolgt nach verschiedenen, physikalisch begründeten, Annahmen (ATV, 2004):

- Berücksichtigung als Anfangsverlust zusammen mit Benetzungsverlust
- Berechnung eines Verlustbeiwertes für die Mulden mit  $h_M / (h_N - h_B)$ ; für alle Intervalle des Ereignisses als konstant angenommen
- Annahme eines zeitlich veränderlichen Mulden-Auffüllungsgrades

In erster Linie hat die Festlegung der Gesamthöhe der Benetzungs- und Muldenverluste Einfluss auf die berechneten Abflussereignisse. Der Einfluss der zeitlichen Verteilung der Verluste ist hierbei in der Regel von geringerer Bedeutung. Für deren Berechnung wird der flächenneutrale Ansatz der Grenzwertmethode (Verworn and Kenter, 1993) empfohlen (ATV, 2004).

In Abbildung 26 ist der prinzipielle Verlauf der Muldenfüllung schematisch dargestellt.

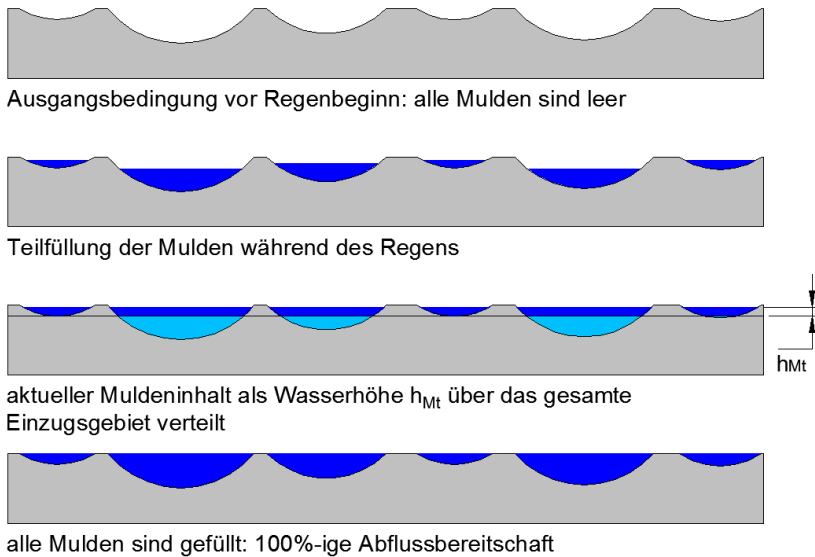


Abbildung 26: Prinzip der Muldenverluste

#### Durchlässig befestigte und nicht befestigte Flächen

Bei durchlässigen Flächen stellt sich zunächst die Frage, ob diese für das Kanalnetz als abflusswirksam angenommen werden. Dies ist meist nur bei Flächen mit größerem Gefälle, ausgeprägten Fließwegen und kurzen Fließstrecken zum Kanal der Fall. Hierbei lässt sich die Abflussbildung grundsätzlich auf zwei verschiedene Möglichkeiten modellmäßig beschreiben:

##### a) Verlustratenansätze

Ebenso wie bei den undurchlässigen Flächen ist für die Größe der Abflussmengen die Definition des Anteils der Flächen, welcher abflusswirksam bezüglich des Entwässerungssystems ist, von übergeordneter Bedeutung. Ansonsten können die gleichen Ansätze wie bei den undurchlässigen Flächen verwendet werden. Die verschiedenen Parameter erhalten jedoch andere Werte. Die **Benetzungsverluste** umfassen dabei auch die **Interzeptionsverluste** durch die Vegetation, welche je nach Jahreszeit variiert.

Nach (Verworn, 1999) sind folgende Richtwerte für Benetzungs- und Interzeptionsverluste anzunehmen:

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Üblicher Wertebereich:   | 2 bis 10 mm                         |
| Üblicher mittlerer Wert: | abhängig von Jahreszeit, Vegetation |

Für die **Muldenverluste** ist wie bei den undurchlässigen Flächen die Anwendung der Grenzwertmethode sinnvoll. Für den gesamten Muldenverlust können in Abhängigkeit von Oberflächenbeschaffenheit, Bewuchs und Gefälle 3 mm bis 8 mm des Niederschlags angenommen werden (ATV, 2004).

Nach (Verworn, 1999) sind folgende Richtwerte anzunehmen:

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Üblicher Wertebereich:   | 2 bis 5 mm |
| Üblicher mittlerer Wert: | 3 mm       |

Neben den Verlustanteilen aus Benetzung und Muldenauffüllung ist besonders der zeitliche Verlauf der **Versickerung (Infiltration)** von großer Bedeutung.

Hierbei geht man von der Überlegung aus, dass der in einem betrachteten Zeitabschnitt gefallene Niederschlag in den Boden eindringt, soweit seine Intensität  $i_N$  nicht größer ist als die zu diesem Zeitpunkt mögliche Infiltrationsrate  $f$ . Der die Infiltrationsrate  $f$  übersteigende Anteil von  $i_N$  dient der Muldenauffüllung. Abflusswirksamer Niederschlag  $i_w$  entsteht, wenn auch der hierfür angenommene Grenzwert überschritten wird.

Zur Berechnung der Infiltration wird häufig der Ansatz von Horton verwendet:

$$f(t) = f_e + (f_0 - f_e) \cdot e^{-k \cdot t}$$

$f(t)$  mögliche Versickerung zum Zeitpunkt  $t$  [mm/min]

$f_0$  Anfangswert der Versickerung ( $t = 0$ ) [mm/min]

$f_e$  Endwert der Versickerung [mm/min]

$k$  Rückgangsfaktor [1/min]

Die Parameter  $f_0$ ,  $f_e$  und  $k$  sind dabei abhängig von Anfangsfeuchte, Bodeneigenschaften und Bodenbedeckung (Verworn and Kenter, 1993).

Der Ansatz von Horton ist nur gültig, wenn die Niederschlagsintensität  $i_N$  größer ist als die mögliche Versickerungsintensität  $f$ . Für beliebige Niederschläge sind daher verschiedene Erweiterungen des Ansatzes oder ähnliche Ansätze entwickelt worden.

In Abbildung 27 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf der Infiltrationsrate dargestellt.

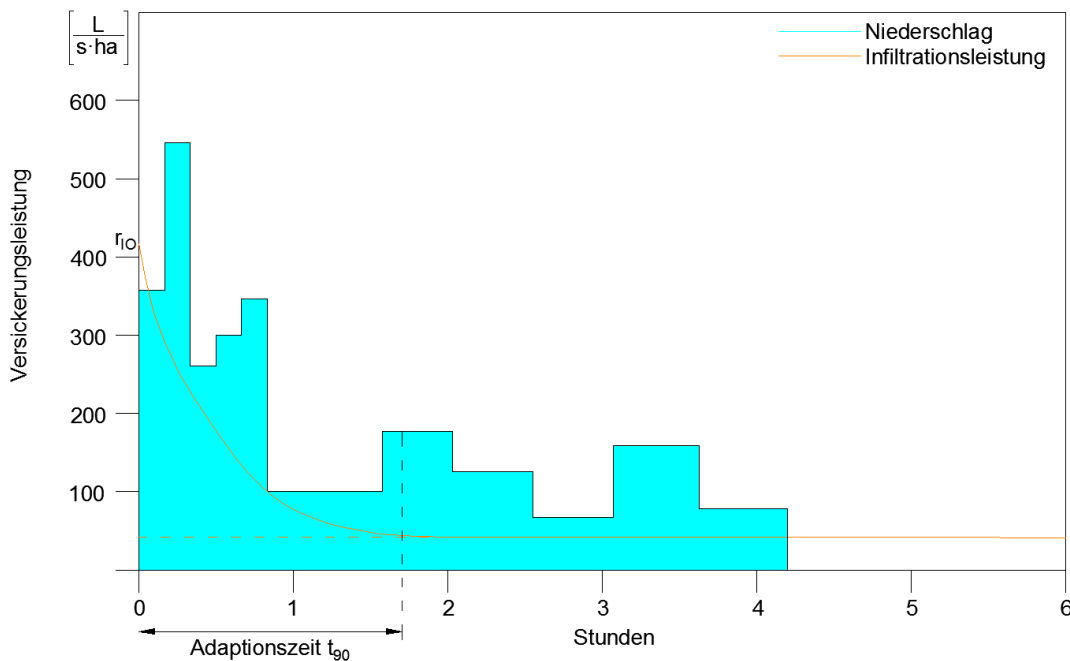


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Einige Modelle setzen während des Regens auch die **Verdunstung** an. Ein Abzug der Verdunstung vom Regen selbst ist jedoch nicht sinnvoll, da dies eine Reduzierung der Belastung bedeuten würde. Um die Verdunstung bei Regen zu berücksichtigen, könnte für das jeweilige Zeitintervall die Regeneration der Benetzungs- und Muldenverluste abhängig von der Verdunstungshöhe ermittelt werden, bevor der Effektivniederschlag berechnet wird. Aufgrund der höheren Luftfeuchtigkeit ist die Verdunstung während des Regens meist stark eingeschränkt. Daher sollte die Verdunstung bei Regen nicht oder zumindest nur zur Hälfte angesetzt werden (Verworn, 1999).

#### b) Abflussbeiwertansätze

Hierbei wird ein zeitlicher Verlauf des Abflussbeiwertes  $\psi = i_w/i_N$  bestimmt. Dabei bedeuten:

$i_N$  Niederschlagsintensität [mm/ $\Delta t$ ]

$i_w$  Intensität des abflusswirksamen Niederschlags [mm/ $\Delta t$ ]

In Anlehnung an Ansätze für natürliche Einzugsgebiete lassen sich die Werte für  $\psi$  aus den bis zum betrachteten Zeitpunkt gefallenem Niederschlägen berechnen.

Ansätze zur Berechnung eines mittleren Abflussbeiwertes  $\psi_M$  für ein jeweils abgeschlossenes Niederschlagsereignis sind seit längerem bekannt. Die physikalischen Vorgänge der Abflussbildung werden hierbei jedoch nur pauschal erfasst. Für die zeitliche Verteilung innerhalb des Ereignisses sind zusätzliche Annahmen zu treffen (ATV, 2004).

Bei den Abflussbeiwerten sind folgende Abhängigkeiten zu berücksichtigen (ATV, 2004):

- Gebietseigenschaften (Bewuchs, Bodenart, Gefälle)
- Vorgeschichte des Ereignisses (Vorregen, Jahreszeit)
- Niederschlag (Gesamthöhe  $h_N$ , Dauer)

Als Beispiel für einen Ansatz, welcher diese Abhängigkeiten im Wesentlichen enthält, kann das „SCS-Verfahren“ (Verfahren der U.S. Soil Conservation Service) genannt werden, das einen zeitlich variablen Abflussbeiwert in Abhängigkeit der Vorgeschichte, der Gebietseigenschaften und dem Verlauf des aktuellen Niederschlagsereignisses bestimmt. Der Originalansatz ist nur für Tageswerte und Einzelereignisbetrachtungen geeignet, jedoch sind in etlichen Simulationswerkzeugen Erweiterungen dieses Ansatzes implementiert, die eine zeitlich hochaufgelöste Kontinuumsimulation erlauben (beispielsweise (Muschalla et al., 2006)).

Sowohl bei den Verlustratenansätzen als auch bei den Abflussbeiwertansätzen sind Annahmen über den Anfangs- und Endzustand sowie über den Funktionstyp zur Beschreibung der zeitlichen Veränderung zu treffen. Mit Verlustratenansätzen werden die physikalischen Vorstellungen der ablaufenden Prozesse genauer berücksichtigt. Die tatsächlichen Infiltrationseigenschaften von Böden und die Auswirkungen der dazu getroffenen Annahmen auf das Berechnungsergebnis sind jedoch schwer abzuschätzen. Daher sind Plausibilitätskontrollen, beispielsweise durch Berechnung von mittleren Abflussbeiwerten  $\psi_M$  und Vergleich mit Erfahrungen und Messergebnissen aus vergleichbaren Siedlungsgebieten empfehlenswert. Bei der Berechnung der Abflüsse ist bei den durchlässigen Flächen (befestigt und nicht befestigt) gegenüber den undurchlässig befestigten Flächen mit größeren Unsicherheiten zu rechnen (ATV, 2004).

### Kontinuumsimulation

Die Ansätze für die Abflussbildung von Einzelereignissen (siehe Pkt. 0) können für die Dauer einzelner Ereignisse eines Niederschlagskontinuums gleichermaßen angewendet werden. Zu berücksichtigen sind zusätzlich die Veränderungen der Muldenfüllung und der Bodenfeuchte während der Niederschlagspausen, um so die Anfangsbedingungen für das nachfolgende Ereignis festlegen zu können.

#### *Undurchlässig befestigte Flächen*

Bei den undurchlässig befestigten Flächen ist die Muldenentleerung durch **Verdunstung** zu berücksichtigen. Dabei ist die Verdunstung von freien Wasserflächen maßgebend (potenzielle Verdunstung). Im einfachsten Fall wird eine gleichbleibende Rate entsprechend den regionalen meteorologischen Bedingungen festgelegt. Durch Annahme eines typisierten Jahresganges, evtl. sogar eines Tagesganges können noch Verfeinerungen vorgenommen werden (ATV, 2004).

Abbildung 28 zeigt einen Standard-Jahresgang der potenziellen täglichen Verdunstungshöhe. Hierbei ist eine jährliche potenzielle Verdunstungshöhe von 657 mm angesetzt. Mit Hilfe eines Faktors kann die Verdunstungshöhe an örtliche Verhältnisse angepasst werden, wobei der relative Verlauf übers Jahr erhalten bleibt.

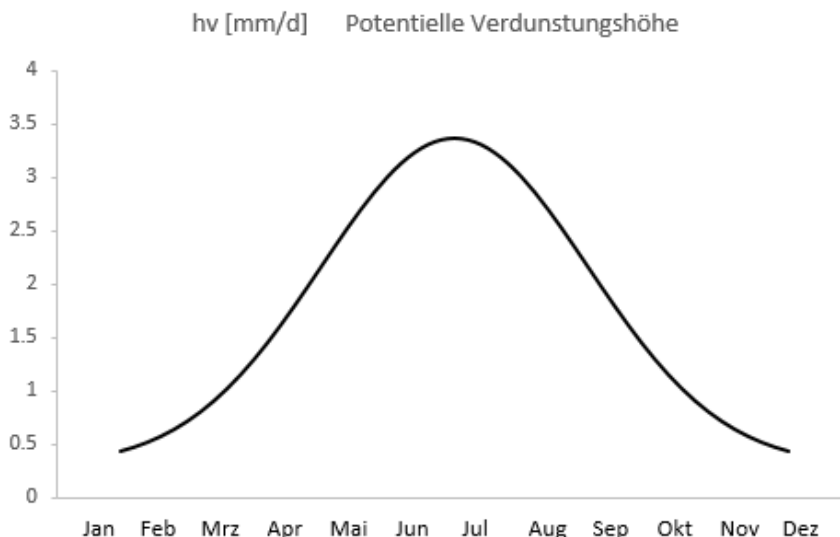


Abbildung 28: Standard-Jahresgang der potenziellen täglichen Verdunstungshöhe; adaptiert nach (Verworn, 1999)

#### *Durchlässig befestigte und nicht befestigte Flächen*

Bei den durchlässig befestigten und nicht befestigten Flächen ist neben der Muldenentleerung auch die Abnahme der Bodenfeuchte zu berücksichtigen. Beide Vorgänge werden teils durch Verdunstung, teils durch Versickerung verursacht. Bei der Verdunstung ist die Evapotranspiration maßgebend. Diese hängt neben meteorologischen Größen auch von der Bodenart, dem Bewuchs und dem Bodenfeuchtezustand ab (ATV, 2004).

Bei Anwendung von Verlustratenansätzen und der damit verbundenen Bilanzierung der Bodenfeuchte ist die Bilanzierung über das

Ende des vorangegangenen Niederschlags hinaus bis zur rechnerischen Speicherfüllung Null bzw. bis zum Beginn des folgenden Ereignisses fortzusetzen. Die Entleerung der Mulden erfolgt bei Regenspauzen mit der Rate  $f$  und bei kleineren Niederschlägen mit der Rate  $f - h_N$ . Die Entleerung des Bodenspeichers durch Versickerung bzw. Perkolation kann vereinfachend als Umkehrung des Infiltrationsvorganges beschrieben werden (ATV, 2004).

In Abbildung 29 ist der Verlauf der Versickerungsleistung bei Regen und die Regeneration nach Ende des Niederschlagsereignisses dargestellt.

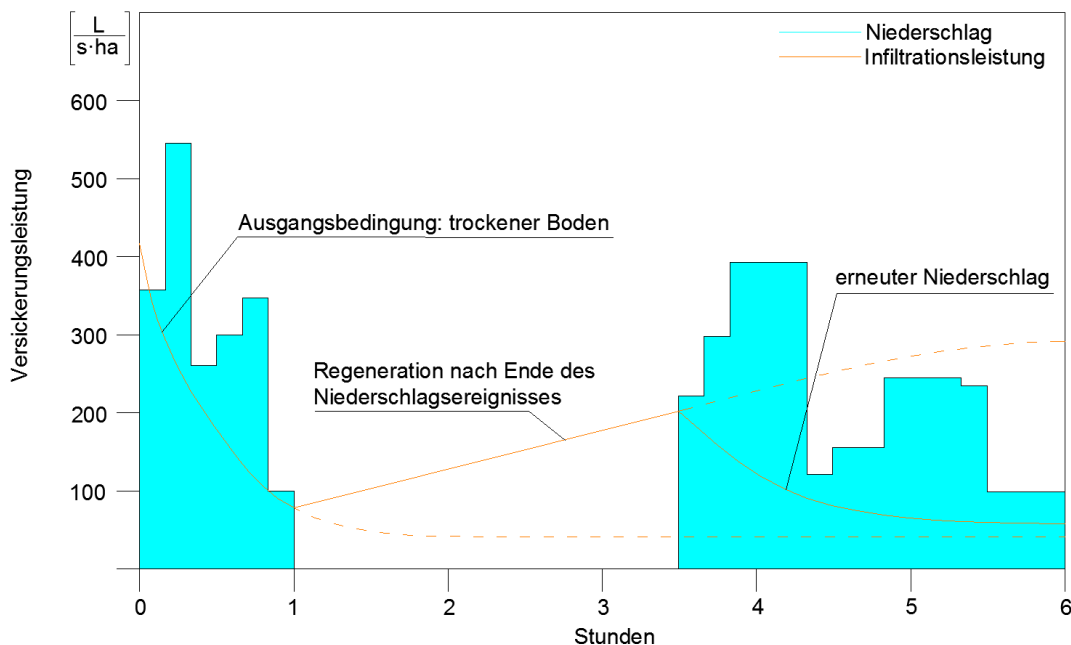


Abbildung 29: Versickerungsleistung und Regeneration

Um bei Abflussbeiwertansätzen die Veränderungen der Bodenfeuchte und Muldenfüllung während Regenspauzen zu berücksichtigen, wird für das folgende Ereignis eine andere Vorgeschichte (z. B. geänderter Vorregen) angenommen, wodurch sich auch ein anderer Abflussbeiwert ergibt (ATV, 2004).

#### 5.1.1.3. ABFLUSSKONZENTRATION

Die Umwandlung des flächenhaft verteilten abflusswirksamen Niederschlags (Abflussbildung) in die am Tiefpunkt der betrachteten Teilfläche entstehende Abflussganglinie wird durch die Abflusskonzentration beschrieben. Eine Rolle spielen hierbei die Fließvorgänge auf der Oberfläche (Translation) und Verzögerungseffekte (Retention). Das Prinzip der Abflusskonzentration ist in Abbildung 30 dargestellt.

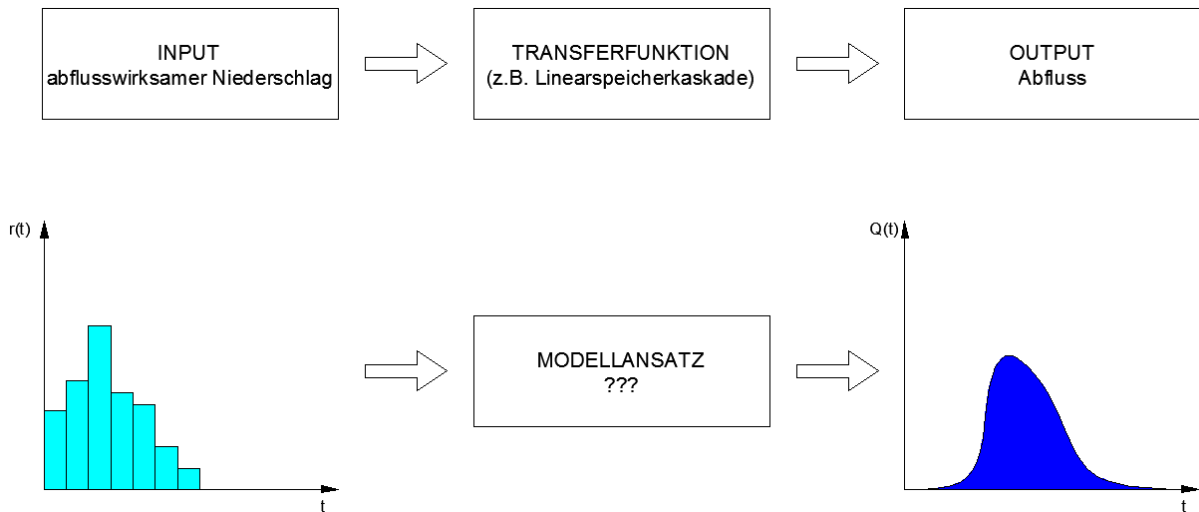


Abbildung 30: Prinzip der Abflusskonzentration

Die Abflussvorgänge auf der Oberfläche und in den Zuleitungen zum Entwässerungssystem können sehr komplex und verschiedenartig sein. Eine mathematische Beschreibung der physikalischen Vorgänge ist daher problematisch, weshalb diese nur näherungsweise erfasst werden.

Überwiegend kommen hydrologische bzw. konzeptionelle Ansätze für die Berechnung der Abflusswellen aus den Effektivniederschlägen zum Einsatz. Ein sehr häufig angewandtes Prinzip ist hierbei jenes der „Einheitsganglinie“. Die Einheitsganglinie ist definiert als jene Abflussganglinie, welche aus einer örtlich gleichmäßig verteilt angenommenen Einheit des abflusswirksamen Niederschlags pro Diskretisierungszeitschritt (z. B.  $i_{aw} = 1 \text{ mm}/5 \text{ min}$ ) entsteht. Dabei werden die Eigenschaften des betrachteten Gebiets (Translation und Retention) pauschal durch die Form der Einheitsganglinie berücksichtigt (ATV, 2004). Das Prinzip ist in Abbildung 31 dargestellt.

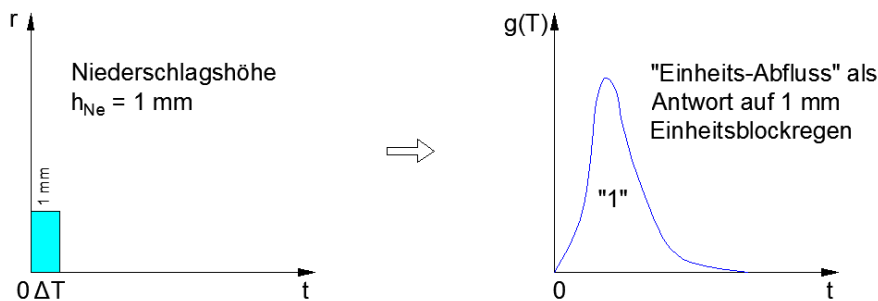


Abbildung 31: Prinzip der Einheitsganglinie

Abbildung 32 zeigt, wie die Einheitsganglinie des jeweils betrachteten Gebiets durch Anpassung der Parameter bestimmt werden kann. Dadurch sollten berechnete und gemessene Abflussganglinie übereinstimmen.

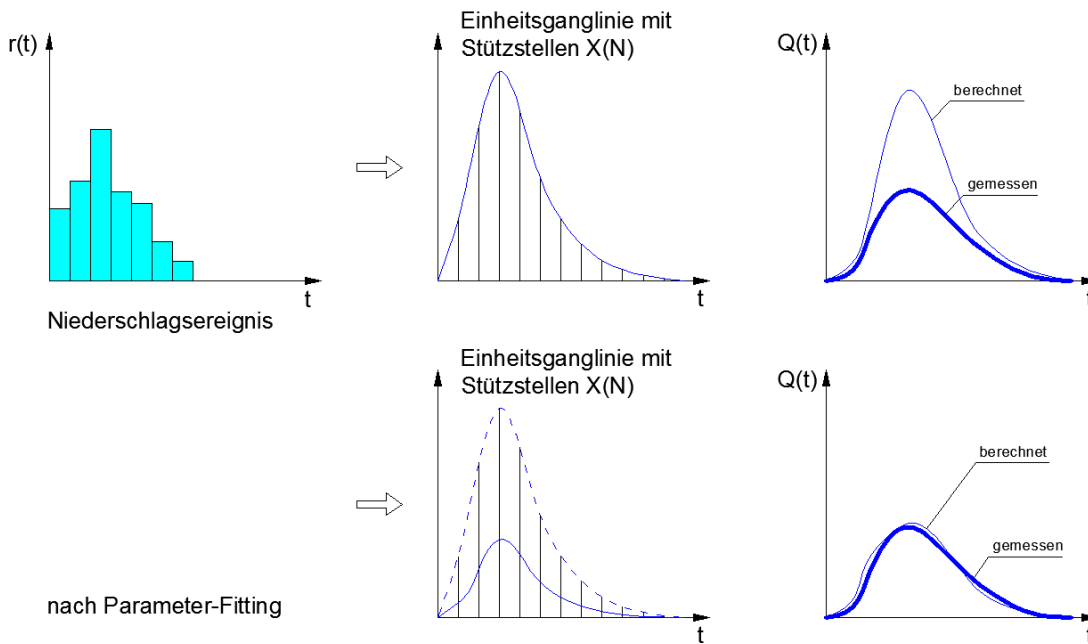


Abbildung 32: Bestimmen der Parameter der Einheitganglinie

Die kontinuierliche Funktion des Abflusses ist das Ergebnis der Faltung des Effektivregens mit der Systemfunktion (Einheitsganglinie). Für die praktische Durchführung der Berechnungen wird jedoch meist mit diskretisierten Zeitschritten gearbeitet, für welche sowohl die Effektivniederschläge als auch die Einheitsganglinie vorliegen. Die Abflussganglinie berechnet sich somit mit dem diskretisierten Faltungsintegral wie folgt:

$$Q(t_k) = \sum_{i=1}^k (r(\Delta t_i) \cdot \Delta t \cdot g(t_{(k-i+1)}))$$

Mit  $k = 1..n$  und  $n = 1 + m - 1$  wobei

|                  |                                                                               |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $Q(t_k)$         | Abfluss zum diskreten Zeitpunkt $t_k = k \cdot \Delta t$ [ $L^3/T$ ]          |
| $r(\Delta t_i)$  | Nettoniederschlagsintensität [ $\frac{L}{T}$ ]                                |
| $\Delta t$       | Zeitliche Diskretisierung [ $T$ ]                                             |
| $g(t_{(k-i+1)})$ | Transferfunktion zum Zeitpunkt $t_{(k-i+1)}$ [ $L^3 T^{-1} L^{-1}$ ]          |
| 1                | Anzahl Zeitschritte $\Delta t$ bei denen ein Regen noch zum Abfluss führt [–] |
| m                | Anzahl beobachtete Regenabschnitte [–]                                        |

Es wird angenommen, dass die Beziehung zwischen abflusswirksamem Niederschlag  $i_{aw}$  und resultierender Abflussganglinie linear und unabhängig vom Zeitpunkt des Auftretens von  $i_{aw}$  ist (siehe Abbildung 33). Dies bedeutet, dass die Steigerung des Abflusses infolge der Steigerung der Regenintensität proportional ist (Linearität) und das System zu jedem Zeitpunkt bei gleicher Anregung (Regenintensität) mit gleicher Antwort (Abfluss) reagiert (Zeitinvarianz).

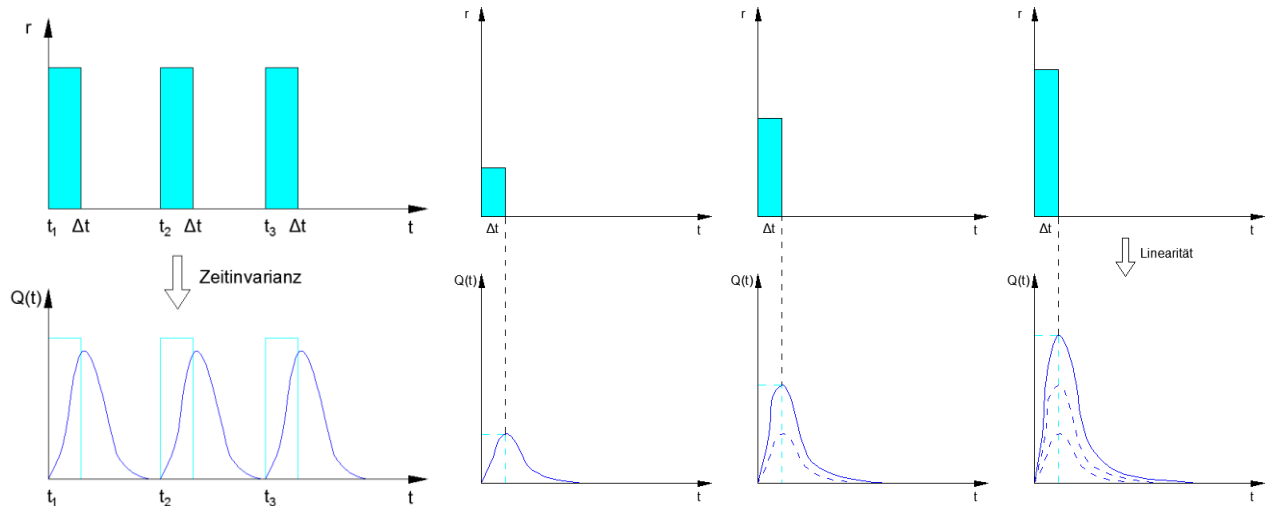


Abbildung 33: Grundlagen linearer Modelle – links: Zeitinvarianz; rechts: Linearität

Somit lassen sich für beliebige Folgen von abflusswirksamen Niederschlägen die resultierenden Abflussganglinien durch Überlagerung von Teilwellen aus jedem Niederschlagsintervall des Ereignisses berechnen (siehe Abbildung 34).

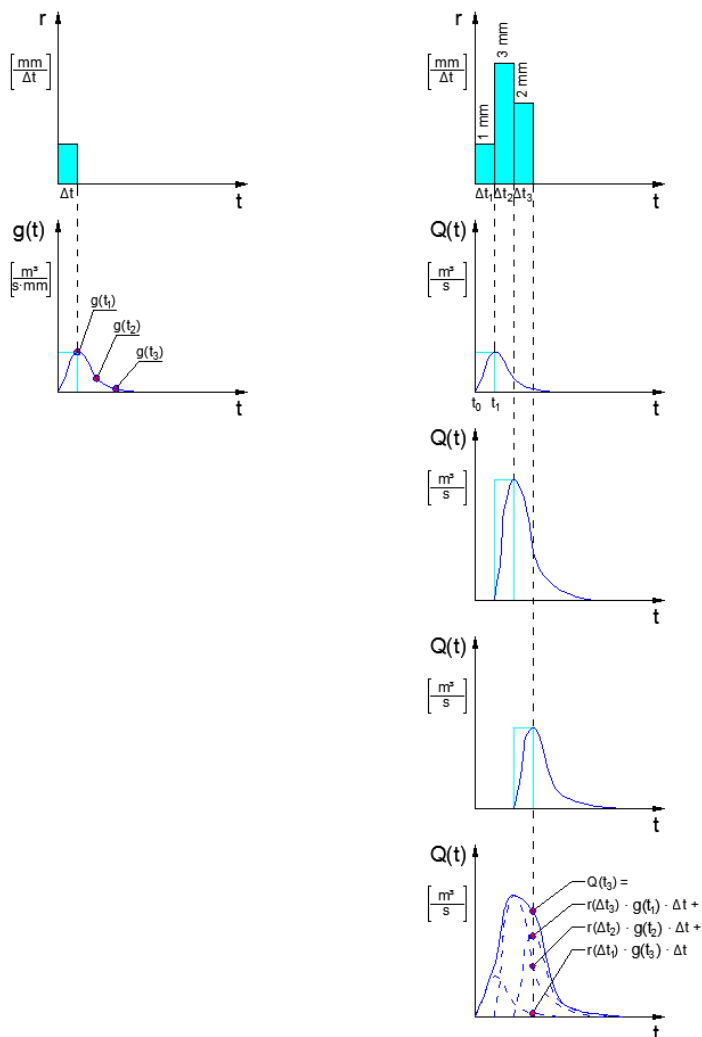


Abbildung 34: Überlagerung von Teilwellen aus einzelnen Niederschlagsintervallen zur Ermittlung der Abflussganglinie

Die Einheitsganglinie kann theoretisch jede beliebige Form annehmen. Meist wird sie jedoch durch Übertragungsfunktionen dargestellt, welche durch wenige Parameter beschrieben werden können. Für das jeweilige Gebiet sind dann dementsprechend auch nur diese Parameter zu bestimmen.

Für die funktionale Beschreibung der Einheitsganglinien stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung. Beispiele hierfür sind (vergleiche Abbildung 35):

- Die Einheitsganglinie
- Der Einzel-Linearspeicher
- Die Linearspeicherkaskade
- Die Isochronenmethode

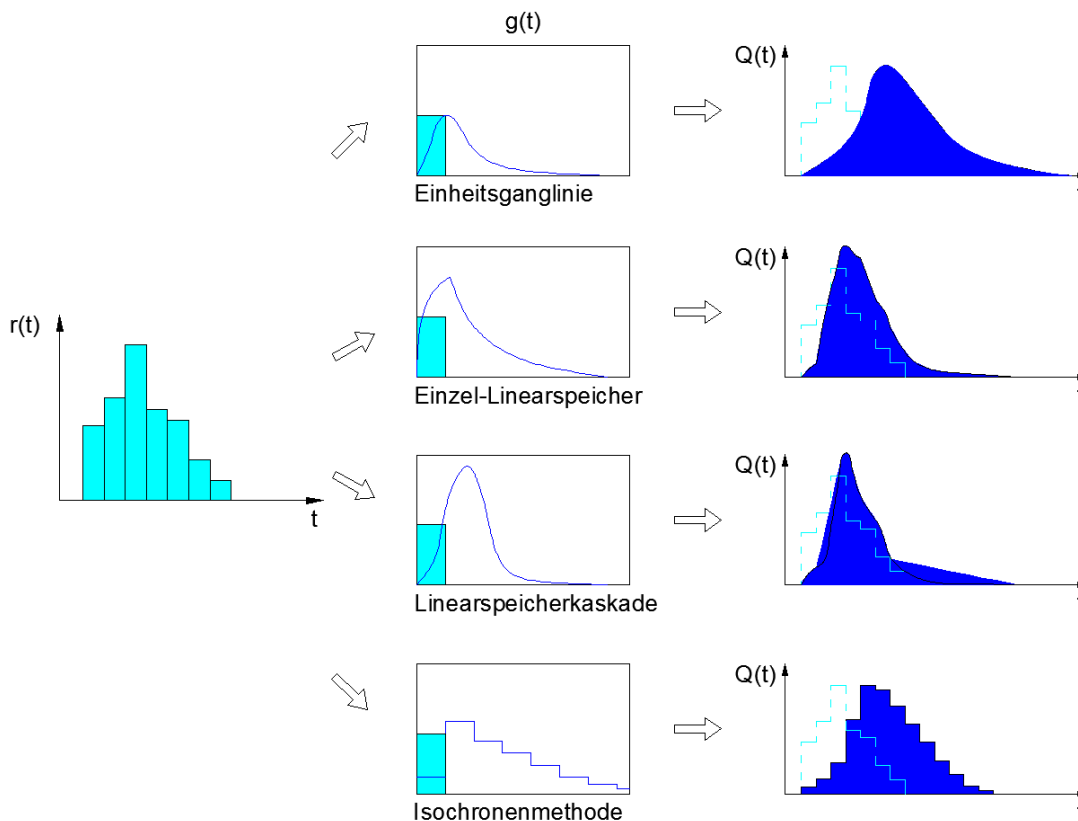
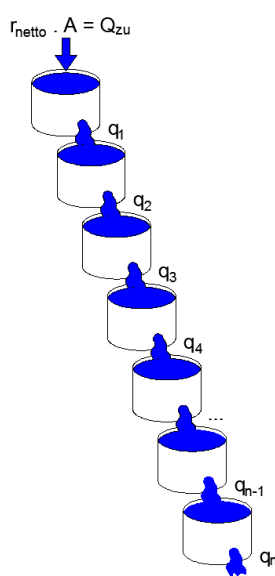


Abbildung 35: Ansätze zur Einheitsganglinie

Die folgenden Ansätze sind in weit verbreiteten Niederschlag-Abfluss-Modellen im Einsatz und werden daher an dieser Stelle genauer betrachtet:

**Standard-Einheitsganglinie:** Diese wird aus Messungen und Analysen von Einheitsganglinien verschiedener Gebiete empirisch gewonnen. Sie weist einen linearen Anstieg bis zum Scheitelwert und einen abfallenden Ast als e-Funktion auf. Anstiegszeit und maximale Ordinate werden mit einer empirischen Beziehung aus Kenngrößen der Teilfläche (Flächengröße und Schwerpunktlaufzeit) ermittelt. Zusammen mit der Volumenbedingung ( $V = 1 \text{ mm}$ ) wird die gebietspezifische Einheitsganglinie eindeutig festgelegt (ATV, 2004).

**Lineare Speicherkaskade:** Bei diesem Prinzip werden  $n$  hintereinander liegende fiktive Speicher mit gleichen Eigenschaften (Speicherkonstante  $k$ ) angenommen. Der Zufluss zum ersten Speicher ist  $i_w = 1 \text{ mm}/\Delta t$ . Der Ablauf eines jeden Speichers wird zum Zulauf des nächsten Speichers. Der Ablauf des letzten Speichers ist schließlich die gesuchte Einheitsganglinie. Diese lässt sich im Gegensatz zur Standard-Einheitsganglinie als geschlossene mathematische Funktion angeben. Die Kenngrößen  $n$  und  $k$  werden ähnlich wie bei der Standard-Einheitsganglinie mit empirischen Beziehungen aus Gebietskenngrößen ermittelt (ATV, 2004). Das Prinzip der linearen Speicherkaskade sowie die entsprechenden mathematische Formeln sind in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt.



$$\frac{dq_1}{dt} = \frac{1}{K_{Sp,1}} \cdot (r_{Netto} \cdot A - q_1)$$

$$\frac{dq_2}{dt} = \frac{1}{K_{Sp,2}} \cdot (q_1 - q_2)$$

$$\frac{dq_n}{dt} = \frac{1}{K_{Sp,n}} \cdot (q_{n-1} - q_n)$$

$$\sum K_{Sp,i} = \sum K_{Sp,tot}$$

und normalerweise

$$K_{Sp,i} = \frac{1}{n} \cdot K_{Sp,tot}$$

$$q_n(t) = \frac{1}{K_{Sp} \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{K_{Sp}}\right)^{n-1} \cdot e^{-t/K_{Sp}}$$

Abbildung 36: Prinzip der linearen Speicherkaskade

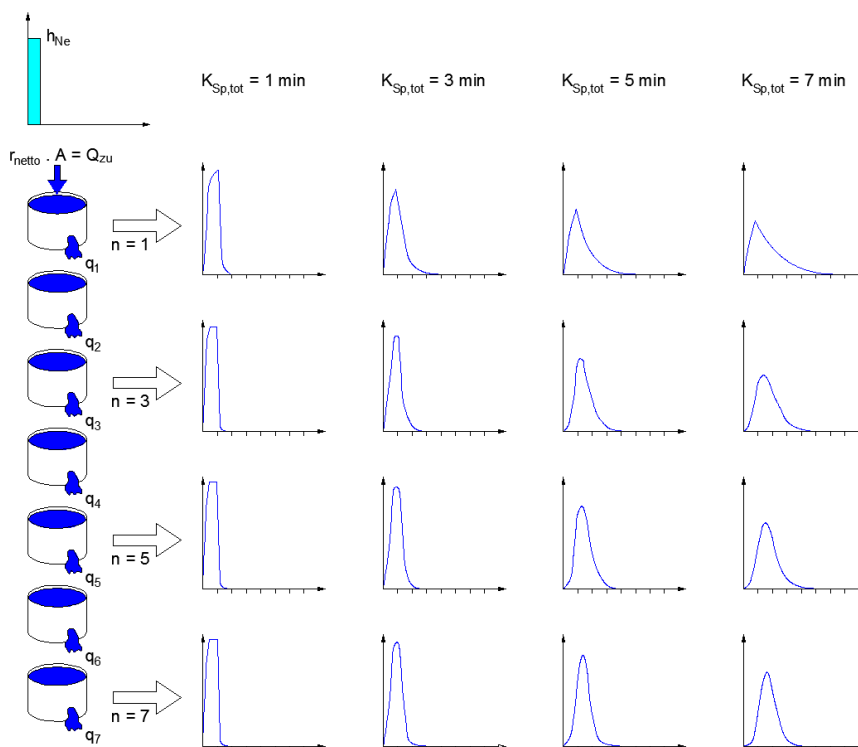


Abbildung 37: Schematische Darstellung der Linearspeicherkaskade

Auch bei der Abflusskonzentration ist das unterschiedliche Abflussverhalten von undurchlässig befestigten und durchlässig befestigten bzw. nicht befestigten Teilflächen zu berücksichtigen.

**Parallelspeicherkaskade:** Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch die Parallelschaltung von Speicherkaskaden. Dabei nimmt die Anzahl der Parameter mit jeder weiteren Kaskade um jeweils 3 (Aufteilungsverhältnis  $\beta$ , Speicheranzahl  $n$  und Speicherkonstante  $K$ ) zu. Der Ansatz der parallelen Speicherkaskaden ist in zahlreichen Modellen implementiert. Nachfolgend findet sich hierzu ein Beispiel mit 2 parallelen Speicherkaskaden, welches sich nach (Muschalla et al., 2006) mit folgenden Parametern und Aufteilungsverhältnissen bewährt hat:

- Schnell entwässernde Flächenanteile: 1. Kaskade mit  $n=3$ ,  $K=0,25$  ( $t_f+t_a$ )

- Langsam entwässernde Flächenanteile: 2. Kaskade mit  $n=3$ ,  $K=1,25$  ( $t_r+t_a$ )  
 $t_r$  = längste Fließzeit im Kanal,  $t_a$  = Oberflächenanlaufzeit
- Aufteilungsverhältnis  $\beta$  nach Abbildung 38 - rechts

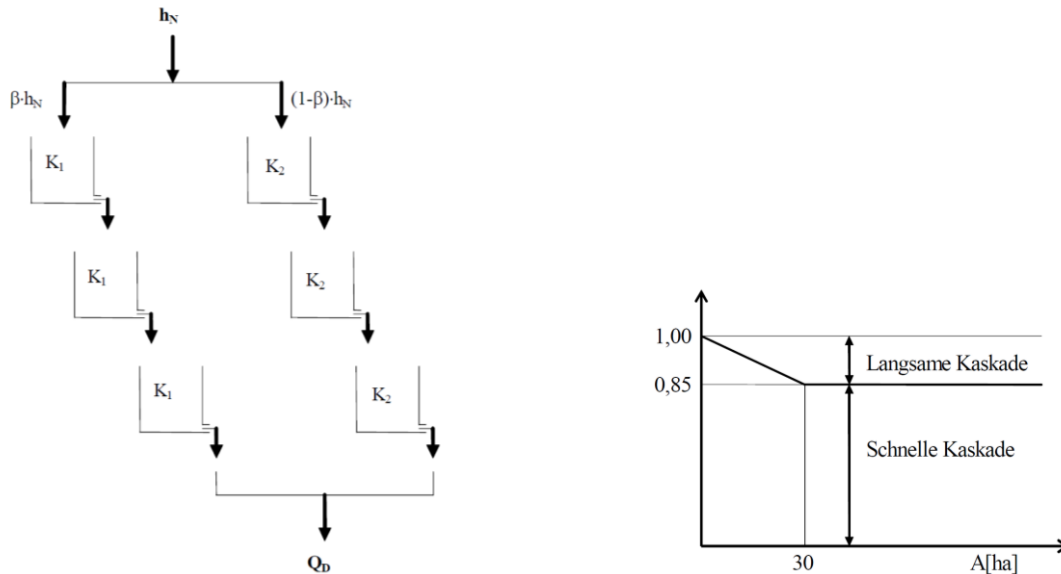


Abbildung 38: links: Schema der Parallel-Speicherkaskaden bei kanalisiert Flächen; rechts: Aufteilung des abflusswirksamen Niederschlags

In Abbildung 39 sind die prinzipiellen Vorgänge und Zusammenhänge bei der Abflussbildung sowie der Abflusskonzentration abschließend nochmals schematisch dargestellt.

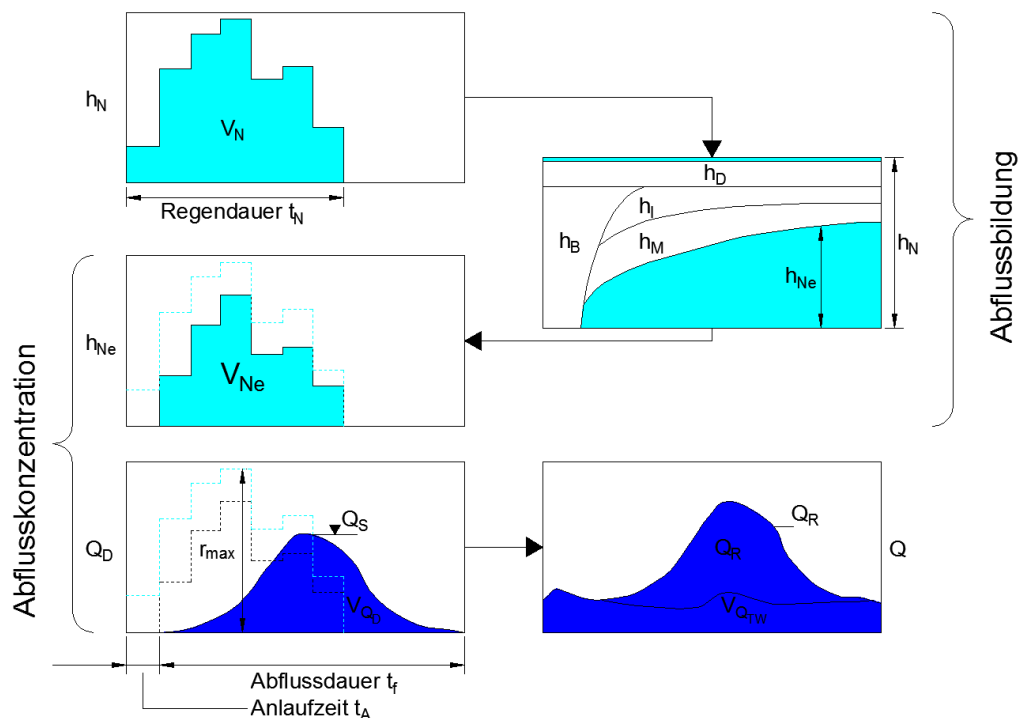


Abbildung 39: Prinzipskizze der Abflussbildung und Abflusskonzentration

#### 5.1.1.4. ABFLUSSTRANSPORT

Mit der Modellkomponente Abflusstransport werden die Abflussvorgänge im Kanalnetz bzw. allgemein in einem Entwässerungssystem beschrieben. Die Ergebnisse aus der Oberflächenabflussberechnung stellen hierbei die Zuflüsse dar. Zu diesen aus dem Oberflächenmodell berechneten und den einzelnen Haltungen zugewiesenen Zuflussganglinien kommt noch der Trockenwetterabfluss als

Belastung hinzu. Die Zuflussganglinien werden im Regelfall auch bei Ein- und Überstau nicht verändert, wodurch die Systeme Oberfläche und Kanalnetz entkoppelt sind und somit auch getrennt voneinander behandelt werden können.

Im Gegensatz zum Oberflächenabfluss ist der Wellenablauf im Kanalnetz durch die Geometrie (Abmessungen) und Eigenschaften des Systems inklusive seiner Sonderbauwerke klar definiert. Somit lassen sich die Abflussvorgänge detailliert beschreiben, wobei die Betrachtung der eindimensionalen Strömungsverhältnisse meist ausreichend ist.

Beim Transport einer Abflusswelle durch eine Kanalstrecke sind zwei grundsätzliche Effekte zu beobachten:

- Translation (Wellenverschiebung)
- Retention (Wellendämpfung)

Abbildung 40 zeigt das Prinzip der Wellenverformung in einer Transportstrecke. Dabei bedeuten:

$Q_z(t)$  Zufluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$Q_a(t)$  Abfluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

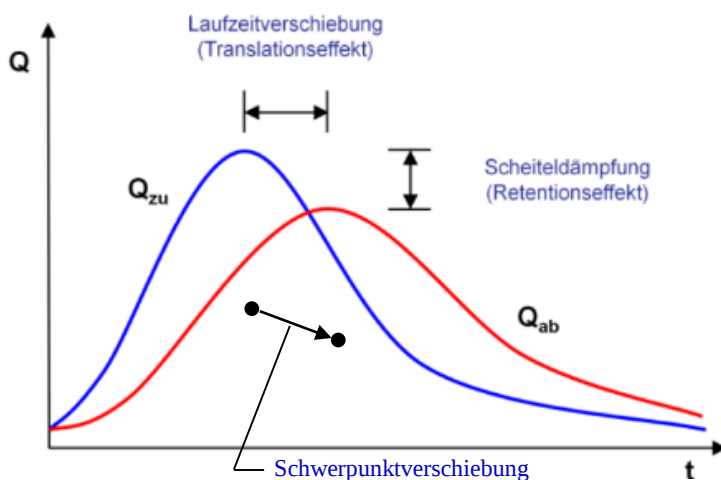


Abbildung 40: Darstellung der Abflusstransformation in einer Transportstrecke

Ein sehr einfaches Verfahren zur Berechnung der Abflussganglinie  $Q_a(t)$  besteht darin, die gesamte Zuflussganglinie  $Q_z(t)$  um die Fließzeit durch die Kanalstrecke (beispielsweise bei Vollfüllung) zu versetzen. Dadurch wird nur der Translations-, jedoch nicht der Retentionseffekt erfasst.

Der Retentionseffekt lässt sich folgendermaßen erklären: Bei steigendem Zufluss erhöht sich der Wasserspiegel in einer Kanalhaltung. Ein Teil des Zuflusses wird somit zur Vergrößerung des Wasserkörpers in der Haltung benötigt und lediglich der verbleibende Anteil führt zu einer Abflusserhöhung am Haltungsende. Bei sinkendem Zufluss ist der umgekehrte Vorgang zu beobachten. Durch die Senkung des Wasserspiegels ergibt sich ein verlangsamer Abflussrückgang aus der Haltung (ATV, 2004).

Wird der Retentionseffekt berücksichtigt, so gibt es für die Berechnung des Abflusstransports zwei unterschiedliche Ansätze, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird. Beim hydrodynamischen Ansatz werden die Abflussvorgänge detailliert unter Berücksichtigung der physikalischen Prozesse beschrieben. Beim hydrologischen bzw. konzeptionellen Ansatz wird hierauf verzichtet und der Abflusstransportvorgang mittels Massenbilanz und empirischer Übertragungsfunktionen abgebildet.

### Hydrologische Transportmodelle

Bei den hydrologischen Transportmodellen wird auf eine empirische Beziehung zurückgegriffen, um den Retentionseffekt zu berücksichtigen. Das Wasservolumen in einer Haltung wird dabei als Funktion des Zuflusses oder des Zu- und Abflusses beschrieben.

Es kommen hierbei Übertragungsfunktionen zum Einsatz, um die Veränderung der Abflusswelle von einem Ortspunkt zum nächsten zu beschreiben. Alle hydrologischen Ansätze basieren auf einer Kombination aus den folgenden beiden zentralen Elementen:

- Kontinuitätsbedingung bzw. Massenbilanz
- Speicherbeziehung

Die hydrologischen Verfahren lassen sich dahingehend unterscheiden, ob die Parameter der empirischen Beziehung aufgrund hydraulischer Überlegungen aus der Geometrie der Transportstrecke berechenbar sind, oder ob abgelaufene Ereignisse (gemessene Zufluss- und Abflusswellen) nötig sind, um die Parameter bestimmen zu können (ATV, 2004).

Die im deutschsprachigen Raum gebräuchlichsten Verfahren sind hierbei:

- Muskingum-Verfahren
- Kalinin-Miljukov-Verfahren

### *Muskingum-Verfahren*

Beim Muskingum-Verfahren wird von der Vorstellung ausgegangen, dass das Volumen durch eine Funktion der Zu- und Abflüsse ausgedrückt werden kann:

$$S(t) = K \cdot [x \cdot Q_Z(t) + (1 - x) \cdot Q(t)]$$

Es bedeuten:

|          |                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------|
| $S(t)$   | Speicherinhalt (Volumen) des Gerinneabschnittes [m <sup>3</sup> ] |
| $Q_Z(t)$ | Zufluss [m <sup>3</sup> /s]                                       |
| $Q(t)$   | Abfluss [m <sup>3</sup> /s]                                       |
| $K$      | Muskingum-Konstante [s]                                           |
| $x$      | Formfaktor [-]                                                    |

Beim Muskingum-Verfahren ist die Ermittlung der Parameter  $x$  und  $K$  problematisch. Dazu müssen für mindestens ein Regenereignis die Zu- und Abflussganglinien bekannt sein.

### *Kalinin-Miljukov-Verfahren*

Das Kalinin-Miljukov-Verfahren hingegen geht von der Vorstellung aus, dass das Volumen innerhalb eines Gerinneabschnittes bei verzögertem oder beschleunigtem Abfluss durch ein äquivalentes Volumen mit konstantem Wasserstand ersetzt werden kann und somit eine eindeutige Beziehung zwischen Volumen und Wasserstand gegeben ist.

Das Verfahren von Kalinin und Miljukov stellt den Transportprozess mit freiem Wasserspiegel als eine lineare Speicherkaskade dar. Das Gerinne wird in Abschnitte einer bestimmten Länge, der sogenannten charakteristischen Länge, zerlegt. Diese als ein Speicher anzusehende Fließstrecke und deren Retentionsverhalten werden wie folgt berechnet:

Länge des Abschnitts („charakteristische Länge“):

$$L(Q) = \frac{Q}{I_{SO}} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta Q_{stat.}}$$

Speicherkonstante:

$$k(Q) = b_{sp}(Q) \cdot L(Q) \cdot \left( \frac{\Delta h}{\Delta Q} \right)_{stat.}$$

Es bedeuten:

|                                 |                                                                        |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $Q$                             | Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]                                         |
| $I_{SO}$                        | Sohlengefälle [-]                                                      |
| $b_{sp}$                        | Spiegelbreite [m]                                                      |
| $(\Delta h / \Delta Q)_{stat.}$ | Kehrwert der Steigung der stationären Abflusskurve [s/m <sup>2</sup> ] |
| $K$                             | Speicherkonstante [s]                                                  |
| $L$                             | charakteristische Länge [m]                                            |

Streng genommen sind jedem Durchfluss  $Q$  eine andere Speicherkonstante  $k$  und eine andere charakteristische Länge  $L$  zugeordnet. Allerdings werden auch brauchbare Ergebnisse erzielt, wenn man diese Abhängigkeit vernachlässigt und einen konstanten Durchfluss (z. B. Scheitelabfluss) ansetzt (Muschalla et al., 2006).

Für die in der Kanalisation häufig vorkommenden Kreisrohre hat (Euler, 1983) ermittelt, dass mittlere Parameterwerte gute Näherungen darstellen und eine Abhängigkeit der Parameter vom Abfluss vernachlässigbar ist. Die charakteristische Länge  $L$  und die Speicherkonstante  $k$  berechnen sich nach Eulers Näherung folgendermaßen:

$$L = 0,4 \cdot \frac{d}{I_{so}}$$

$$k = 0,64 \cdot L \cdot \frac{d^2}{Q_v}$$

Es bedeuten:

$d$  Durchmesser

$Q_v$  Abflussvermögen [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Für andere Kanalisationsquerschnitte kann  $d$  durch den hydraulischen Durchmesser ersetzt werden (Muschalla et al., 2006).

Beim Freispiegelabfluss lässt sich der Wellenablauf mit dem Kalinin-Miljukov-Verfahren gut beschreiben, wie Vergleichsrechnungen mit hydrodynamischen Modellen zeigen.

Da bei hydrologischen Verfahren keine Wasserspiegellagen berechnet werden, „merken“ die Modelle ohne zusätzliche hydraulische Ansätze nicht, wenn gegen die Voraussetzung des Freispiegelabflusses verstoßen wird. Daher ist die Anwendung dieser Verfahren nur zulässig, wenn der Druckabfluss im Netz ohne Bedeutung ist.

### Hydrodynamische Transportmodelle

Bei den hydrodynamischen Transportmodellen wird nicht auf empirische Übertragungsfunktionen zurückgegriffen. Der instationäre Transportvorgang kann durch die 1871 von de Saint-Venant für eine eindimensionale Strömung unter der Voraussetzung eines Freispiegelabflusses abgeleiteten partiellen, nicht-linearen Differentialgleichungen mathematisch beschrieben werden. Abbildung 41 zeigt die Zusammenhänge bei einer instationären Strömung in einer infinitesimal kleinen Strecke  $dx$ .

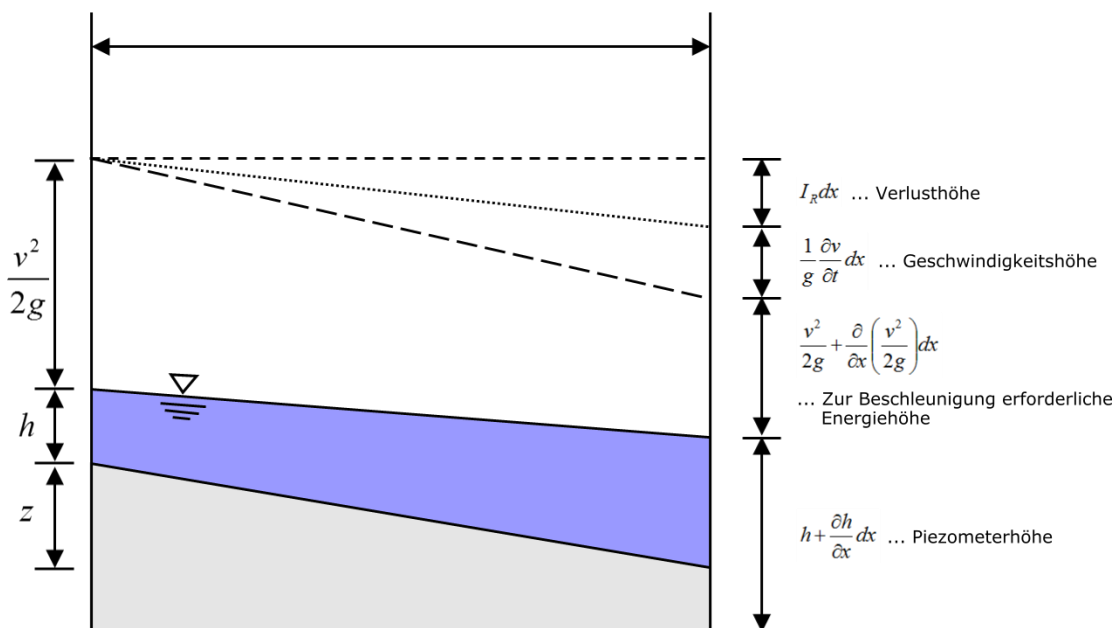


Abbildung 41: Instationäre Strömung in einer infinitesimal kleinen Strecke  $dx$ ; adaptiert nach (Maniak, 2005)

Für den Abflussvorgang gelten folgende Zusammenhänge:

Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

Bewegungsgleichung:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{c_s \cdot v}{g \cdot A} \cdot q + \frac{\partial h}{\partial x} = I_{SO} - I_R$$

Es bedeuten:

|                 |                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| V               | Durchfluss [m³/s]                                          |
| A               | Fließquerschnitt normal zur Sohle [m²]                     |
| v               | mittlere Fließgeschwindigkeit im Querschnitt [m/s]         |
| c <sub>s</sub>  | Beiwert zur Berücksichtigung der seitlichen Zuströmung [-] |
| h               | Wassertiefe bzw. Druckhöhe normal zur Sohle [m]            |
| I <sub>SO</sub> | Sohlengefälle [-]                                          |
| I <sub>R</sub>  | Reibungsgefälle [-]                                        |
| g               | Erdbeschleunigung [m/s²]                                   |
| x               | Wegkoordinate [m]                                          |
| t               | Zeitkoordinate [s]                                         |
| q               | seitlicher Zufluss [m³/(s·m)]                              |

In Abbildung 42 sind die Kontinuitätsgleichung (Massenbilanz) sowie die Bewegungsgleichung (Energiebilanz) nochmals dargestellt und erläutert. Es existieren hierbei neben dem dynamischen Wellenansatz noch weitere vereinfachte Ansätze (Diffusionswellenansatz, kinematischer Wellenansatz), bei welchen einzelne Glieder der Energiebilanz weggelassen werden. Nachfolgend werden die Ansätze kurz näher erläutert:

#### Kinematischer Wellenansatz:

Der kinematische Wellenansatz berücksichtigt neben der Kontinuitätsgleichung das Reibungs- und Gerinnegefälle. Dieser Ansatz ist nur für steile Netze, wo kein Rückstau zu erwarten ist, zu verwenden.

#### Diffusionswellenansatz:

Der Diffusionswellenansatz bezieht auch das Druckglied mit in die Berechnung ein, wodurch es möglich ist, einen Rückstau zu erfassen, jedoch werden Trägheitseffekte vernachlässigt.

#### Dynamischer Wellenansatz:

Beim dynamischen Wellenansatz werden schlussendlich auch die lokale und konvektive Beschleunigung miteinbezogen. Somit wird die gesamte Energiegleichung mit der Kontinuitätsgleichung gekoppelt und es können alle Prozesse physikalisch vollständig erfasst werden. Wichtig ist zu erwähnen, dass falls der dynamische Wellenansatz vereinfacht werden soll, immer beide Beschleunigungsterme gestrichen werden müssen, da diese unter normalen Fließbedingungen gegenläufige Werte annehmen und somit der Fehler bei Vernachlässigung nur einer der beiden Terme größer würde als bei Vernachlässigung beider Terme.

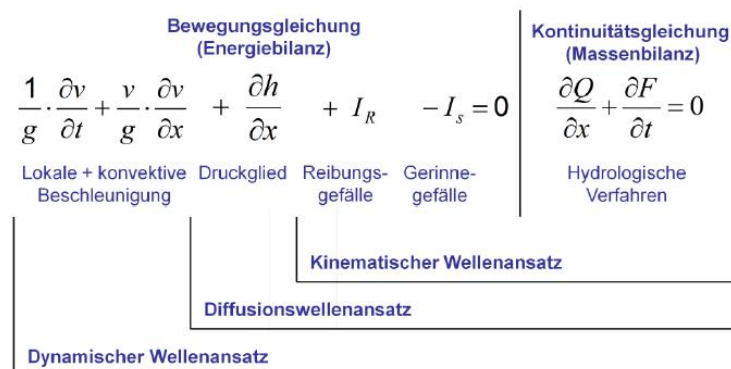


Abbildung 42: Abflusstransport - Ansatz bei hydrodynamischen Modellen

Das Reibungsgefälle (Energienliniengefälle) wird meist nach dem Ansatz von Gauckler-Manning-Strickler oder nach der Widerstandsformel von Darcy-Weisbach in Verbindung mit dem Reibungsgesetz von Prandtl-Colebrook berechnet, wobei für Kanalnetzrechnungen im deutschsprachigen Raum üblicherweise der Ansatz von Darcy-Weisbach verwendet wird. Dieser ist nachfolgend dargestellt:

$$I_R = \lambda \cdot \frac{1}{4 \cdot r_{hy}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Für  $Re > 2320$  gilt das Widerstandsgesetz von Prandtl-Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[ \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k_b}{14,84 \cdot r_{hy}} \right]$$

Für  $Re < 2320$  gilt die Gleichung von Hagen-Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Es bedeuten:

|           |                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------|
| $\lambda$ | Widerstandsbeiwert [-]                            |
| $k_b$     | betriebliche Rauheit nach Prandtl-Colebrook [m]   |
| $Re$      | Reynolds-Zahl $Re = v \cdot 4 \cdot r_{hy} / \nu$ |
| $\nu$     | kinematische Viskosität                           |

Folgende Größen sind bei den oben genannten Formeln unbekannt:

- Abfluss  $Q$
- Fließgeschwindigkeit  $v$
- Wassertiefe  $h$

Die Unbekannten sind dabei sowohl von der Zeit  $t$  als auch vom Ort  $x$  abhängig.

Das vorliegende nichtlineare hyperbolische Gleichungssystem ist nicht geschlossen lösbar. Daher wird es in ein System von Differenzengleichungen umgewandelt und numerisch gelöst. Zu beachten sind hierbei die entsprechenden Anfangs- und Randbedingungen.

Die de Saint-Venant'schen Differentialgleichungen können mit expliziten und impliziten Differenzenverfahren gelöst werden. Darüber hinaus gibt es auch Charakteristikenverfahren, welche jedoch üblicherweise nicht zur Anwendung kommen.

### Explizite Verfahren

Bei den expliziten Verfahren werden die unbekannten Werte (Geschwindigkeit, Wasserspiegellage) des neuen Zeitpunktes ausschließlich unter Verwendung der Informationen aus dem bekannten Zeitpunkt berechnet. Um die Stabilität der Berechnung gewährleisten zu können, ist es erforderlich, dass die Courant-Bedingung eingehalten wird:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|v| + c}$$

Die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  ist hierbei:

$$c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{b_{sp}}}$$

$\Delta x$  Berechnungsabschnitt (z. B. eine Haltung)

Der Berechnungszeitschritt  $\Delta t$  ist also so klein zu wählen, dass eine Störung, welche sich mit der Geschwindigkeit  $v+c$  in Fließrichtung fortpflanzt, das Haltungsende in  $\Delta t$  noch nicht erreicht haben darf. Wird das Stabilitätskriterium nicht eingehalten, kommt es zu instabilen Lösungen (Schwingungen im Verlauf von  $Q(t)$ ,  $h(t)$ )

Der Berechnungszeitschritt liegt üblicherweise im Sekundenbereich. Maßgebend für die Wahl des Berechnungszeitschritts  $\Delta t$  sind kurze Haltungen. Sehr kleine Zeitschritte können durch Zusammenfassen mehrerer Haltungen zu Berechnungsabschnitten vermieden werden. Allerdings gehen dann auch Informationen über diese Haltungen verloren.

### Implizite Verfahren

Bei impliziten Verfahren werden Werte aus bekannten als auch Werte aus der neuen, unbekannten Zeitebene miteinander verknüpft. Somit entstehen Abhängigkeiten der Unbekannten der neuen Zeitebene untereinander, welche zu einem Gleichungssystem führen, das rekursiv gelöst werden muss (Verworn, 1999). Die zunächst geschätzten Werte werden über einen Iterationsprozess immer weiter verbessert, bis sowohl die Kontinuitätsgleichung als auch die Bewegungsgleichung hinreichend genau erfüllt sind (ATV, 2004).

Implizite Lösungsverfahren bleiben generell stabil. Um die Abflussdynamik ausreichend genau erfassen zu können, ist die Länge der Zeitschritte dennoch kurz genug zu wählen. Üblich sind Zeitschritte zwischen 30 Sekunden und 5 Minuten.

### Bewertung der Verfahren

Für beide der dargestellten Lösungsverfahren gibt es Vor- und Nachteile. Generell kann keinem der beiden Verfahren ein Vorzug erteilt werden. Wird der Zeitschritt sachgerecht gewählt und werden sonst gleiche Eingabedaten verwendet, so unterscheiden sich die Berechnungsergebnisse nur wenig (ATV, 2004).

Bei natürlichen Gerinnen werden die impliziten Verfahren aufgrund der freien Wahl der Zeitschritte oftmals der Vorzug gegeben. Bei der Anwendung für Kanalnetzberechnungen sind große Zeitschritte wegen dem zeitlich stark variablen Belastungsverlauf und der daraus folgenden hohen Dynamik der Prozesse nicht zulässig. Bei den expliziten Verfahren können extrem kurze Rechenzeitschritte aufgrund der Courant-Bedingung durch die Vermeidung sehr kurzer Ortsschritte durch Festlegung von Mindestlängen für die Abschnitte (Haltungen) umgangen werden. Durch Vergleiche lässt sich feststellen, dass sich von der Rechenzeit her bei der Anwendung für Kanalnetzberechnungen keine wesentlichen Unterschiede zwischen expliziten und impliziten Verfahren ergeben (Verworn, 1999).

Zum Teil werden wie bereits vorher erwähnt Berechnungsansätze verwendet, welche nicht die vollständige Bewegungsgleichung als Ausgangspunkt haben, sondern bei denen ein Term oder mehrere Terme vernachlässigt werden. Aufgrund der Leistungsfähigkeit heutiger Rechner ist es jedoch nicht notwendig, das de Saint-Venant'sche Gleichungssystem zu vereinfachen. Deshalb wird die Durchführung der Berechnungen mit der vollständigen Bewegungsgleichung empfohlen (ATV, 2004).

### Einstau

Das de Saint Venant'sche Gleichungssystem ist seiner Definition gemäß nur für Freispiegelabfluss gültig. Um trotzdem einen in Kanalsystemen regelmäßig auftretenden Druckabfluss berechnen zu können, wurden unterschiedliche Erweiterungen des Lösungsverfahrens entwickelt. Am bekanntesten ist der sogenannten Preissmann-Slot, mit dem der Kanal künstlich durch einen schmalen Spalt nach oben ergänzt wird, so dass auch bei Einstau des Kanals weiter unter der Annahme eines Freispiegelabflusses gerechnet werden kann. Der Wasserstand im Slot kann dann als Druckhöhe interpretiert werden. Das dadurch entstehende Volumen ist normalerweise vernachlässigbar. Andere Lösungsverfahren ergänzen die zu lösende Massenbilanz um jeden Knoten um ein spezielles Iterationsverfahren, das solange den Wasserstand im Knoten und die daraus resultierende Zu- und Abflüsse während Einstaubedingungen iteriert, bis eine Lösung innerhalb einer vorzugebenden Toleranzschränke erreicht ist (Rossmann, 2006).

### Überstau

Die hydrodynamischen Transportmodelle können mit den vorgestellten Ansätzen bei instationärem Abfluss Wasserspiegellagen und somit auch Überstauereignisse sachgerecht berechnen. Die Druckhöhe ist bei Überstau nicht auf die Geländehöhe begrenzt. Die Transportmodelle können durch Ansatz virtueller Speicher mit definierter Grundfläche oberhalb jedes Schachtes Fließzustände berücksichtigen, die beim Ausfluss unter Druck (artesischen Brunnen, Anheben von Schachtdeckeln) und/oder durch Bildung von lokalen Überflutungen von Tiefpunkten auftreten. Somit können auch Druckhöhen, die über Gelände ansteigen, Berücksichtigung finden. Hierdurch ergeben sich größere Abflüsse stromabwärts und höherer Rückstau stromaufwärts.

Bei Überstauereignissen müssen Annahmen über die Druckhöhe und den Verbleib des auf der Oberfläche rückgestauten Wassers getroffen werden. Insbesondere ist dies bei hydraulisch überlasteten Netzen und Langzeitsimulationen von Bedeutung. Folgende Ansätze sind hierbei möglich (ATV, 2004):

- Damit die gesamte Wassermenge im Kanal abgeleitet wird, wird die Druckhöhe dahingehend fiktiv erhöht. Diese Methode eignet sich für Arbeitsrechnungen zur Sanierung hydraulisch überlasteter Netze, da weiter unten liegende Engpässe erkannt werden.
- Es findet nur jene Wassermenge Berücksichtigung, welche sich mit dem Wasserstand auf Geländehöhe im Kanal abführen lässt. Der rückgestaute Anteil wird in weiterer Folge in der Berechnung nicht mehr berücksichtigt. Dieser Ansatz ist sachgerecht, wenn das überstauende Wasser anderweitig abfließen kann. Die im Weiteren nicht berücksichtigten Wassermengen sind bei der Bilanzierung der Berechnung auszuweisen.

- Es werden fiktive Speicher auf der Oberfläche angenommen, welche sich bei Überstau füllen und bei Druckhöhen unter Geländeoberkante wieder in denselben Schacht entleeren. Dieser Ansatz ist in Erwägung zu ziehen, wenn das Gelände flach ist und die Fließwege auf der Oberfläche somit nicht ausgeprägt sind.
- Die Oberfläche kann durch ein zusätzliches Transport- und Speichersystem dargestellt werden, welches an den Schächten mit dem Kanalnetz in Verbindung steht. Diese Methode kommt in Betracht, wenn auf der Oberfläche ausgeprägte Abflussvorgänge parallel zum Kanalnetz stattfinden. Austretendes und am Eintritt gehindert Wasser wird so an anderen Stellen in das System eingeleitet. Es ergibt sich ein erheblicher zusätzlicher Daten- und Aufbereitungsaufwand zur Erfassung der Fließwege auf der Oberfläche. Für eine detaillierte Abschätzung von urbanen Überflutungen ist diese Vorgehensweise zielführend.

### *Wasserstände des aufnehmenden Gewässers*

Für die Wasserspiegellinienberechnung mit hydrodynamischen Transportmodellen sind die Randbedingungen an den Endpunkten des Netzes (Auslasskanäle der Entlastungsbauwerke, Übergabepunkt zur Kläranlage) zu definieren. Die Randbedingungen können dabei sein:

- Normalwassertiefe
- Grenztiefe
- Konstanter oder zeitlich veränderlicher Wasserstand

An den Auslasskanälen werden oftmals die höchsten beobachteten oder mit hohen Wiederholungszeitspannen belegten Wasserspiegellagen des Gewässers angenommen. Allerdings ist dies nur berechtigt, wenn das Einzugsgebiet des Gewässers ähnlich wie das Kanalnetz reagiert. Nach (Sartor, 1988) treffen Bemessungsabflüsse im Mittel auf einen Gewässerabfluss mit einer Überschreitungshäufigkeit von ca. 50 Tagen pro Jahr. Die oft angewendete Methode der Multiplikation der Einzelhäufigkeiten beider Abflusskomponenten zur Bestimmung ihrer gemeinsamen Auftrittshäufigkeit liegt im Regelfall sehr weit auf der „sicheren Seite“. Die maßgebenden Niederschlagsereignisse (Dauerregen oder Schneeschmelze für das Gewässer und sommerliche Konvektivregen für das Kanalnetz) treten normalerweise zu unterschiedlichen Jahreszeiten auf. Somit muss die gemeinsame Auftrittswahrscheinlichkeit auch deutlich geringer sein (ATV, 2004).

#### **5.1.1.5. SONDERBAUWERKE**

Folgende Sonderbauwerke der Kanalisation spielen bei der Ableitung des Abwassers eine entscheidende Rolle:

- Verzweigungen - Mischwasserüberläufe oder Aufteilungen
- Speicherbecken und Speicherkanäle
- Pumpwerke

Beim Umgang mit den Sonderbauwerken gibt es deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Berechnungsverfahren:

Bei den hydrologischen Modellen zum Abflusstransport werden normalerweise Kennlinien für die Aufteilung und Speicherung ermittelt. Die Berechnung des Kanalnetzes muss an den Sonderbauwerken nicht unterbrochen werden, allerdings wird hier Rückstaufreiheit vorausgesetzt angenommen. Im einfachsten Fall kann diese Kennlinie durch einen einzelnen Grenzwert, z.B. maximaler Drosselabfluss an einem Mischwasserüberlauf, ersetzt werden. Je nach Implementierung können die erforderlichen Kennlinien durch Vorgabe hydraulischer Randbedingungen automatisch ermittelt werden.

Bei den hydrodynamischen Modellen hingegen werden die Sonderbauwerke in die Berechnungen integriert. Dabei wird ihre Funktion durch die hydraulischen Grundgleichungen (Bewegungsgleichung, Kontinuitätsgleichung, ggf. Impulssatz) und weitere hydraulische Beziehungen (Wehrformeln, Pumpenkennlinien etc.) erfasst. Im Unterschied zu den hydrologischen Verfahren wird ein Rückstau aus dem unterhalb liegenden Kanalnetz und in das oberhalb liegende Kanalnetz automatisch berücksichtigt, vorausgesetzt das de Saint Venant'sche Gleichungssystem wird nicht zu stark vereinfacht (siehe Kapitel 5.4.1.2). Abbildung 43 zeigt dies beispielsweise für die Abflussaufteilung an einem Mischwasserüberlauf (ATV, 2004).

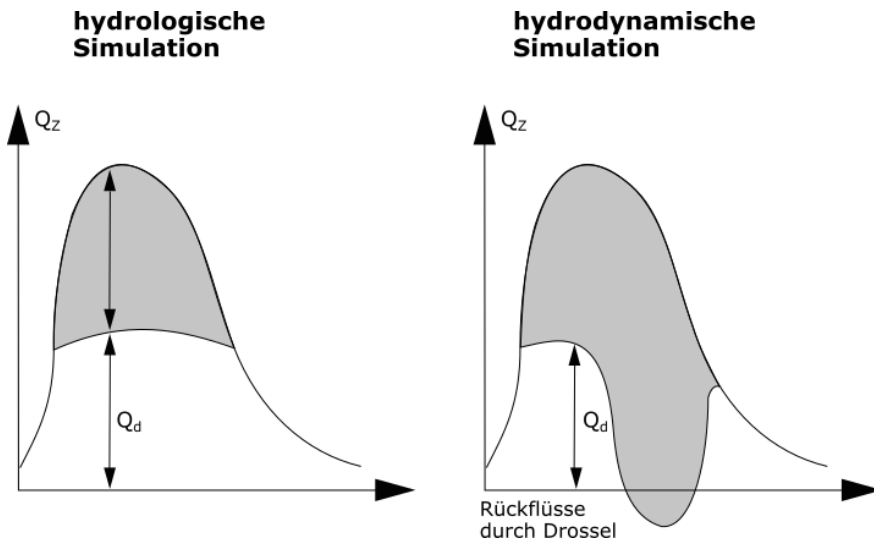


Abbildung 43: Abflussaufteilung bei einem stark rückgestauten Mischwasserüberlauf bei hydrologischer und hydrodynamischer Simulation; adaptiert nach (ATV, 2004)

### Sonderbauwerke in der hydrologischen Modellierung

In hydrologischen Modellen erfolgt häufig eine Unterteilung der Sonderbauwerke nach Bauwerkstypen. Dabei finden die für den jeweiligen Typen charakteristischen Aufteilungsvorgänge Berücksichtigung. Bei einem Mischwasserüberlauf erfolgt beispielsweise eine Aufteilung des Zuflusses in Drosselabfluss und Überlauf, bei einem Mischwasserüberlaufbecken wie dem Durchlaufbecken hingegen wird der Zufluss aufgeteilt in Drosselabfluss, Beckenspeicherung, Klär- und Beckenüberlauf (Schaardt, 2012).

Bei anderen Bauwerkstypen wird die Aufteilung des Zuflusses in derselben Weise auf Grundlage der konstruktiven Gestaltung des Sonderbauwerks berechnet. Da die Kenntnis über den Wasserstand fehlt, wird die Aufteilung des Zuflusses in Speicherung, Ableitung und Entlastung anhand von Drosselwerten oder Kennlinien vorgenommen. Schwierig ist die Nachbildung des tatsächlichen Abflussvorgangs, wenn der Abfluss an Aufteilungen durch Rückstau beeinflusst werden kann. Hierbei ist nur mehr eine grobe Näherung möglich. Bei auftretendem Rückfluss versagen die hydrologischen Modelle, da Angaben über den Wasserstand fehlen (Schaardt, 2012).

Nachfolgend werden einige weit verbreitete Ansätze zur Behandlung von Sonderbauwerken in der hydrologischen Modellierung aufgezeigt.

#### *Aufteilung: Schwellenwertmodell (Näherung)*

(Muschalla et al., 2006)

Beim Schwellenwertmodell wird der zweite Ablauf erst ab dem kritischen Zufluss  $Q_{krit}$  beaufschlagt. D.h. erst nachdem die maximale Kapazität des ersten Ablaufes bei  $Q_{krit}$  erreicht ist, wird mit der darüber hinaus gehende Abflussmenge der zweite Ablauf beaufschlagt. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 44 dargestellt. Bauwerke, die näherungsweise auf diese Art berechnet werden können sind beispielsweise Mischwasserüberläufe und im System vorhandene Verzweigungsbauwerke. In speziellen Fällen können damit aber auch Pumpen mit einer konstanten maximalen Förderleistung abgebildet werden.

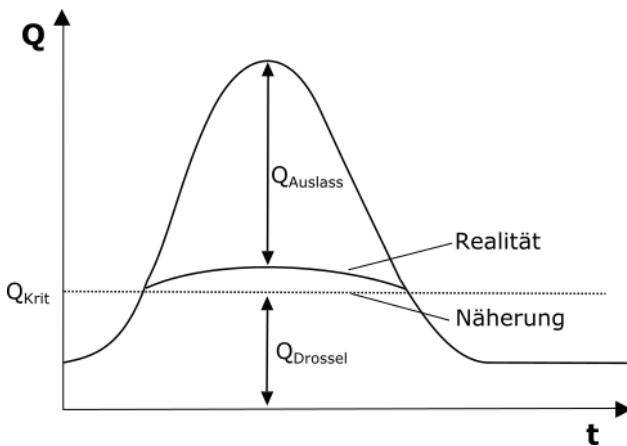


Abbildung 44: Abflussaufteilung nach Schwellenwertkonzept; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006)

Vornämlich bei Rohrdrosseln ist der Abfluss in der Realität aber nicht konstant, sondern wächst mit ansteigendem Wasserspiegel im Aufteilungsbauwerk. Somit kann auch mehr als  $Q_{krit}$ , definiert bei schiefeitervollen Abfluss, durch die Drossel fließen. Um dies bei der Abflussaufteilung zu berücksichtigen, kann zusätzlich eine Trennschärfe für das jeweilige Bauwerk definiert werden. Die Trennschärfe erklärt sich hierbei beispielsweise als das Verhältnis des Drosselabflusses bei einem Zufluss von  $5 Q_{krit}$  zu  $Q_{krit}$ . Abbildung 45 zeigt die Definition der Trennschärfe.

$$\text{Trennschärfe} = \frac{Q_{ab}(Q_{zu}=5 \cdot Q_{krit})}{Q_{krit}}$$

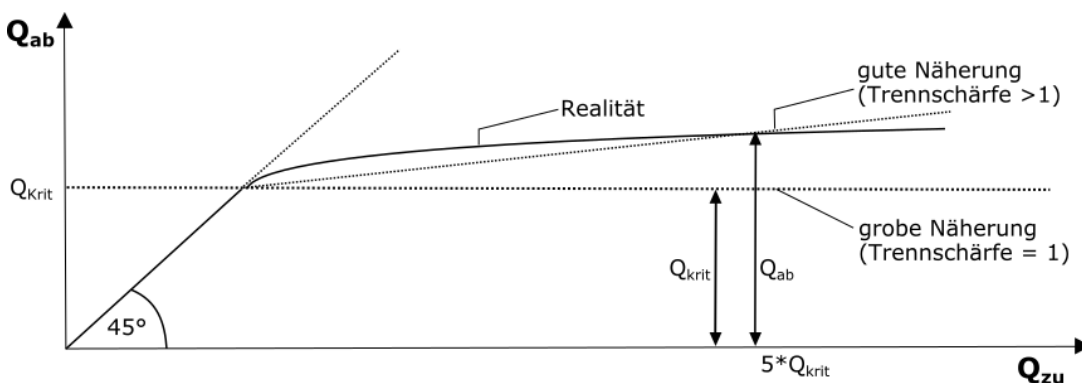


Abbildung 45: Definition der Trennschärfe; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006)

#### Aufteilung: Berechnung mit Kennlinien

Neben der näherungsweisen Berechnung kann die Aufteilung mit Hilfe von Kennlinien ermittelt werden. Mit der Kennlinie wird die aus hydraulischen Berechnungen resultierende funktionale Abhängigkeit zwischen dem Zufluss, dem Abfluss im ersten Ablauf (Drossel) und dem Abfluss im zweiten Ablauf, zum Beispiel dem Entlastungskanal, dargestellt.

Die Kennlinie kann hierbei separat berechnet und benutzerdefiniert eingegeben werden. Manche Softwarelösungen zur N-A-Modellierung bieten jedoch auch die Möglichkeit einer automatischen Kennlinienberechnung unter Angabe der geometrischen und hydraulischen Randbedingungen.

#### Speicherung: Schnittprinzip (Näherung)

(Muschalla et al., 2006)

Die Abflussaufteilung in Drosselabfluss, Speicherung und Entastung erfolgt beim Schnittprinzip stark vereinfacht. Es wird angenommen, dass nach Erreichen von Schwellenwerten für die unterschiedlichen Abflüsse jeweils die Aufteilung mit einer Trennschärfe von 1,0 erfolgt.

Bei dieser Berechnungsmethode sind nur wenige Informationen über das Bauwerk erforderlich. Daher kann das Schnittprinzip insbesondere bei Planungsaufgaben verwendet werden.

Abbildung 46 zeigt schematisch eine solche Aufteilung einer Zuflusswelle bei einem Durchlaufbecken. Dabei bedeuten:

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| KLA | Abfluss, der in Richtung Kläranlage weitergeleitet wird |
| KU  | Abfluss, der über den Klärüberlauf entlastet wird       |
| BU  | Abfluss, der über den Beckenüberlauf entlastet wird     |

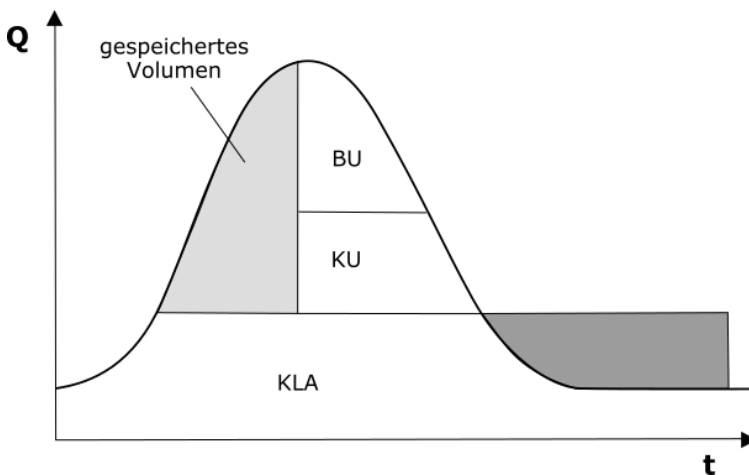


Abbildung 46: Schema der Näherungsberechnung eines Durchlaufbeckens; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006)

#### Speicherung: Berechnung mit benutzerdefinierten Kennlinien

(Muschalla et al., 2006)

Wie bei den Aufteilungsbauwerken muss auch hier angemerkt werden, dass die Annahme einer Trennschärfe von 1,0 bei den Berechnungen eine starke Vereinfachung darstellt. Die Abflüsse eines Bauwerkes sind im Regelfall eine Funktion des aktuellen Wasserstands und somit bei Speicherbauwerken auch eine Funktion des Speicherinhalts.

Der Unterschied zwischen einer Näherungsberechnung und einer „exakten“ Berechnung ist in Abbildung 47 dargestellt.

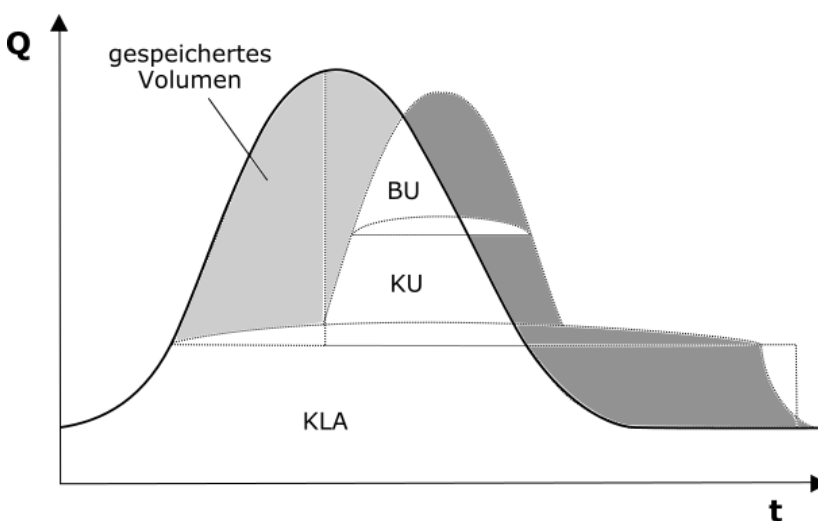


Abbildung 47: "Exakte" Berechnung eines Durchlaufbeckens; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006)

Um die Abflussaufteilung in Drosselabfluss, Speicherung und Entlastung zu ermitteln ist ein erheblich höherer Aufwand nötig als bei der Näherungsberechnung. Die Ganglinien sind in Histogrammform (konstant über das Zeitintervall) und somit schreibt sich die Kontinuitätsgleichung für den Zeitpunkt  $t$  und das Berechnungsintervall  $\Delta t$  wie folgt:

$$S(t) = S(t - \Delta t) + [Q_{zu}(t) - Q_{ab}(t)] \cdot \Delta t$$

Unbekannt sind dabei  $S(t)$  und  $Q_{ab}(t)$ .

Die Lösung kann iterativ erfolgen, indem  $h(t)$  mit den zugehörigen  $S(h(t))$  und  $Q_{ab}(h(t))$  bis zur Erfüllung der Kontinuitätsgleichung variiert wird. Benötigte Informationen für diese „exakte“ Berechnung sind die Speicherinhaltslinie  $S(h)$  und die Abflusskennlinie  $Q_{ab}(h)$ , welche aus verschiedenen Komponenten (Drosselabfluss  $Q_{dr}$ , Klärüberlauf  $Q_{ku}$ , Beckenüberlauf  $Q_{bu}$ ) besteht (siehe Abbildung 48). Die Iteration erfolgt für jeden Zeitschritt  $t$ .

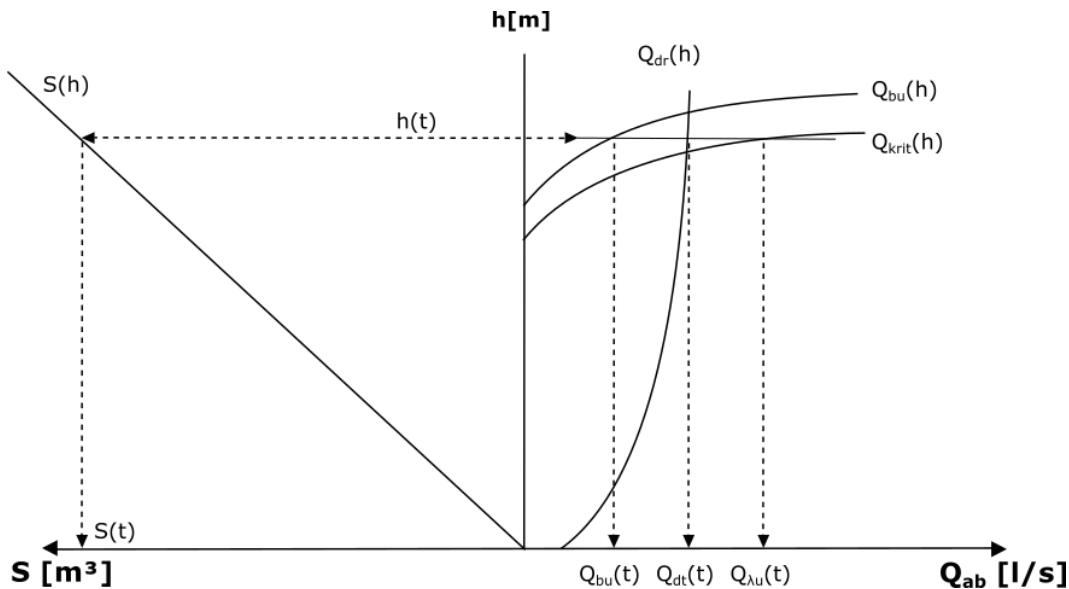


Abbildung 48: Kennlinien eines Durchlaufbeckens mit Ermittlung der Abflussgrößen zum Zeitpunkt  $t$ ; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006)

Auch für die Berechnung mittels Kennlinien für Bauwerke mit Speicherraum bieten manche Softwarelösungen die automatische Berechnung der benötigten Kennlinien bei Angabe von geometrischen und hydraulischen Randbedingungen an.

#### Vereinfachte Rückstauberücksichtigung

Wie in Kapitel 5.1.1.4 beschrieben, ist ein Defizit hydrologischer Ansätze, dass der Einfluss von Rückstau von den Berechnungsverfahren nicht berücksichtigt werden kann. Dabei kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden:

- 1) Rückstau oberhalb eines Drosselbauwerkes mit oder ohne Speicherraum, zum Beispiel Mischwasserentlastungen oder Mischwasserüberlaufbecken und
- 2) Fließumkehr in einem Drosselbauwerk durch stromabwärts des Bauwerks situierte Rückstauinflüsse.

Die Nicht-Berücksichtigung von Fall 1 kann zu einer maßgeblichen Unterschätzung des zur Verfügung stehenden Speichervolumens führen und daraus resultierend zu einer Überschätzung von Entlastungsereignissen. Fall 2 kann durch eine Überschätzung des möglichen Drosselabflusses zu einer Unterschätzung des Entlastungsabflusses führen. Während Fall 2 bisher nur in hydrodynamischen Simulationen berücksichtigt werden kann, steht für Fall 1 eine einfach zu realisierende Näherungslösung zur Verfügung, die zwar nicht zwangsläufig zu einem richtigen Zeitpunkt der Entlastung führt, sehr wohl aber zu einer korrekten Abschätzung des Überlaufvolumens genutzt werden kann.

Eine Berücksichtigung von Rückstauinflüssen lässt sich durch die Ermittlung des sogenannten aktivierbaren Rückstauvolumens umsetzen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass der durch ein Bauwerk hervorgerufene Rückstauwasserspiegel im Kanalnetz horizontal angesetzt werden kann. Abbildung 49 zeigt beispielhaft mögliche auftretende Unterwasserbedingungen für einen Sammler (Muschalla et al., 2006). Dabei bedeuten:

|            |                                            |
|------------|--------------------------------------------|
| $L_{sam}$  | Länge des Sammler [m]                      |
| $L_{rück}$ | Länge des resultierenden Rückstaukeils [m] |

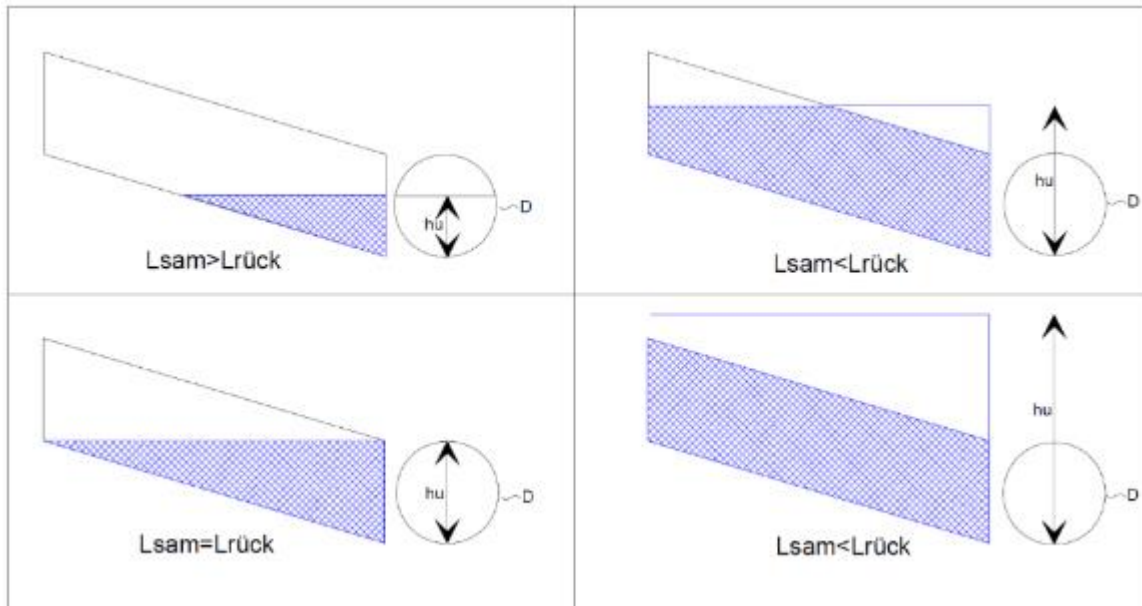


Abbildung 49: Vereinfachte Darstellung der Systemzustände in rückgestauten Sammlern mit Kreisquerschnitt (Muschalla et al., 2006)

Mit einem horizontalen Schnitt durch das oberliegende Netz wird ein aktivierbares Rückstauvolumen ermittelt, welches zum Volumen des Bauwerks addiert wird. Das ermittelte Volumen kommt dabei dem real aktivierbaren Retentionsvolumen im Sammler sehr nahe. Erfolgt die Bauwerksberechnung mit Kennlinien, so wird das Verfahren für jede Stützstelle der Beckenkennlinie, welche einen Wasserstand im Becken repräsentiert, durchgeführt. Das berechnete aktivierbare Volumen wird auf den entsprechenden Volumenwert der Kennlinie aufsummiert. Rückstaeinflüsse lassen sich nur in Verbindung mit dem Berechnungsverfahren nach Kalinin-Miljukov abbilden, da die Angabe von geometrischen Kenngrößen zwingend notwendig ist (Muschalla et al., 2006).

### **Sonderbauwerke in der hydrodynamischen Modellierung**

In der hydrodynamischen Modellierung können die Bauwerke berücksichtigt werden, indem sie aus den einzelnen Bestandteilen, aus denen sie bestehen, zusammengesetzt werden:

- Schwellen (tatsächliche Länge, Höhe)
- Speicherelemente mit vorhandenen Abmessungen
- Drosselemente mit variablem weitergeleitetem Abfluss
- Abfluss aus Öffnungen (z. B. Schieber, Überlaufschlitze)
- Unterschiedliche Höhenlage von Rohren an Aufteilungen
- Haltungen mit tatsächlichen Abmessungen von Becken

Bei hydrodynamischen Modellen ist der Wasserstand an jedem Knoten und zu jedem Zeitpunkt bekannt. Dadurch kann die Abflussaufteilung realitätsnah berechnet werden. Die Vorgabe von Beiwerten für Wehre, Öffnungen usw. ist besonders sorgfältig zu treffen. Teilweise müssen diese Beiwerte durch eine Vorberechnung ermittelt werden.

### *Näherungslösung (Schnittprinzip)*

Bei einem Mischwasserüberlauf oder bei Becken, deren Abflüsse nicht abhängig von der Füllhöhe des Beckens sind, kann eine einfache Aufteilung der Abflussströme mit den konstanten Werten durchgeführt werden.

Es gelten die folgenden Zusammenhänge:

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| $Q_{zu}$   | Zufluss zum Entlastungsbauwerk        |
| $Q_{zu}^*$ | Zufluss zum Becken                    |
| $Q_{ab}$   | Abfluss zur ARA                       |
| $Q_{ab}^*$ | Entleerung von Becken im Nebenschluss |

|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| $Q_{K\ddot{u}}$ | Klärüberlauf                    |
| $Q_{B\ddot{u}}$ | Beckenüberlauf                  |
| $V_B$           | gespeichertes Volumen im Becken |

In Abbildung 50 ist ein Mischwasserüberlauf schematisch dargestellt. Hierbei gilt:

$$Q_{ab} = \text{const.}$$

$$Q_{\ddot{u}} = Q_{zu} - Q_{ab}$$

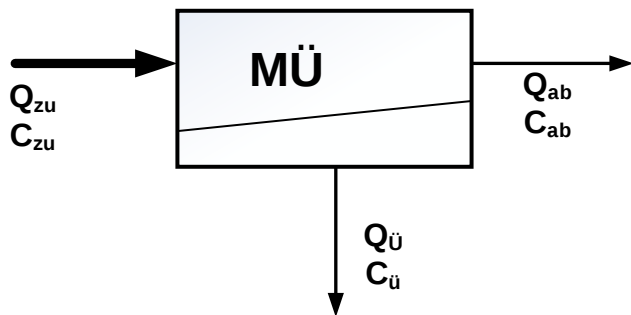


Abbildung 50: Mischwasserüberlauf – Schematische Darstellung

In Abbildung 51 ist ein Durchlaufbecken im Hauptschluss schematisch dargestellt. Hierbei gilt:

$$Q_{ab} \leq Q_{ab, \max}$$

$$Q_{K\ddot{u}} \leq Q_{K\ddot{u}, \max}$$

$$Q_{zu}^* \leq Q_{ab, \max} + Q_{K\ddot{u}, \max}$$

$$Q_{B\ddot{u}} = Q_{zu} - Q_{zu}^*$$

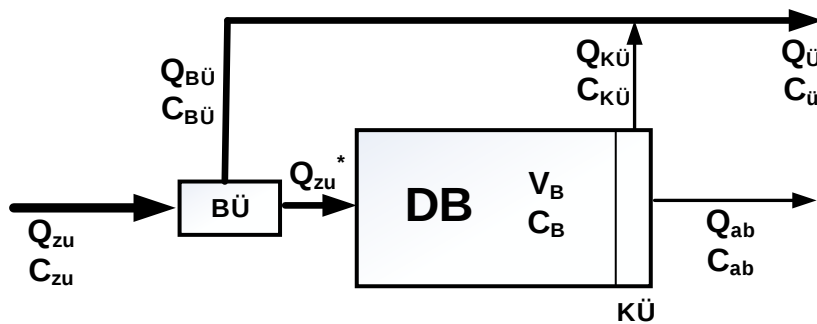


Abbildung 51: Durchlaufbecken im Hauptschluss – Schematische Darstellung

In Abbildung 52 ist ein Durchlaufbecken im Nebenschluss schematisch dargestellt. Hierbei gilt:

$$Q_{ab} \leq Q_{ab, \max}$$

$$Q_{K\ddot{u}} \leq Q_{K\ddot{u}, \max}$$

$$Q_{zu}^* \leq Q_{K\ddot{u}, \max}$$

$$Q_{B\ddot{u}} = Q_{zu} - Q_{ab} - Q_{zu}^*$$

Für die Entleerung des Beckens gilt:

$$\text{Bei } V_B = 0 \text{ oder } Q_{zu} \geq Q_{ab, \max}: \quad Q_{ab}^* = 0$$

Bei  $V_B > 0$  oder  $Q_{zu} < Q_{ab,max}$ :

$$Q_{ab}^* = Q_{ab,max} - Q_{zu}$$

$$Q_{ab} = Q_{zu} + Q_{ab}^*$$

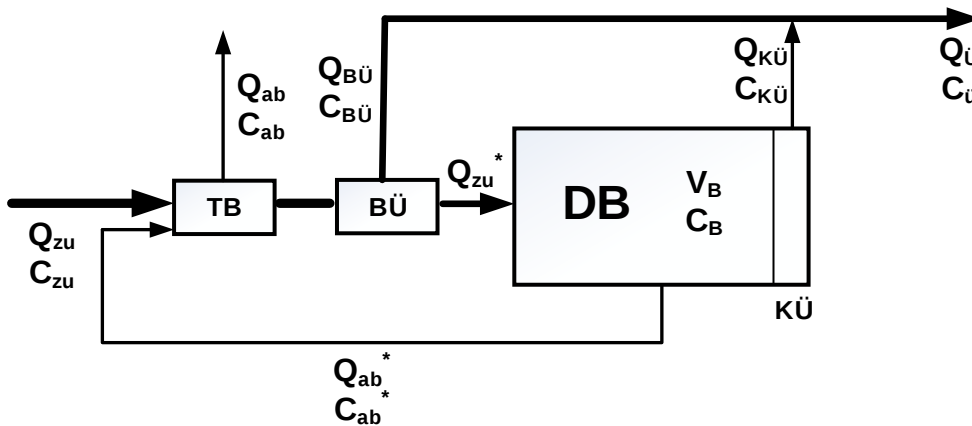


Abbildung 52: Durchlaufbecken im Nebenschluss – Schematische Darstellung

In Abbildung 53 ist ein Fangbecken im Hauptschluss schematisch dargestellt. Hierbei gilt:

$$Q_{ab} \leq Q_{ab,max}$$

Bei  $V_B < V_{ges}$ :  $Q_{Bü} = 0$

$$Q_{zu}^* = Q_{zu}$$

Bei  $V_B = V_{ges}$ :  $Q_{Bü} = Q_{zu} - Q_{ab}$

$$Q_{zu}^* = Q_{ab}$$

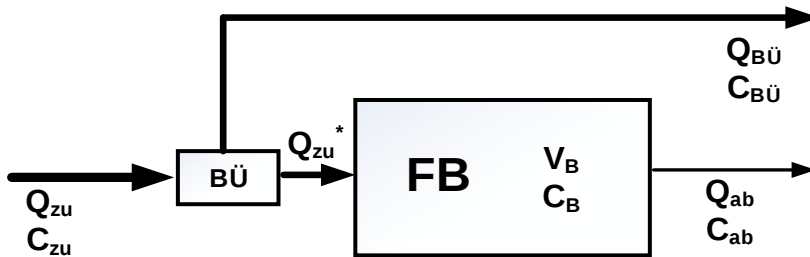


Abbildung 53: Fangbecken im Hauptschluss – Schematische Darstellung

In Abbildung 54 ist ein Fangbecken im Nebenschluss schematisch dargestellt. Hierbei gilt:

$$Q_{ab} \leq Q_{ab,max}$$

Bei  $V_B < V_{ges}$ :  $Q_{Bü} = 0$

$$Q_{zu}^* = Q_{zu} - Q_{ab}$$

Bei  $V_B = V_{ges}$ :  $Q_{Bü} = Q_{zu} - Q_{ab}$

$$Q_{zu}^* = 0$$

Für die Entleerung des Beckens gilt:

Bei  $V_B = 0$  oder  $Q_{zu} \geq Q_{ab,max}$ :  $Q_{ab}^* = 0$

Bei  $V_B > 0$  oder  $Q_{zu} < Q_{ab,max}$ :  $Q_{ab}^* = Q_{ab,max} - Q_{zu}$

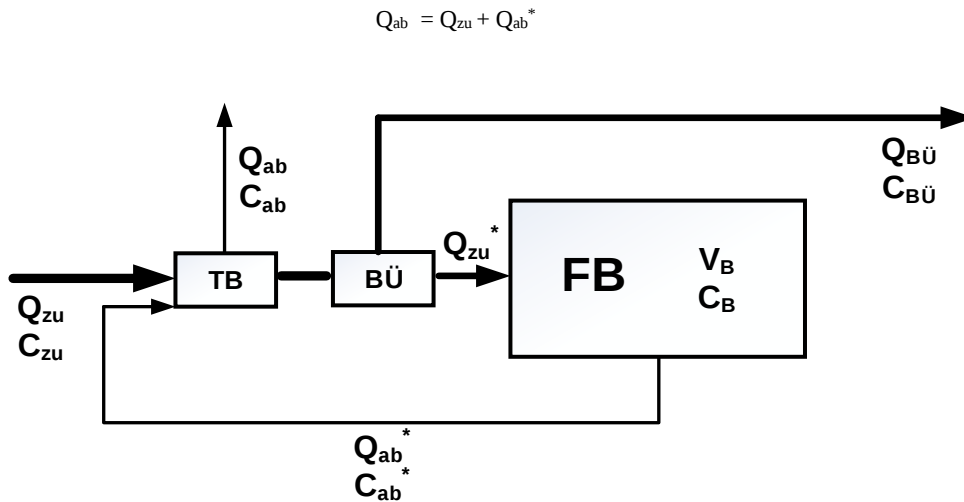


Abbildung 54: Fangbecken im Nebenschluss

Bei einer Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Speicherraum (Drosselabfluss und/oder Klärüberlauf) von der Füllhöhe im Becken, müssen Speicherfüllung und Abfluss zueinander passen und somit gemeinsam bestimmt werden. Kommen für die Abflussberechnung hydrodynamische Verfahren zum Einsatz, liegen die erforderlichen Angaben wegen der kleinen Berechnungszeitschritte mit hoher Genauigkeit vor.

Werden jedoch hydrologische Verfahren für die Berechnung der Abfluss- und Speicherganglinien verwendet, so muss die Hydraulik der Becken näherungsweise mit verhältnismäßig großen Zeitschritten berechnet werden. Alle Ansätze nehmen über bestimmte Zeitabschnitte Linearität an. Daher muss durch Volumenkontrolle und geeignete Wahl des Berechnungszeitschrittes bzw. durch geeignete Dämpfungsalgorithmen gewährleistet werden, dass die erforderliche Genauigkeit erreicht wird.

#### *Wasserstands-Abfluss-/Wasserstands-Volumen-Beziehungen*

Bei der hydrodynamischen Simulation des Kanalnetzes sind durch Lösung des Differentialgleichungssystems, welches von de Saint-Venant abgeleitet wurde, die Wasserstände in den Knoten zu jedem Zeitpunkt bekannt. Dieser Umstand kann bei der Berücksichtigung der Sonderbauwerke durch Verknüpfung der Wasserstände mit den Abflüssen und Volumen genutzt werden. Die Kenntnis dieser Beziehungen zwischen Wasserstand und Abfluss bzw. Volumen ist für die vorher beschriebenen Berechnungen erforderlich.

Die Wasserstands-Abfluss- und Wasserstands-Volumen-Beziehungen ergeben sich je nach Bauwerk. Dabei wird die Funktion der einzelnen Bauwerkselemente durch die hydraulischen Grundgleichungen (Bewegungsgleichung, Kontinuitätsgleichung, ggf. Impulsatz) und weitere Beziehungen (Wehrformeln, Pumpenkennlinien etc.) erfasst.

#### **Vergleich der Modellansätze und Anwendung des Modellansatzes in Abhängigkeit der gewünschten Aussage**

Tabelle 14 zeigt überblicksartig die Vor- und Nachteile der hydrologischen und hydrodynamischen Transportmodelle. Diese haben großen Einfluss auf die mögliche Anwendung der Verfahren.

Tabelle 14: Vor- und Nachteile der hydrologischen und hydrodynamischen Transportmodelle

| Hydrologische Verfahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Hydrodynamische Verfahren                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kürzere Rechenzeiten</li> <li>• Evtl. geringerer Datenaufwand</li> <li>• Langzeitsimulationen</li> <li>• Einfachere Abbildung von Sonderbauwerken</li> </ul>                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechenintensiv</li> <li>• Großer Datenaufwand</li> <li>• Eingeschränkt für aktuelle Vorhersagen geeignet</li> <li>• Erfahrung des Anwenders erforderlich, vor allem in Bezug auf Sonderbauwerke und numerische Stabilität</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigt keinen Rückstau</li> <li>• Nur Massenbilanz an Knotenpunkten</li> <li>• Aggregieren einzelner Prozesse</li> <li>• Höhere Modellabstraktion zum realen System</li> <li>• Erfahrung des Anwenders erforderlich, vor allem in Bezug auf Abstraktion des realen Systems</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigt Rückstau</li> <li>• Örtliche und zeitliche Berechnung des Durchflusses</li> <li>• Trennung der Fließvorgänge auf der Oberfläche von denen im Kanal</li> <li>• Geringere Modellabstraktion zum realen System</li> </ul> |

Die Wahl des Modellansatzes (hydrologisch oder hydrodynamisch) hat entscheidenden Einfluss auf die möglichen Berechnungsaussagen der Simulationen. In Tabelle 15 wird dies überblicksartig dargestellt.

Mit hydrologischen Modellen lassen sich keine Wasserstände berechnen, womit auch Überstau und Überflutung nicht mit hydrologischen Modellen berechnet werden können. Zur Abflussbilanzierung sind die im Vergleich zu den hydrodynamischen Modellen größeren und vereinfachten hydrologischen Modelle ausreichend. Aufgrund der damit einhergehenden reduzierten Rechenzeit wird die Anwendung von hydrologischen Modellen zur Berechnung von Abflussbilanzen empfohlen.

Da sich Wasserstände über Kanalscheitel nur mit hydrodynamischen Modellen zutreffend berechnen lassen, ist die Anwendung dieser Modelle zur Berechnung von Überstau und Überflutung zielführend und wird somit auch empfohlen. Auch für die Abflussbilanzierung ist der Einsatz von hydrodynamischen Modellen möglich. Allerdings ergeben sich hierbei im Vergleich zu hydrologischen Modellen erhöhte Rechenzeiten.

Tabelle 15: Modellansatz und mögliche Berechnungsaussagen

|                                | Überstau (z.B. nach ÖWAV-Regelblatt 11) | Überflutung (z. B. nach EN 752) | Abflussbilanz (z. B. nach ÖWAV-Regelblatt 19) |
|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Hydrologisches Modell</b>   | nicht möglich                           | nicht möglich                   | empfohlen                                     |
| <b>Hydrodynamisches Modell</b> | empfohlen                               | empfohlen                       | möglich                                       |

## 5.2. GRUNDSÄTZE DER MODELLIERUNG DES ENTWÄSSERUNGSSYSTEMS

### 5.2.1. RÄUMLICHE AUFLÖSUNG

Die räumliche Auflösung bei der modelltechnischen Betrachtung von Entwässerungssystemen kann in einer unterschiedlichen Detailliertheit erfolgen. Je nach Aufgabenstellung kann eine mehr oder weniger detaillierte räumliche Auflösung zweckmäßig werden. Gründe hierfür können beispielsweise sein:

- Unterschiedliche Überregnungen oder unterschiedliche abflusswirksame Flächen sollen berücksichtigt werden.
- An bestimmten Stellen des Entwässerungssystems, wie beispielsweise an Sonderbauwerken, sind Aussagen gewünscht.
- Die unterschiedlichen durchzuführenden Nachweise stellen bzgl. der Abstraktion der Oberfläche und des Kanalnetzes unterschiedliche Anforderungen an das Modell.

Abbildung 55 zeigt beispielhaft eine Möglichkeit von unterschiedlichen Gebietsunterteilungen.

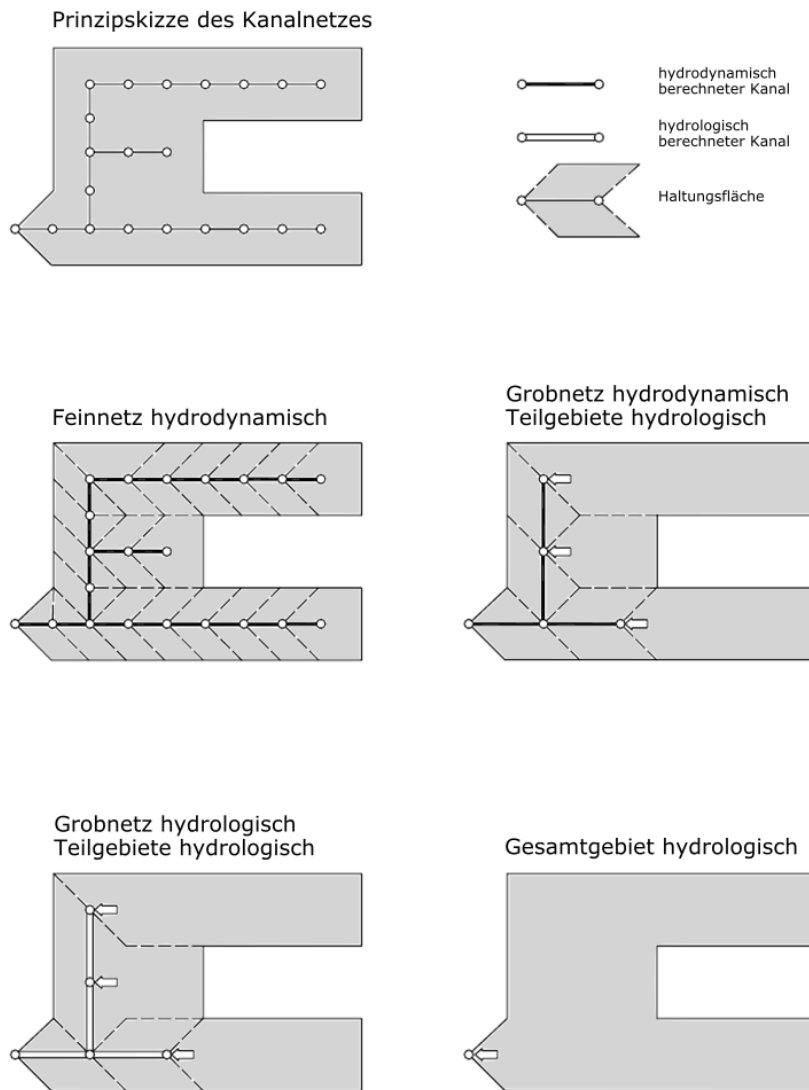


Abbildung 55: Gebietsunterteilungen und Berechnungsweisen bei der Kanalnetzberechnung; adaptiert nach (ATV, 2004)

In der Abbildung wird deutlich, dass sowohl bei der Oberfläche als auch beim Kanalnetz unterschiedliche Detaillierungsgrade und dementsprechende Kombinationsmöglichkeiten vorstellbar sind. Beim Kanalnetz wird zudem unterschieden, ob die Berechnungen hydrologisch oder hydrodynamisch erfolgen. Die Möglichkeiten reichen von „Feinnetz hydrodynamisch“, wobei eine haltungsgerechte Abstraktion stattfindet, bis „Gesamtgebiet hydrologisch“, wobei die Prozesse auf der Oberfläche und im Kanalnetz über das gesamte betrachtete Gebiet gemeinsam und „verschmiert“ modelliert werden.

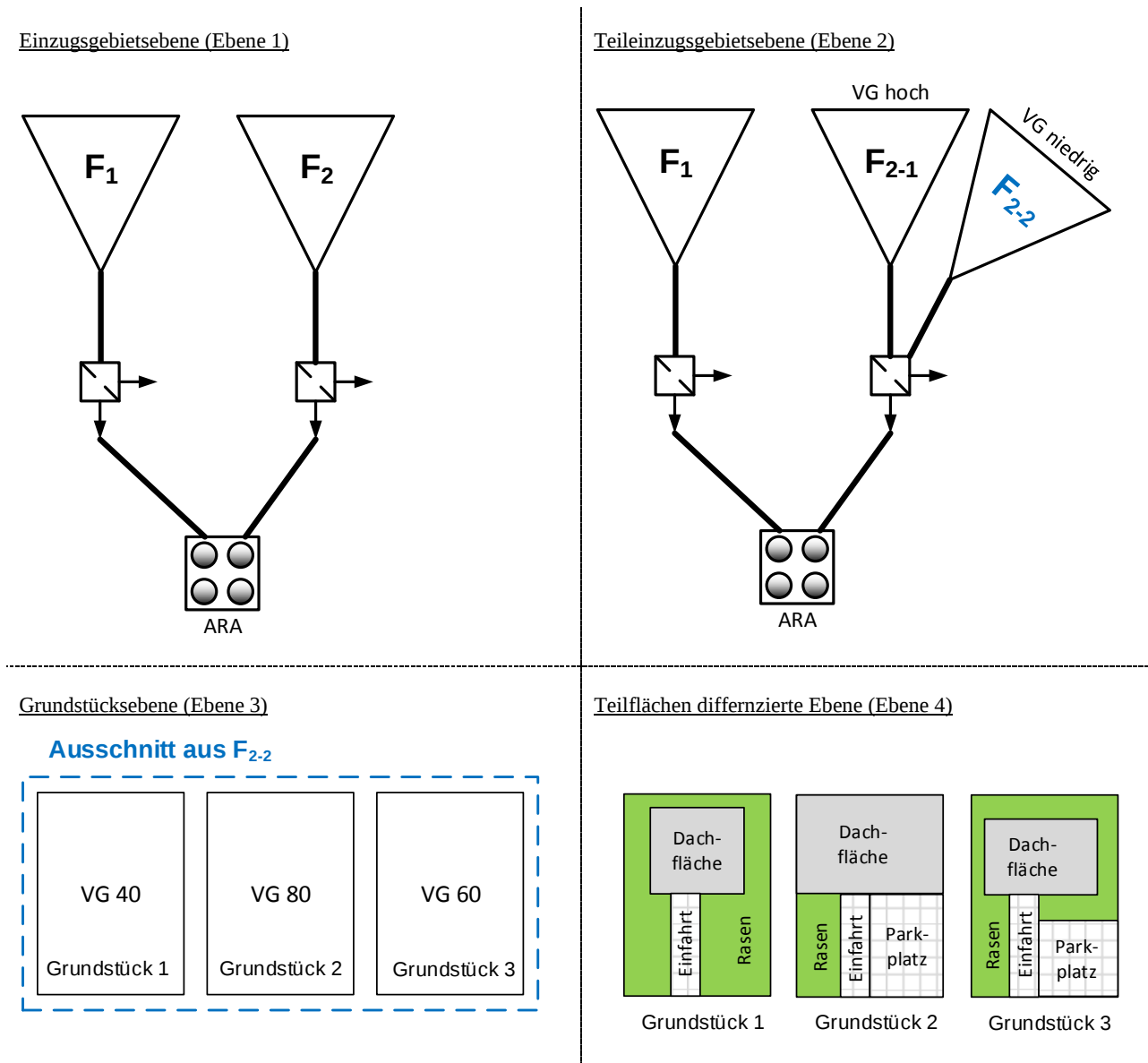
#### 5.2.1.1. RÄUMLICHE AUFLÖSUNG DER OBERFLÄCHE

Bei der räumlichen Auflösung der Oberfläche sind verschiedene Detaillierungsstufen vorstellbar. Nachfolgend werden vier mögliche Abstraktionsstufen vorgestellt:

- Einzugsgebietsebene
- Teileinzugsgebietsebene
- Grundstücksebene
- teilflächendifferenzierte Ebene

In Tabelle 16 sind die angesprochenen Abstraktionsstufen exemplarisch und schematisch dargestellt. Hierbei werden die möglichen Abstraktionen von der groben Betrachtung großer Einzugsgebiete bis zur detaillierten Betrachtung von einzelnen Dach-, Rasen- und Parkplatzflächen etc. deutlich.

Tabelle 16: Räumliche Auflösung der Oberfläche

**Betrachtung auf Einzugsgebietsebene (Ebene 1)**

Die Betrachtung auf Einzugsgebietsebene ist die größte Detaillierungsstufe. Vom Prinzip her wird hierbei jedem Entlastungsbauwerk ein Einzugsgebiet zugeordnet. Die Sammler werden dabei „verschmiert“ abgebildet, d.h. die Vorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz werden für ein gesamtes Einzugsgebiet eines Entlastungsbauwerks gemeinsam modelliert.

**Betrachtung auf Teileinzugsgebietsebene (Ebene 2)**

Bei der Betrachtung auf Teileinzugsgebietsebene weisen die Flächen normalerweise eine Größe zwischen 1 und 30 ha auf. Abgebildet werden nur die Hauptsammler. Als zusätzliche Abstraktion im Vergleich zur Ebene 1 wird das Einzugsgebiet beispielsweise in „steil“ und „flach“ unterteilt (Neigungsgruppen). Weitere Kriterien zur Einteilung in homogene Teileinzugsgebiete können sein:

- Bebauungsart
- Versiegelungsgrad
- Entwässerungspunkt
- weitere topographische, geologische und orographische Merkmale

### **Betrachtung auf Grundstücksebene (Ebene 3)**

Bei Betrachtung auf der Ebene 3 kommt eine haltungsgerechte Abbildung der betrachteten Flächen zum Einsatz. Die Skala reicht dabei von der Grundstücks- bis zur Haltungsfläche. Dabei werden die unterschiedlichen Versiegelungsgrade der einzelnen Flächen berücksichtigt.

### **Betrachtung auf teilflächendifferenzierter Ebene (Ebene 4)**

Die detaillierteste Betrachtungsebene ist die sogenannte teilflächendifferenzierte Ebene. Dabei wird jedes Grundstück bzw. jede Haltungsfläche noch weiter in Teilgebiete unterteilt. Hierzu zählen z. B. Dachflächen, Grundstücksflächen nach Landnutzung, Gehsteige, Verkehrsflächen etc. Dadurch werden keine „Verschmierungen“ mehr bei der Abstraktion der Flächen vorgenommen. Zudem entsteht der Vorteil, dass die Daten direkt aus einem GIS bezogen werden können und etwaige Änderungen in der Zukunft auch unmittelbar simultan im GIS und im Modell eingearbeitet werden können. Bei einer räumlichen Auflösung der Ebene 1-3 fällt eine Aktualisierung der Flächendaten und Flächeneinteilungen aufgrund der vorzunehmenden „Verschmierungen“ deutlich schwerer.

#### **5.2.1.2. RÄUMLICHE AUFLÖSUNG DES KANALNETZES**

Bei der Modellierung des Kanalnetzes stellt sich ebenso die Frage, wie detailliert die Abstraktion durchgeführt wird. Hierbei gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten (siehe hierzu auch Abbildung 55):

- Hydrologisch / konzeptionell
- Grobnetz (Ebene Hauptsammler)
- Feinnetz (Ebene Haltungen)

Bei der ersten Variante werden die Vorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz „verschmiert“ abgebildet. In diesem Fall erfolgt eine hydrologische Modellierung des Entwässerungssystems.

Beim Grobnetz werden nur Hauptsammler im Modell berücksichtigt, während beim Feinnetz eine haltungsdetaillierte Abbildung des Kanalnetzes erfolgt. Das Grobnetz kann hierbei hydrologisch oder hydrodynamisch berechnet werden. Bei einer Abbildung in der Detaillierungsstufe des Feinnetzes erfolgen die Berechnungen in der Regel hydrodynamisch.

### **Konzeptionelle Modellierung**

Die größte Abbildungsmöglichkeit des Kanalnetzes bei einer Modellierung des Entwässerungssystems ist die „hydrologisch-konzeptionelle“. Hierbei werden nur maßgebende Hauptsammler bzw. Transportsammler dargestellt. Im extremsten Fall werden die Vorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz nicht getrennt voneinander sondern gemeinsam über das gesamte betrachtete Gebiet behandelt. Ein Überstaunachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 lässt sich hiermit nicht durchführen, da viele Kanäle und Schächte gar nicht dargestellt werden und die Abstraktion somit zu grob ist. Der Nachweis des Weiterleitungswirkungsgrades der Weiterleitung nach ÖWAV-Regelblatt 19 ist jedoch bereits mit dieser hydrologisch-konzeptionellen Abstraktionsstufe durchführbar.

### **Modellierung im Grobnetz**

Werden bei der Modellierung des Kanalnetzes nur die Hauptsammler berücksichtigt und abgebildet, so spricht man von einem „Grobnetz“. Der Nachweis des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung nach ÖWAV-Regelblatt 19 lässt sich mit dieser Abstraktionsstufe durchführen.

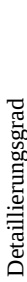
### **Modellierung im Feinnetz**

Beim sogenannten „Feinnetz“ werden neben den Hauptsammlern auch die Nebensammler bei der Modellierung abgebildet. Man bewegt sich also auf „Haltungsebene“, die modellhafte Abbildung des Kanalnetzes ist haltungsgetreu. Der Überstaunachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 lässt sich mit dieser Abstraktionsstufe durchführen, da alle relevanten Kanäle und Schächte dargestellt und die entsprechenden Wasserstände simuliert werden. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades steigt die Berechnungszeit der Simulation stark an. Der Nachweis des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung nach ÖWAV-Regelblatt 19 mit einer Kontinuumsimulation ist somit zwar durchführbar, jedoch müssen die Rechnerkapazitäten ausreichend sein, um akzeptable Berechnungszeiten zu erzielen.

#### **5.2.1.3. ANWENDUNGSBEREICHE UND VOR- UND NACHTEILE DER DETAILLIERUNGSRADE**

Nachfolgend sind in Tabelle 17 die räumlichen Skalen und deren Anwendung abhängig von der gewünschten Modellierungsaussage bzw. dem durchzuführenden Nachweis dargestellt.

Tabelle 17: Räumliche Auflösung der Oberfläche und des Kanalnetzes und deren Anwendungsgebiete

| Detaillierungsgrad<br> | Oberfläche                                                 | Kanalnetz                     | ÖWAV-RB 11<br>(Überstau) | ÖWAV-RB 19<br>(Weiterleitungswirkungsgrad) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                                         | Einzugsgebietsebene                                        | Hydrologisch/konzeptionell    | Nein                     | Ja                                         |
|                                                                                                         | Teileinzugsgebiets-<br>ebene                               | Ebene Hauptsammler (Grobnetz) | Mit Einschränkungen      | Ja                                         |
|                                                                                                         | Grundstücksebene/<br>teilschächendifferen-<br>zierte Ebene | Ebene Haltungen (Feinnetz)    | Ja                       | Ja<br>(falls Rechnerkapazität ausreichend) |

Für einen Überstaunachweis bzw. für Überflutungsbetrachtungen ist eine haltungsgerechte Abbildung des Kanalnetzes erforderlich, da hierbei detaillierte Aussagen zu jedem Schacht erforderlich sind.

Bei reinen Mengenbetrachtungen, wie beispielsweise beim Nachweis des Weiterleitungswirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19, muss nicht jede einzelne Haltung abgebildet werden. Hierbei reicht bereits eine grobe Abbildung von Oberfläche und Kanalnetz.

Mit ansteigendem Detaillierungsgrad kann zwar eine Erhöhung der Realitätsnähe der Modellierung erreicht werden, allerdings steigt damit auch die Berechnungszeit der Simulation an. Somit steigen auch die Anforderungen an die Rechnerkapazität, um akzeptable Berechnungszeiten zu erhalten.

### 5.2.2. ZEITLICHE AUFLÖSUNG

Die Frage nach der zeitlichen Auflösung hängt stark von der Aufgabenstellung und dem gewünschten Ergebnis bzw. der angestrebten Aussage der Simulation ab. Soll beispielsweise die Dynamik der Niederschlag-Abfluss-Prozesse während eines Regenereignisses betrachtet werden, so sind dementsprechend kleine Zeitschritte zu wählen. Die Wahl der zeitlichen Auflösung ist zudem entscheidend für die Stabilität der Berechnungen. Die Wahl der zeitlichen Auflösung stellt sich somit als ein Wechselspiel zwischen

- der Abbildung der Dynamik der Prozesse und
- der Einhaltung der Stabilitätsbedingungen

dar.

Nachfolgend sind unterschiedliche Möglichkeiten der zeitlichen Auflösung und deren Einsatzgebiete dargestellt:

Tabelle 18: Einsatzbereiche von Tageswerten

| Einsetzbar bei:           | Einsetzbarkeit | Anmerkung                                                                                                                                                                         |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niederschlag (P)          | Nein           | Dynamik nicht abbildbar                                                                                                                                                           |
| Trockenwetterabfluss (TW) | Ja             | Abhängig von der Aufgabenstellung<br>Bsp.: Hydraulische Leistungsfähigkeit eines Kanalabschnitts im Mischwasserfall (Trockenwetterabfluss evtl. nur 1-2 % von Mischwasserabfluss) |

Tabelle 19: Einsatzbereiche von Stundenwerten

| Einsetzbar bei:           | Einsetzbarkeit | Anmerkung               |
|---------------------------|----------------|-------------------------|
| Niederschlag (P)          | Nein           | Dynamik nicht abbildbar |
| Trockenwetterabfluss (TW) | Ja             | Standardauflösung       |

Tabelle 20: Einsatzbereiche von Minutenwerten

| Einsetzbar bei:  | Einsetzbarkeit | Anmerkung                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niederschlag (P) | Ja             | Standardauflösung<br><br>Richtwert: Die Niederschlagsspitze bei Modellregen sollte innerhalb von 1-3 Zeitschritten liegen („Dreierregel“)<br>→ Auflösung 1-5 min-Werte<br><br>ACHTUNG: Unterscheiden zwischen Auflösung des Niederschlags und dem Berechnungszeitschritt! |
| Abfluss          | Ja             | Standardauflösung                                                                                                                                                                                                                                                         |

In Abbildung 56 ist ein Beispiel für Niederschlagsaufzeichnungen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung dargestellt. Es ist hierbei deutlich zu erkennen, dass bei einer größeren zeitlichen Auflösung (in diesem Fall ein 5 min-Intervall) Details über die Dynamik des Niederschlags verloren gehen und es zu einer „Versmierung“ des tatsächlichen zeitlichen Verlaufs des Niederschlags kommt. Werden hierbei in weiterer Folge Stundenwerte (in diesem Fall: 29,4 mm) oder Tageswerte gebildet, verstärkt sich der genannte Effekt immer weiter.

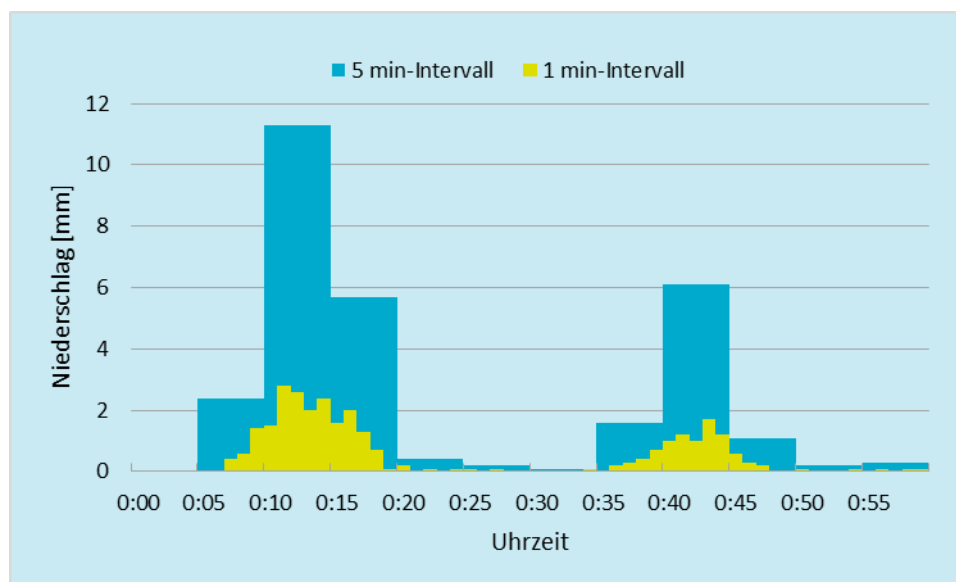


Abbildung 56: Niederschlag in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung

Die Ausführungen zum Niederschlag in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung lassen sich auch auf Abflüsse übertragen. Auch hier kommt es je nach Wahl des Zeitschrittes zu einer mehr oder weniger starken „Versmierung“ bzw. „Glätten“ des tatsächlichen zeitlichen Verlaufs des Abflusses. Ein Beispiel hierfür findet sich in Abbildung 57. Hierbei wurde dasselbe Abflussgeschehen in verschiedenen Zeitschritten (1 min, 5 min, 15 min) dargestellt. Es wird hierbei deutlich, dass bei der Wahl eines größeren Zeitschrittes Informationen über das tatsächliche Abflussgeschehen verloren gehen. Insbesondere gilt dies für Informationen über die Abflussspitzen. Diesen Umstand gilt es bei der Wahl des Berechnungszeitschrittes zu berücksichtigen, um die Dynamik des Abflussgeschehens abbilden zu können.

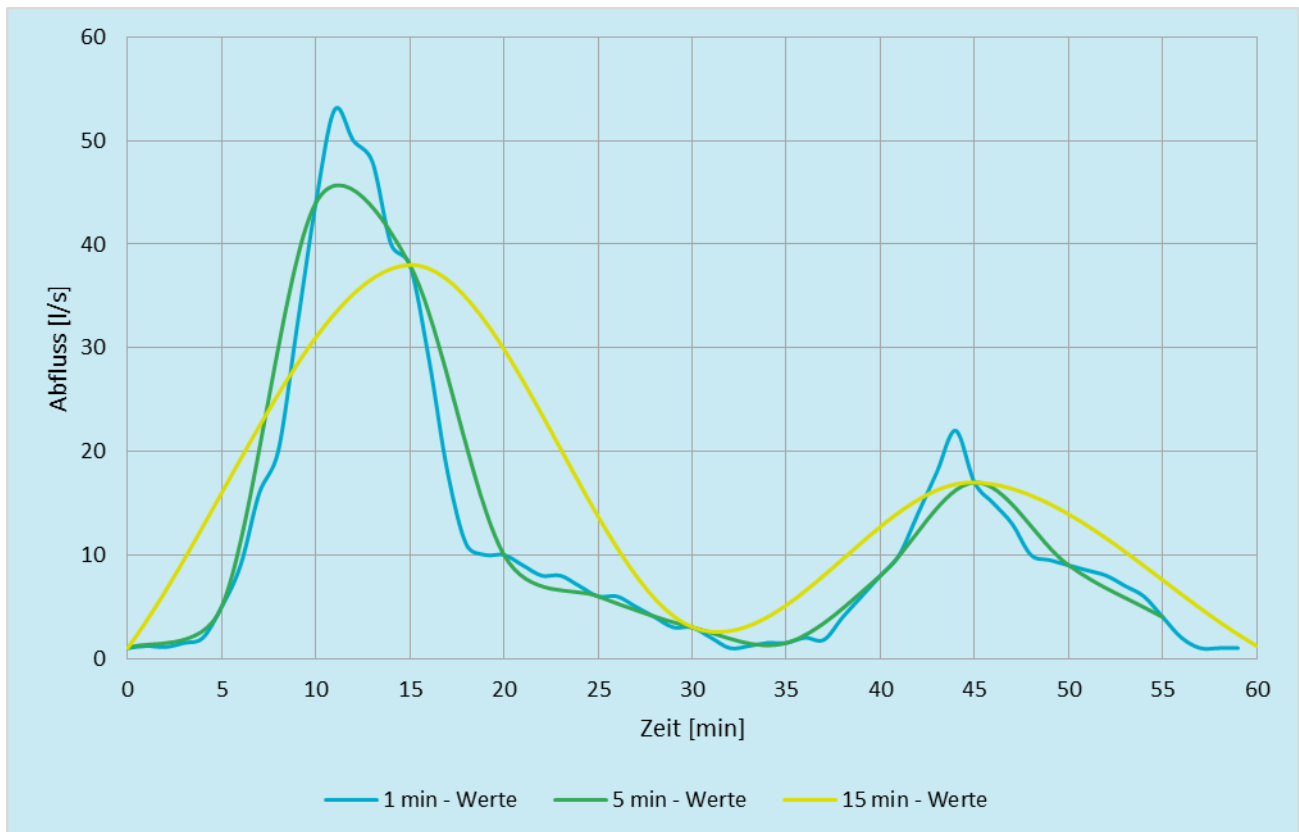


Abbildung 57: Abfluss in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung

Die vorstehenden Beispiele zeigen, dass die Wahl der zeitlichen Auflösung des Niederschlags, ebenso wie die Wahl des Berechnungszeitschrittes große Auswirkungen auf die Abbildung der Dynamik des Niederschlag-Abfluss-Geschehens hat. Die Wahl ist zudem noch entscheidend abhängig vom gewählten Berechnungsansatz und der hierbei erforderlichen Stabilität der Berechnungen.

#### 5.2.2.1. NUMERISCHE STABILITÄT

Neben der erforderlichen Abbildung der Dynamik des Niederschlag-Abfluss-Geschehens muss auch die Stabilität der Berechnungen gewährleistet sein.

##### Explizite Verfahren

Um die Stabilität der Berechnungen bei expliziten Verfahren gewährleisten zu können, ist es erforderlich, dass die Courant-Bedingung eingehalten wird:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|v| + c}$$

Die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$  ist hierbei:

$$c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{b_{sp}}}$$

$\Delta x$  Berechnungsabschnitt (z. B. eine Haltung)

Der Berechnungszeitschritt  $\Delta t$  ist also so klein zu wählen, dass eine Störung, welche sich mit der Geschwindigkeit  $v+c$  in Fließrichtung fortpflanzt, das Haltungsende noch nicht erreicht haben darf. Wird das Stabilitätskriterium nicht eingehalten, kommt es zu instabilen Lösungen (Schwingungen im Verlauf von  $Q(t)$ ,  $h(t)$ ) (ATV 2004).

Der Berechnungszeitschritt liegt üblicherweise im Sekundenbereich. Maßgebend für die Wahl des Berechnungszeitschritts  $\Delta t$  sind kurze Haltungen. Sehr kleine Zeitschritte können durch Zusammenfassen mehrerer Haltungen zu Berechnungsabschnitten vermieden werden. Allerdings gehen dann auch Informationen über diese Haltungen verloren (ATV 2004).

### *Implizite Verfahren*

Implizite Lösungsverfahren bleiben generell stabil. Daher hat die Abbildung der Dynamik des Niederschlag-Abfluss-Geschehens hier Priorität. Um die Abflussdynamik ausreichend genau erfassen zu können, ist die Länge der Zeitschritte dementsprechend zu wählen. Üblich sind Zeitschritte zwischen 0,5 und 5,0 Minuten (ATV 2004).

## 5.3. MODELLIERUNG DER OBERFLÄCHE

### 5.3.1. FESTLEGUNG UND AGGREGATION VON GEBIETEN

Die Abstraktion von realen Flächen in die Modellebene erfolgt unter hydrologischen Gesichtspunkten. Flächen, die vergleichbare Übertragungseigenschaften besitzen und zu einem Punkt hin entwässern (Entwässerungspunkt - EP), können zu einer Einheit zusammengefasst werden.

Bei der Abstraktion von realen Flächen und der Festlegung von entsprechenden Gebietseinteilungen wird also durchwegs das Ziel verfolgt, homogene Teilgebiete zu erhalten.

Dabei kann eine Kategorisierung in drei Flächenarten erfolgen:

- Außengebiete (AUS)
- Kanalisierte, entwässerte Flächen im Mischsystem (FKM)
- Kanalisierte, entwässerte Flächen im Trennsystem (FKT)

Unter Berücksichtigung der Flächengröße und dem zugehörigem Entwässerungssystem können verschiedene Ersatzsysteme auf Modellebene sinnvoll sein.

#### 5.3.1.1. AUSSERGEBIETE (AUS)

Außengebiete sind natürlich geprägte Flächen, bei welchen die Versickerung den dominanten Parameter darstellt. Außengebiete haben in der Regel keinen Trockenwetter-Abfluss, jedoch ist möglicherweise ein Basisabfluss vorhanden. Oberflächenwasser der Außengebiete werden zwar in die Kanalisation eingeleitet, jedoch werden sie in aller Regel als unverschmutzt betrachtet.

Bei städtischen Einzugsgebieten ist der Einfluss der Außengebiete auf den Gesamtabfluss in der Regel von untergeordneter Bedeutung, sodass auf einen hohen bzw. übertriebenen Detaillierungsgrad verzichtet werden kann. Eine weitere Unterteilung eines Außengebietes ist somit meist überflüssig. Außengebiete mit ähnlichem Übertragungsverhalten können zusammengefasst werden (Muschalla and Ostrowski, 2004).

Folgende Faktoren können unter Umständen eine Aufteilung eines Außengebiets erforderlich machen:

- Entwässerungspunkt
- Topografie (Wasserscheiden, Neigung etc.)
- Landnutzung
- Geologie / Geomorphologie (Bodenarten, Schichtungen, etc.)
- Orografie (Stichwort: Meteorologie, Niederschlag)

#### 5.3.1.2. KANALISIERTE, ENTWÄSSERTER FLÄCHEN IM MISCHSYSTEM (FKM)

Wird neben den Oberflächenwässern auch häusliches und gewerbliches Schmutzwasser in das Kanalisationsnetz eingeleitet, so spricht man von „Kanalisierten Flächen im Mischsystem“ (FKM). Der Niederschlagsabfluss wird dabei also mit dem Trockenwetterabfluss gemeinsam in einem Kanal abgeleitet und dementsprechend auch gemeinsam betrachtet.

#### 5.3.1.3. KANALISIERTE, ENTWÄSSERTER FLÄCHEN IM TRENNSYSTEM (FKT)

Wird das Oberflächenwasser und das Schmutzwasser (häuslich und gewerblich) getrennt voneinander abgeleitet, so spricht man von „Kanalisierten Flächen im Trennsystem“. Der Niederschlagsabfluss wird hierbei also getrennt vom Trockenwetterabfluss betrachtet, wobei der Niederschlagsabfluss von der Oberfläche dem Regenwasserkanal und das Schmutzwasser dem Schmutzwasserkanal zugeordnet wird.

### 5.3.2. EINZUGSGEBIETSABSTRAKTION ALLGEMEIN

#### 5.3.2.1. EINZUGSGEBIETS DATEN, FLÄCHENANGABEN

Flächenangaben sind eine der entscheidenden Größen bei der Simulation von Niederschlag-Abfluss-Prozessen. Die Wirklichkeitsnähe der Berechnungen ist in besonderem Maße von der Übereinstimmung der Flächenangaben mit der Wirklichkeit abhängig. Fehlerhafte Flächenangaben wirken sich linear auf die Ergebnisse aus, da die Abflussmengen sich aus der Multiplikation des Effektiv-Niederschlags mit der Fläche ergeben.

Die Erhebung und Festlegung der Einzugsgebietsdaten ist im Bereich der Grundlagenermittlung anzusiedeln. Das Ergebnis der Berechnungen wird durch die Einzugsgebietsdaten erheblich beeinflusst. Daher sind diese genau, detailliert und vorausschauend zu ermitteln, wobei insbesondere zukünftige Belange berücksichtigt werden sollen. Dabei sind nicht nur Erweiterungen des abflusswirksamen Einzugsgebietes, welche zur Vorhaltung von Reserven zwingen, relevant. Die Möglichkeiten der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung sind ebenfalls zu beachten, hierbei besonders versickerungsfördernde Maßnahmen. Die Datenerhebungen sollten getrennt nach Bestand und Prognose durchgeführt werden (ATV, 2004).

Nach (ATV, 2004) zählen zu den Einzugsgebietsdaten:

- alle Kenndaten, welche für den Niederschlagsabfluss von der Gebietsoberfläche in die Kanalisation, d.h. also für den Oberflächenabfluss, maßgebend sind, und
- alle Gebietsnutzungen und Belastungsdaten, welche maßgebend für den Trockenwetterabfluss sind.

Obwohl den Flächenangaben eine große Bedeutung zukommt, gibt es eine Vielzahl von Flächendefinitionen, welche nicht immer eindeutig sind und somit oft zu Verwirrungen führen. Für die Berechnungen ist entscheidend, wie groß der abflusswirksame Teil der Flächen bezüglich des Kanalnetzes ist. Dies kann bei der Berechnung der Abflussbildung auf zwei Arten berücksichtigt werden:

- a) Die Flächenangaben sind bereits reduziert und entsprechen den vollständig abflusswirksamen Anteilen (Endabflussbeiwert wird zu  $\psi_e = 1,0$  gesetzt)
- b) Die Flächenangaben entsprechen der tatsächlichen Oberflächenstruktur; mit dem Endabflussbeiwert  $\psi_e$  wird auf die abflusswirksamen Anteile reduziert.

Die unter b) beschriebene Variante sollte bevorzugt werden, um Missverständnissen entgegenzuwirken. Flächenangaben sollten sich somit immer nur auf die Oberflächenstruktur beziehen, ohne hier schon eine Aussage darüber zu treffen, welcher Flächenanteil hydraulisch wirksam ist. Somit lassen sich die Flächenangaben auch für andere Zwecke verwenden (Verworn, 1999).

Nach (ATV, 2004) sind folgende Gebietsdaten abflussrelevant und werden wie folgt definiert:

|            |                                                                                             |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_E$      | Fläche des gesamten Einzugsgebietes [ha]                                                    |
| $A_{E,k}$  | Fläche des kanalisierten Einzugsgebietes [ha]                                               |
| $A_{E,b}$  | Summe aller befestigten Flächen im Einzugsgebiet (früher $A_{red}$ - nach (ATV, 1992)) [ha] |
| $A_{E,nb}$ | Summe aller nicht befestigten Flächen im Einzugsgebiet [ha]                                 |
| $A_u$      | undurchlässige Fläche (abflusswirksam, Rechenwert) [ha]                                     |
| $I_G$      | mittlere Geländeneigung [%]                                                                 |

Das durch eine Kanalisation erfasste oder erfassbare Einzugsgebiet wird mit  $A_{E,k}$  bezeichnet. Dieses kann unterteilt werden in eine befestigte Fläche  $A_{E,b}$  und in eine unbefestigte Fläche  $A_{E,nb}$ .

Eine weitere Unterscheidung wird bei den befestigten Flächen getroffen in undurchlässig und durchlässig befestigte Flächen.

Die „undurchlässige Fläche“  $A_u$  stellt den rechnerischen Anteil einer Einzugsgebietsfläche dar, von welchem der Regenabfluss nach Abzug aller Verluste vollständig in eine Mischkanalisation gelangt:

$$A_u = VQ_R / (10 \cdot h_{N,eff}) \quad [ha]$$

$VQ_R$  jährliche Regenabflusssumme im Mischsystem [m<sup>3</sup>]

$H_{Na,eff}$  effektiver Niederschlag (nach Abzug der Verluste) [mm]

Auch im ÖWAV-Regelblatt 11 (OEWA, 2009) werden die Flächengrößen definiert und graphisch dargestellt (Abbildung 58).

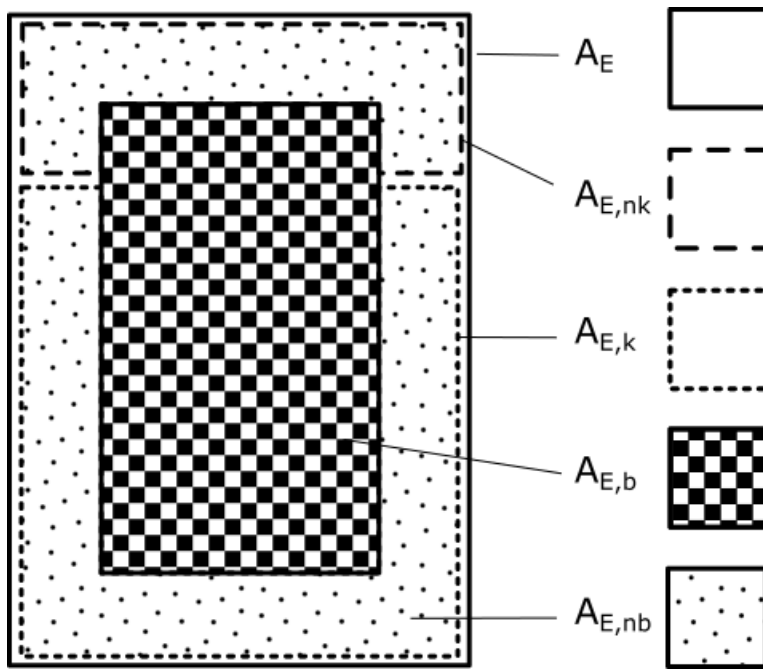


Abbildung 58: Schematische Übersicht zur Flächendefinition; adaptiert nach (OEWA 2009)

#### Einzugsgebiet $A_E$ [ha]:

Fläche eines Einzugsgebietes, beispielsweise Fläche eines Abwasserentsorgungsgebietes.

Das Einzugsgebiet ist entsprechend der jeweiligen Fragestellung eindeutig abzugrenzen. Mit weiteren Indices (z. B.  $A_{E,k}$  – kanalisiertes Einzugsgebiet, s.u.) wird die Fläche  $A_E$  näher charakterisiert.

#### Kanalisiertes Einzugsgebiet $A_{E,k}$ [ha]

Fläche des kanalisiertes bzw. durch ein Entwässerungssystem erfassten Einzugsgebietes.

Bei Baugebieten werden die Grenzen des kanalisiertes Einzugsgebietes im Regelfall entsprechend den Grundstücksgrenzen der durch das Entwässerungssystem erschlossenen Baugrundstücke festgelegt. Dabei ist die Fläche der möglicherweise in Richtung der Bebauung entwässernden Außengebiete nicht enthalten. In Gebieten mit Trennentwässerung kann  $A_{E,k}$  für das Schmutz- und Regenwassersystem unterschiedlich sein.

#### Nicht kanalisiertes Einzugsgebiet $A_{E,nk}$ [ha]

Fläche des nicht kanalisiertes bzw. durch ein Entwässerungssystem nicht erfassten Einzugsgebietes.

Das nicht kanalisierte Einzugsgebiet  $A_{E,nk}$  lässt sich aus der Differenz zwischen der Fläche des Einzugsgebietes  $A_E$  und der Fläche des kanalisiertes Einzugsgebietes  $A_{E,k}$  ermitteln:

$$A_{E,nk} = A_E - A_{E,k}$$

#### Befestigte Fläche $A_{E,b}$ [ha]

Summe aller befestigten Flächen eines Einzugsgebietes.

Die Größe  $A_{E,b}$  umfasst alle befestigten Teilflächen im betrachteten Einzugsgebiet. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob diese Flächen an das Entwässerungssystem angeschlossen sind und ein Abfluss zur Kanalisation erfolgt.

Zu den befestigten Flächen zählen sowohl undurchlässige (Ziegel-, Metall-, Glasdächer; Asphaltstraßen) als auch unterschiedlich durchlässige Oberflächen (Kieswege, Rasenschotter etc.). Die Abflusswirksamkeit wird über anwendungsbezogene Abflussbeiwerte beschrieben.

#### Nicht befestigte Fläche $A_{E,nb}$ [ha]

Summe aller nicht befestigten Flächen eines Einzugsgebietes; ergibt sich aus Differenz zwischen Gesamtfläche und befestigter Fläche des betrachteten Einzugsgebietes:

$$A_{E,nb} = A_E - A_{E,b}$$

Der mögliche Abflussbeitrag nicht befestigter Flächen hängt stark von den örtlichen Randbedingungen (bauliche Anlagen, Geländeneigung etc.) und der jeweils zu behandelnden Fragestellung ab. Besonders bei der Betrachtung von Starkregenereignissen in der Kanalnetzberechnung oder bei der Bemessung von Rückhalteräumen können nicht befestigte Flächen einen nicht vernachlässigbaren Einfluss haben.

Eine sorgfältige Ermittlung der vorgenannten Flächendaten ist zwingend erforderlich, da diese wie bereits erwähnt einen erheblich Einfluss auf das Ergebnis der Berechnungen haben. Dazu müssen Luftbilder, Katasterpläne etc. ausgewertet und Ortsbegehungen durchgeführt werden. Wird eine solche Vorgehensweise nicht für das gesamte Einzugsgebiet durchgeführt, so empfiehlt sie sich zumindest für repräsentative Teilbereiche (ATV, 2004).

Die Art der Oberfläche ist bei den Erhebungen ebenfalls zu berücksichtigen. Die Abflussverzögerung ist nämlich je nach Oberflächenart (z. B. Asphalt, Beton, Kies, Rasen, Wiese, Acker, etc.) unterschiedlich. Um einen Rauheitsfaktor im jeweiligen Modellansatz für den Oberflächenabfluss festzulegen ist es daher hilfreich, bereits bei der Grundlagenermittlung darauf zu achten. Sollte es vom Modellansatz her begründet sein, ist sogar die gesonderte Ermittlung der Dachflächen, evtl. sogar in Abhängigkeit von ihren unterschiedlichen Abflusscharakteristiken (z. B. Steildach, kiesbedecktes Flachdach, begrüntes Flachdach) zu empfehlen (ATV, 2004).

Folgende Angaben sind für die Ermittlung des Abflusses von durchlässig befestigten und nicht befestigten Flächen, abhängig vom gewählten Modellansatz, bedeutend (ATV, 2004):

- Oberflächenart und Durchlässigkeit
- Bodenart und Bodenbedeckung
- Bodennutzung (z. B. Wiese, Sportplatz, Gartenrasen)
- Geländeneigung
- Abflussverhindernde und abflussfördernde Gegebenheiten

### 5.3.2.2. BENÖTIGTE DATENGRUNDLAGE, INFORMATIONQUELLEN

Nachfolgend sind mögliche Informationsquellen zur Ermittlung der benötigten Daten angeführt.

- Informationsquellen Versiegelungsgrad (VG), Bebauung:
  - Kanalkataster
  - Flächenwidmung
  - Orthofoto, Befliegung (Infrarot)
- Informationsquellen Anschlussgrad:
  - Abwassergebührensplittung
  - Bürgerbefragung (punktuell)
  - Ortsbegehung (punktuell)
  - Detaillierte Analyse repräsentativer Flächen
  - Kanalsatzung (mit Historie)
  - Bodenverhältnisse
- Informationsquellen Neigungsklassen:
  - Topografische Karten
  - GIS-Systeme (DGM, DOM)

Weiterführende Informationen und Ausführungen zu Datengrundlagen und Informationsquellen finden sich im Kapitel 4.3.

### 5.3.3. ABSTRAKTION VON AUSSERGEBIETEN

Die Kapitel 5.3.3 bis Kapitel 5.4.1.2 enthalten Adaptierungen und Überarbeitungen aus (Muschalla and Ostrowski, 2004).

Bei Außengebieten spielt die „Vorgeschichte“ bei der Modellierung eine größere Rolle als in urbanen Gebieten. Insbesondere gilt dies für den Feuchtigkeits- bzw. Sättigungsgrad des Bodens. Hierbei kann auch ein Bodenfeuchtigkeitsmodell nützlich sein. Einen Lösungsansatz zur Berücksichtigung der Vorgeschichte liefert das modifizierte SCS-Verfahren.

Zu beachten sind bei Außengebieten auch die möglicherweise sehr unterschiedlich ausgeprägten Überregnungen.

#### 5.3.4. ABSTRAKTION VON KANALISIERTEN FLÄCHEN

Nachfolgend wird beschrieben, wie kanalisierte Flächen für die Modellberechnungen abstrahiert werden können. Dabei werden die unterschiedlichen Abstraktionsebenen sowie mögliche Parameter zur Unterteilung der Flächen berücksichtigt.

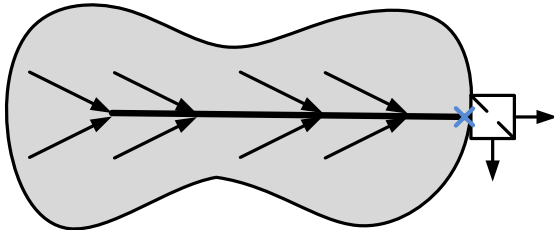
##### 5.3.4.1. ABSTRAKTION VON KANALISIERTEN FLÄCHEN IM MISCHSYSTEM – TEILEINZUGSGEBIETS-EBENE (EBENE 2)

Bei der Abstraktion auf Teileinzugsgebiete Ebene (Ebene 2) werden homogene Teileinzugsgebiete gebildet. Es werden also Flächen mit ähnlichen Übertragungseigenschaften zusammengefasst. Dabei gibt es mehrere Parameter, nach welchen eine Unterteilung der Fläche vorgenommen wird. Diese werden in weiterer Folge angeführt und beschrieben.

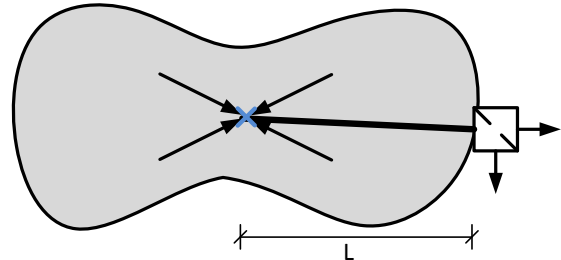
##### Entwässerungspunkt (EP)

Um Flächen zu einer Einheit zusammenfassen zu können, müssen diese zu einem Punkt hin entwässern. Der Entwässerungspunkt ist dabei gleichzeitig auch der Zulauf zum folgenden Systemelement (Sammler, Verzweigung, Entlastungsbauwerk). Je nach den konkreten Gegebenheiten sind unterschiedliche Ersatzsysteme anzuwenden. Abbildung 59 liefert hierzu zwei Beispiele.

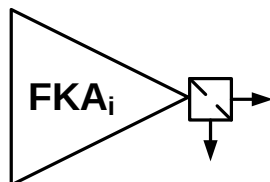
Reales System:



Reales System:



Abstraktion:



Abstraktion:

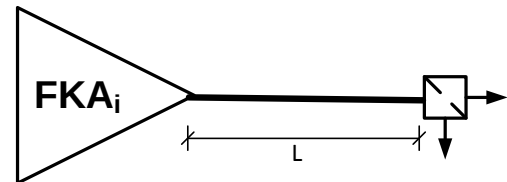
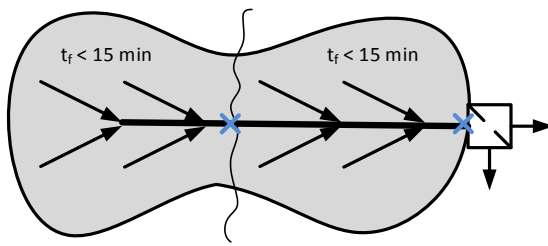


Abbildung 59: Beispiel zur Abstraktion aufgrund des Entwässerungspunktes (das blaue Kreuz symbolisiert einen Entwässerungspunkt)

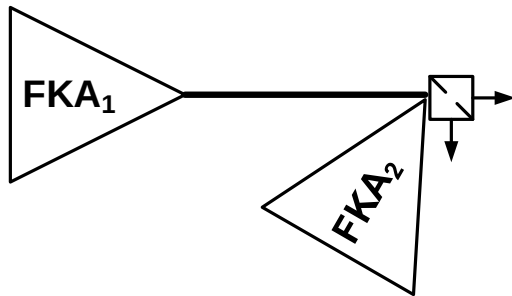
##### Gesamtfließzeit

Bei der Unterteilung der Flächen in Teileinzugsgebiete sollte darauf geachtet werden, dass die Gesamtfließzeit einen bestimmten maximalen Wert (modellabhängig) nicht überschreitet. Dieser kann beispielsweise bei 15 bis 20 Minuten liegen. Wird dieser Wert überschritten, sollte eine weitere Gebietsunterteilung vorgenommen werden. Abbildung 60 liefert hierzu zwei Beispiele.

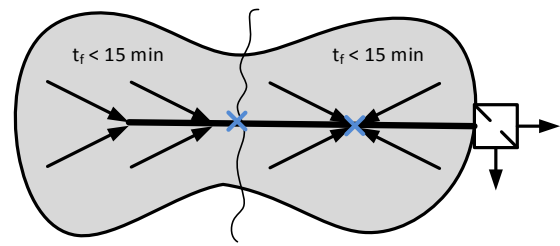
Reales System:



Abstraktion:



Reales System:



Abstraktion:

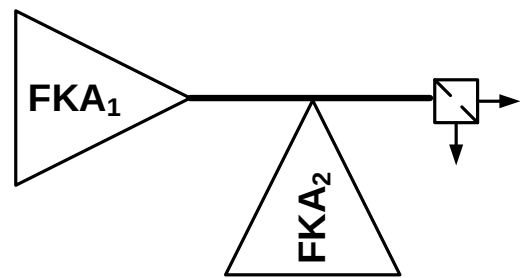
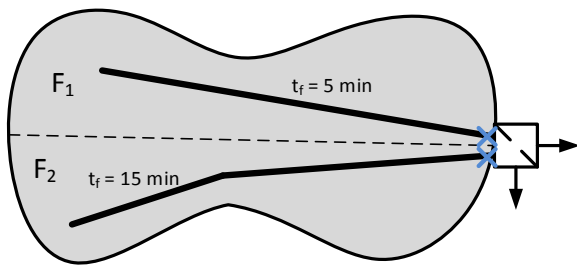


Abbildung 60: Gebietsunterteilung aufgrund der Gesamtfließzeit (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

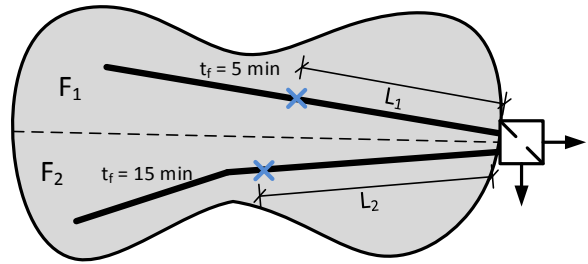
**Fließzeitunterschiede**

Zu einem Entlastungsbauwerk können Sammlerstränge mit unterschiedlichen Fließzeiten führen. Für den Fall, dass die zugehörigen Flächenanteile hierbei auch von Gewicht sind, sollte eine Unterteilung aufgrund der Fließzeitunterschiede erfolgen. In Abbildung 61 und Abbildung 62 finden sich hierbei drei beispielhafte Abstraktionen des realen Systems.

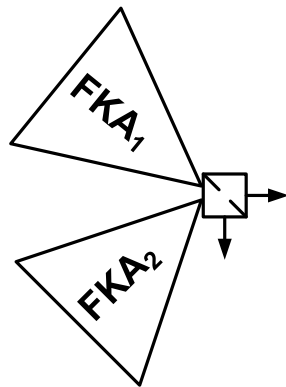
Reales System:



Reales System:



Abstraktion:



Abstraktion:

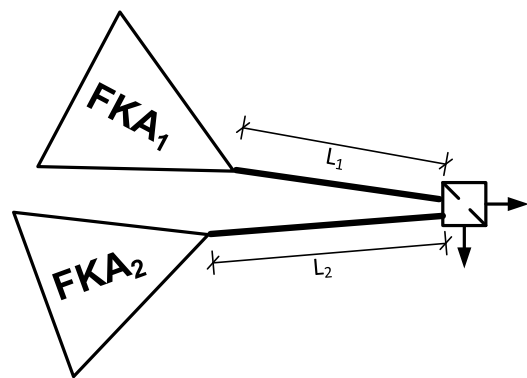
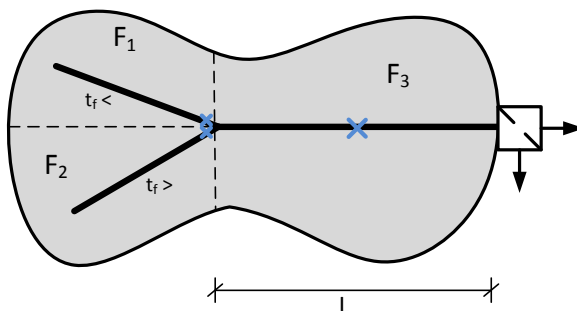


Abbildung 61: Gebietsunterteilung aufgrund von Fließzeitunterschieden - Beispiel 1 und 2 (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

Reales System:



Abstraktion:

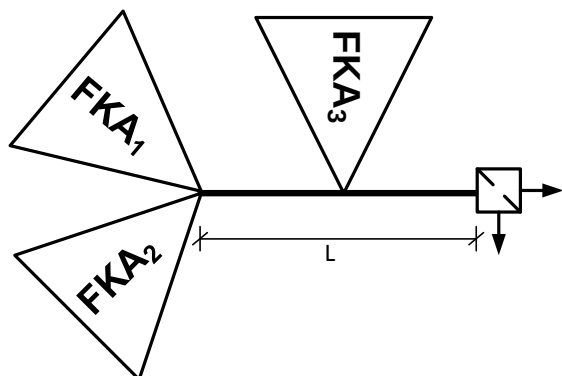


Abbildung 62: Gebietsunterteilung aufgrund von Fließzeitunterschieden - Beispiel 3 (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

### Unterschiedliche Neigungsgruppen (NG)

Das Einzugsgebiet eines Entlastungsbauwerks kann Gebiete mit stark unterschiedlichen Neigungsgruppen enthalten. Hierbei sollte eine Gebietsunterteilung in jedem Fall vorgenommen werden, da die Verlustbildung auf der Oberfläche aufgrund der unterschiedlichen Neigung sehr unterschiedlich ist. In Abbildung 63 ist der obere Teil beispielsweise steil, während der untere Teil flach ist. Mögliche Gebietsbeschreibungen wären bei dieser Abbildung:

- $F_1$  und  $F_2$ : Siedlungsgebiet im flachen Teil
- $F_3$  und  $F_4$ : Villengebiet im steilen, unteren Teil
- $AUS_1$ : Weinbaugebiet im steilen, oberen Teil

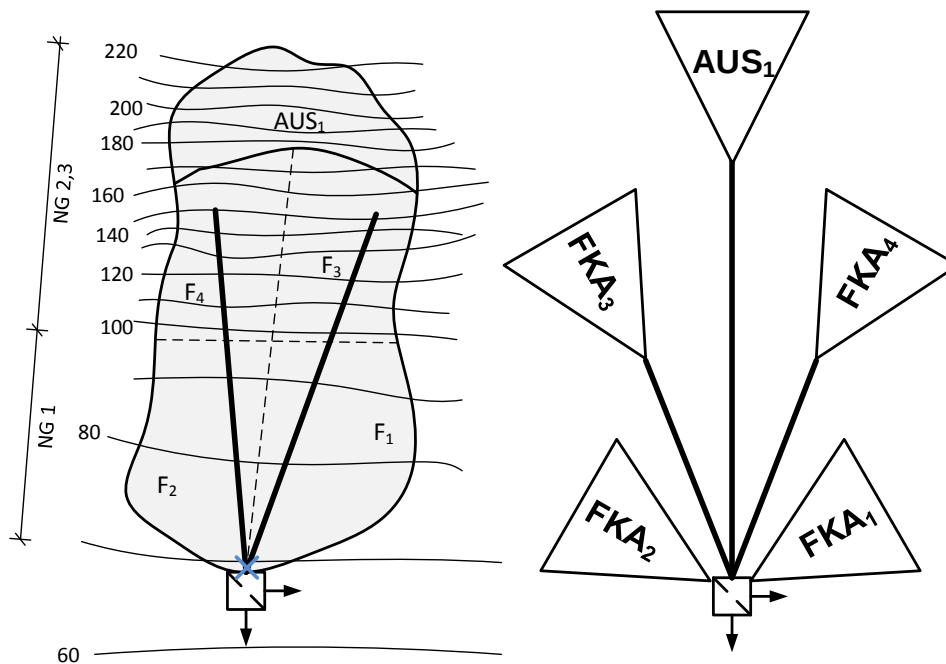


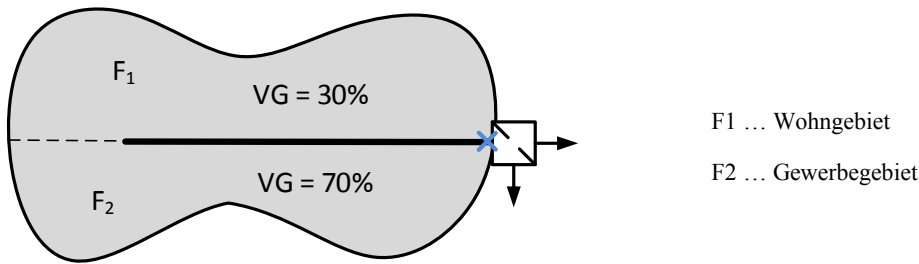
Abbildung 63: Gebietsunterteilung aufgrund unterschiedlicher Neigungsgruppen (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

### Unterschiedliche Versiegelungsgrade (VG)

Weist ein Einzugsgebiet unterschiedlich versiegelte Flächen auf, so muss dies nicht notwendigerweise eine weitere Gebietsunterteilung erfordern. Greifen nämlich die bis hierhin aufgezählten Unterteilungskriterien nicht, so ist eine Unterteilung nicht zwingend erforderlich. In diesem Fall ist eine flächengewichtete Berechnung des mittleren Versiegelungsgrades ausreichend.

Sind jedoch unterschiedliche Flächennutzungen vorhanden, so kann eine Unterteilung ratsam werden, um eine bessere Zuordnung des Trockenwetterabflusses zu erreichen. Eine solche Gebietsunterteilung ist in Abbildung 64 dargestellt.

Reales System:



Abstraktion:

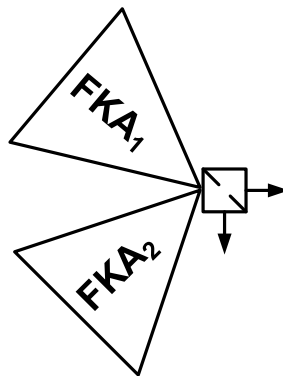
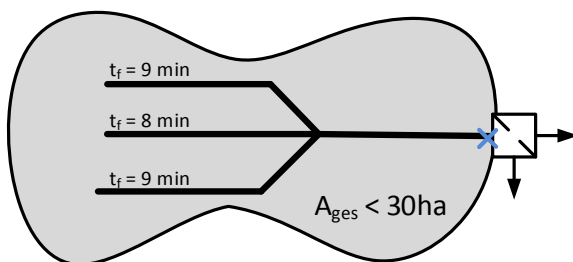


Abbildung 64: Gebietsunterteilung aufgrund unterschiedlicher Gebietsstrukturen (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

### Gebietsgröße

Mit zunehmender Einzugsgebietsgröße wird im Regelfall eines der bisher genannten Kriterien zum Tragen kommen und eine Gebietsunterteilung erforderlich werden. Die Einzugsgebietsgröße selbst ist jedoch unerheblich für eine Gebietsunterteilung, sofern eine modellabhängige empfohlene Maximalgröße (z. B. 30 ha) nicht überschritten wird. Ein Beispiel hierzu findet sich in Abbildung 65. Die Fließzeiten der Hauptsammlerstränge sind nahezu identisch und die Gesamtgröße des Gebietes überschreitet 30 ha nicht. Macht keines der bisher genannten Kriterien eine weitere Gebietsunterteilung erforderlich, so muss eine solche in dem beschriebenen Fall auch nicht durchgeführt werden.

Reales System:



Abstraktion:

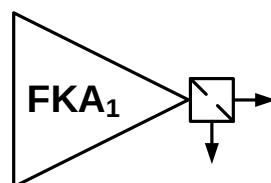


Abbildung 65: Gebietsunterteilung allein aufgrund der Gebietsgröße nicht notwendig (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)

### 5.3.4.2. ABSTRAKTION VON KANALISIERTEN FLÄCHEN IM TRENNSYSTEM – TEILEINZUGSGEBIETS-EBENE (EBENE 2)

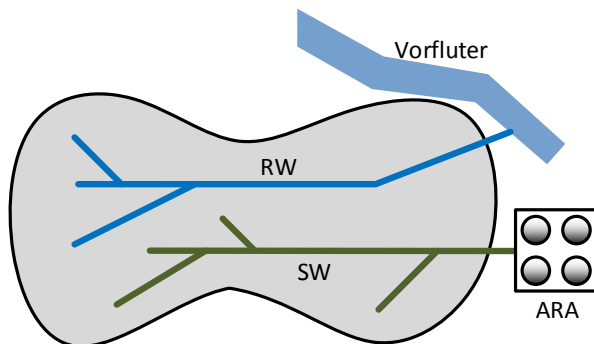
Nachfolgend wird auf die Besonderheiten bei der Abstraktion von kanalisierten Flächen im Trennsystem eingegangen.

Es erfolgt hierbei eine getrennte Betrachtung von Schmutzwasserabfluss (SW) und Regenwasserabfluss (RW).

#### Besonderheiten bei Trenngebieten ohne Fehlschlüsse

Wird ein „100 %-iges“ Trennsystem angenommen, werden Schmutzwasserabfluss und Regenwasserabfluss komplett getrennt voneinander betrachtet. Es wird bei der Modellbildung also davon ausgegangen, dass kein Fremdwasser anfällt. In Abbildung 66 ist das Prinzip eines Trenngebietes ohne Fehlschlüsse dargestellt.

Reales System:



Abstraktion:

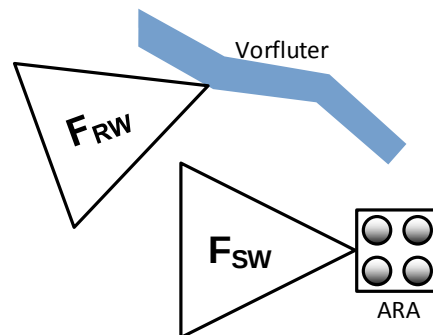


Abbildung 66: Trenngebiet ohne Fehlschlüsse

Es bedeuten:

|          |                      |
|----------|----------------------|
| RW       | Regenwasser          |
| SW       | Schmutzwasser        |
| $F_{RW}$ | Fläche Regenwasser   |
| $F_{SW}$ | Fläche Schmutzwasser |

Bei der Modellbildung werden zwei Flächen für Schmutzwasserabfluss und Regenwasserabfluss generiert. Für den Schmutzwasserabfluss ist nur der Trockenwetterabfluss relevant. Regenereignisse haben hierbei keinen Einfluss:

- Schmutzwasserabfluss ( $F_{SW}$ )
  - Trockenwetterabfluss
  - Einwohnerwerte
  - Versiegelungsgrad (VG) = 0 %
  - Anschlussgrad (AG) = 0 %

Beim Regenwasserabfluss hingegen wird kein Trockenwetterabfluss, sondern lediglich der Oberflächenabfluss aufgrund von Niederschlag berücksichtigt:

- Regenwasserabfluss ( $F_{RW}$ )
  - Kein Trockenwetterabfluss
  - Keine Einwohner
  - Versiegelungsgrad (VG) definieren
  - Angeschlossene Fläche definieren
  - Anschlussgrad (AG) definieren

### Besonderheiten bei Trenngebieten mit Fehlschlüssen

Werden bei Trenngebieten Fehlschlüsse angenommen und mit berücksichtigt, so wird dadurch das Auftreten von Fremdwasser angenommen und mit abgebildet.

Abhängig vom gewählten Modellansatz gibt es unterschiedliche Möglichkeiten um Fehlschlüsse zu berücksichtigen. Nachfolgend werden beispielhaft mögliche Ansätze zur Berücksichtigung von Fehlschlüssen in Trenngebieten vorgestellt.

#### Beispiel 1:

Wenn das gewählte Modell keine explizite Unterstützung für die Abbildung von Fehlschlüssen bereitstellt, kann folgendermaßen vorgegangen werden. Um Fehlschlüsse zu berücksichtigen, werden bei der Modellbildung zwei Flächen für Schmutzwasserabfluss und Regenwasserabfluss generiert. Diese müssen nicht deckungsgleich sein. Bei der Einzugsgebietsfläche für den Schmutzwasserabfluss werden zusätzlich zum Trockenwetterabfluss aufgrund der Einwohner die fehlangeschlossenen Flächen berücksichtigt:

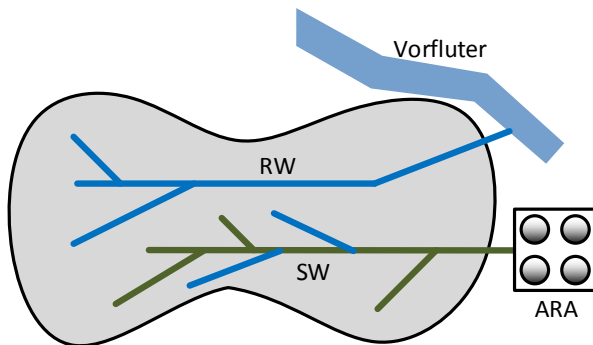
- Schmutzwasserabfluss ( $F_{SW} + F_{FA}$ )
  - Trockenwetterabfluss
  - Einwohnerwerte
  - Einzugsgebiet Schmutzwasser zu definieren (fehlangeschlossene Flächen)

Für den Regenwasserabfluss wird analog zu „100 %-igen Trenngebieten“ vorgegangen:

- Regenwasserabfluss ( $F_{RW}$ ):
  - Kein Trockenwetterabfluss
  - Keine Einwohner
  - Versiegelungsgrad (VG) definieren
  - Angeschlossene Fläche definieren
  - Anschlussgrad (AG) definieren

In Abbildung 67 sind die prinzipiellen Überlegungen bei dieser Vorgehensweise dargestellt.

Reales System:



Abstraktion:

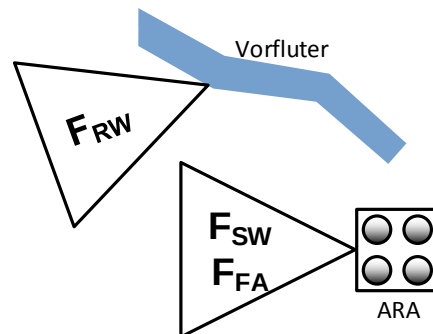


Abbildung 67: Trenngebiet mit Fehlschlüssen – Beispiel 1

Es bedeuten:

|          |                      |
|----------|----------------------|
| RW       | Regenwasser          |
| SW       | Schmutzwasser        |
| $F_{RW}$ | Fläche Regenwasser   |
| $F_{SW}$ | Fläche Schmutzwasser |
| $F_{FA}$ | Fläche Fehlschlüsse  |

#### Beispiel 2:

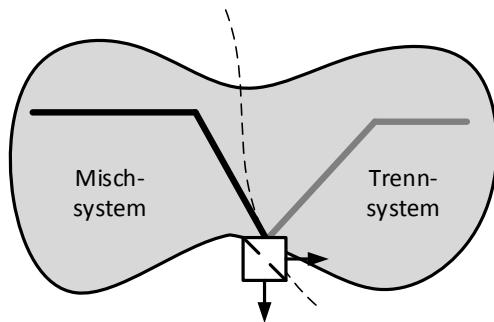
Bietet das Modell eine Unterstützung, zum Beispiel in Form von fiktiven Verzweigungen für die Abbildung von Fehlschlüssen an, können Trenngebiete mit Fehlschlüssen mit Hilfe eines einfachen Ersatzsystems berücksichtigt werden. Dabei wird im Anschluss an das Trenngebiet eine fiktive Verzweigung eingefügt, welche nur einen Ablauf hat. Diese Verzweigung kann genutzt werden, um

eine Obergrenze des Abflusses des Trennsystems anzugeben, indem der maximale Abfluss des Gebiets als Drosselabfluss eingetragen wird.

Bei Abflüssen, welche diesen definierten obersten Wert überschreiten, wird beim Modell die Annahme getroffen, dass diese direkt in den Vorfluter eingeleitet werden. Diese Abflüsse entsprechen somit den Regenwasserabflüssen, während sich der maximale Drosselabfluss des Gebietes aus dem Trockenwetterabfluss und dem Abfluss aus Fehlschlüssen zusammensetzt.

In Abbildung 68 ist die prinzipielle Vorgehensweise schematisch dargestellt. Abbildung 69 zeigt, wie die Abflüsse durch die fiktive Verzweigung aufgeteilt werden.

Reales System:



Abstraktion:

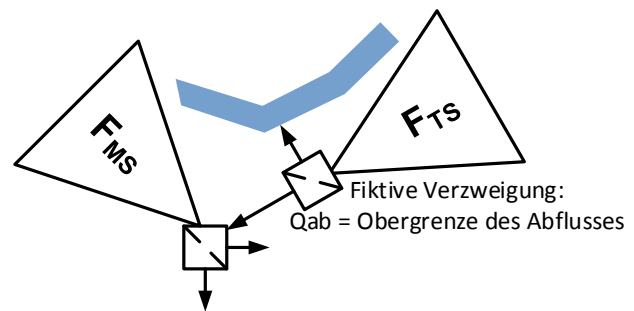


Abbildung 68: Trenngebiet mit Fehlschlüssen – Beispiel 2

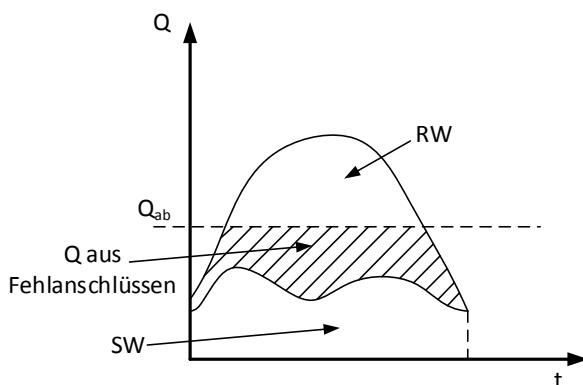


Abbildung 69: Aufteilung der Abflüsse bei fiktiver Verzweigung zur Berücksichtigung von Fehlschlüssen bei Trenngebieten

#### 5.3.4.3. ABSTRAKTION AUF GRUNDSTÜCKSEBENE (EBENE 3)

Bei der Abstraktion auf Ebene 3 wird eine Unterteilung in Grundstücksflächen bzw. Haltungsflächen vorgenommen. Zusätzlich zur Abstraktion auf Teileinzugsgebietsebene (Ebene 2) wird auch die Grundstücksentwässerung (Fließzeiten in Hausanschlussleitungen) berücksichtigt.

Für die Modellierung müssen je Grundstücks- bzw. Haltungsfläche sowohl die versiegelten als auch die teildurchlässigen und durchlässigen Flächenanteile bestimmt werden. Die für die Modellierung relevanten Parameter werden hierbei noch über die gesamte Grundstücks- bzw. Haltungsfläche verschmiert ermittelt. Beispielsweise wird ein gewichteter Mittelwert für den Versiegelungsgrad berechnet.

#### Benötigte Datengrundlage, Informationsquellen

Bei der Abstraktion auf Grundstücksebene werden detailliertere Daten benötigt, als bei Abstraktion auf Ebene 1 (Einzugsgebietsebene) und Ebene 2 (Teileinzugsgebietsebene). Dabei können zusätzlich zu den bereits unter 5.3.2.2 aufgeführten Informationsquellen u.a. folgende weitere Informationsquellen nützlich sein:

- Naturdaten (Aufgenommene Daten, Polylinien, Infrarotbefliegung, etc.)
- Detaillierte Photogrammetrie

- Informationen zur Grundstücksentwässerung (Stichwort Fließzeit, etc.)
  - Hausanschlüsse / Zuordnung zu Hausnummer
- Größere unversiegelte Flächenanteile in der Stadt
- Fließwege auf der Oberfläche
- Trenngebiete / Fehlan schlüsse

#### 5.3.4.4. ABSTRAKTION AUF TEILFLÄCHENDIFFERENZIIERTER EBENE (EBENE 4)

Bei der Abstraktion auf teilflächendifferenzierter Ebene (Ebene 4) handelt es sich um die detaillierteste Abstraktionsstufe. Hier werden die einzelnen Grundstücks- bzw. Haltungsflächen aus Ebene 3 nochmals weiter in einzelne homogene Flächen wie Dachflächen, Verkehrsflächen, Rasenflächen etc. untergliedert.

#### Benötigte Datengrundlage, Informationsquellen

Die Datengrundlage und die dafür erforderlichen Informationsquellen sind auf Ebene 4 ähnlich jenen auf Grundstücksebene (siehe dazu Pkt. 0). Der Anspruch an die Datengrundlage und die Informationsquellen ist auf der Ebene 4 naturgemäß am höchsten, um eine sehr detailgetraue und realitätsnahe Abbildung der Flächen zu erreichen.

#### Besonderheiten

Die Abstraktion auf Teilflächen differenzierten Ebene hat eine große und entscheidende Besonderheit. Hierbei erfolgt nämlich eine direkte Abbildung sensibler Parameter wie z. B. des Versiegelungsgrads. Im Gegensatz zur Abstraktion auf Grundstücksebene und zur Abstraktion auf Ebene 1-2 erfolgt somit keine „Verschmierung“ von Parametern mehr.

Bei der Abstraktion auf dieser Ebene ergibt sich eine Deckungsgleichheit von Modelldaten und Bestandsdaten/Naturdaten und somit wird ein Abgleich mit einem Datenmanagement-Tool (z B. GIS) möglich. Ebenso wird ein direkter Zugriff auf Teilflächen möglich. Änderungen bzw. Aktualisierungen sind somit im Bedarfsfall deutlich einfacher durchführbar. Dies hat auch zur Folge, dass Maßnahmen in den Flächen direkt abgebildet werden können.

## 5.4. MODELLIERUNG DES KANALSYSTEMS

### 5.4.1. ABBILDUNG DES KANALNETZES

#### 5.4.1.1. ABBILDUNG IN DER HYDROLOGISCHEN MODELLIERUNG

Die Möglichkeiten der Berechnung des Abflusstransports in der hydrologischen Modellierung wurden bereits unter Pkt. 0 angeführt und beschrieben.

Im Folgenden wird auf die praktische Abbildung des Kanalnetzes in der hydrologischen Modellierung näher eingegangen.

#### Wahl repräsentativer Sammler

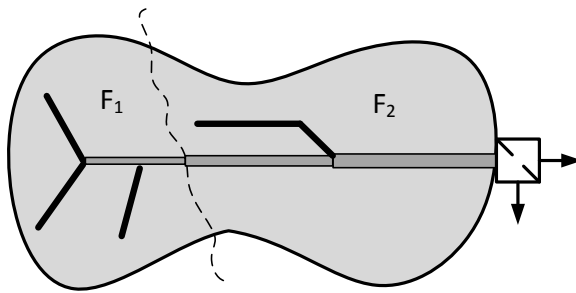
Zum Transport des Abwassers werden in Entwässerungssystemen Sammler angeordnet, welche Translations- (Transport-) und Retentions- (Speicher-) Eigenschaften besitzen.

Für die Qualität der Simulation ist die „korrekte“ Abstraktion des realen Kanalnetzes von entscheidender Bedeutung. Die zentrale Frage ist hierbei, wie aus dem realen System repräsentative Sammler für die Modellierung ausgewählt werden können, welche Sammler abgebildet werden müssen bzw. welche Sammler vernachlässigt werden können. Nachfolgend finden sich hierzu einige Beispiele.

#### Beispiel 1: Zwei Teilflächen

Ein Einzugsgebiet ist wie in Abbildung 70 dargestellt in zwei Teilflächen untergliedert worden. Dabei haben die Sammler zwischen der Einleitung aus der Teilfläche  $F_1$  und der Entlastung annähernd das gleiche Gefälle. Die Durchmesser vergrößerung von DN 400 auf DN 800 beruht somit auf den seitlichen Zuflüssen aus der Teilfläche  $F_2$ . Erfolgt die Einleitung des Teilgebietes  $F_2$  direkt am Entlastungsbauwerk, so kann das Übertragungsverhalten des Teilgebietes  $F_1$  in guter Näherung durch die Wahl eines Transportsammlers des Durchmessers DN 400 abgebildet werden. Hierbei ist als Fließzeit für die Teilfläche  $F_2$  die längste Fließzeit bis zur Entlastung zu wählen.

Reales System:



Abstraktion:

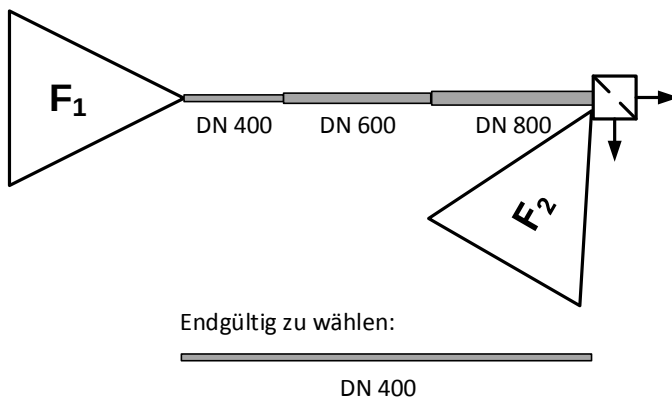
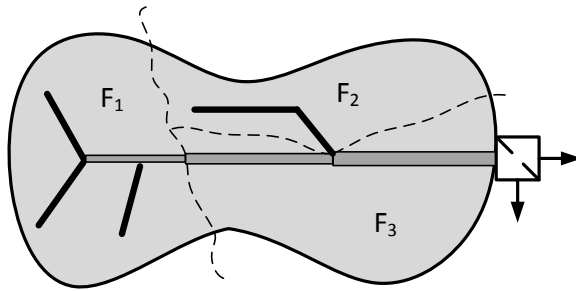


Abbildung 70: Wahl des repräsentativen Sammlers bei zwei Teilflächen

### Beispiel 2: Drei Teilflächen

Wird das eben gezeigte Einzugsgebiet (siehe Abbildung 70) allerdings in drei Teilflächen unterteilt, so sieht die Abstraktion des Kanalnetzes entsprechend Abbildung 71 anders aus. Als Fließzeit für das Teilgebiet  $F_3$  ist die Fließzeit bis zur Einleitungsstelle in den Sammler zu wählen, nicht jene bis zum Entlastungsbauwerk.

Reales System:



Abstraktion:

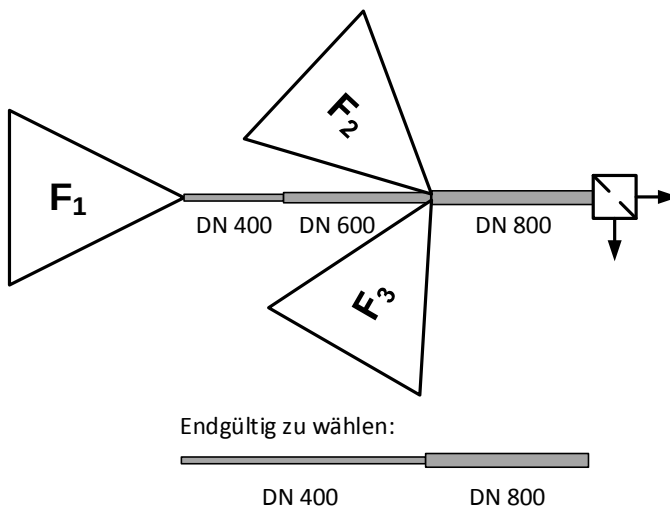


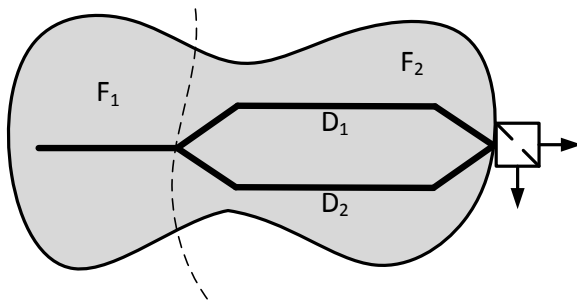
Abbildung 71: Wahl der repräsentativen Sammler bei drei Teilflächen

### Verzweigung bzw. Mischwasserüberlauf

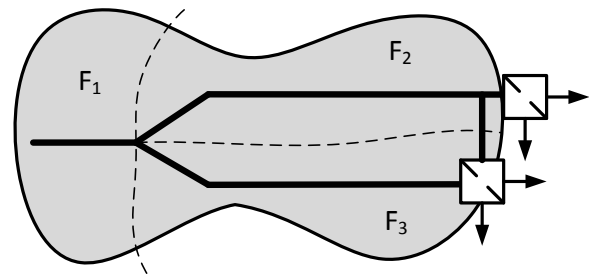
#### *Verzweigung*

Bei der Simulation von Verzweigungen ist entscheidend, ob der verzweigte Abfluss bei einem oder zwei Entlastungsbauwerken eingeleitet wird. Laufen die Sammler nach der Verzweigung beim Entlastungsbauwerk wieder zusammen, ist es nicht notwendig die Verzweigung zu simulieren (Abbildung 72 – links). Die Simulation der Verzweigung ist jedoch erforderlich, wenn durch die Teilströme der Verzweigung zwei Entlastungsbauwerke angeströmt werden (Abbildung 72 – rechts).

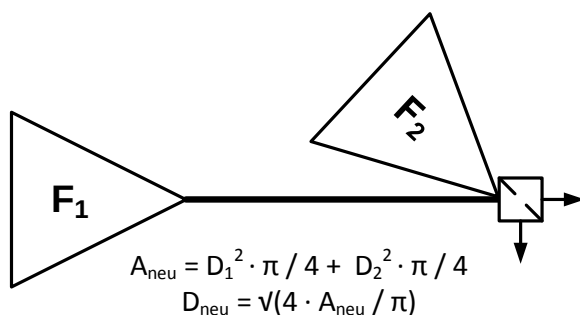
Reales System:



Reales System:



Abstraktion:



Abstraktion:

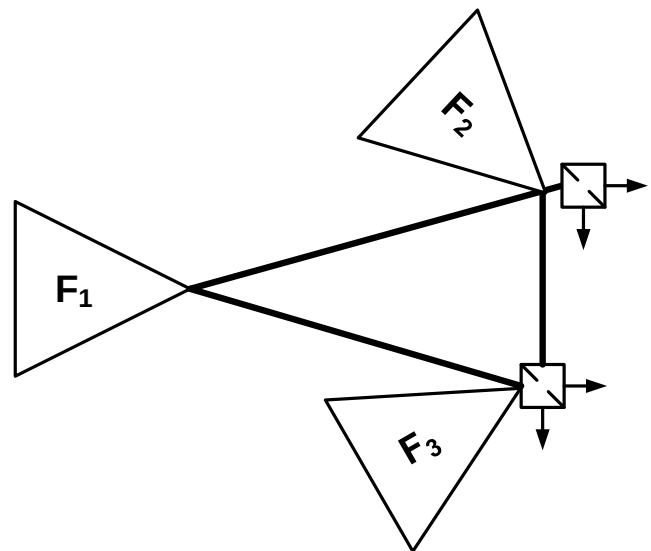


Abbildung 72: Simulation von Verzweigungen

### Mischwasserüberlauf

Mischwasserüberläufe werden bei der Modellierung analog zu Verzweigungen behandelt. Es gelten somit die entsprechenden vorhin getroffenen Aussagen. Der einzige Unterschied zwischen Verzweigung und Mischwasserüberlauf liegt darin, dass die Abflüsse, welche nicht durch die Drossel weitergeleitet werden, in einen Vorfluter entlastet werden.

#### 5.4.1.2. ABBILDUNG IN DER HYDRODYNAMISCHEN MODELLIERUNG

Die Möglichkeiten der Berechnung des Abflusstransports in der hydrodynamischen Modellierung wurden bereits unter Pkt. 0 angeführt und beschrieben.

Im Folgenden wird auf die praktische Abbildung des Kanalnetzes in der hydrodynamischen Modellierung näher eingegangen.

In der hydrodynamischen Modellierung werden die Fließvorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz getrennt voneinander betrachtet.

Das Kanalnetz kann hierbei realitätsnah abgebildet werden. Unterschiede ergeben sich bei den berücksichtigten Strukturen (Grobnetz oder Feinnetz). Ob das Kanalnetz als Grobnetz oder als Feinnetz dargestellt wird hängt stark von der jeweiligen Aufgabenstellung und den gewünschten Berechnungsergebnissen ab.

### Abgrenzung zur hydrologischen Modellierung

In Abbildung 73 und Abbildung 74 sind die Unterschiede bei der Abstrahierung der Realität bei Verwendung eines hydrodynamischen oder eines hydrologischen Modells dargestellt. Wie bereits erwähnt, erfolgt bei der hydrologischen Modellierung eine „Verschmierung“ der Abflussvorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz. In der Regel werden bei hydrologischen Modellen nur Hauptsammler abgebildet.

Bei der hydrodynamischen Modellierung jedoch werden die Fließvorgänge auf der Oberfläche und im Kanalnetz jedoch getrennt voneinander betrachtet und simuliert. Unterschiede gibt es hierbei in der Detailliertheit der Abstrahierung. Das Kanalnetz kann als Grobnetz (nur Hauptsammler) oder als Feinnetz (Hauptsammler und Nebensammler, haltungsgetreu). Der Übergang zwischen Grobnetz und Feinnetz ist hierbei jedoch kaum genau definierbar sondern fließend.

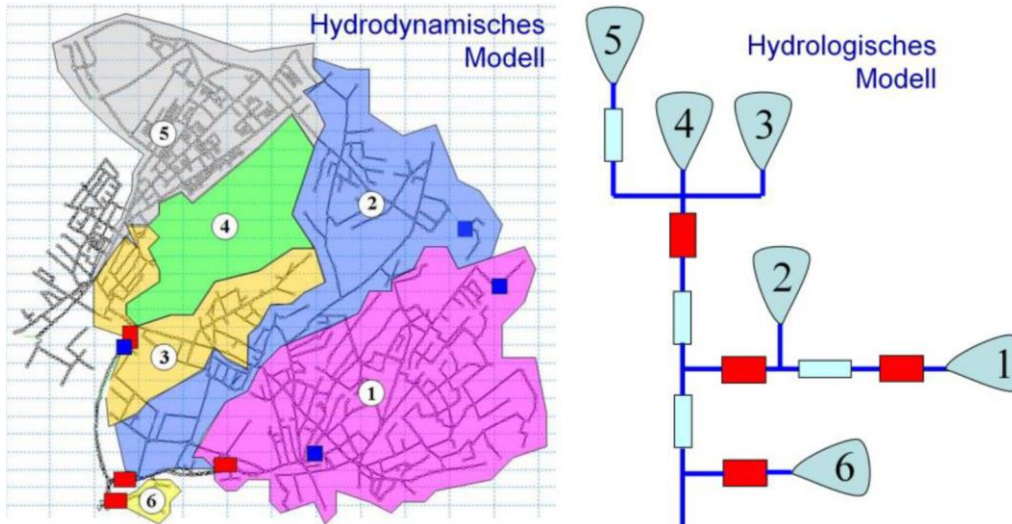


Abbildung 73: Vergleich der Abstrahierung bei hydrodynamischem und hydrologischem Modell

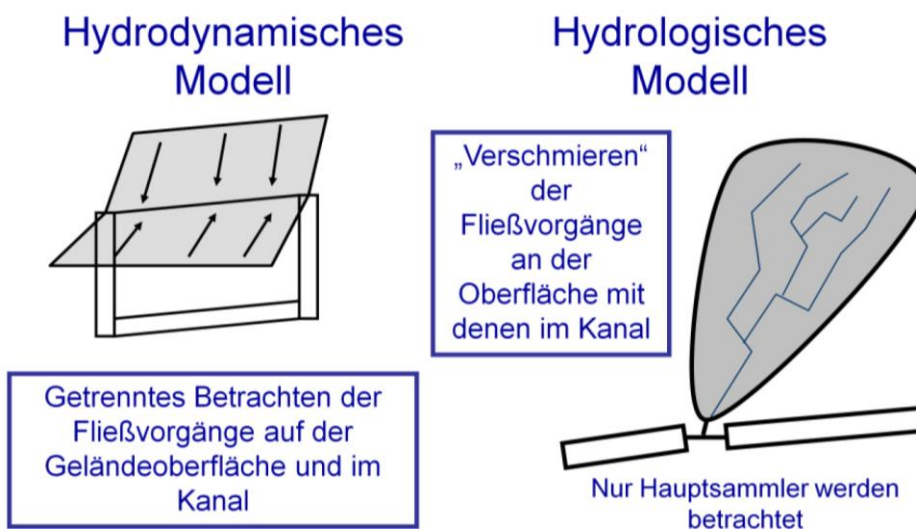


Abbildung 74: Vergleich hydrodynamisches Modell - hydrologisches Modell

### Abbildung in der hydrodynamischen Modellierung als Feinnetz

#### *Berücksichtigte Strukturen im Feinnetz*

Bei der Abbildung des Kanalnetzes als Feinnetz werden neben den Hauptsammlern auch die Nebensammler mitberücksichtigt. Die Abbildung erfolgt hierbei haltungsgetreu.

In Abbildung 75 findet sich ein Beispiel für die Abstrahierung des Kanalnetzes als Feinnetz. Dabei ist links in der Abbildung die Prinzipskizze des Kanalnetzes dargestellt und rechts eine mögliche Abbildung als Feinnetz.

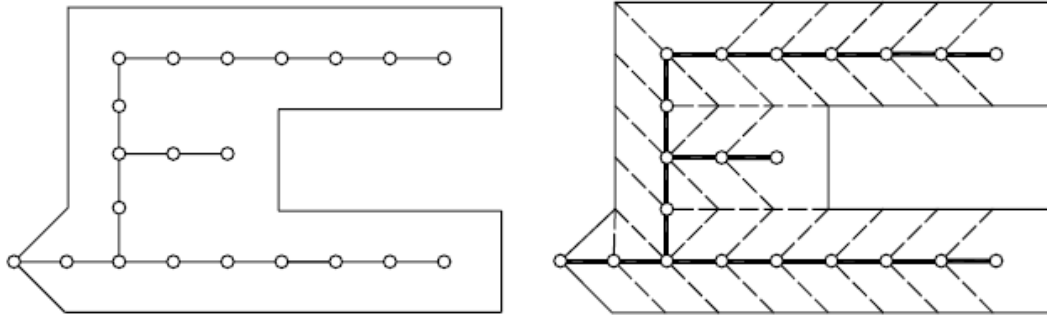


Abbildung 75: links: Prinzipskizze des Kanalnetzes, rechts: Abbildung des Kanalnetzes als Feinnetz; adaptiert nach (ATV, 2004)

### Abbildung in der hydrodynamischen Modellierung als Grobnetz

#### *Berücksichtigte Strukturen im Grobnetz*

Bei der Abbildung des Kanalnetzes als Grobnetz wird auf eine haltungsgetreue Darstellung verzichtet. Es werden dabei beispielsweise nicht relevante Nebensammler bei der Abbildung vernachlässigt bzw. mit den Vorgängen auf der Oberfläche mit erfasst.

In Abbildung 76 findet sich ein Beispiel für die Abstrahierung des Kanalnetzes als Grobnetz. Dabei ist links in der Abbildung die Prinzipskizze des Kanalnetzes dargestellt und rechts eine mögliche Abbildung als Grobnetz.

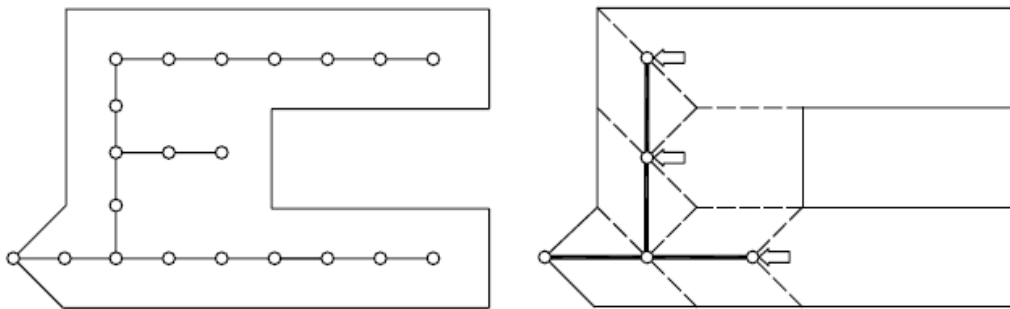


Abbildung 76: links: Prinzipskizze des Kanalnetzes, rechts: Abbildung des Kanalnetzes als Grobnetz; adaptiert nach (ATV, 2004)

#### *Abgrenzung zur hydrodynamischen Modellierung im Feinnetz*

Von einem Grobnetz spricht man in der Regel, wenn die Abbildung des Kanalnetzes nicht mehr haltungsgetreu erfolgt und somit auch nicht mehr haltungsdetaillierte Berechnungsergebnisse erzielt werden können.

Im Gegensatz zum Feinnetz werden hierbei bestimmte weniger relevante Kanäle bzw. Kanäle, bei denen keine Berechnungsergebnisse gefordert werden, nicht abgebildet, sondern mit den Vorgängen auf der Oberfläche gemeinsam erfasst und abgebildet. Ein Beispiel zur Veranschaulichung des Unterschieds zwischen Feinnetz und Grobnetz findet sich in Abbildung 77. Hierbei ist das auf demselben Kanalnetz basierende Grobnetz und Feinnetz aus Abbildung 75 und Abbildung 76 gegenübergestellt.

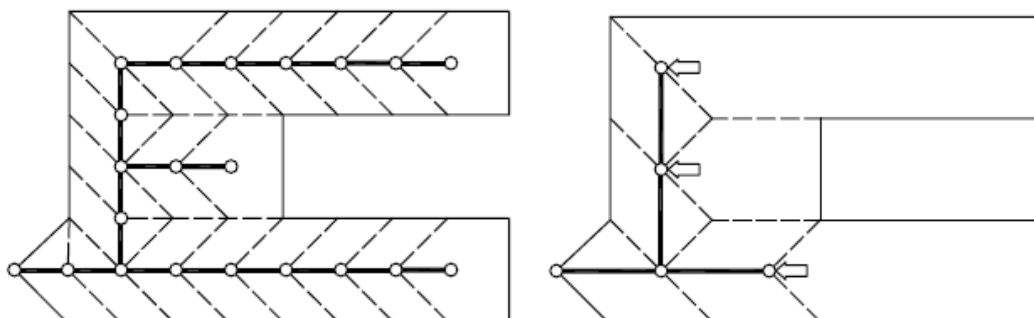


Abbildung 77: Vergleich Feinnetz (links) und Grobnetz (rechts)

#### 5.4.2. ABBILDUNG VON SONDERBAUWERKEN

##### 5.4.2.1. ABBILDUNG IN DER HYDROLOGISCHEN MODELLIERUNG

Die Möglichkeiten der Berechnung von Sonderbauwerken in der hydrologischen Modellierung wurden bereits unter Pkt. 0 besprochen:

- Vereinfachte Rückstauberücksichtigung
- Näherung (Schwellenwertmodell, Schnittprinzip)
- Berücksichtigung der Trennschärfe
- Verwendung von Bauwerks-Kennlinien (manuell oder automatisch)

Bei vielen der üblicherweise verwendeten Softwarelösungen sind verschiedene Bauwerkstypen bereits vordefiniert und können somit sehr einfach eingesetzt werden. Dabei muss beispielsweise die Kennlinie des verwendeten Bauwerkes eingegeben werden.

##### 5.4.2.2. ABBILDUNG IN DER HYDRODYNAMISCHEN MODELLIERUNG

Die Möglichkeiten der Berechnung von Sonderbauwerken in der hydrodynamischen Modellierung wurden bereits unter Pkt. 0 beschrieben. Nachfolgend soll auf die praktische Abbildung der Bauwerke in der hydrodynamischen Modellierung eingegangen werden.

In den nachfolgenden Abbildungen und Erläuterungen gelten folgende Abkürzungen:

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| $Q_{zu}$   | Zufluss zum Entlastungsbauwerk        |
| $Q_{ab}$   | Abfluss vom Entlastungsbauwerk        |
| $Q_{ab}^*$ | Entleerung von Becken im Nebenschluss |
| $Q_{Bü}$   | Beckenüberlauf                        |
| $Q_{Kü}$   | Klärüberlauf                          |
| $V_B$      | gespeichertes Volumen im Becken       |
| $C_{zu}$   | Konzentration im Zufluss              |
| $C_{ab}$   | Konzentration im Abfluss              |
| $C_{Bü}$   | Konzentration im Beckenüberlauf       |
| $C_{Kü}$   | Konzentration im Klärüberlauf         |
| $C_B$      | Konzentration im Becken               |

Ebenso ist folgende Legende aus Abbildung 78 in den folgenden Abbildungen zu berücksichtigen.

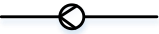
|                                                                                     |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  | Knoten (Schacht)     |
|  | Pumpe                |
|  | Speicherbecken       |
|  | Wehr (Überlaufkante) |
|  | Drossel              |

Abbildung 78: Legende für Modellierbeispiele von Sonderbauwerken in der hydrodynamischen Modellierung

#### Mischwasserüberlauf

In Abbildung 79 ist die Modellierung eines Mischwasserüberlaufs dargestellt.

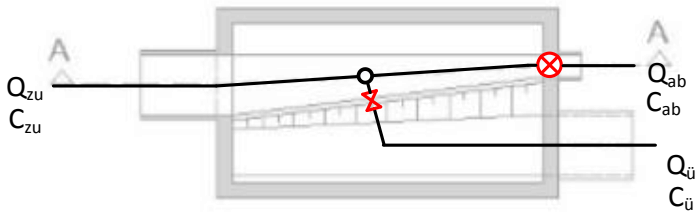


Abbildung 79: Mischwasserüberlauf - Hydrodynamische Modellierung

### Speicherbauwerke

#### *Durchlaufbecken im Hauptschluss (DB-H)*

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für ein Durchlaufbecken im Hauptschluss dargestellt.

In Abbildung 80 ist die Modellierung so gewählt, dass die hydraulischen Zusammenhänge für das Entlastungsbauwerk korrekt dargestellt sind, während die Modellierung in Abbildung 81 auch die stofflichen Zusammenhänge berücksichtigt.

Der Unterschied liegt hierbei bei der Konzentration im Beckenüberlauf. Um dies korrekt darzustellen, muss der Überlauf vor dem Speicherelement angeordnet werden.

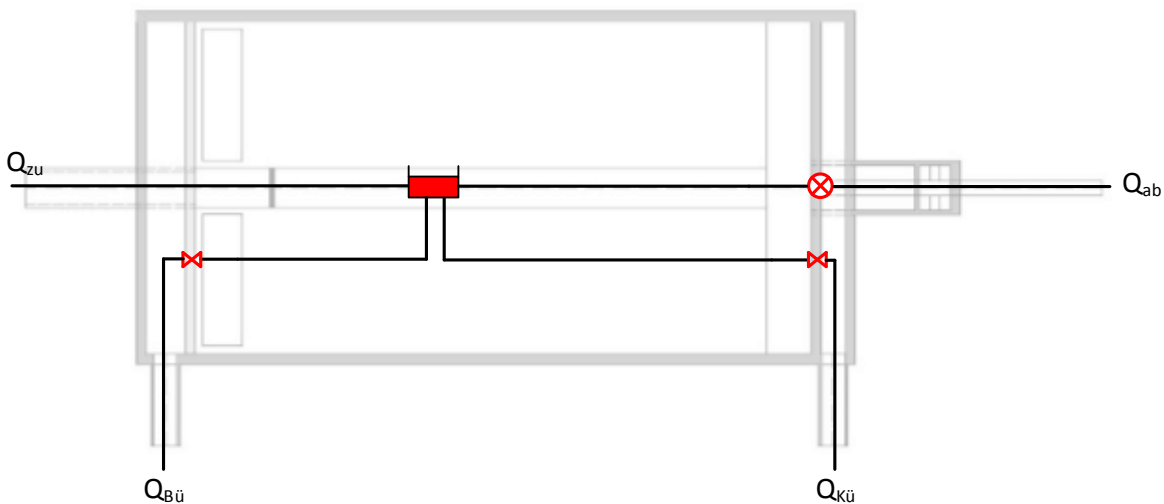


Abbildung 80: Durchlaufbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

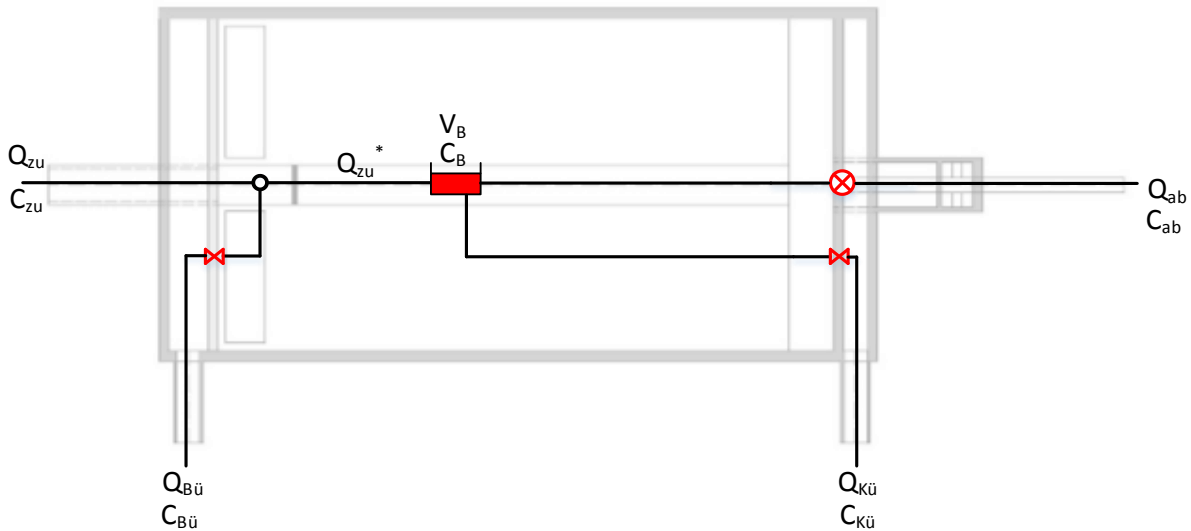


Abbildung 81: Durchlaufbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

#### Durchlaufbecken im Nebenschluss (DB-N)

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für ein Durchlaufbecken im Nebenschluss dargestellt.

In Abbildung 82 ist die Modellierung so gewählt, dass die hydraulischen Zusammenhänge für das Entlastungsbauwerk korrekt dargestellt sind, während die Modellierung in Abbildung 83 auch die stofflichen Zusammenhänge berücksichtigt.

Der Unterschied liegt hierbei bei der Konzentration im Beckenüberlauf. Um dies korrekt darzustellen, muss der Überlauf vor dem Speicherelement angeordnet werden.

Für die Ablaufkonzentration muss eine Mischungsrechnung beachtet werden, wenn Abwasser aus dem Becken in den Zulauf des Entlastungsbauwerks gepumpt wird.

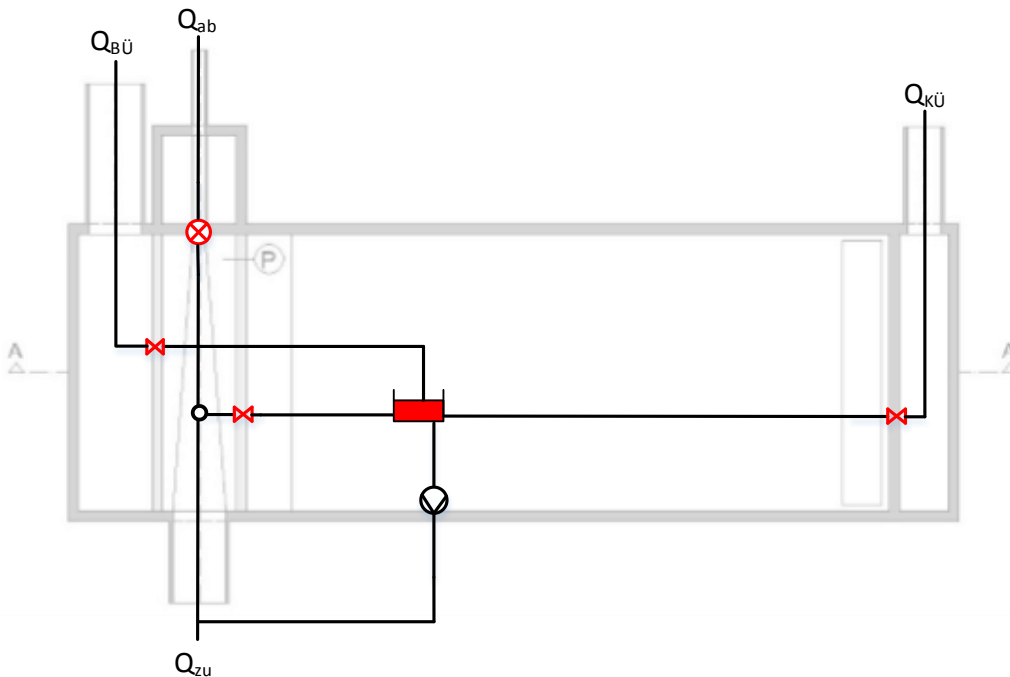


Abbildung 82: Durchlaufbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

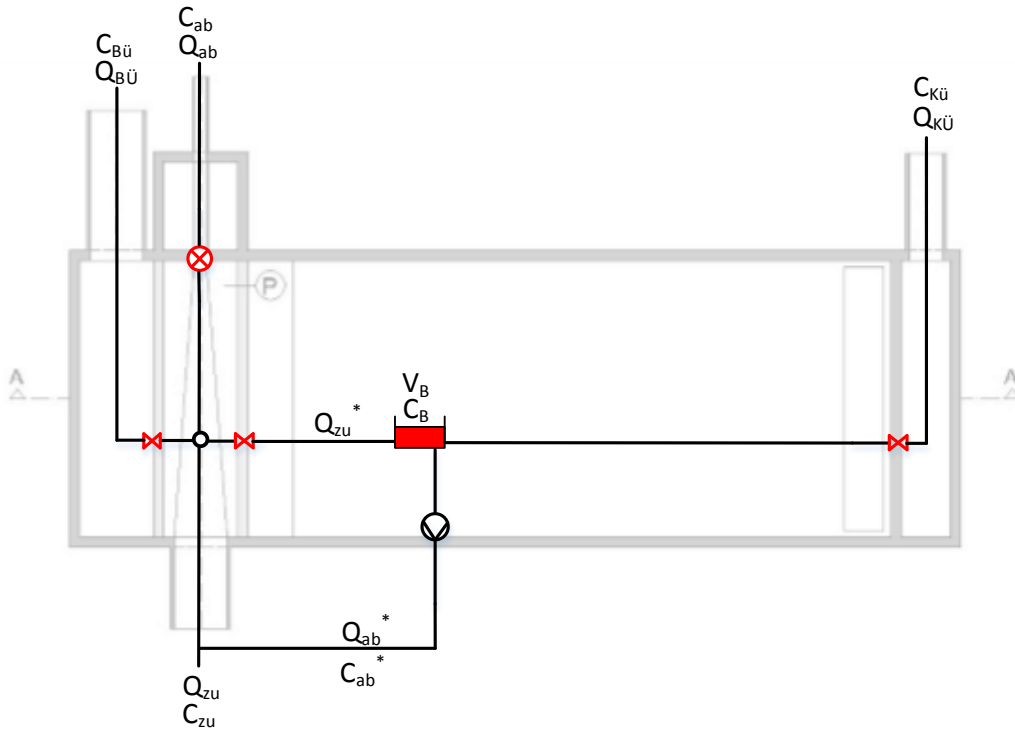


Abbildung 83: Durchlaufbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

#### Fangbecken im Hauptschluss (FB-H)

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für ein Fangbecken im Hauptschluss dargestellt.

In Abbildung 84 ist die Modellierung so gewählt, dass die hydraulischen Zusammenhänge für das Entlastungsbauwerk korrekt dargestellt sind, während die Modellierung in Abbildung 85 auch die stofflichen Zusammenhänge berücksichtigt.

Der Unterschied liegt hierbei bei der Konzentration im Beckenüberlauf. Um dies korrekt darzustellen, muss der Überlauf vor dem Speicherelement angeordnet werden.

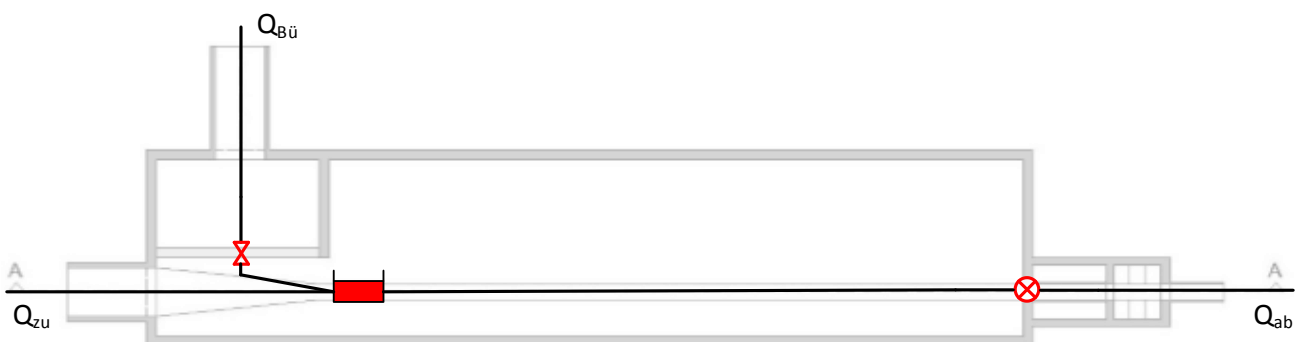


Abbildung 84: Fangbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

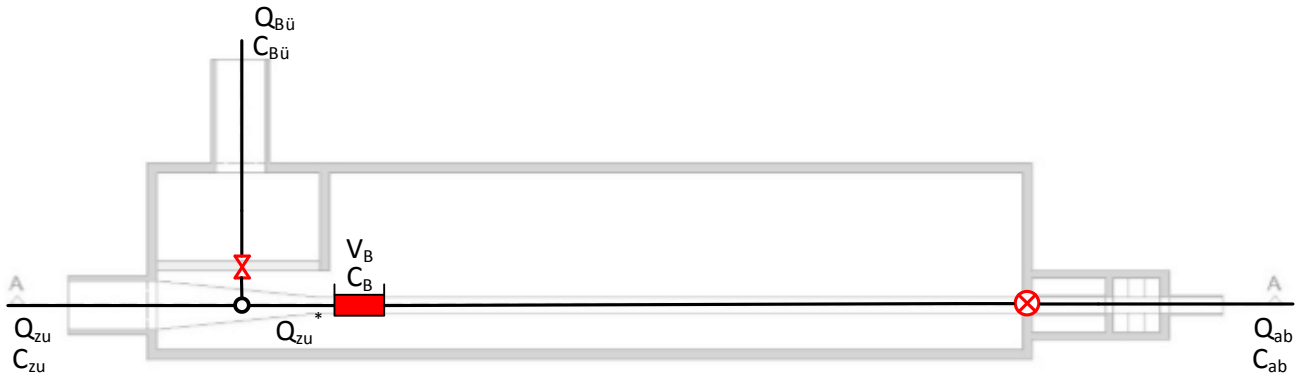


Abbildung 85: Fangbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

#### Fangbecken im Nebenschluss (FB-N)

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für ein Fangbecken im Hauptschluss dargestellt.

In Abbildung 86 ist die Modellierung so gewählt, dass die hydraulischen Zusammenhänge für das Entlastungsbauwerk korrekt dargestellt sind, während die Modellierung in Abbildung 87 auch die stofflichen Zusammenhänge berücksichtigt.

Der Unterschied liegt hierbei bei der Konzentration im Beckenüberlauf. Um dies korrekt darzustellen, muss der Überlauf vor dem Speicherelement angeordnet werden.

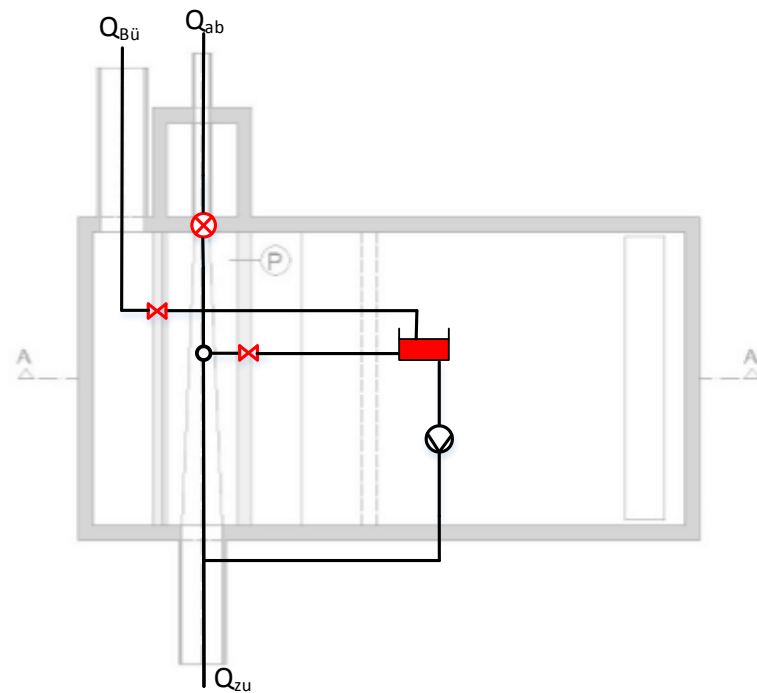


Abbildung 86: Fangbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

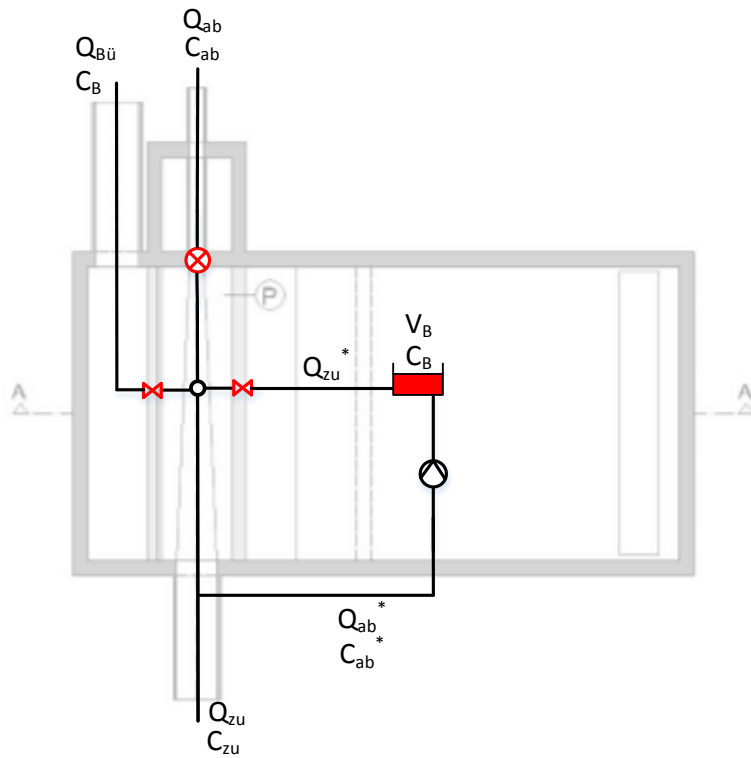


Abbildung 87: Fangbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

#### Verbundbecken im Hauptschluss (VB-H)

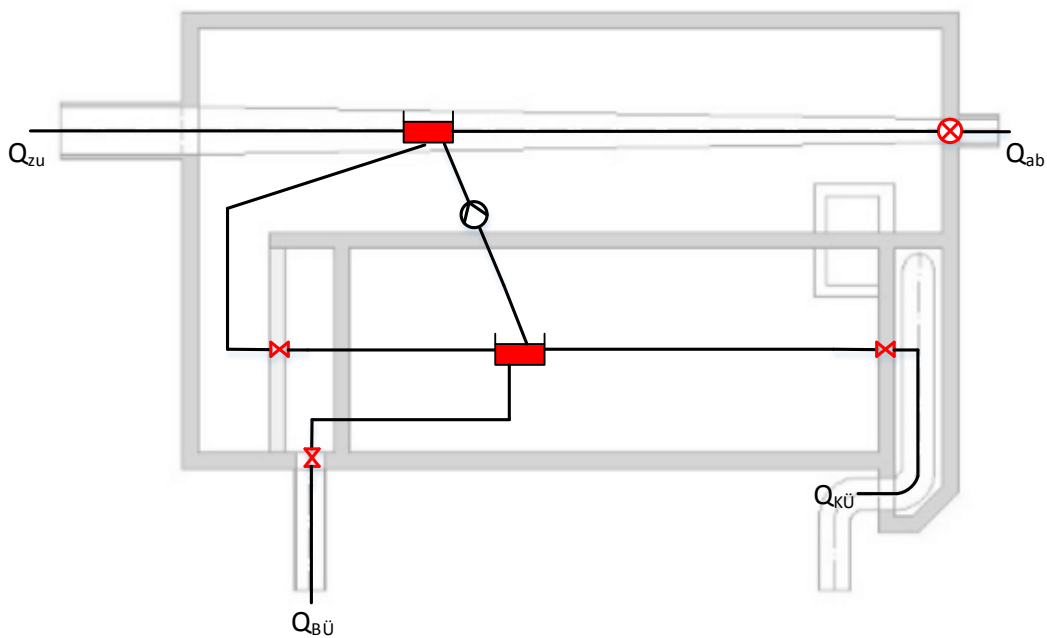


Abbildung 88: Verbundbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

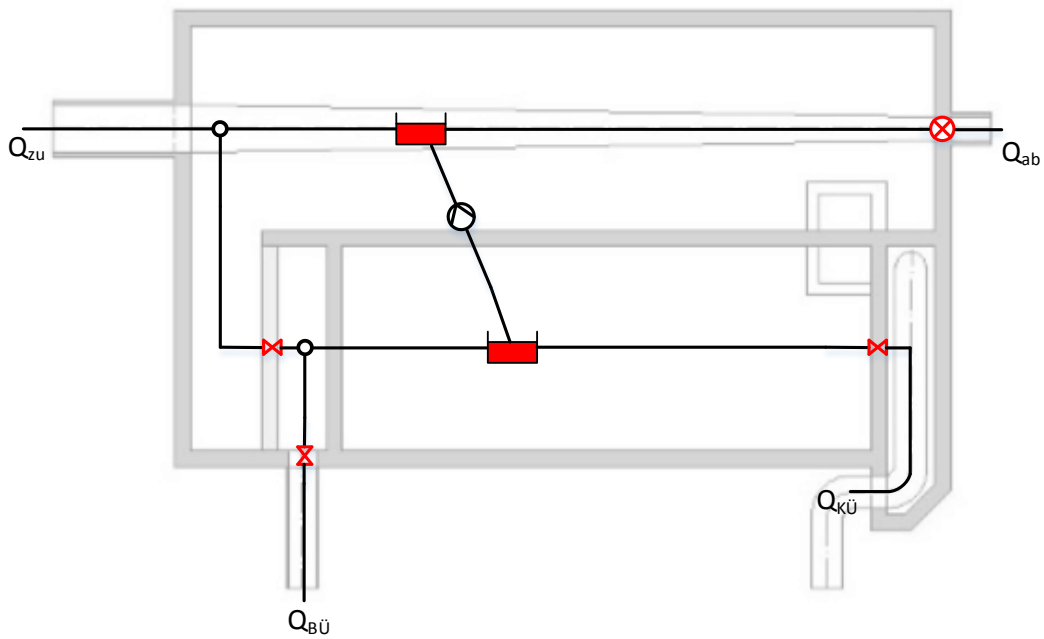


Abbildung 89: Verbundbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

*Verbundbecken im Nebenschluss (VB-N)*

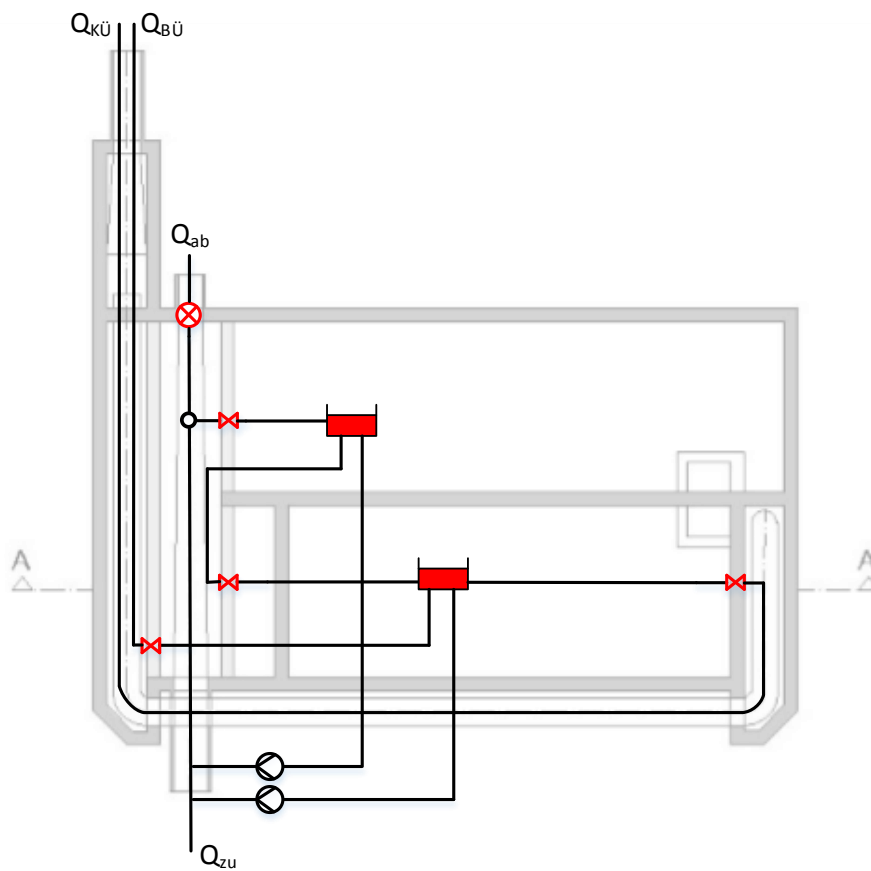


Abbildung 90: Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

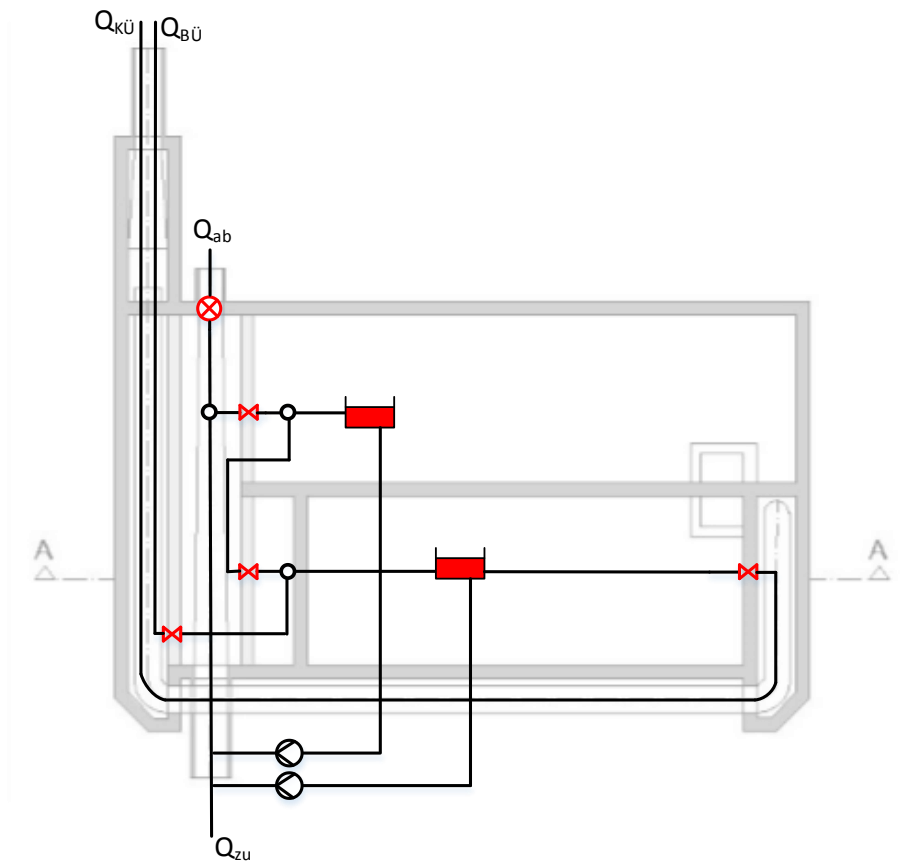


Abbildung 91: Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

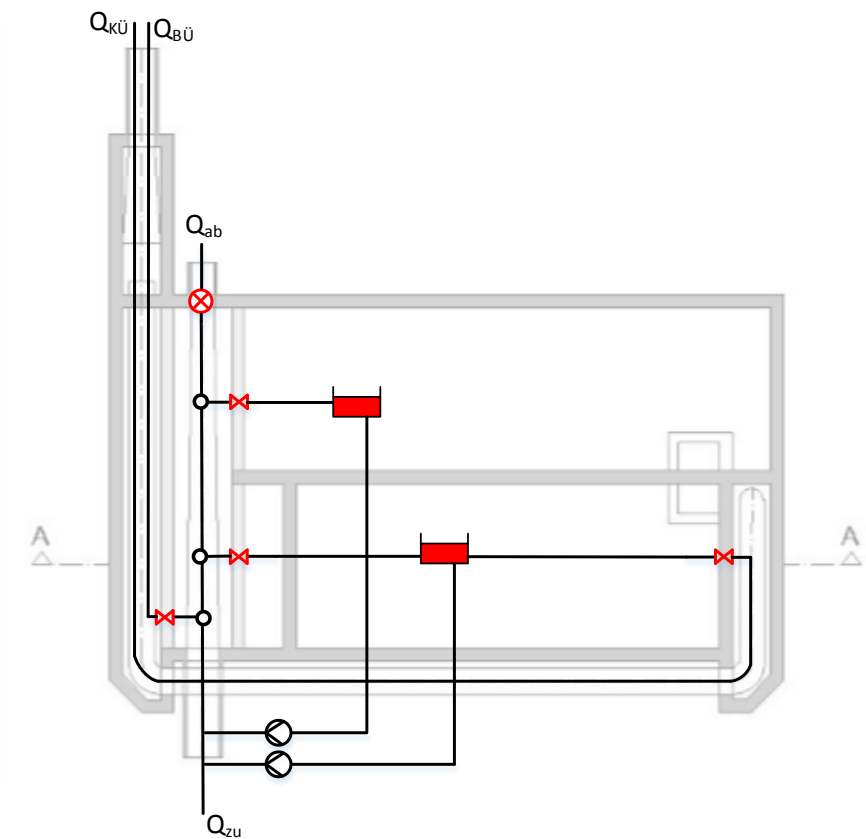


Abbildung 92: Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) - Variante 2

### Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung (SKU)

In der folgenden Abbildung 93 sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für einen Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung dargestellt.

Ein Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung ist in seiner Wirkungsweise wie ein Durchlaufbecken im Hauptschluss ohne Beckenüberlauf.

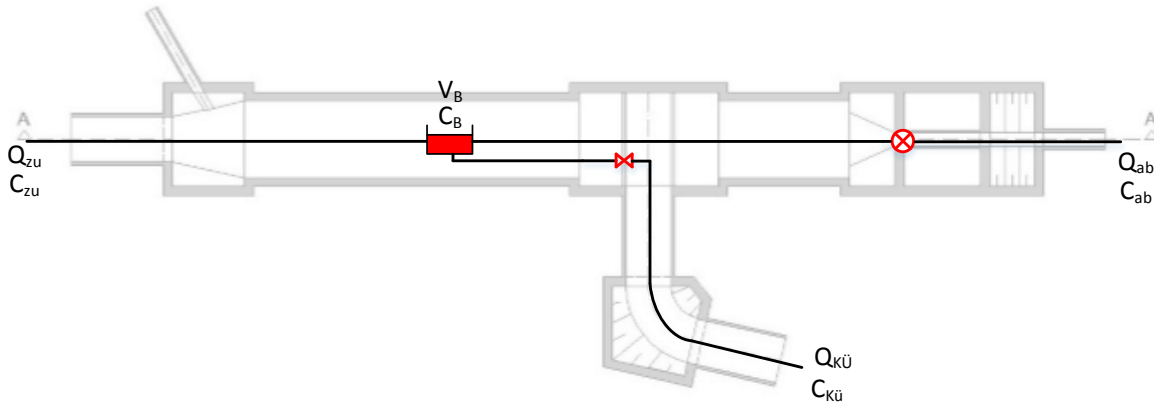


Abbildung 93: Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

### Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung (SKO)

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Modellierung und die dabei zu berücksichtigenden Zusammenhänge für einen Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung dargestellt.

In Abbildung 94 ist die Modellierung so gewählt, dass die hydraulischen Zusammenhänge für das Entlastungsbauwerk korrekt dargestellt sind, während die Modellierung in Abbildung 95 auch die stofflichen Zusammenhänge berücksichtigt.

Der Unterschied liegt hierbei bei der Konzentration im Beckenüberlauf. Um dies korrekt darzustellen, muss der Überlauf vor dem Speicherelement angeordnet werden.

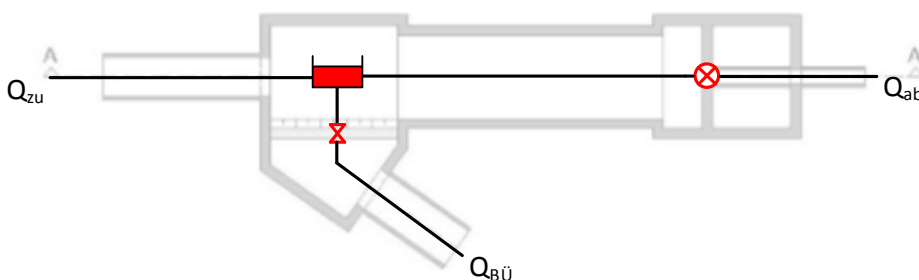


Abbildung 94: Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch)

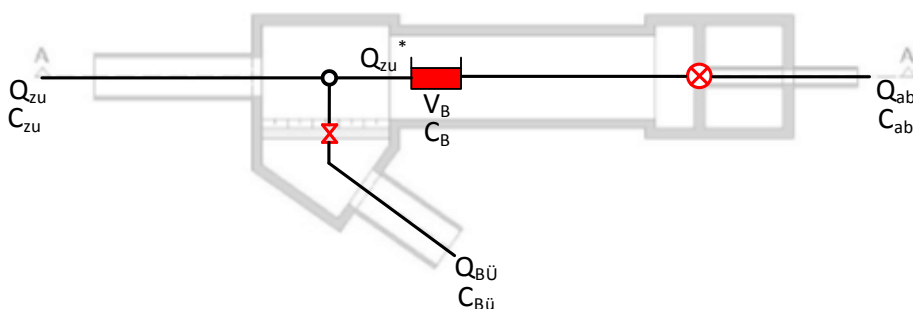


Abbildung 95: Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich)

Generell ist bei Stauraumkanälen anzumerken, dass diese auch als wirkliche Haltung abgebildet werden können sofern auf die Abbildung einer etwaigen Reinigungsleistung verzichtet werden kann.

# 6. VON DEN DATEN ZUM MODELL

## 6.1. DATENBEDARF UND DATENANFORDERUNGEN

In den Kapiteln 4.1 und 4.3 sind die für die jeweilige Nachweisführung bzw. die (individuelle) Planungsanwendung benötigten Daten sowie die Möglichkeiten diese zu erheben beschrieben. In Kapitel 8 wird darüber hinaus auch noch auf die Qualitätskriterien in Bezug auf die Daten (Unsicherheiten) eingegangen. In diesem Kapitel sind die Möglichkeiten der Modellerstellung beschrieben und Grundlagen der Modellkalibrierung zusammengestellt.

## 6.2. DATENAUFBEREITUNG

Um die Übertragung der benötigten Daten in ein Modell möglichst effizient zu gestalten, ist es in der Regel ratsam, diese in einem ersten Schritt entsprechend aufzubereiten. Die Anforderungen an die Datenstruktur bzw. die -formate werden primär von der verwendeten Modellierungssoftware, dem geplanten Detailierungsgrad des Modelles sowie den konkreten Untersuchungszielen bestimmt.

Eine Sanierungs- bzw. Anpassungsplanung bei Kanalisationsanlagen ist erst dann sinnvoll möglich, wenn die wesentlichen Informationen zur Lage sowie deren Stamm- und Betriebsdaten bekannt und verfügbar sind. Digitale Leitungsinformationssysteme (LIS) stellen in diesem Zusammenhang eine gute Möglichkeit der Datenverwaltung dar. Es liegt daher auf der Hand, nach Möglichkeit gleich das vorhandene LIS oder andere geographische Informationssysteme (GIS) für die Datenaufbereitung heranzuziehen. Der klare Vorteil dieser Werkzeuge besteht darin, dass Datenbankanwendungen visualisiert und graphisch dargestellt werden können. Prinzipiell ist es natürlich aber auch möglich, auf andere Arten der Datenhaltung (Datenbanken, CAD-Systeme, etc.) zurückzugreifen.

### 6.2.1. EINZUGSGEBIETSBEZOGENE DATEN

Der Niederschlagsabfluss in einem Kanalisationssystem wird ganz wesentlich von den Flächen im Einzugsgebiet bestimmt. Der Bestimmung der abflusswirksamen Flächen kommt bei der hydraulischen Betrachtung daher eine ganz zentrale Rolle zu. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, klar zu definieren, welche Art von Fläche im Modell Berücksichtigung finden soll. Folgende Flächentypen können unterschieden werden:

- **Gesamtfläche:** Hierbei handelt es sich um die Fläche des gesamten Einzugsgebietes (z. B. Gemeindegebiet, kanalisiertes Gebiet)
- **Befestigte Fläche:** Dies sind jene Flächen im Einzugsgebiet, die in irgendeiner Form befestigt sind (z. B. Dachflächen, Straßenflächen, Hauseinfahrten, Gartenwege etc.), auch wenn die Art der Befestigung eine zumindest teilweise Versickerung des Niederschlages erwarten lässt (z. B. Rasengittersteine)
- **Angeschlossene Flächen:** Dies sind jene befestigten Flächen, die tatsächlich an das Kanalisationssystem angeschlossen sind.
- **Abflusswirksame Flächen:** Hierbei wird noch die Möglichkeit der teilweisen Durchlässigkeit der angeschlossenen Flächen mitberücksichtigt (z. B. Rasengittersteine)

Abbildung 96 fasst die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Flächendefinitionen grafisch zusammen. Dabei ist zu beachten, dass der Anteil der befestigten aber nicht angeschlossenen Flächen (im Bild rechts oben als nicht abflusswirksame Flächen ausgewiesen) sehr stark variieren kann.

Des Weiteren sind die Verluste genau abzugrenzen. In Abbildung 96 sind bei den Verlusten beispielhaft „Versickerung“ und „Benetzung“ angeführt. Tatsächlich ist nicht immer von vornherein definiert, welche Verluste wann abgezogen werden.

Die Versickerungsverluste hängen von der Durchlässigkeit der betrachteten Flächen ab (z. B. Rasengittersteine) und werden oft direkt bei der Ermittlung der abflusswirksamen Flächen z. B. in einem Gesamtabflussgrad mitberücksichtigt. Benetzungsverluste, Muldenverluste, Verwehungen oder Verdunstungsverluste werden hingegen im Allgemeinen erst in der Modellierungssoftware berücksichtigt, indem vom Niederschlag eine bestimmte Niederschlagshöhe (z. B. 2 mm) abgezogen wird. Zumindest bietet die gängige Modellierungssoftware diese Möglichkeit.

Außerdem tragen auch die nicht befestigten Flächen nach längerer Regendauer und bei entsprechender Geländeneigung gegebenenfalls zur Abflussbildung bei (im Bild links unten als kleine „+Abfluss“ Fläche ausgewiesen). Die Modellierungssoftware bietet auch hier die Möglichkeit über Eingabe der Neigung und von Bodenkennwerten zur Beschreibung der Versickerung, diesen zusätzlichen Abfluss zu berücksichtigen.

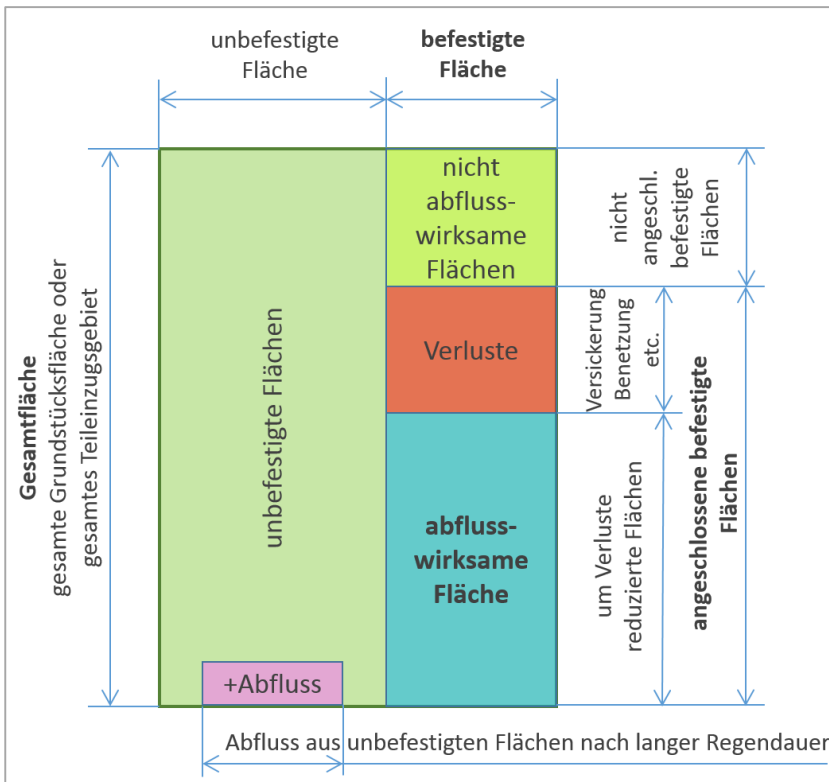


Abbildung 96: Begriffsdefinitionen für die Flächenermittlung

#### 6.2.1.1. MÖGLICHKEITEN DER FLÄCHENERMITTLUNG

Die Gesamtfläche, die in der hydraulischen Planung eher eine untergeordnete Rolle spielt, und die befestigte Fläche können prinzipiell am Schreibtisch und aus Orthofotos ermittelt werden. Für die Bestimmung der tatsächlich angeschlossenen Flächen sind aber Vor-Ort-Begehungen in der Regel unvermeidlich. Die Undurchlässigkeiten können prinzipiell aus der Literatur abgeschätzt werden. Durch Begehungen können diese Werte auf Plausibilität geprüft werden.

In der Vergangenheit wurden abflusswirksame Flächen oftmals aus Planunterlagen übernommen und mit typischen Abflussbeiwerten für die jeweilige Bebauungsart hinterlegt. Für die Erstellung eines Grobmodells als Grundlage für erste hydraulische Abschätzungen mag dieser Ansatz ausreichen. In dem nachfolgend beschriebenen Methodenvergleich der Flächenermittlung wird allerdings ersichtlich, dass bei dieser Vorgehensweise eine große potenzielle Fehlermöglichkeit besteht, die durch Pauschalwerte bei der Flächenabschätzung passieren können. Für eine detaillierte Nachweisführung sind daher genaue Flächenerhebungen in jedem Fall unverzichtbar. Je nach Verfahren verändert sich der potenziell mögliche Fehler umgekehrt proportional zum investierten Arbeitsaufwand.

Die nachfolgend beschriebene Flächenermittlung kann vorerst in einem GIS erfolgen. Die Ergebnisse der Flächenermittlung können darauffolgend manuell oder je nach Produkt auch automatisiert in eine Modellierungssoftware übernommen werden. Die Flächenermittlung ist dabei in einzelne Arbeitsschritte gemäß Abbildung 96 unterteilt, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Es sind dies:

- Die Ermittlung der befestigten Fläche (Anteil befestigter Flächen an der Gesamtfläche)
- Die Ermittlung der angeschlossenen befestigten Fläche (Anteil an der befestigten Fläche)
- Ermittlung der undurchlässigen Fläche (Anteil an der angeschlossenen Fläche)

Als Ergebnis wird die abflusswirksame Fläche erhalten.

In der Praxis werden einige der Schritte gegebenenfalls zusammengezogen und ein Abflussbeiwert ausgewiesen, der unterschiedliche Faktoren beinhalten kann.

### a) Ermittlung der befestigten Fläche

Bei der Ermittlung der Flächendaten wird gemäß des Grades der Aggregierung in die bereits beschriebenen vier Detailstufen bzw. Ebenen der Genauigkeit unterschieden (siehe Beginn von Kap. 4.3.1.3):

- Einzugsgebiet (Abflussabschätzung für das Gesamtgebiet) – Ebene 1
- Teileinzugsgebiete (Abflussabschätzung separat für homogene Teileinzugsgebiete) – Ebene 2
- Grundstücksfläche (Abflussabschätzung separat für jedes Einzelgrundstück) – Ebene 3
- Teilflächendifferenzierung (Abflussabschätzung anhand der Summe aller undurchlässigen Teilflächen) – Ebene 4

Die nachfolgenden Beschreibungen zu den unterschiedlichen Detailstufen zeigen, welche alternativen Möglichkeiten der Flächenermittlung es gibt, mit welchen Arbeitsaufwand zu rechnen ist und welche Abweichungen sich ergeben können.

Zum Vergleich aller Methoden ist als Referenzwert der tatsächlich befestigte Flächenanteil eines Fallbeispiels (festgestellt mittels teilflächendifferenzierter Erhebung des gesamten Projektgebietes – Ebene 4) hinterlegt. Die Aufwandsschätzung bezieht sich nur auf die Flächenerhebung und erfolgt unter der Voraussetzung, dass der Anwender im Umgang mit der Software (GIS) bereits erfahren ist. Der Initialaufwand bei erstmaliger Anwendung kann dementsprechend erheblich höher sein.

Die nötigen Vorbereitungen der Flächenermittlung (Flächendigitalisierung) sind dabei für alle Genauigkeitsstufen die gleichen: Die verfügbaren Datengrundlagen müssen in ein GIS geladen und dort ggf. die entsprechenden Georeferenzierungen bzw. Koordinatentransformationen für alle relevanten Datengruppen durchgeführt werden (z. B. Flächenwidmungsplan, Grundstücksgrenzen, Orthofotos, Bebauungspläne, etc.). Dabei gilt es zu beachten, dass bei einem späteren Import der Flächendaten in ein Modell auf die Koordinaten des jeweiligen Datensatzes zurückgegriffen wird. Eine Umrechnung der Lagedaten auf ein vordefiniertes Bezugssystem erfolgt in der Regel in den derzeit verfügbaren GIS Anwendungen automatisch, in den hydraulischen Modellen gibt es eine automatische Transformation jedoch nicht.

#### **Ebene 1 – Einzugsgebiet**

Die Flächendigitalisierung des gesamten Einzugsgebietes erfordert lediglich das Zeichnen eines Polygons um die entsprechende Fläche. Die Abflusswirksamkeit der Gesamtfläche muss darauf hin geschätzt werden. Der Befestigungsgrad kann für ein ländliches Gemeindegebiet aus Erfahrung mit rund 40 % (Durchschnitt im Ortsgebiet mit Straßen und Dachflächen) angenommen werden.

Eine genauere Methode wäre eine Stichprobenauswertung anhand einer repräsentativen Referenzfläche für das gesamte Einzugsgebiet wie in 4.3.1 für die Teileinzugsgebiete beschrieben.

#### **Ebene 2 – Teileinzugsgebiet**

Eine gängige Praxis ist es, das gesamte Gebiet in einige möglichst homogene Teileinzugsgebiete zu unterteilen und für jedes dieser Teileinzugsgebiete einen repräsentativen Ausschnitt zu wählen, für den eine Teilflächendifferenzierung durchgeführt wird.

Dabei erfolgt keine Gesamtschätzung von befestigten und unbefestigten Flächenanteilen sondern eine Hochrechnung verschiedener Befestigungsgrade innerhalb der Teileinzugsgebiete. Über die Hochrechnung aus der Teilflächendifferenzierung der Referenzflächen können in weiterer Folge für die Abflussabschätzung auch verschiedene Abflussbeiwerte für verschiedene Befestigungsgrade berücksichtigt werden.

Abbildung 97 zeigt die unterschiedlichen Teileinzugsgebiete dargestellt mit verschiedenen Hintergrundfarben und die Referenzflächenauswahl in den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Ebene 2) dargestellt durch die roten Umrandungen. Die repräsentativen Flächen wurden in diesem Fall mittels Umkreiswerkzeug in der GIS-Anwendung ausgewählt und danach entsprechend den Grundgrenzen (z. B. DKM) der ausgewählten Grundstücke im Detail ausgewertet.

Abbildung 98 zeigt eine alternative Referenzflächenauswahl wobei die repräsentativen Flächen mittels eines Polygons (z. B. Viereck oder Rechteck – dargestellt durch die gelben Umrandungen) ausgewählt und diese Figur danach mit den Detailflächen verschnitten und ausgewertet wird.

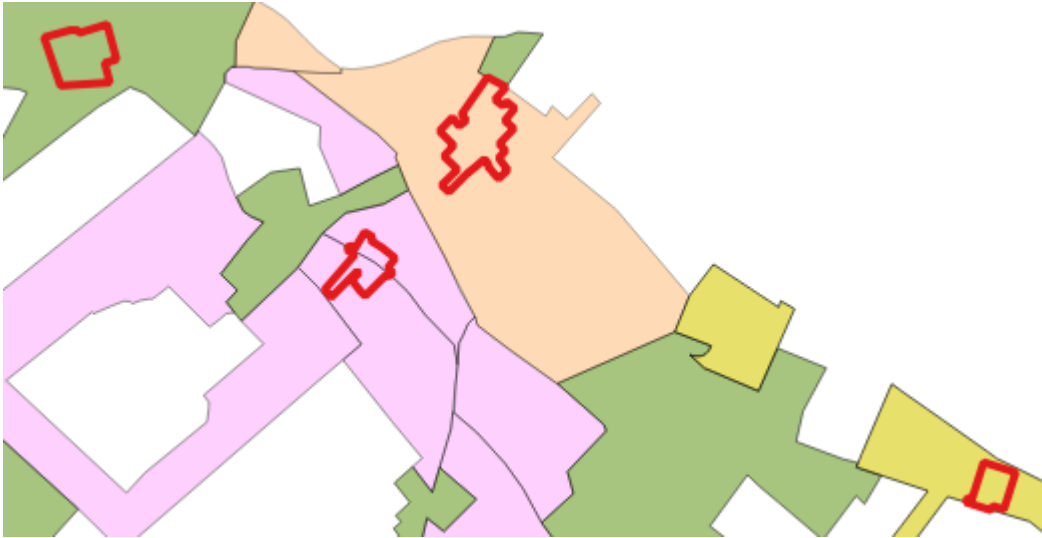


Abbildung 97: Referenzflächenauswahl in den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Ebene 2; Quelle: Eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel)

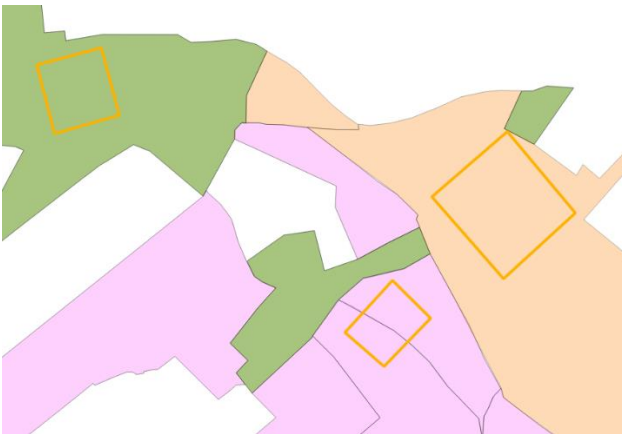


Abbildung 98: Alternative Referenzflächenauswahl mittels Vierecken (Ebene 2; Quelle: Eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel)

Tabelle 21 gibt einen Überblick über die im Fallbeispiel definierten Teileinzugsgebiete und deren typischen Befestigungsgrade.

Tabelle 21: Teileinzugsgebiete und typische Befestigungsgrade (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel)

|    |                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------|
| 1. | Gewerbeflächen (typisch 60 -100 % befestigt)                         |
| 2. | Innerstädtisch (80-100 % befestigt)                                  |
| 3. | Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhausanlagen (typisch 65-80% befestigt) |
| 4. | Einfamilienhausgegend dicht besiedelt (typisch 50-65 % befestigt)    |
| 5. | Einfamilienhausgegend extensiv besiedelt (typisch 30-50 % befestigt) |
| 6. | Grünland und Wasserflächen (typisch unter 5 % befestigte Fläche)     |

Abbildung 99 und Abbildung 100 zeigen die grundstücksscharfe Detailauswertung und die alternative Detailauswertung mittels Flächenverschnitt mit rechteckiger (oder zufälliger) Stichprobenfläche im Vergleich. Die Referenzflächen decken dabei jeweils in etwa den gleichen Ausschnitt des Teileinzugsgebietes ab.

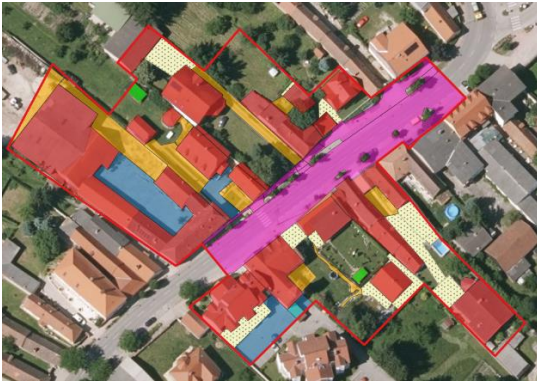


Abbildung 99: Referenzflächenauswahl: Grundstücksscharfe Detailauswertung der ausgewählten Referenzflächen (Abbildung mit bzw. ohne Orthofoto im Hintergrund; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel)



Abbildung 100: Alternative Referenzflächenauswahl: Flächenverschnitt mit rechteckiger (oder zufälliger) Stichprobenfläche zur Detailauswertung (Abbildung mit bzw. ohne Orthofoto im Hintergrund; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel)

Der anhand des Beispiels durchgeführte Vergleich der beiden Methoden zeigt, dass bei der grundstücksscharfen Variante, die befestigten Flächen höher eingeschätzt wurden als bei der alternativen Variante des Flächenverschnittes mit einer zufälligen (z. B. rechteckigen) Stichprobenfläche. Der Grund dafür liegt aber ausschließlich in der zufälligen Auswahl der Stichprobenfläche. Der Unterschied macht deutlich, dass je nach Methode und Auswahl der Stichprobenfläche ein erheblicher Unterschied im Ergebnis entstehen kann. Mit zunehmender Größe der Stichprobenfläche werden die Unterschiede zwischen den Methoden und die Überschätzung geringer jedoch der Arbeitsaufwand größer.

### Ebene 3 – Grundstücke

Bei dieser Methode werden alle Grundstücke des Modellgebietes je nach Bebauung bzw. Oberflächenbefestigung, einer bestimmten Grundstücksart zugeordnet (siehe Abbildung 101).

Der Vorteil dieser Methode gegenüber der Erhebung mittels Teileinzugsgebieten (Ebene 2) liegt darin, dass in relativ kurzer Zeit alle Flächen des Einzugsgebietes miteinbezogen werden können.



Abbildung 101: Flächenzuordnung auf Grundstücksebene (nach Bebauung bzw. Befestigungsanteil z. B. Verkehrsflächen (weiß), Gewerbegrundstück extensiv (rötlich), Ortskern (orange), Einfamilienhaus dicht (gelb), Einfamilienhaus extensiv (gelb-grün), Grünflächen und unbebaute Gst. (blau-grün); Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

Tabelle 22 zeigt ein Beispiel zur Differenzierung auf Grundstücksebene und die ermittelten typischen Befestigungsgrade. Die Unterschiede der typischen Befestigungsgrade zwischen Tabelle 21 und Tabelle 22 sind dadurch bedingt, dass in letzterem Fall die Straßenflächen und Parkplätze explizit ausgewiesen sind und nicht in den Gesamtbefestigungsgrad der Teilfläche miteingerechnet sind.

Tabelle 22: Grundstücksarten und typische Befestigungsgrade (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel)

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| 1. | Verkehrsflächen, Parkplätze (80-100 % befestigt)                  |
| 2. | Gewerbegrundstück intensive Bebauung (80-100 % befestigt)         |
| 3. | Gewerbegrundstück extensive Bebauung (40-80 % befestigt)          |
| 4. | Innerstädtische Grundstücke (80-100 % befestigt)                  |
| 5. | Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhausanlagen (60-80% befestigt)      |
| 6. | Einfamilienhausgrundstücke dichte Bebauung (40-60 % befestigt)    |
| 7. | Einfamilienhausgrundstücke extensiv Bebauung (bis 40 % befestigt) |
| 8. | Grünflächen, unbebaute Grundstücke (unter 10 % befestigte Fläche) |

Aus den einzelnen Grundstücken werden je Grundstücksart mehrere Referenzgrundstücke ausgewählt, deren Teilflächen erhoben werden. Die ermittelte Teilflächendifferenzierung wird anschließend auf alle Grundstücke dieser Art angewendet.

Der überschaubare Mehraufwand gegenüber der Erhebung mittels Teileinzugsgebieten (Ebene 2), verringert durch die Einbeziehung und Zuordnung jedes einzelnen Grundstückes den möglichen Fehler.

#### Ebene 4 - Teilflächendifferenzierung

Die Teilflächendifferenzierung dient gleichsam als Referenzmethode, bei der alle Teilflächen des Einzugsgebietes flächenmäßig erhoben werden. Tabelle 23 zeigt eine Zusammenfassung aller Kategorien von Flächen die auf den Orthofotos im Fallbeispiel differenziert unterschieden werden konnten.

Tabelle 23: Teilflächendifferenzierung (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel)

|    |                                                                                             |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Schrägdächer                                                                                |
| 2. | Flachdächer                                                                                 |
| 3. | Verkehrsflächen und Parkflächen im Straßenraum                                              |
| 4. | sonstige Asphalt und Betonflächen außerhalb des Straßenraumes                               |
| 5. | Kiesflächen und halbdurchlässige Flächen (Einfahrten etc.)                                  |
| 6. | Befestigte Gartenflächen (Terrassen, Gartenwege, etc.)                                      |
| 7. | Pavillons, Flugdächer, Geräteschuppen, etc., die als nicht abflusswirksam betrachtet werden |
| 8. | nicht befestigten Oberflächen, inklusive Gewässerflächen                                    |

Es handelt sich dabei um die mit Abstand genaueste Methode, da wirklich alle befestigten Flächen einer Befestigungskategorie zugeordnet und flächenmäßig erhoben werden. Abflussbeiwerte können dementsprechend für jede Befestigungskategorie festgelegt werden. Somit stellt diese Erhebungsmethode nicht nur die genaueste Flächenerhebung dar, sondern ermöglicht auch die differenzierteste Behandlung der jeweiligen Abflüsse von Flächen für die Modellierung.

Der Arbeitsaufwand dieser Methode beträgt für das beschriebene Fallbeispiel rund 65 Stunden und umfasst rund 4.500 einzelne Teilflächen. Abbildung 102 zeigt einen Ausschnitt der Teilflächendifferenzierung.



Abbildung 102: Ausschnitt der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel mit und ohne hinterlegtem Orthofoto; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

Die Vorteile der Teilflächendifferenzierung sind:

- Die genaue Erhebung der Flächen mittels Fernerkundung kann die Vor-Ort-Erhebungen auf die Feststellung der Abflusswirksamkeit reduzieren.
- Die Nachvollziehbarkeit der Ermittlung der abflusswirksamen Flächen wird erhöht.
- Den einzelnen Teilflächen können Abflussbeiwerte entsprechend der Oberflächenart (Material, Neigung, Durchlässigkeit) besser zugeordnet werden.
- Bei zukünftigen Veränderungen der Bebauung, müssen nur die geänderten Flächen nacherhoben werden.
- Die genaue Erfassung aller Teilflächen stellt eine wesentliche Grundlage bei der Planung von dezentralen Lösungen der Niederschlagswasserbewirtschaftung dar (benötigte Versickerungsflächen, etc.).

- Anhand der Befestigungskategorien können Schmutzstofffrachten abgeschätzt werden.
- Genaue Flächenerhebungen stellen eine wesentliche Grundlage bei der Splitting von Abwassergebühren dar.

#### Zusammenfassender Vergleich der Ermittlung der befestigten Flächen aus Orthofotos

Ausgehend von einer bestimmten Gesamtfläche des Einzugsgebietes (im Fallbeispiel Ostösterreich 98,7 ha) zeigt Tabelle 24 eine Zusammenfassung der Ergebnisse der jeweiligen Methoden und deren Aufwand und gibt eine Abschätzung über den potenziell möglichen Fehler. Die ermittelten Werte repräsentieren dabei eine ländliche Gemeinde mit unter 2000 Einwohnern.

Tabelle 24: Methodenvergleich der Ermittlung der befestigten Flächen

| Methode                             | Bestimmung des Befestigungsgrades       | Ermittelte befestigte Fläche | Arbeitsaufwand (Stunden) | potenziell möglicher Fehler                               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ebene 1 – Einzugsgebiet             | Versiegelungsgrad geschätzt (z. B. 40%) | 39,4 ha                      | 5                        | sehr hoch                                                 |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet         | Hochrechnung je Teilfläche              | 44,6 ha                      | 20                       | Referenzflächen-abhängig                                  |
| Ebene 3 - Grundstücksebene          | Hochrechnung je Grundstück              | 40,7 ha                      | 36                       | Referenzflächen-abhängig; (i.A. geringer als bei Ebene 2) |
| Ebene 4 – Teilflächen-differenziert | anhand aller Teilflächen                | 35,1 ha                      | 65                       | gering                                                    |

Die Methode der Genauigkeitsebene 1 bezieht sich auf das gesamte Einzugsgebiet. Hierbei wird ein pauschaler Befestigungsgrad festgelegt und damit die vorhandene befestigte Fläche definiert. Im Fallbeispiel wurde der Befestigungsgrad auf 40 % geschätzt. Diese Methode ist sehr zeiteffizient, aber dafür ist der potenzielle Fehler bei dieser Art der Flächenermittlung auch am größten. Der zusätzliche Aufwand, der dann im Modell für die Aufteilung der Gesamtfläche auf einzelne Schächte noch anfällt, ist in Tabelle 24 nicht berücksichtigt.

Bei der Methode nach Genauigkeitsebene 2 werden ähnlich gestaltete Teileinzugsgebiete definiert und dann jeweils entsprechende Befestigungsgrade zugeordnet. Die angewendeten Befestigungsgrade werden anhand von Referenzflächen im System bestimmt. Der potenzielle Fehler der Flächenermittlung ist hier stark von der Repräsentativität der Referenzflächen abhängig. Die Zuordnung der Teilflächen zu bestimmten Schächten im Modell ist hier noch immer mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden.

Bei der Methode nach Genauigkeitsebene 3 werden alle Grundstücke eines Einzugsgebietes einzeln berücksichtigt. Es werden bestimmte Grundstückskategorien festgelegt und die jeweiligen Befestigungsgrade anhand von Referenzgrundstücken ermittelt. Die Schachtzurordnung der einzelnen Grundstücke im Modell ist hier relativ einfach und mit eher geringem Aufwand verbunden.

Bei der Methode nach Genauigkeitsebene 4 werden alle im Einzugsgebiet vorhandenen Flächen auf sogenannter teilflächendifferenzierter Ebene erfasst und verschiedenen Kategorien zugeordnet. Den einzelnen Kategorien müssen keine Befestigungsgrade sondern nur noch Abflussbeiwerte zugewiesen werden. Die modelltechnische Schachtzurordnung der abflussrelevanten Flächen ist wie bei Methode 3 als eher unproblematisch anzusehen.

Wird die erste Methode (Ebene 1 mit Schätzung eines pauschalen Befestigungsgrades für das gesamte Einzugsgebiet) wegen des großen potenziell möglichen Fehlers praktikable Alternative außer Acht gelassen, dann zeigt sich, dass mit steigendem Grad der Flächendifferenzierung die ermittelte Gesamtgröße der befestigten Fläche sinkt. Gleichzeitig sinkt auch die Fehlermöglichkeit bei der Flächenermittlung, wo hingegen der zeitliche Aufwand steigt. Im konkreten Fall eines Einzugsgebietes von knapp 2.000 EW und einer Kanalnetzlänge von etwa 12 km, liegt in Bezug auf den Zeitaufwand zwischen der Methode 2 und 4 ein Faktor 3, zwischen den Methoden 3 und 4 ein Faktor von 2. Dies klingt im ersten Moment viel, in absoluten Zahlen sind das aber nur 45 bzw. knapp 30 Arbeitsstunden an Mehraufwand. Bei einem angenommenen Ingenieurssatz von 100,- EUR/Stunde bedeutet das im konkreten Fall Mehrkosten von 3.000,- bzw. 4.500,- EUR. Durch diesen Mehraufwand kann der potenzielle Fehler bei der Flächenermittlung stark

gesenkt werden, darüber hinaus können Daten in einer derartigen Auflösung auch noch für andere Anwendungen (Regenwassermanagement, Schadstofftransport, Gebührensplitting, etc.) herangezogen werden.

### Wirtschaftliche Aspekte einer genaueren Flächenermittlung

Falls die hydraulischen Modellierungsergebnisse basierend auf den unterschiedlichen Methoden der Ermittlung der befestigten Flächen aufgrund des unterschiedlichen Detaillierungsgrades und der geringeren potenziellen Fehler auch zu anderen Abflussergebnissen führen (geringere Abfluss-Spitzen, Überstau ja/nein, geringere Entlastungsmengen, etc.) und damit mögliche Sanierungsmaßnahmen obsolet werden (1 lfm Rohrsanierung ab 150,- EUR), kann sich der Mehraufwand einer genaueren Flächenerhebung sehr schnell rechnen.

Abschließend soll festgehalten werden, dass die hydraulische Modellierung sowie die Flächenverarbeitung in GIS-Anwendungen entsprechendes Expertenwissen voraussetzt. Bestehende hydraulische Modelle und Leitungsinformationssysteme müssen darüber hinaus laufend am aktuellen Stand gehalten werden. Werden diese Aspekte berücksichtigt, können hydraulische Modelle sehr hilfreiche Werkzeuge in einem modernen Kanalbetrieb darstellen.

### Fehlervermeidung bei der Teilflächendifferenzierung:

Da die zugrunde gelegten Orthofotos zwar rechnerisch entzerrt sind, jedoch nicht immer von genau senkrecht über den jeweiligen Objekten aufgenommen sind, gilt es bei der Digitalisierung der Teilflächen einige simple Regeln zu beachten. Einzelne Objekte können einander am Bild überdecken, liegen jedoch in der Realität nebeneinander. Insbesondere kann dies bei Dachflächen von Häusern und danebenliegenden Straßenflächen passieren. Die Tatsächliche Grenze zwischen den Objekten kann z. B. durch die Grundgrenze markiert sein, die Bildinformation von erhöhten Objekten (z. B. Hausdächern) entspricht in diesen Fällen oft nicht der jeweiligen Grundgrenze. Abbildung 103 zeigt so einen Fall. Eine Seite der Dachfläche wurde bei der Digitalisierung fälschlicherweise an Grundstücksgrenze orientiert, die andere Seite an der Bildinformation und somit eine zu geringe Fläche aufgenommen. Gleichzeitig wurde noch die Straßenfläche an der Bildinformation des Daches orientiert und hier ebenso zu geringe Fläche aufgenommen.



Abbildung 103: Fehlerhafte Teilflächendigitalisierung; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

Die korrekte Digitalisierung der Dach- und Straßenflächen ist in Abbildung 104 dargestellt. Die Straßenfläche orientiert sich in erster Linie an der Grundstücksgrenze und berücksichtigt die Bildinformation zur Aussparung von Grünflächen (z. B. Baumscheiben). Die Digitalisierung der Dachfläche orientiert sich an der Bildinformation. Dadurch kann es zu Überschneidungen der digitalisierten Flächen in der Darstellung kommen, die Flächeninhalte selbst sind jedoch jeweils korrekt. Im Gegenzug dazu können sich dementsprechend auch „weiße Flecken“ bilden, wenn ein Haus direkt an der Grundgrenze steht und das Dach am Bild erst weiter hinten beginnt. Grund ist auch in diesen Fällen die schräge Blickrichtung durch die z. B. ein Teil der Fassade des Hauses sichtbar ist. Insgesamt gleichen sich diese Überschneidungen und „weiße Flecken“ innerhalb einer Luftbildaufnahme weitestgehend aus.

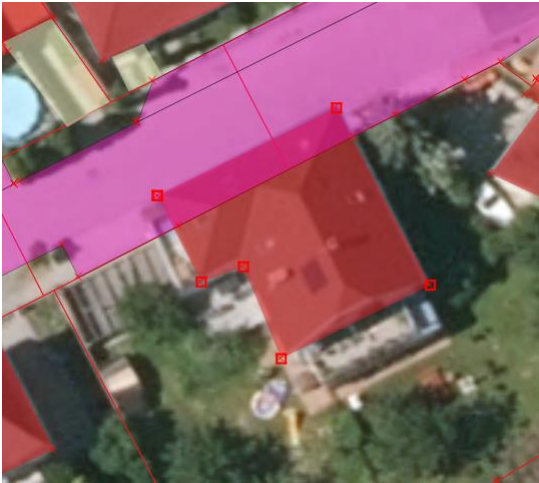


Abbildung 104: Korrektur Teilflächendigitalisierung: Dachfläche und Straße korrekte Fläche aufgenommen (links) bzw. Projektion der Dachfläche auf Straßenniveau (rechts); Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

#### b) Ermittlung der angeschlossenen befestigten Fläche als Anteil an der befestigten Fläche

Im Anschluss an die Erhebung der befestigten Flächen muss festgestellt werden, welche dieser Flächen auch tatsächlich über die Kanalisation entwässert werden und welche nicht angeschlossen sind (alternativ entwässert oder Versickerung). Die Erfahrung zeigt, dass hierbei in Unkenntnis der örtlichen Gegebenheiten sehr große Unterschiede entstehen und somit Fehler gemacht werden können.

Die Annahme ohne Kenntnis der tatsächlich angeschlossenen Flächen ist, dass weitestgehend alle Dachflächen und Straßenflächen angeschlossen sind, Parkplatzflächen (Asphalt und betonierte Flächen) zu einem hohen Grad (90 %) und befestigte Flächen auf privaten Grundstücken (Gartenwege, Terrassen etc.) zu einem geringen Grad (10 %) angeschlossen sind.

Die Ermittlung der angeschlossenen befestigten Flächen ist zum Vergleich wiederum anhand der vier Genauigkeitsebenen dargestellt. Für die Methode nach **Ebene 1** kommt eine pauschale Schätzung des Anteils angeschlossener Flächen von 80 % zur Anwendung. Für die Methoden nach Ebene 2 und nach Ebene 3 sind die Anteile der angeschlossenen Flächen für die Referenzflächen der Teileinzugsgebiete (**Ebene 2**) bzw. die Referenzgrundstücke (**Ebene 3**) differenziert erhoben und flächengewichtet hochgerechnet. Zum Vergleich sind hierbei die Annahme ohne Kenntnis der tatsächlich angeschlossenen Flächen (anhand von Orthofotos geschätzt) und als Referenzmethode die tatsächlich angeschlossenen Flächen gemäß einer Vor-Ort-Erhebung, einander gegenüber gestellt. Für die Methode nach **Ebene 4** werden nur die tatsächlich angeschlossenen Flächen gemäß der Vor-Ort-Erhebung berücksichtigt.

Als Ergebnis wird in allen Fällen die angeschlossene befestigte Fläche erhalten. Tabelle 25 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Methoden.

Tabelle 25: Ermittlung der angeschlossenen befestigten Fläche - Ergebnisse der verschiedenen Methoden

| Methode                                                                                                              | Ermittelte befestigte Fläche | Flächengewichteter Anschlussgrad (Anteil angeschlossener Flächen) | Angeschlossene Flächen |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Ebene 1 – Einzugsgebiet + pauschale Schätzung des Anteils angeschlossener Flächen                                    | 39,4 ha                      | 80 %                                                              | 31,5                   |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der angeschlossenen Flächen anhand Orthofoto | 44,6 ha                      | 53 %                                                              | 23,5                   |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet + Vor-Ort-Erhebung der angeschlossenen Flächen für Referenzflächen und Hochrechnung      |                              | 36 %                                                              | 16,2                   |
| Ebene 3 - Grundstücksebene + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der angeschlossenen Flächen anhand Orthofoto  | 40,7 ha                      | 64 %                                                              | 26,0                   |
| Ebene 3 - Grundstücksebene + Vor-Ort-Erhebung der angeschlossenen Flächen für Referenzgrundstücke und Hochrechnung   |                              | 27 %                                                              | 10,8                   |
| Ebene 4 – Teilflächendifferenziert + Vor-Ort-Erhebung der angeschlossenen Flächen                                    | 35,1 ha                      | 26 %                                                              | 9,2                    |

Der Vergleich des Anteils der angeschlossenen Flächen zwischen der Abschätzung anhand des Orthofotos (in Unkenntnis der örtlichen Gegebenheiten) und der tatsächlichen angeschlossenen Flächen zeigt sowohl auf Ebene 2 wie auch auf Ebene 3 sehr große Unterschiede. Wenn keine genaueren Erhebungen zur Verfügung stehen, werden diese Abweichungen im Allgemeinen erst durch die Kalibrierung des Modelles anhand von realen Messdaten angepasst. Der Nachteil ist, dass der Grund für die Abweichung des Modells zur Realität durch die Kalibrierung nicht nachvollzogen werden kann. Neben einem tatsächlich anderen Anteil der angeschlossenen Fläche könnte auch eine andere Undurchlässigkeit oder andere Verluste die Abweichung hervorrufen.

Insgesamt zeigt die genaueste Erhebung (Ebene 4) auch die geringsten angeschlossenen Flächen. Zum einen liegt das daran, dass hierbei ausschließlich auf die Vor-Ort-Erhebungen zurückgegriffen wurde, zum anderen aber zeigt es den potenziellen Fehler der durch Hochrechnungen gemacht werden kann, wenn nicht repräsentative Referenzflächen ausgewählt werden. **Noch unangenehmer wirkt sich eine nicht repräsentative Referenzflächenauswahl dann aus, wenn die ermittelten Flächen dadurch unterschätzt werden. Dies ist mitunter ein Grund dafür, dass bei der Referenzflächenauswahl in der Praxis tendenziell ein zu hoher Anteil der befestigten Flächen und somit auch ein zu hoher Anteil der angeschlossenen befestigten Flächen angenommen werden.**

Ein Vorteil der Erhebung gemäß Ebene 4 ist auch, dass die tatsächlichen angeschlossenen Flächen richtig verortet im Modell berücksichtigt werden können, während auch bei der Vor-Ort-Erhebung der angeschlossenen Flächen für Referenzgrundstücke oder Referenzflächen durch die Hochrechnung auf alle gleichartigen Teilflächen die Verortung der jeweiligen angeschlossenen Flächen vereinheitlicht und somit verfälscht wird.

#### c) Ermittlung der undurchlässigen Fläche als Anteil der angeschlossenen Flächen

Abschließend erfolgt die Schätzung der Durchlässigkeit der angeschlossenen Flächen oder anders ausgedrückt wird der Anteil undurchlässiger angeschlossener Flächen ermittelt.

Die Erfahrung zeigt, dass es hierbei zwischen den einzelnen Methoden nur noch geringe Unterschiede gibt, die nur noch an den verschiedenen Hochrechnungsmethoden liegen. Tabelle 26 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Methoden.

Tabelle 26 : Ermittlung der abflusswirksamen Fläche - Ergebnisse der verschiedenen Methoden

| Methode                                                                                             | Angeschlossene Flächen | Flächengewichteter Anteil undurchlässiger angeschlossener Flächen | Abflusswirksame Fläche |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Ebene 1 – Einzugsgebiet + pauschale Schätzung des Anteils undurchlässiger Flächen                   | 31,5                   | 95 %                                                              | 30,0                   |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der undurchlässigen Flächen | 23,5                   | 96 %                                                              | 22,5                   |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der undurchlässigen Flächen | 16,2                   | 96 %                                                              | 15,5                   |
| Ebene 3 - Grundstücksebene + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der undurchlässigen Flächen  | 26,0                   | 93 %                                                              | 24,1                   |
| Ebene 3 - Grundstücksebene + differenzierte Schätzung und Hochrechnung der undurchlässigen Flächen  | 10,8                   | 92 %                                                              | 9,9                    |
| Ebene 4 – Teilflächendifferenziert + kategorisierte Schätzung der undurchlässigen Flächen           | 9,2                    | 99,5 %                                                            | 9,2                    |

### Zusammenfassung des Methodenvergleichs der Flächenermittlung

Die beschriebenen Methoden (Ebene 1 bis Ebene 4) zeigen große Unterschiede des möglichen potenziellen Fehlers der bei der Flächenermittlung gemacht werden kann. Auch pauschale Schätzungen oder Hochrechnungen können der tatsächlichen abflusswirksamen Fläche sehr nahe kommen. Allerdings bestehen dabei mehr oder weniger große Unsicherheiten. Bei jedem Stichprobenverfahren kann eine nicht repräsentative Referenzflächenauswahl zu einer Über- oder Unterschätzung der Flächen führen. Da eine Unterschätzung deutlich negativere Auswirkungen haben kann als eine Überschätzung (und somit Überdimensionierung), wird bei der **Referenzflächenauswahl tendenziell ein zu hoher Anteil der befestigten Flächen und somit auch ein zu hoher Anteil der angeschlossenen befestigten Flächen und abflusswirksamen Flächen angenommen**. Insgesamt ist dadurch zu erwarten, dass die genaueste Erhebung (Ebene 4) letztendlich auch die geringsten abflusswirksamen Flächen ergeben. Abbildung 105 zeigt eine Zusammenfassung des Methodenvergleichs der Flächenermittlung anhand der ermittelten Flächen ausgehend von der Gesamtfläche über die befestigte Fläche, die angeschlossene Fläche bis hin zur abflusswirksamen Fläche. Bei genauer Betrachtung zeigt sich das in der Ebene 3 Betrachtung von einer leicht geringeren Gesamtfläche ausgegangen wurde. Dabei handelt es sich um Grundstücke, die nicht gesondert ausgewiesen waren, aber keine befestigten Flächen enthalten und somit vernachlässigt werden konnten.

Abbildung 106 zeigt einen schematischen Überblick der Methoden und gibt an, welche Berechnungsschritte in der Praxis gegebenenfalls zusammengefasst werden.

Je nach Verfahren verändert sich der potenziell mögliche Fehler umgekehrt proportional zum investierten Arbeitsaufwand. Ein wesentlicher Punkt ist auch, dass die Ermittlung der tatsächlich angeschlossenen Flächen möglichst auf Vor-Ort-Erhebungen oder detaillierten Informationen über die örtlichen Verhältnisse basieren sollte.

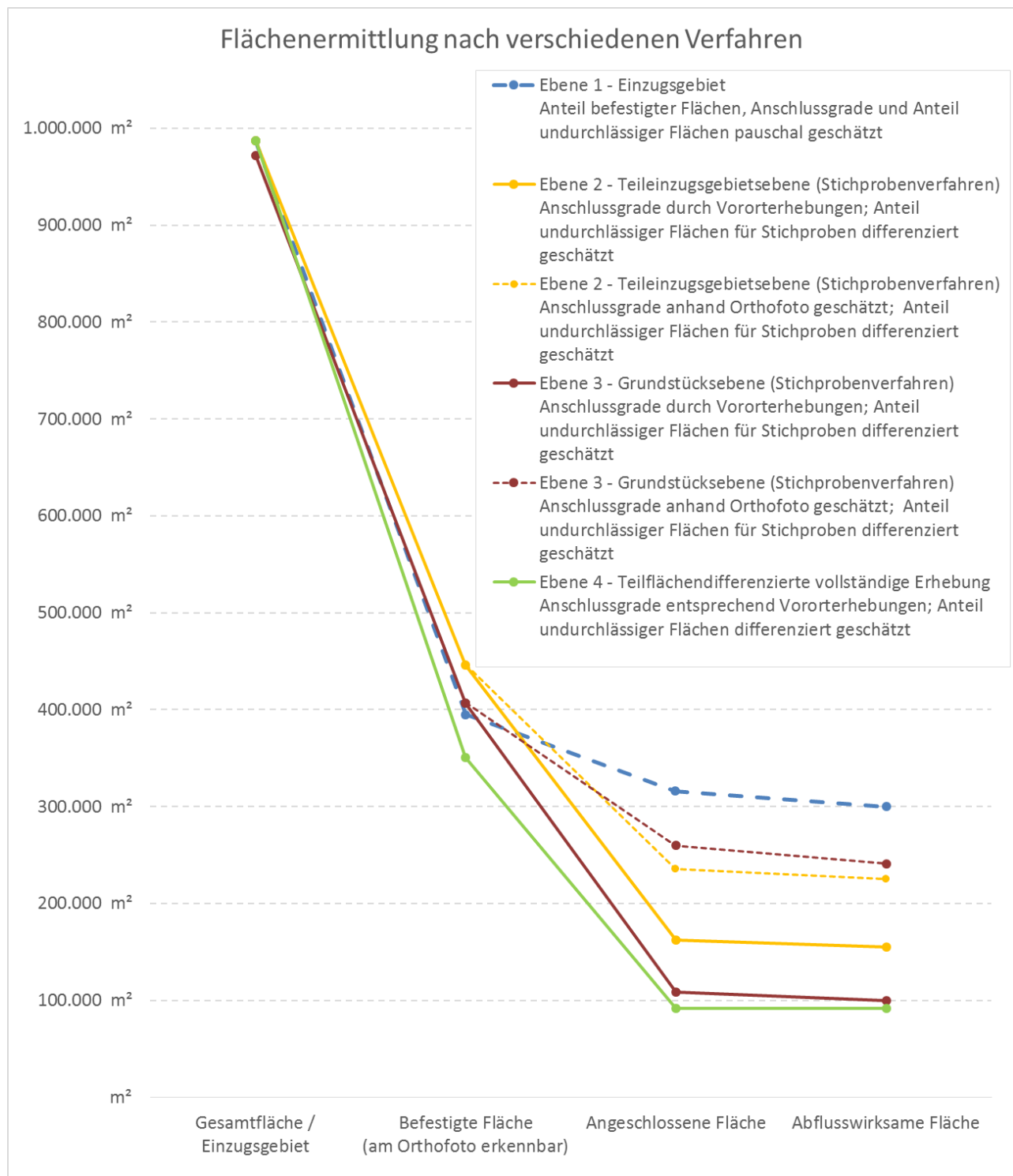


Abbildung 105: Zusammenfassung des Methodenvergleichs bei der Flächenermittlung



Weitere Hinweise zu zulässigen Niederschlagsarten in Abhängigkeit der jeweiligen Anwendungsfälle geben die einschlägigen Regelblätter, in Österreich ÖWAV Regelblatt 11 (ÖWAV RB 11 2009) und ÖWAV Regelblatt 19 (ÖWAV RB 19 2007).

Aufgrund der schnellen Abflussprozesse auf befestigten Flächen ist für urbane Gebiete eine entsprechend hohe zeitliche Auflösung der Eingangsdaten erforderlich, übliche Zeitschritte sind dabei 5 bis 10 Minuten. Abbildung 107 zeigt exemplarisch drei Niederschlagsereignisse mit einer Dauer von 120 Minuten, reale Messdaten (links), einen Modellregen des Typs Euler II mit einer Jährlichkeit  $n=2$  (mitte) und einen Blockregen (rechts).

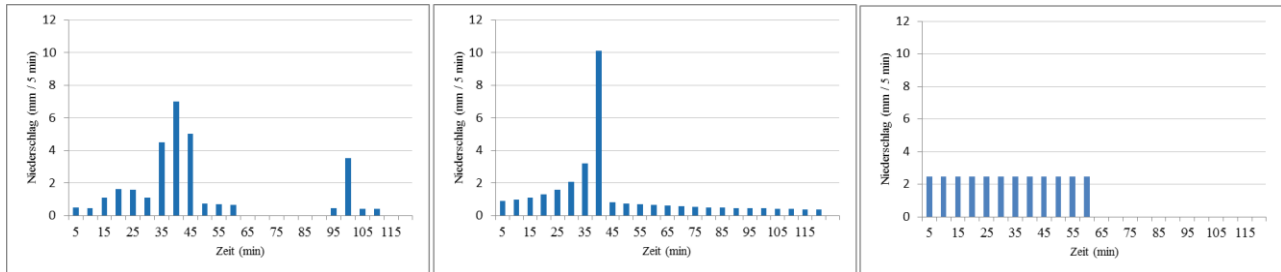


Abbildung 107: Darstellung von Niederschlagsereignissen: Messdaten (links), Modellregen Typ Euler II (Mitte), Blockregen (rechts)

In Österreich sind im Grunde flächendeckend Niederschlagsdaten direkt und daraus abgeleitete Niederschlagscharakteristika aus diversen Datenquellen verfügbar. Über das Webportal eHYD (<http://ehyd.gv.at/>) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft werden Bemessungsniederschläge (Abbildung 108) mit Dauerstufen zwischen 5 Minuten und 6 Tagen und Wiederkehrhäufigkeiten zwischen 1-mal pro Jahr und 1-mal pro 100 Jahre bereitgestellt. Diese Daten können nicht direkt für die Modellierung verwendet werden, jedoch können daraus Modellregen zum Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit erstellt werden. Zum Nachweis des Wirkungsgrades der Weiterleitung von Mischwasserentlastungen sind diese Daten nicht geeignet. Messdaten von Niederschlagszeitreihen in höherer Auflösung werden vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft oder von den hydrographischen Diensten der Bundesländer auf Anfrage bereitgestellt. Gemäß Umweltinformationsgesetz erfolgt diese Datenbereitstellung unentgeltlich. Die Lage der Messstationen sowie Stammdaten zu Stationseigenschaften sind ebenso in eHYD abrufbar (Abbildung 109)

Ebenso führt die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Österreich Niederschlagsmessungen durch. Die Lage der Messstellen sind in Abbildung 110 ersichtlich. Diese Daten können entgeltlich erworben werden wobei der Preis von der Anzahl der benötigten Stationen sowie der Dauer der Niederschlagsserien abhängt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Messdaten von 77 Stationen der ZAMG gebündelt auf DVD vom Österreichischen Normungsinstitut oder dem Softwareunternehmen hydro-IT GmbH zu erwerben (Produkt „NIEDA mit ÖWAV-Leitfaden "Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19“). Der zugehörige Leitfaden (ÖWAV 2007) alleine (ohne Daten) kann kostenlos beim Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband heruntergeladen werden.

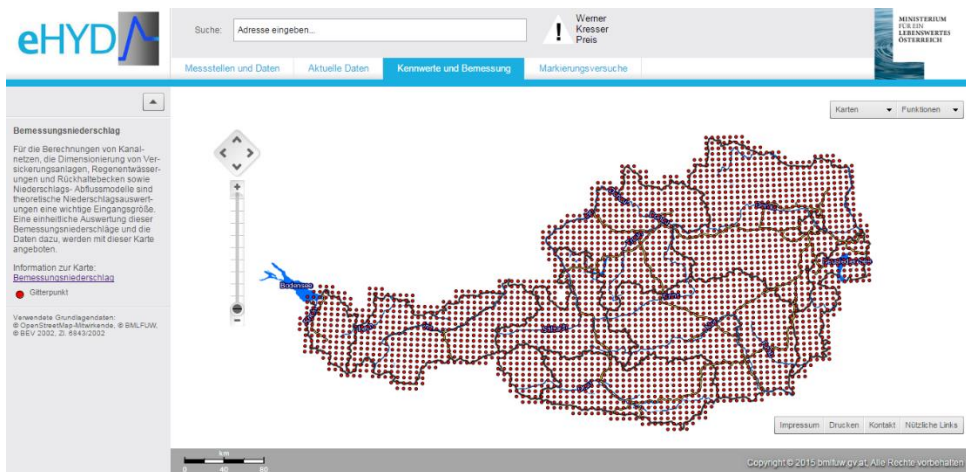


Abbildung 108: eHYD Portal (<http://ehyd.gv.at/>) mit eingeblendeten Rasterpunkten mit verfügbaren Bemessungsniederschlägen.

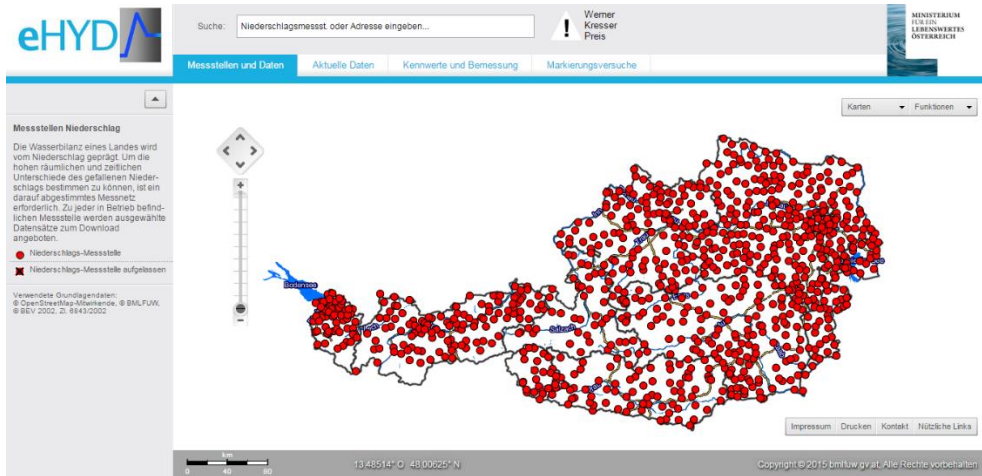


Abbildung 109: eHYD Portal (<http://ehyd.gv.at/>) mit eingeblendeten Niederschlagsmessstellen

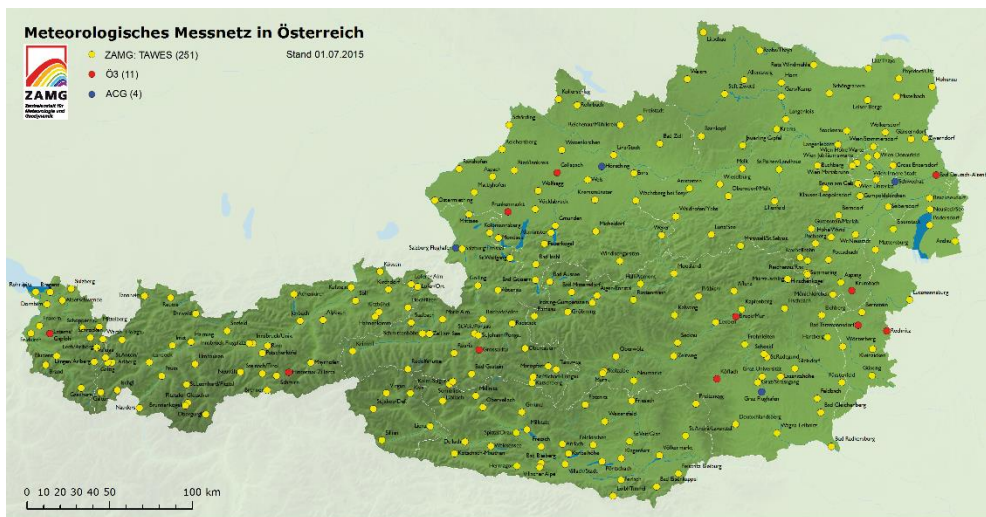


Abbildung 110: Meteorologisches Messnetz in Österreich (© ZAMG)

Zusätzlich kommen als Datenquellen auch andere Niederschlagsaufzeichnungen in Frage. Viele Gemeinden, Abwasserverbände, Elektrizitätsversorgungsunternehmen (Wasserkraft) etc. führen eigene Niederschlagsaufzeichnungen durch. Dazu wird empfohlen bei relevanten Einrichtungen im oder Nahe des Projektgebiets entsprechend anzufragen. Meist haben hier die hydrographischen Dienste der Bundesländer die beste Übersicht über bestehende Niederschlagsaufzeichnungen. Gerade bei „privaten“ Niederschlagsaufzeichnungen ist aber auf eine hinreichende Datenqualität sichergestellt durch korrekte Aufstellung und regelmäßige Wartung der Messstationen zu achten (Hinweise dazu enthält (DVWK-Merkblatt 230 1994). Als weitere Möglichkeit besteht natürlich spezifisch für eine bestimmte Fragestellung eine Messkampagne durchzuführen. Dies hat vor allem den entscheidenden Vorteil, dass so sichergestellt werden kann, dass repräsentative Messungen der Modelleingangsdaten (Niederschlag) und des Systemverhaltens (Wasserstand oder Abfluss) gleichzeitig vorliegen. So kann ein Modell kalibriert bzw. die Modellgüte überprüft werden. Auch bei Eigenmessungen sind die Hinweise zur Aufstellung und Wartung von Niederschlagsmessungen zu beachten. Als Zeitperiode für eine derartige Messkampagne sollten die Sommermonate gewählt werden, da die relevanten Starkniederschläge (Gewitterereignisse) dann niedergehen.

## 6.3. MODELLERSTELLUNG

Die Erstellung eines Modelles kann prinzipiell manuell erfolgen. Dabei werden alle benötigten Daten händisch in die Modellierungssoftware eingegeben. Der dafür benötigte Aufwand ist von der Größe des untersuchten Kanalnetzes abhängig (Anzahl der Schächte bzw. Anzahl der Flächen). Wenn alle benötigten Daten in entsprechender Form vorliegen, ist es in der Regel aber jedenfalls effizienter, diese in die Modellierungssoftware zu importieren und das Modell damit automatisch zu erstellen. Die Voraussetzung dafür ist aber, dass entsprechenden Schnittstellen zwischen Modell und Datenverwaltung (LIS, GIS, Datenbank, etc.) entweder bereits vorhanden sind oder von Fachleuten programmiert werden. Es empfiehlt sich immer, die Importergebnisse nachzuprüfen. Gegebenenfalls sind auch manuelle Nachbearbeitungen (v. a. in Bezug auf Sonderbauwerke) nötig.

### 6.3.1. MANUELL

Da die heute geläufigen Modelle durchwegs über eine graphische Benutzeroberfläche verfügen, empfiehlt es sich als ersten Schritt bei der manuellen Modellerstellung ein Hintergrundbild, das neben dem Leitungsverlauf inkl. Positionen der Schächte und anderer Sonderbauwerke auch die relevanten Einzugsflächen enthält, lagerichtig in das Modell zu laden. Dieses Bild stellt in weiterer Folge eine wichtige Orientierungshilfe im Modell dar. Darüber hinaus ist es die Grundlage für die Digitalisierung der Schächte und Leitungen sowie der Flächen. Da die Auflösung der Hintergrundbilder in den meisten Fällen allerdings sehr beschränkt ist, ist v. a. die richtige Erfassung der Flächen oftmals schwierig. Eine „detailgetreue“ Flächendarstellung ist daher in der Regel nur für größere Flächeneinheiten (Teileinzugsgebiete, mehrere Grundstücke) abbildbar. Prinzipiell ist daher ein GIS für die Flächenerfassung besser geeignet.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der manuellen Modellerstellung kann grob wie folgt zusammengefasst werden: Nachdem das Hintergrundbild in das Modell geladen wurde, werden in einem ersten Schritt alle Schächte und Sonderbauwerke als Knoten digitalisiert. Die einzelnen Knoten werden dann durch die Haltungen verbunden. Im Anschluss werden die jeweiligen Stammdaten für die Schächte, Haltungen und Sonderbauwerke manuell nachgetragen. Alle relevanten Flächen müssen lagegenau oder schematisch definiert und entsprechenden Schächten zugeordnet werden. Im Anschluss müssen noch ein oder mehrere Regenschreiber inkl. der relevanten Niederschlagsdaten den entsprechenden Flächen zugeordnet werden. Der Ansatz weiterer Rahmenbedingungen (Schmutzwasseranfall, Undurchlässigkeiten, Verluste, etc.) ist sehr softwarespezifisch, zu diesbezüglichen Details wird auf die jeweiligen Benutzerhandbücher verwiesen. Erste Modellrechnungen dienen der Identifikation und Korrektur von Datenfehlern. Danach erfolgen die Modellkalibrierung sowie die eigentliche Nachweisführung.

### 6.3.2. AUTOMATISIERT

Wie bereits erwähnt ist das Vorhandensein einer entsprechenden Datenschnittstelle die Grundlage für eine automatisierte Modellerstellung. Dabei werden alle benötigten Daten über entsprechende Schnittstellen in das Modell geladen. Von einer semi-automatischen Modellerstellung spricht man, wenn trotz eines automatischen Imports bestimmte Daten manuell in das Modell eingegeben werden (müssen).

Beim Import muss primär darauf geachtet werden, dass die Informationen aus der Originaldatei in der Modelldatenbank richtig zugeordneten werden. Dies erfolgt üblicherweise über eine entsprechende Attributzuordnung. In Bezug auf die Lagegenauigkeit eines Systems (Georeferenzierung) muss festgehalten werden, dass die Mehrzahl der heute verfügbaren Modelle im Gegensatz zu den gängigen GIS nicht in der Lage sind, Koordinatentransformationen durchzuführen. Beim Import von unterschiedlichen Daten ist daher unbedingt auf einen einheitlichen Koordinatenbezug zu achten. Es empfiehlt sich, Modelle immer georeferenziert zu erstellen, da lagegenaue Abbildungen durch die richtige Abbildung von Haltungslängen und Flächen auch für die Kontrolle der eingegebenen Daten herangezogen werden können.

Es soll darauf hingewiesen werden, dass viele Aspekte des automatischen Imports auch stark von der verwendeten Modellierungssoftware abhängen. Diesbezügliche Details sind den jeweiligen Benutzerhandbüchern zu entnehmen.

#### 6.3.2.1. EINZUGSGEBIETSBEZOGENE DATEN

Über eine entsprechende Schnittstelle können die Flächendaten in der Regel relativ problemlos aus unterschiedlichen Datenverwaltungsformaten importiert werden. Für den Import empfiehlt es sich, alle Flächendaten in einem Datensatz zusammenzuführen. Im Vorfeld muss abgeklärt werden, welcher Flächentyp in das Modell importiert wird. Am sinnvollsten erscheint in der Regel der Import der angeschlossenen Flächen. Im Modell können dann die Flächenundurchlässigkeiten sowie die möglichen Verluste pauschal oder individuell zugeordnet und im Zuge der Kalibrierung variiert werden.

### 6.3.2.2. LEITUNGSBEZOGENE DATEN

Über eine entsprechende Schnittstelle können auch die Schacht- und Haltungsdaten in der Regel relativ problemlos aus unterschiedlichen Datenverwaltungsformaten importiert werden. Bei Sonderbauwerken ist der automatisierte Datentransfer heute in der Regel noch nicht möglich. Hier sind manuelle Nachbearbeitungen notwendig. Beispielsweise muss die Geometrie von Speicherbecken, Wehrlänge und -höhe von Entlastungsbauwerken in das hydrodynamische Modell eingegeben werden. Ebenso müssen Auslässe aus dem System (Mischwasserentlastungen, Zulauf zur Abwasserreinigungsanlage) manuell definiert werden. Eine Automatisierung dieser Arbeitsschritte ist sicher möglich, allerdings meist nicht wirtschaftlich, da es sich nur um eine geringe Anzahl entsprechender Elemente handelt und die Eingabe dieser spezifischen Daten schneller geht, als sie automatisiert zu behandeln.

## 6.4. MODELLKALIBRIERUNG

Bei der Modellierung des Entwässerungssystems ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Abweichungen zwischen dem prognostizierten (berechneten, simulierten) und dem realen (beobachteten, gemessenen) Verhalten auftreten können. Die Gründe hierfür können vielfältig sein. Einerseits sollte man sich stets vor Augen halten, dass eine Modellierung der realen Verhältnisse und Zusammenhänge immer mit gewissen Vereinfachungen einhergeht. Zudem sind die Modellparameter wie beispielsweise die abflusswirksame Fläche oder der Überfallbeiwert eines Wehres durch Messung nicht exakt bestimmbar. Die Kalibrierung der Modellparameter ist somit ein sehr wesentlicher Bestandteil bei der Erstellung eines Modells des Entwässerungssystems und für den damit beabsichtigten indirekten (rechnerischen) Nachweis (sowohl für Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 als auch nach ÖWAV-Regelblatt 19).

Generell gilt es im Zusammenhang mit der Modellkalibrierung zwischen Modellparametern und Systemkenngrößen zu unterscheiden. Systemkenngrößen sind nämlich im Gegensatz zu den Modellparametern im realen System messbare Größen. Hierzu zählen beispielsweise die Querschnittsabmessungen sowie das Gefälle der einzelnen Kanalhaltungen, die Netztopologie oder Abmessungen und Höhenkoten von Sonderbauwerken.

Die Bestimmung der Modellparameter wird als Kalibrierung bezeichnet. Hierzu wird ein Vergleich von berechnetem und realem Systemverhalten angestellt.

Für eine erfolgreiche Kalibrierung eines hydrodynamischen Modells sind zeitgleiche Messungen des Niederschlags und des Wasserstands und/oder Durchflusses im Entwässerungssystem erforderlich. Indem der gemessene Niederschlag als Belastung des Abflussmodells verwendet wird und die Ergebnisse der Modellberechnung mit den im realen System gemessenen Werten verglichen werden, kann eine Kalibrierung erfolgen.

Nach ÖWAV-Regelblatt 11 wird die Nutzung von mindestens drei relevanten, voneinander unabhängigen Niederschlagsereignissen mit signifikantem Regenwasserabfluss für die Kalibrierung empfohlen. Dabei ist es nötig, dass jeweils zeitgleich der Niederschlag und die sich daraus ergebenden Wasserstands- und Abflusswerte im Kanal gemessen werden. In großen Einzugsgebieten wird zudem die Verifizierung (Validierung) des kalibrierten Modells mit zwei relevanten, unabhängigen Ereignissen empfohlen.

Bei den Niederschlagsmessungen muss beachtet werden, dass schon im Bereich von wenigen Kilometern beträchtliche Unterschiede im Niederschlagsintensitätsverlauf auftreten können (siehe dazu auch 4.3.4.1). Daher sollten sich die Niederschlagsmessstellen innerhalb der Einzugsgebietsgrenzen befinden.

Die Ergebnisse einer Kanalmessstelle lassen nur pauschale Aussagen über das gesamte oberhalb der Messstelle liegende Einzugsgebiet zu. Sofern es die Aufgabenstellung erfordert, sollte eine höhere Messstellendichte gewählt werden.

Im Zuge der Kalibrierung wird durch die Veränderung der Modellparameter eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung angestrebt. Allerdings wird es nicht möglich sein, eine exakte und vollständige Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zu erreichen. Das Ziel muss es daher sein, eine bestmögliche Annäherung zu erreichen. Für die Bestimmung der Güte der Übereinstimmung werden folgende Kenngrößen herangezogen:

- Gesamtvolumen des Abflusses bei einem Ereignis
- Spitzenabfluss
- Zeitpunkt der Abflussspitze
- Form und Verlauf der Abflusssummenlinie
- Ganglinienfehler (Standardabweichung der Differenz pro Zeitschritt)

Einige Softwareprodukte bieten zudem die Berechnung von Kennwerten, welche die Güte der Übereinstimmung beschreiben, an. Ein

Beispiel hierfür ist der Nash-Sutcliffe-Koeffizient (NSE):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}$$

Dabei wird aus Messdaten  $M$  und Simulationsergebnissen  $S$  ein Wert berechnet, der die Summe der Fehlerquadrate durch die Varianz der Messung normalisiert. Der Vorteil gegenüber der Summe der Fehlerquadrate liegt in der direkten Beurteilbarkeit des Wertes, der sich immer zwischen  $-\infty$  und 1 bewegt. Ein Wert von  $NSE=1$  bedeutet dabei perfekte Übereinstimmung, ein Wert von  $NSE<0$ , dass der Mittelwert der Messung eine bessere Prognose wäre als das Simulationsergebnis.

Es hängt von der Aufgabenstellung ab, welcher der oben aufgezählten Kenngröße eine höhere Bedeutung beigemessen wird. Das gemessene Gesamtvolumen sollte jedenfalls mit dem simulierten Abflussvolumen möglichst gut übereinstimmen. Die Kalibrierung hinsichtlich des Gesamtvolumens sollte auch an erster Stelle erfolgen, bevor die Form der Abflusswelle betrachtet und kalibriert wird. Bei bestimmten Aufgabenstellungen kann es wichtig sein, den Spitzenwert des Abflusses oder das zeitliche Zusammentreffen von Ganglinien mehrerer Teileinzugsgebiete (z. B. bei Steuerungsaufgaben) gut abzubilden.

Treten Abweichungen auf, so ist in erster Linie zu überprüfen, ob diese durch Fehler in den Systemgrößen verursacht sein können. Hierbei erleichtert eine größere Anzahl von Niederschlagsereignissen mit unterschiedlichem Charakter das Auffinden von solchen Fehlern.

Die Modellparameter sind im nächsten Schritt zu variieren, bis eine gute Übereinstimmung der simulierten Ergebnisse bei unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen erzielt wird. Die folgenden Parameter haben den größten Einfluss auf die berechneten Ganglinien:

- Abflusswirksame Fläche
- Verlustparameter (z. B. Benetzungsverluste, Muldenverluste...)
- Parameter der Abflusskonzentration (z. B. Abflusskonzentrationszeit, Speicherkonstante)

Bei Entlastungsbauwerken oder anderen Sonderbauwerken kann es sinnvoll sein, Parameter des Abflusstransports zu variieren:

- Wehrfunktion
- Drosselfunktion
- Verlustparameter

Die detaillierte Auswahl der zu variierenden Parameter hängt vom verwendeten Simulationsmodell ab.

Bei der Ermittlung des Weiterleitungswirkungsgrades sieht das ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007b) eine Kalibrierung anhand von Jahresreihen oder mit Einzelereignissen vor. Die Kalibrierung anhand von Jahresreihen sollte hierbei bevorzugt werden. Die Mindestanforderungen an die Daten für die Kalibrierung finden sich in Tabelle 27.

Tabelle 27: Mindestanforderungen für die Kalibrierung (ÖWAV, 2007b)

| Kalibrierung anhand von: | Eingangsdaten für Simulation                                                                                                                                                                                   | Messwerte                                                                                                                                           |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jahresreihen             | mindestens 1-jährige Niederschlagsreihe, gemessen parallel zu den Abflussmessungen<br>oder<br>mindestens 1-jährige Niederschlagsreihe, übernommen von einer Station mit vergleichbarer Jahresniederschlagshöhe | Zuflussmenge auf der Kläranlage<br>und<br>Jahressumme der Entlastungsdauer und Häufigkeit der Entlastungsvorgänge<br>oder<br>Jahresentlastungsmenge |
| Einzelereignissen        | mindestens 3 relevante, voneinander unabhängige Niederschlagsereignisse mit signifikantem Regenabfluss und Überschreitung des Drosselabflusses zur Kläranlage                                                  | Wasserspiegelhöhe im Stauraum und/oder Wasserspiegelhöhe an der Überlaufschwelle, Drosselabflussmenge                                               |

In beiden Fällen sind die Messdaten für alle Mischwasserüberlaufbecken und Stauraumkanäle sowie für alle wesentlichen Mischwasserüberläufe (bei denen die größten Entlastungsmengen zu erwarten sind) zu ermitteln.

Bei größeren Mischwasserkanalisationen (> 5000 EW) ist eine Modellkalibrierung in jedem Fall vorzunehmen. In welchem Umfang

Messungen über den Mindestaufwand hinaus erforderlich sind, ist im Einzelfall zu entscheiden. Besonders bei komplizierten Netzstrukturen und in Fällen, in denen keine detaillierte Ermittlung der Eingangsdaten (vor allem der Flächendaten) durchgeführt wurde, sind weitere Messungen wichtig.

Lediglich bei kleinen Mischkanalisation (< 5000 EW) kann auf eine Modellkalibrierung verzichtet werden. In diesem Fall werden die Modellparameter anhand von Erfahrungswerten oder anhand der Vorgaben des Softwareherstellers bestimmt. Als Ausgleich der zu erwartenden Ungenauigkeit ist die ermittelte abflusswirksame befestigte Fläche  $A_{\text{a}}$  um 20 % zu erhöhen. Die Überlaufdauer und Überlaufhäufigkeit bei Mischwasserüberlaufbecken ist jedoch auch bei kleinen Mischwasserkanalisationen zu messen. Anhand dieser können die Simulationsergebnisse validiert werden.

Eine einfache Plausibilitätsprüfung hat auch bei ausbleibender Kalibrierung stattzufinden, indem die an der Kläranlage gemessenen Zuflüsse den durch Simulation ermittelten Abflussmengen gegenübergestellt werden.

Nach der Modellkalibrierung folgt die eigentliche Nachweisführung.

## 7. NACHWEISFÜHRUNG

Im Zuge des Moduls 1.5 „Nachweisführung“ wurden die grundlegenden Aspekte der Nachweisführung zusammengetragen.

Hierbei wurden die entsprechenden Regelwerke für die hydraulische und stoffliche Nachweisführung betrachtet:

- ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖEWAV 2009) - hydraulisch
- ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖEWAV 2007) - stofflich

In die Betrachtungen miteinbezogen wurden ebenso die relevanten Regelwerke aus Deutschland:

- DWA-A 118 (DWA 2006) - hydraulisch
- ATV-A 128 (ATV 1992) – stofflich

### 7.1. NACHWEIS DER HYDRAULISCHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Die hydraulische Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 „Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen“ basiert auf dem Risikoansatz. Die Kosten der Schutzmaßnahmen (in diesem Fall die Dimension und somit Abflusskapazität der Kanalisation) sind dem Risiko (lässt sich als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe berechnen) gegenüberzustellen. Die Abflusskapazität muss hierbei also umso größer dimensioniert werden, desto höher der potenzielle Schaden in einem Gebiet ist.

In der EN 752 (CEN 2008) wird von der Überflutungshäufigkeit als Nachweiskriterium für Überlastungszustände ausgegangen. Die Überflutung wird dabei als ein Ereignis definiert, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus der Kanalisation entweichen oder nicht in diese eintreten kann. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass der Vorgang der Überflutung sehr stark von den lokalen Verhältnissen an der Oberfläche abhängig ist.

In Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“ wurde daher für den rechnerischen Nachweis die Überstauhäufigkeit als Zielgröße eingeführt. Dabei ist der Überstau definiert als das Überschreiten eines bestimmten Bezugsniveaus (Rückstauenebene) durch den rechnerischen Maximalwasserstand. (CEN 2008)

Grundlegend ist also zwischen Überstau und Überflutung zu unterscheiden, wobei der Überstau als Zielgröße im Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 festgelegt wurde. Eine Überflutung steht nach DWA-A 118 stets in Zusammenhang mit einer Schädigung bzw. einer Funktionsstörung wie beispielsweise bei Unterführungen. Der Austritt von Wasser aus der Kanalisation (aufgrund Überstaus) allein bedingt noch nicht zwingend eine Überflutung, wenn keine nachfolgende Beeinträchtigung an der Oberfläche erfolgt.

Aufgrund des unterschiedlichen Schutzbedürfnisses bzw. Schadenspotenzials wurde bei den empfohlenen Überstauhäufigkeiten untergliedert in „Ländliche Gebiete“, „Wohngebiete“, „Stadtzentren, Industrie- und Gewerbebetriebe“ und „Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen“. Tabelle 28 gibt die empfohlenen Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung an. Diese gelten vorbehaltlich der Festlegung anderer Werte durch die zuständige Stelle. Zudem sind bei der Wahl der Überstauhäufigkeit die örtlichen Gegebenheiten mit einzubeziehen und zu berücksichtigen.

Tabelle 28: Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (OEWA 2009), nach (DWA 2006)

| Ort                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Überstauhäufigkeiten</b><br>bei Neuplanungen bzw. nach Sanierungen |                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Wiederkehrzeit</b><br>(1 Mal in „n“ Jahren)                        | <b>Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr</b> |
| Ländliche Gebiete                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1 in 2                                                                | 50 %                                                        |
| Wohngebiete                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1 in 3                                                                | 33 %                                                        |
| Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1 in 5                                                                | 20 %                                                        |
| Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 in 10 <sup>1)</sup>                                                 | 10 %                                                        |
| <sup>1)</sup> Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände i. d. R. unmittelbar eine Überflutung einhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen. Hier entsprechen sich Überstau- und Überflutungshäufigkeit mit dem in Tabelle 7–3 genannten Wert „1 in 50“! |                                                                       |                                                             |

Bei der Nachweisführung nach ÖWA-Regelblatt 11 wird von den berechneten oder vorhandenen Querschnitten ausgegangen. Berechnet wird die Häufigkeit bzw. Wiederkehrzeit, mit welcher Wasserstände oberhalb eines Bezugsniveaus auftreten. Für diese Art der Nachweisführung eignen sich nur Modelle, welche einen hydrodynamischen Ansatz aufweisen, da nur damit Wasserstände über Kanalscheitel zutreffend berechnet werden können.

In Tabelle 29 sind Anwendungsempfehlungen angegeben, welches Verfahren bzw. welches Modell sich in Kombination mit welcher Regenbelastung für den Nachweis der Überstauhäufigkeit eignet.

Tabelle 29: Anwendungsempfehlungen für den Nachweis der Überstauhäufigkeit (DWA 2006)

|                              | <b>Fließzeitverfahren</b> | <b>hydrologische Modelle</b> | <b>hydrodynamische Modelle</b> |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Regenspendelinie, Blockregen | nicht möglich             |                              |                                |
| Modellregen Euler (Typ II)   |                           | nicht möglich                | empfohlen                      |
| Modellregengruppen           |                           | nicht möglich                | empfohlen                      |
| Gemessene Starkregenserien   |                           | nicht möglich                | empfohlen                      |

Prinzipiell wird bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit bzw. der Überstauhäufigkeiten eine Unterscheidung getroffen in:

- Lastfallprinzip
- Langzeit-Simulation

Die hierbei üblichen Vorgehensweisen sind in Abbildung 111 dargestellt.

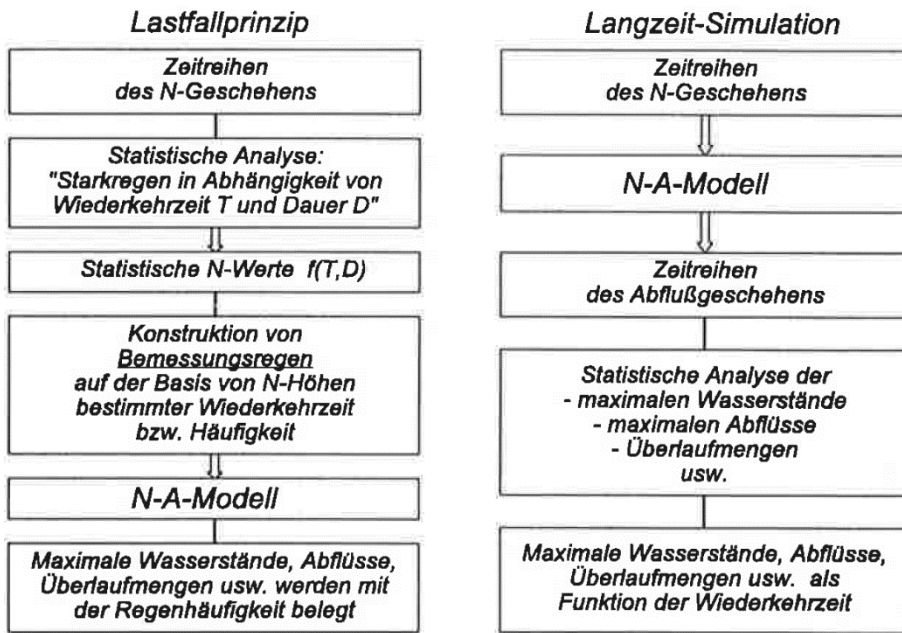


Abbildung 111: Vorgehensweise bei Lastfallprinzip und Langzeit-Simulation (Verworn 1999)

Beim Lastfallprinzip wird ein Bemessungsregen unter Vorgabe einer bestimmten Wiederkehrzeit bzw. Häufigkeit verwendet. Für die Ergebnisse der Berechnungen wird angenommen, dass die gleiche Häufigkeit gilt. Soll beispielsweise nachgewiesen werden, dass ein Netz mit der Häufigkeit  $n = 0,5$  keinen Überstau aufweist, so wird angenommen, dass dies erfüllt ist, wenn bei einem Lastfall (Bemessungsregen) der Häufigkeit  $n = 0,5$  an keiner Stelle des Netzes ein Überstau auftritt (Verworn 1999).

Bei der Langzeit-Simulation werden hingegen gemessene Zeitreihen des Niederschlagsgeschehens verwendet. Damit werden ebenso lange Zeitreihen des Abflussgeschehens erzeugt, welche dann statistisch auf Überstauereignisse analysiert werden können. Dabei ist für die Ermittlung und Analyse extremer Abflusswerte (Wasserstände, Durchflüsse, Volumina) eine Seriensimulation mit den maßgebenden Ereignissen immer ausreichend. Als Belastung wird also eine Starkregenserie herangezogen (Verworn 1999).

Im ÖWAV-Regeblatt 11 wird diese Vorgehensweise als Langzeit-Seriensimulation bezeichnet, bei welcher der Nachweis direkt durch statistische Auswertung der aufgetretenen Überstauungen in Gegenüberstellung mit den Anforderungen in den einzelnen Nutzungskategorien erfolgt.

Bei der hydrodynamischen Berechnung von Entwässerungssystemen ist im ersten Schritt der Nachweis nach der Zielgröße „Überstauhäufigkeit“ zu führen. Anschließend ist für Objekte mit hohem Schadenspotenzial die Überflutungssicherheit zu klären, wobei insbesondere die lokalen Verhältnisse an der Oberfläche zu berücksichtigen sind (OEWAV 2009).

## 7.2. NACHWEIS DER EINHALTUNG DER RICHTLINIEN FÜR MISCHWASSERENTLASTUNGEN

In Mischwasserkanalisationen werden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen Entlastungsbauwerke (Mischwasserüberläufe, Mischwasserüberlaufbecken, Stauraumkanäle etc.) angeordnet. Durch diese wird der Zufluss zur ARA (Abwasserreinigungsanlage) begrenzt und die darüber hinausgehende Wassermenge in die Gewässer geleitet. Dabei können auch hohe Schmutzfrachten entlastet werden, wodurch die Gewässer belastet werden.

Mit der Mischwasserbehandlung soll der Mischwasserabfluss zur ARA hydraulisch begrenzt und die stoßweisen Belastungen des Gewässers aus Mischwasserentlastungen in annehmbaren Grenzen gehalten werden. Hauptziel der Mischwasserbehandlung ist zudem die bestmögliche Reduzierung der Gesamtemissionen aus Mischwasserentlastungen und ARAs im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Erfordernisse.

Im ÖWAV-Regelblatt 19 „Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ (OEWAV 2007) sind die Mindestanforderungen an die Mischwasserbehandlung entsprechend dem Stand der Technik in Anlehnung an den Entwurf der Verordnung über die Begrenzung der Emissionen aus Mischwasserentlastungen in Mischkanalisationen (AEV Mischwasser, Entwurf März 2001) festgelegt.

Dabei wird die Zielvorgabe definiert, dass von den Inhaltsstoffen im Mischwasser ein bestimmter Anteil im Jahresmittel zur biologischen Stufe der ARA geleitet werden muss. Es sind also die im Regelblatt festgelegten Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung einzuhalten. Diese gelten dabei nicht für einzelne Entlastungsbauwerke, sondern für das gesamte Einzugsgebiet einer Mischkanalisation, unabhängig davon, ob die Emissionen in einen oder mehrere Vorfluter geleitet werden. Die Mindestwirkungsgrade sind getrennt für gelöste Stoffe und für abfiltrierbare Stoffe angegeben. In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die entsprechenden Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung  $\eta$  angegeben.

Tabelle 30: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung  $\eta$  gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWA 2007)

| Mindestwirkungsgrad [%]<br>für gelöste Stoffe | Bemessungsgröße der Kläranlage (EW),<br>zu der die Mischkanalisation entwässert |               |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| maßgeblicher Regen                            | $\leq 5.000$                                                                    | $\geq 50.000$ |
| $r_{720,1} \leq 30 \text{ mm/12h}$            | 50                                                                              | 60            |
| $r_{720,1} \geq 50 \text{ mm/12h}$            | 40                                                                              | 50            |
|                                               | Zwischenwerte sind linear zu interpolieren                                      |               |

Tabelle 31: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung  $\eta$  abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWA 2007)

| Mindestwirkungsgrad [%]<br>Abfiltrierbare Stoffe | Bemessungsgröße der Kläranlage (EW),<br>zu der die Mischkanalisation entwässert |               |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| maßgeblicher Regen                               | $\leq 5.000$                                                                    | $\geq 50.000$ |
| $r_{720,1} \leq 30 \text{ mm/12h}$               | 65                                                                              | 75            |
| $r_{720,1} \geq 50 \text{ mm/12h}$               | 55                                                                              | 65            |
|                                                  | Zwischenwerte sind linear zu interpolieren                                      |               |

Bei den dargestellten Anforderungen (Mindestwirkungsgrade) wird sowohl die Bemessungsgröße der ARA als auch die Charakteristik des Niederschlagsgeschehens mittels der Regenspende  $r_{720,1}$  (Niederschlagshöhe in mm bei einer Regendauer von 12 Stunden mit einer Wiederkehrzeit von 1 Jahr) berücksichtigt.

Der Frachtanteil im Mischwasserabfluss, welcher dem Trockenwetterabfluss im Mittel zuzurechnen ist, wird bei der Berechnung des Wirkungsgrades der Weiterleitung nicht berücksichtigt. Die Definition des Wirkungsgrades der Weiterleitung  $\eta$  eines Jahres findet sich in Abbildung 112.

$$\eta = \frac{(VQ_M - VQ_T) \cdot c_M - VQ_e \cdot c_e}{(VQ_M - VQ_T) \cdot c_M} \cdot 100 = \frac{VQ_R \cdot c_M - VQ_e \cdot c_e}{VQ_R \cdot c_M} \cdot 100$$

$\eta$  ..... Wirkungsgrad der Weiterleitung (%)

$VQ_M$  ..... Summe der Mischwassermengen eines Jahres ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

$VQ_T$  ..... Summe der Trockenwettermengen eines Jahres ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

$VQ_R$  ..... Summe der Regenabflussmengen eines Jahres ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

$VQ_e$  ..... Summe der entlasteten Mischwassermengen eines Jahres ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

$c_M$  ..... Konzentration im Mischwasserabfluss ( $\text{mg/l}$ )

$c_e$  ..... Konzentration im entlasteten Mischwasserabfluss ( $\text{mg/l}$ )

Abbildung 112: Definition des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung  $\eta$  - adaptiert nach (OEWA 2007)

Wie bereits erwähnt wird unterschieden in einen Wirkungsgrad für gelöste Stoffe (Abbildung 113) und in einen Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe (Abbildung 114).

$$\eta_R = \frac{VQ_R - VQ_e}{VQ_R} \cdot 100$$

$\eta_R$ .....Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)

$VQ_R$ .... Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt ( $m^3/a$ )

$VQ_e$ .... Summe der entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt ( $m^3/a$ )

Abbildung 113: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach (ÖEWAV 2007)

$$\eta_{AFS} = \eta_R + \frac{\sum_j VQ_{e,MÜB,j} \cdot \eta_{sed,j}}{VQ_R}$$

$\eta_{AFS}$ ..... Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für AFS (%)

$\eta_R$ ..... Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)

$\eta_{sed,j}$ ..... Sedimentationswirkungsgrad bei Mischwasserüberlaufbecken j (%)

$VQ_{e,MÜB,j}$ ... Summe der beim Mischwasserüberlaufbecken j entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt ( $m^3/a$ )

$VQ_R$ ..... Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt ( $m^3/a$ )

Abbildung 114: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe - adaptiert nach (ÖEWAV 2007)

Beim Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe kann je nach Entlastungsbauwerk ein Sedimentationswirkungsgrad  $\eta_{sed}$  berücksichtigt werden (Tabelle 32).

Tabelle 32: Sedimentationswirkungsgrad  $\eta_{sed}$  für abfiltrierbare Stoffe (AFS) in Abhängigkeit vom Speichervolumen (Zwischenwerte sind zu interpolieren) (ÖEWAV 2007)

| spezifisches Volumen ( $m^3/ha_{Au}$ Teileinzugsgebiet) |                 |                                      | Wirkungsgrad $\eta_{sed}$ (%)<br>in Bezug auf AFS |
|---------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Wirbelabscheider                                        | Durchlaufbecken | Stauraumkanal<br>m. u. l. Entlastung |                                                   |
| 0                                                       | 0               | 0                                    | 0                                                 |
| 3                                                       | 5               | 10                                   | 20                                                |
| 7                                                       | 10              | 20                                   | 35                                                |
| > 10                                                    | > 15            | > 30                                 | 50                                                |

Der Nachweis des vorhandenen Wirkungsgrads der Weiterleitung wird mittels einer hydrologischen Langzeit-Simulation der Abflüsse auf der Oberfläche und im Kanalnetz durchgeführt. Dabei wird die Simulation für das gesamte Einzugsgebiet der ARA durchgeführt. Als Belastung werden durchgehende Jahresreihen verwendet (Kontinuums-Simulation). Bei der hydrologischen Langzeit-Simulation für die Ermittlung der jährlich entlasteten Mischwassermengen wird das Kanalnetz nur grob vereinfacht im Modell abgebildet. Im Gegensatz zur Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 mit einer hydrodynamischen Kanalnetzsimulation (weitgehend exakte Abbildung des Kanalnetzes im Modell) ergeben sich dabei geringere Rechenzeiten.

Für die Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 wird in der Regel eine hydrodynamische Simulation mit einem Modellregen als Belastung durchgeführt. Möglich ist auch eine Langzeit-Seriensimulation (hydrodynamisch, Starkregenserie), welche auch eine höherwertigere Alternative darstellt. Für den Nachweis des Mindestwirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19 wird üblicherweise eine Langzeit-Simulation (hydrologisch, Regenkontinuum) durchgeführt. In der Praxis werden also oftmals zwei Modelle für ein und dasselbe Entwässerungssystem aufgebaut und betrieben. Dadurch ergibt sich ein Mehraufwand aufgrund der doppelten Modellerstellung sowie der doppelten Modell- und Datenpflege.

## 7.3. KOMBINIERTE NACHWEISFÜHRUNG

Im Zuge des Projektes DATMOD wurden Möglichkeiten einer kombinierten Nachweisführung behandelt. Es wurde beispielsweise untersucht, ob und wie der Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 auch mit Langzeit-Seriensimulationen durchgeführt werden kann. Hierzu wurden umfangreiche Testläufe durchgeführt, wobei das Ziel verfolgt wurde, den Nachweis des Mindestwirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19 mit einer Langzeit-Seriensimulation (hydrodynamisches Modell) durchzuführen. Dadurch können in weiterer Folge möglicherweise bereits existierende hydrodynamische Modelle genutzt werden. Eine doppelte Modellerstellung und Modellpflege (hydrologisches Modell für Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 und hydrodynamisches Modell für Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11) entfällt somit in dem Fall. Zudem kann bei Einsatz einer Starkregenserie anstelle eines Regenkontinuums Rechenzeit eingespart werden. Zusätzlich wurden auch Versuche zur Ausnutzung vorhandener Rechner-Ressourcen durch parallelisierte Berechnungsvorgänge durchgeführt. Hierdurch können mehrere Rechner genutzt werden, um somit ebenso die Rechenzeit zu verringern.

Die durchgeführten Studien zeigen sehr großes Potenzial für die kombinierte Nachweisführung, insbesondere für kleinere und mittlere Kanalisationsunternehmen. In einer Fallstudie konnte bereits eine kontinuierliche Simulation über eine Periode von 10 Jahren mit einem hydrodynamischen Modell durchgeführt werden und daraus die Mischwassermissionen ermittelt werden. Die Berechnungszeiten liegen dabei für einen üblichen Büro-PC bei ca. 12 Stunden. Dies beinhaltet noch keinerlei Versuche der Beschleunigung der Berechnung beispielsweise mittels Langzeit-Seriensimulation (wurde in weiterer Folge näher untersucht).

Besonders für kleinere und mittlere Kanalisationsunternehmen ist eine kombinierte Nachweisführung nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 ein empfehlenswerter Weg, sofern ohnehin ein hydrodynamisches Modell vorhanden ist oder erstellt werden soll. Der große Vorteil liegt dabei in einem verminderten Aufwand durch Vermeidung einer doppelten Modellerstellung und -wartung (hydrodynamisches und hydrologisches Modell). Zudem wird eine doppelte Datenpflege vermieden und diese kann somit ganzheitlich und effektiver durchgeführt werden.

Die Priorität im Zuge des Projekts DATMOD lag daher auf der Erarbeitung und Erprobung einer hydrodynamischen Langzeit-Seriensimulation zur Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 19.

### 7.3.1. METHODIK

Hierzu wurde ein Tool entwickelt, welches aufgrund einiger festzulegender Parameter eine Aufteilung des Regenkontinuums in einzelne Regenereignisse vornimmt. Diese Parameter sind:

- Threshold-time (Zeitabschnitt) [min]
- Threshold-value (Niederschlagsmengen-Grenzwert) [mm]
- Event gap (Ereignisabstand) [min]
- Time Extension (Zeitverlängerung) [min]

Zunächst wird die Niederschlagsmenge für einen bestimmten Zeitabschnitt (threshold-time) berechnet. Liegt der erhaltene Wert über einem festgelegten Grenzwert (threshold-value), so wird der entsprechende Zeitabschnitt für die Regenereignisserie berücksichtigt. Der „event gap“ legt die minimale Zeit zwischen zwei Regenereignissen fest und stellt dabei sicher, dass sich zwei aufeinanderfolgende Regenereignisse nicht gegenseitig beeinflussen. Dazu sollte der „event gap“ auch die Leerlaufzeit des Entwässerungssystems (speziell bezüglich vorhandener Speicherbecken, Retentionsvolumina etc.) einschließen. Das Ende eines Überlaufereignisses muss nicht unbedingt mit dem Ende eines Regenereignisses übereinstimmen, sondern das Überlaufereignis kann auch darüber hinaus andauern. Die zur Simulation heranzuziehenden Regenereignisse werden daher verlängert (time extension), um auch den Nachlauf nach dem Regenereignis selbst zu simulieren.

In den nachfolgenden Abbildungen soll die beschriebene Vorgehensweise zur Erzeugung von Regenereignisserien aus dem Niederschlagskontinuum anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

In Abbildung 115 ist ein Niederschlagsverlauf in 5 min-Werten dargestellt (blau). Für jeden Zeitschritt wird die Niederschlagssumme der nachfolgenden 120 min (threshold-time) gebildet. Beispielsweise ergibt sich bei Minute 40 eine Niederschlagssumme von 5 mm über die nachfolgenden 120 min. Die orangenen Punkte geben den Wert der genannten Niederschlagssumme für jeden Zeitschritt an.

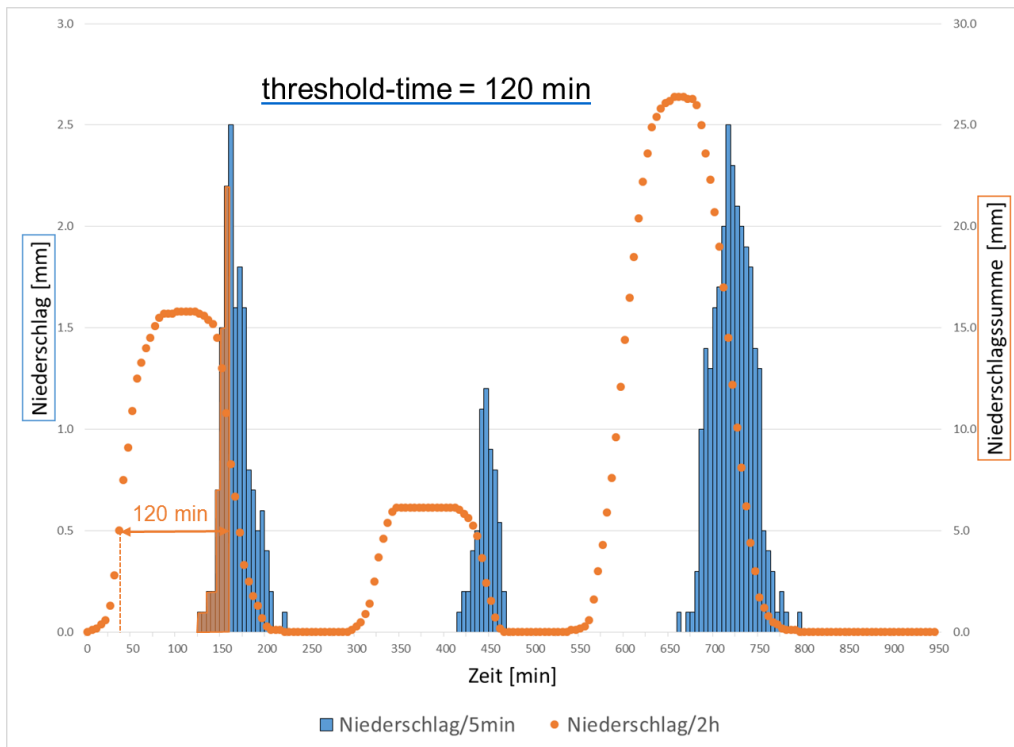


Abbildung 115: Berechnung der Niederschlagssumme für threshold-time

Im nächsten Schritt wird kontrolliert, ob die errechnete Niederschlagssumme über oder unter einem vorher festgelegten Niederschlagsmengen-Grenzwert (threshold-value) liegt. Dies ist in Abbildung 116 dargestellt. Innerhalb der orange hinterlegten Bereiche liegt die Niederschlagssumme über dem Grenzwert von 15 mm (mit roter Linie markiert). Für den Regenabschnitt in der Mitte der Abbildung (ca. Minute 420 bis 470) liegt die Niederschlagssumme jedoch unter diesem Grenzwert. Daher wird dieser Abschnitt für die weitere Bildung der Regenereignisserie nicht berücksichtigt.

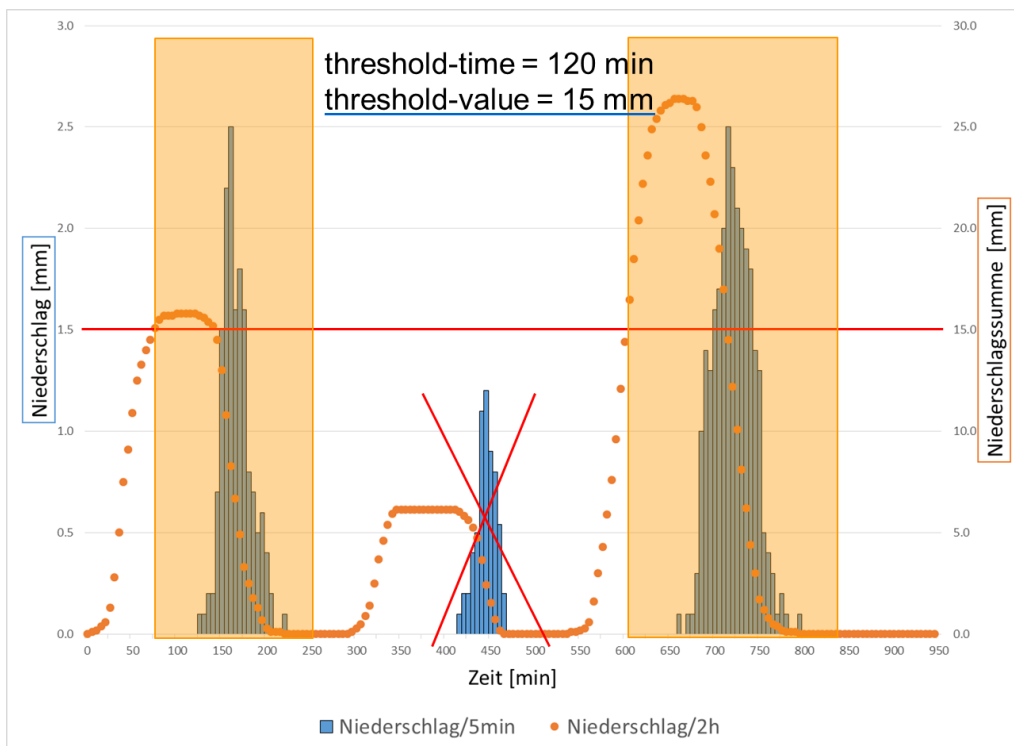


Abbildung 116: Anwendung des Niederschlagsmengen-Grenzwertes und Ausschluss von Regenperioden aus der Regenereignisserie

Anschließend wird der Abstand zwischen den verbleibenden Regenabschnitten untersucht. Ist dieser größer als der im Vorfeld festgelegte Ereignisabstand (event gap), so können die entsprechenden Regenabschnitte als separate Regenereignisse für die Regenereignissreihe definiert werden. Im vorliegenden Fall (Abbildung 117) ist der Abstand zwischen den Regenabschnitten mit 440 min größer als der geforderte Ereignisabstand von 360 min. Somit werden zwei Regenereignisse festgelegt.

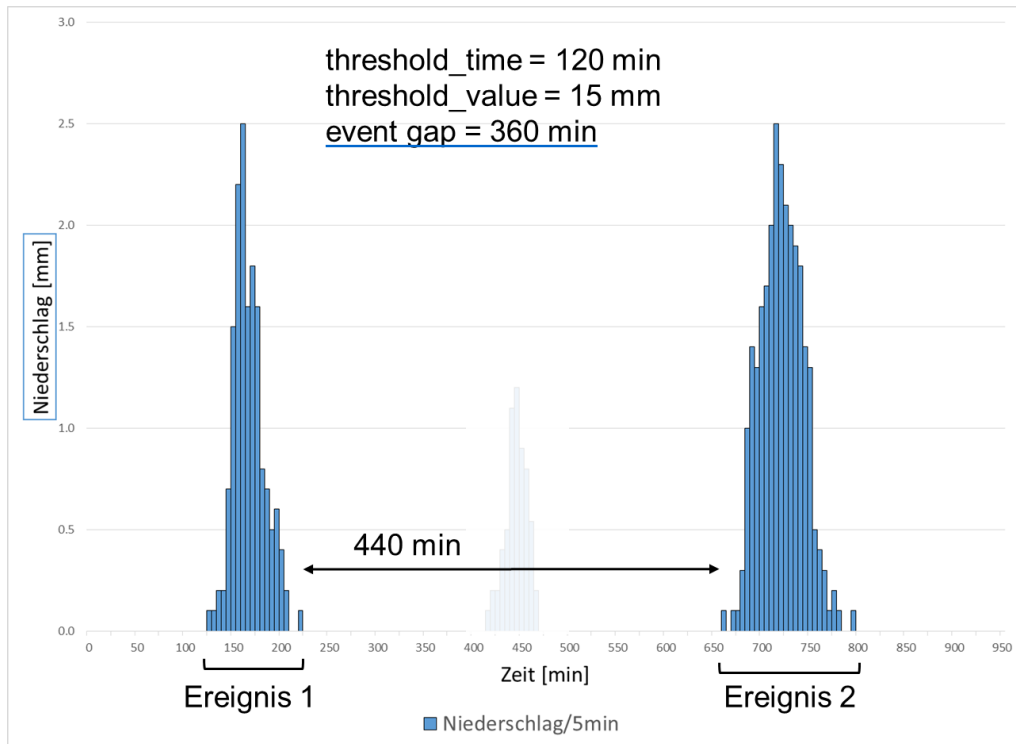


Abbildung 117: Kontrolle des Ereignisabstandes

Im letzten Schritt werden die Ereignisse noch um die Zeitverlängerung (time extension) verlängert (in diesem Fall 60 min, Abbildung 118).

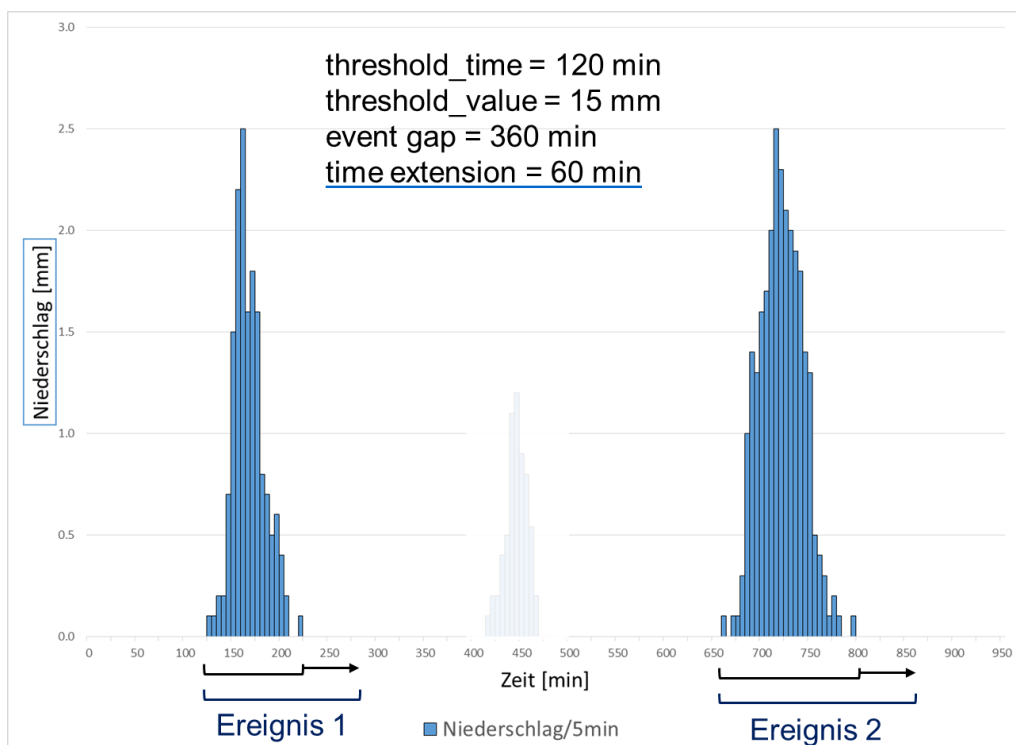


Abbildung 118: Verlängerung der Regenereignisse für die Simulationen

Die gebildeten Regenereignisserien werden an einem einfachen Modell (siehe Abbildung 119) getestet. Um die Auswirkungen von unterschiedlichen Parametereinstellungen zu untersuchen, werden die Ergebnisse der einzelnen Regenereignisse zusammengeführt (in diesem Fall: Summe der entsprechenden Überlaufvolumina) und mit dem Ergebnis der Simulation mit Niederschlagskontinuum (Referenzfall) verglichen.

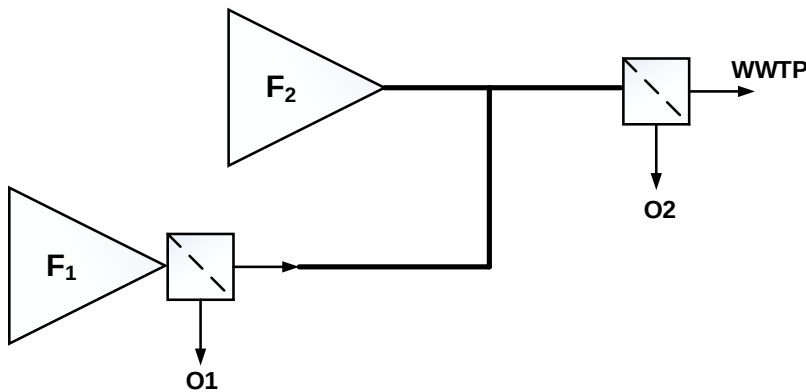


Abbildung 119: Testmodell (adaptiert nach DWA-M 180)

Für eine erste Einschätzung des Modellverhaltens aufgrund unterschiedlicher Parametereinstellungen wurde eine globale Sensitivitätsanalyse mit Hilfe des „Morris Screenings“ (Campolongo et al., 2007) durchgeführt.

Um mögliche Rechenzeiteinsparungen zu analysieren, werden folgende Schritte betrachtet:

- Schritt 0: Kontinuumsimulation (keine Ereignisauswahl, Referenzfall)
- Schritt 1: Ausklammern „realer“ Trockenzeiten
  - Mindesttrennbreite: Leerlaufzeit des Netzes
  - Steady State Periods werden ausgeklammert
- Schritt 2: Ausklammern „fiktiver“ Trockenzeiten
  - Kleine Niederschlagswerte werden ignoriert (Nutzung der Methode zur Erstellung von Regenereignisserien)
- Schritt 3: Optimieren der Parameter aus Fall 2 unter Berücksichtigung der folgenden 2 Ziele:
  - Minimierung der Rechenzeit (anstelle der Rechenzeit selbst wird die Zeitsumme der gebildeten Regenereignisse verwendet, um unabhängig von CPU-Leistung und möglicherweise auftretenden Hintergrundprozessen während den Simulationen zu sein. Je kleiner die Ereignis-Zeitsumme ist, desto geringer wird auch die Berechnungszeit für die Regenereignisserie sein)
  - Beibehalten des gesamten Überlaufvolumens aus dem Referenzfall
- Schritt 4: zu „scharf“ gewählte Parameter
  - Entlastungsmenge geringer als bei Fall 0
- Schritt 5: Parallelisierung der Ereignissimulationen – wird eine Regenereignisserie anstelle des Niederschlagskontinuums verwendet, ergibt sich der große Vorteil, dass die Simulationen der einzelnen Ereignisse parallelisiert auf einem Mehrkernprozessor bzw. parallel auf mehreren Rechnern ablaufen können. Dies führt zu weiteren deutlichen Reduktionen der Rechenzeit.

Schritt 0 stellt also den Referenzfall dar, bei welchem keine Ereignisauswahl erfolgt, sondern eine Langzeitsimulation mit dem Regenkontinuum durchgeführt wird. Mit diesem Fall können die in weiterer Folge untersuchten Fälle auf Plausibilität untersucht werden.

Bei Schritt 1 werden die „realen“ Trockenzeiten bei den Simulationen ausgeklammert. Im Detail werden darunter Zeitabschnitte verstanden, bei denen sich die Abflusswerte nicht ändern (steady state periods). Bis ein solcher Abflusszustand auftritt muss einerseits der Niederschlag gleich Null sein und andererseits muss die Leerlaufzeit des Netzes berücksichtigt werden.

Bei Schritt 2 wird die bereits vorher erwähnte Methode zur Erstellung von Regenereignisseries verwendet. Es werden also Regenabschnitte unter einem bestimmten Grenzwert nicht berücksichtigt („fiktive Trockenzeiten“). Bei den Simulationen beschränkt man sich also auf Niederschlagsereignisse, welche auch einen Überlauf an Entlastungsbauwerken zur Folge haben.

Im Zuge von Schritt 3 wird versucht die Parameter (threshold-time, threshold-value, event\_gap, time extension) so zu optimieren, dass die Simulationszeit minimiert und die Summe der Entlastungsmengen maximiert bzw. in der Höhe von Fall 0 gehalten wird.

Werden die Parameter zu „scharf“ gewählt, so tritt bei Schritt 4 der Fall auf, dass die Summe der Entlastungsmengen kleiner als die bei Schritt 0 berechneten wird.

Abbildung 120 stellt die Auswirkungen der vier Schritte auf die Entlastungsmenge sowie die zur Abwasserreinigungsanlage weitergeleitete Menge (wastewater treatment plant – WWTP) grafisch dar.

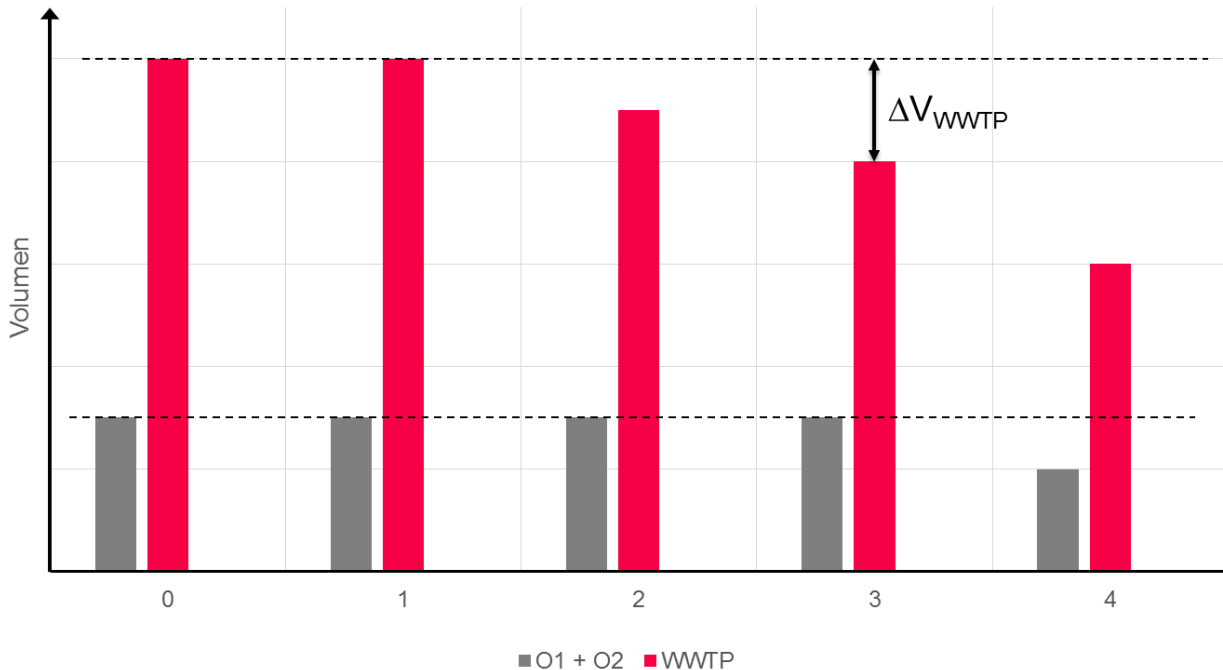


Abbildung 120: Ergebnisse der vier betrachteten Fälle

Um den Nachweis des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung nach ÖWAV-Regelblatt 19 führen zu können, muss auch die gesamte zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) weitergeleitete Abflussmenge bzw. die Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt ( $V_{QR}$ ) bekannt sein (siehe dazu auch die Gleichungen in Abbildung 113 und Abbildung 114). Bei Schritt 0 und Schritt 1 stellt diese Anforderung kein Problem dar. Bei Schritt 2 und der entsprechenden Optimierung in Schritt 3 hingegen geht ein Teil dieser Abflussmenge durch Ignorieren kleiner Werte sowie durch Festlegen von Schwellenwerten für die Mindesttrennbreite verloren. Um dieses  $\Delta V_{WWTP}$  in den Griff zu bekommen und somit die gesamte Abflussmenge zur ARA zu erhalten, wurden unterschiedliche Ansätze untersucht und getestet:

- Berechnung über Kontinuumsimulation
- Abschätzung über einen mittleren Abflussbeiwert  $\psi_m$ :
  - Simulation eines mittleren Jahres
  - Simulation zufälliger Ereignisse
- Simulation der Oberfläche
  - Variante 1: Simulation der vorher eliminierten Abschnitte mit kleinen Werten
  - Variante 2: Simulation des gesamten Regenkontinuums

Schritt 3 stellt den zentralen Aspekt der im Zuge des Projekts Datmod durchgeführten Untersuchungen dar. Die Optimierung der Parameter erfolgt mit Hilfe von multikriteriellen genetischen Algorithmen. Abbildung 121 zeigt den prinzipiellen Ablauf des Optimierungsverfahrens.

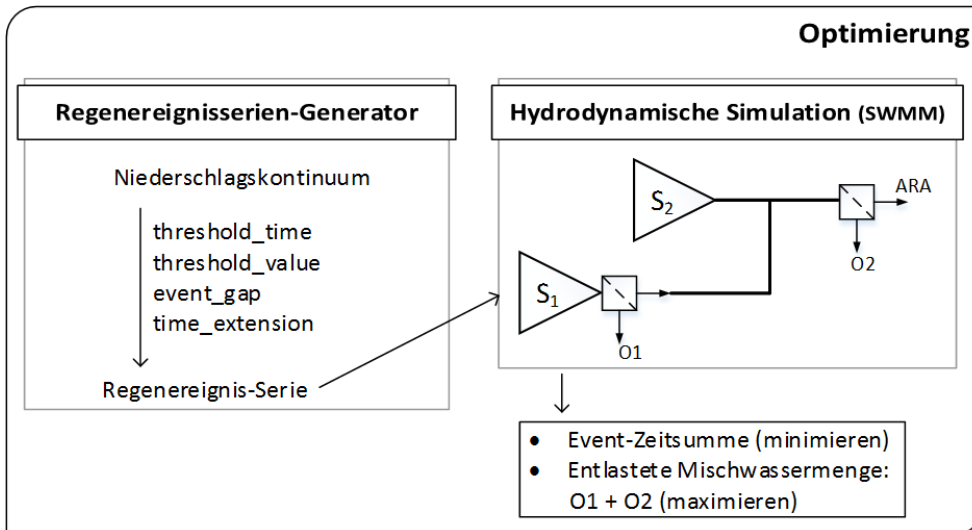


Abbildung 121: Ablauf des Optimierungsverfahrens

Das Optimierungsverfahren wurde an fünf virtuellen Fallbeispielen mit unterschiedlichen Systemeigenschaften, welche mit dem von (Möderl et al., 2009) beschriebenen Fallbeispiel-Generator erzeugt wurden, angewandt. Zusätzlich wurden die Optimierungsläufe mit zwei unterschiedlichen Niederschlagszeitreihen mit einer Länge von 3 und 5 Jahren (bereitgestellt von (OEWAV, 2007a)) durchgeführt.

### 7.3.2. ERGEBNISSE

Abbildung 122 zeigt ein Ergebnis der beschriebenen Methode zur Erzeugung von Regenereignisseries. Die grün-gefärbte Regenereignisseries wurde aus dem blau-gefärbten Niederschlagskontinuum von 1992 (gemessen in Graz) und den nachfolgenden Parametern gebildet: threshold-time=400 min, threshold-value=15 mm, event gap=720min.

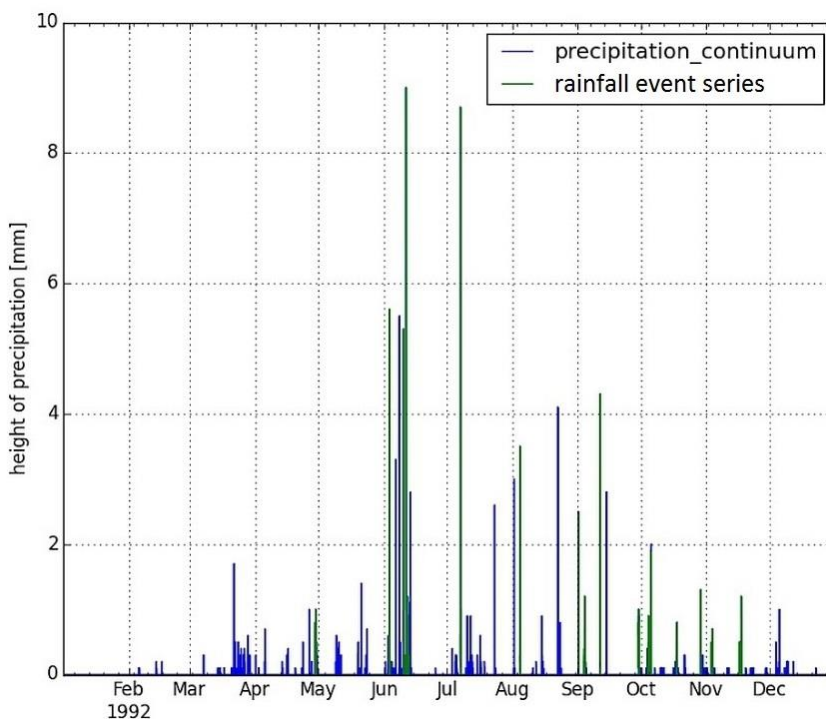


Abbildung 122: Niederschlagskontinuum und Regenereignisseries

Abbildung 123 zeigt ein erstes Resultat der globalen Sensitivitätsanalyse des gesamten Überlaufvolumens als Funktion der vier Eingangsparameter. Es zeigt sich, dass alle Parameter sensitiv (basierend auf  $\mu^*$ ) sind und es lässt sich auf eine Nicht-Linearität und/oder Interaktion mit anderen Parametern (basierend auf  $\sigma$ ) schließen.

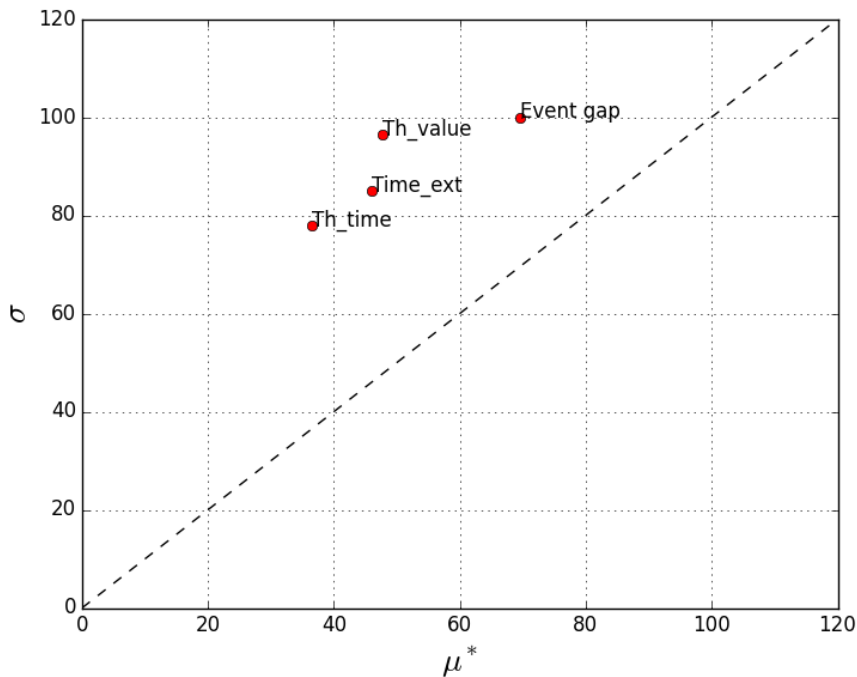


Abbildung 123: Ergebnis des Morris Screenings für gesamtes Überlaufvolumen aus Mischwasserentlastungsbauwerken

Ein beispielhaftes Ergebnis des Optimierungsverfahrens ist in Abbildung 124 dargestellt. Die optimalen Ergebnisse liegen im rechten unteren Eck der Punktwolke, da hier das maximale Überlaufvolumen (selber Wert wie im Referenzfall) bei minimalen Ereignis-Zeitsummen der Regenereignisseries erreicht wird. In diesem Fall wurde eine Niederschlagszeitreihe von 5 Jahren (1825 Tagen) verwendet. Der in Abbildung 124 blau markierte Bereich ist in Abbildung 125 vergrößert dargestellt. Es wird hierbei offensichtlich, dass die Simulation von 427 Tagen (Ereignis-Zeitsumme) ausreicht, um dasselbe Überlaufvolumen wie bei der Simulation mit dem Niederschlagskontinuum zu erhalten. Wird ein minimaler Grad an Ungenauigkeit im Resultat des Überlaufvolumens akzeptiert, sind weitere deutliche Reduktionen der Ereignis-Zeitsumme möglich. Im hier dargestellten Fall (Abbildung 125), ergab die Reduktion des Überlaufvolumens von 1% eine Reduktion der Ereignis-Zeitsumme von 65%. Das bedeutet, dass eine in ihrer zeitlichen Länge um 65% reduzierte Regenereignisserie ein Überlaufvolumen ergibt, welches nur um 1% reduziert wird (jeweils im Vergleich mit der Regenereignisserie, welche zum maximalen Überlaufvolumen führt).

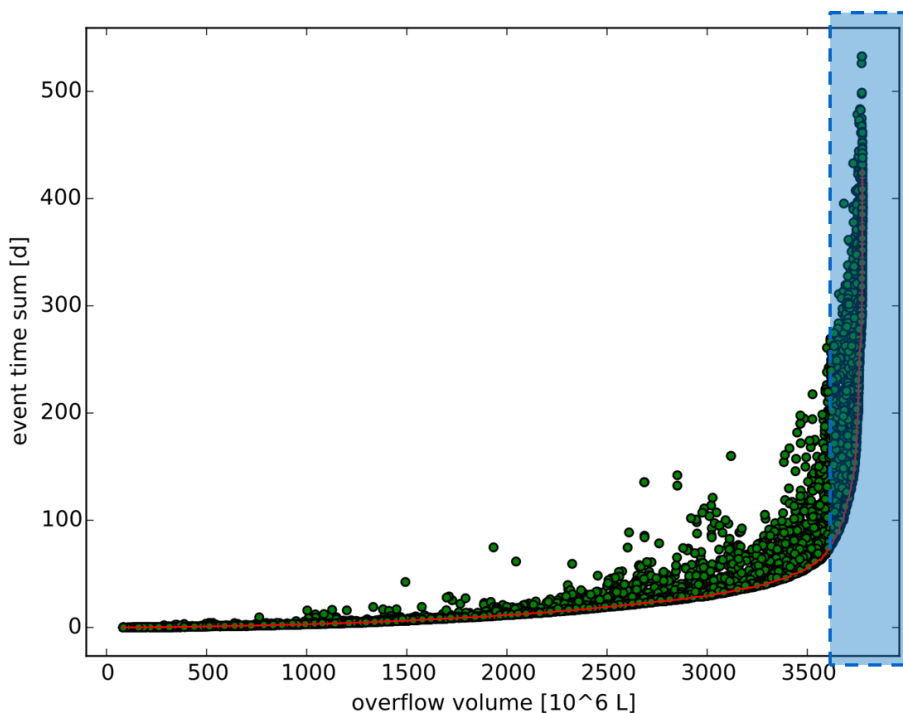


Abbildung 124: Resultat des Optimierungsverfahrens

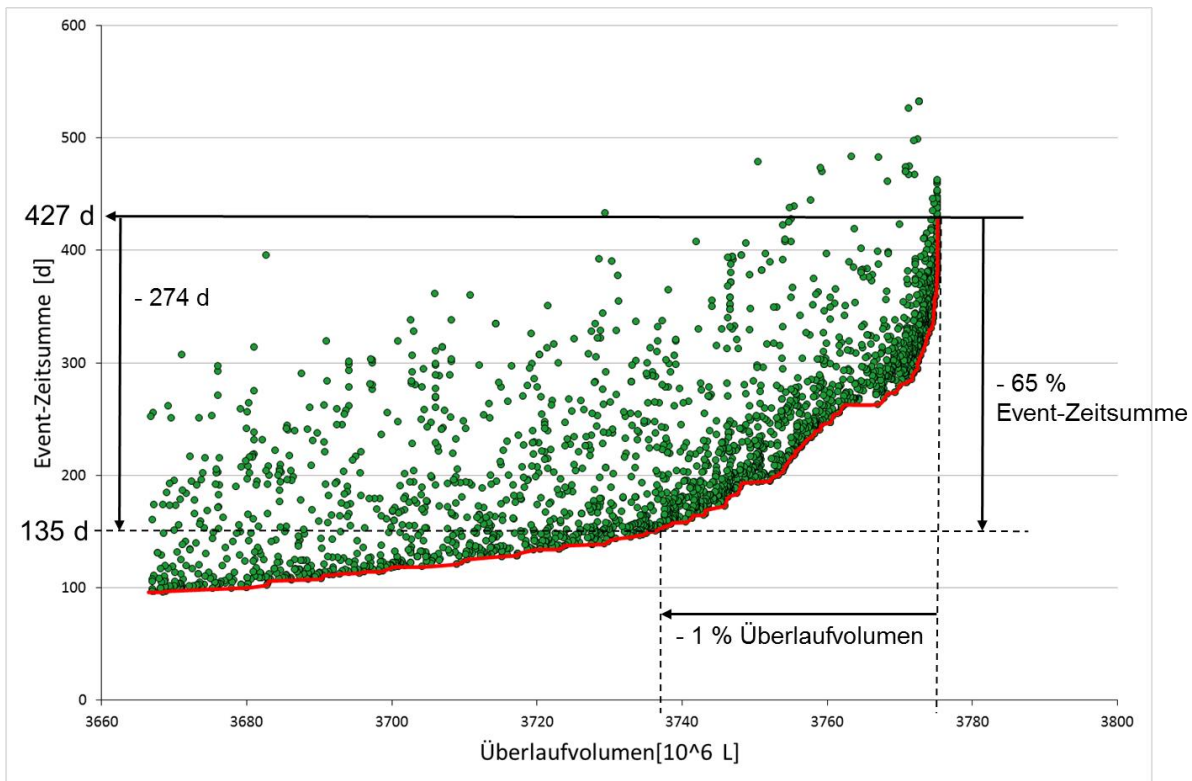


Abbildung 125: Vergrößerter Bereich (blau) aus Abbildung 124

Wird eine erhaltene „optimale“ Regenereignisserie für die Simulationen der fünf virtuellen Fallbeispiele verwendet, so ergeben sich Beschleunigungen in der Berechnungszeit von 4 bis 9 Mal im Vergleich zur Simulation mit dem Niederschlagskontinuum. Eine Parallelisierung der Ereignissimulationen (mit einer acht-fach hyperthreaded quad core CPU) kann für weitere Reduktionen der Berechnungszeiten eingesetzt werden. Hierbei ergeben sich Beschleunigungen von etwa 18 bis 40 Mal.

Bei den hier genannten Beschleunigungen wurden für das jeweilige Fallbeispiel optimierte Parametereinstellungen verwendet. Für die Praxis von besonderem Interesse sind allgemeingültige Parametereinstellungen „auf der sicheren Seite“. Mit diesen können die letzten Prozente an Beschleunigung zwar nicht mehr herausgekitzelt werden, allerdings kann die Erstellung der Regenereignisserie direkt erfolgen. Eine vorhergehende und sehr zeitintensive Optimierung für jedes Fallbeispiel entfällt somit. Bei den durchgeführten Optimierungen an den fünf Fallbeispielen im Zuge des Projekts Datmod konnten folgende Bandbreiten für allgemein anwendbaren Parametereinstellungen identifiziert werden:

- Threshold-time: 400-500 min
- Threshold-value: 1.9 – 2.7 mm
- Event gap: 1400-1600 min
- Time extension: 50-200 min

Eine kombinierte Nachweisführung führt also wie eben geschildert zu einer deutlichen Zeitersparnis bei den Simulationen. Neben der Zeitersparnis hätte die kombinierte Nachweisführung gerade für kleinere und mittlere Kanalisationsunternehmen zudem zahlreiche Vorteile, sofern ohnehin bereits ein hydrodynamisches Modell vorhanden ist oder erstellt werden soll. Der große Vorteil liegt dabei in einem verminderten Aufwand durch Vermeidung einer doppelten Modellerstellung und -wartung (hydrodynamisches und hydrologisches Modell).

## 8. UMGANG MIT UNSICHERHEITEN

Das komplexe System „Siedlungsentwässerung bei Regenwetter“ verhält sich zeitlich hoch dynamisch und zeichnet sich durch stochastische (zufällige) Prozesse aus. Bei der Modellierung und Simulation werden reale Situationen in mehreren Schritten abstrahiert, wobei unter dem Aspekt der Optimierung von Aufwand und Nutzen, komplizierte Zusammenhänge bei möglichst einfacher Beschreibung ein ausreichend detailliertes Ergebnis liefern sollen. Durch Vereinfachung und Idealisierung des realen Systems sowie durch teilweise nicht völlig umfassende Kenntnis der Prozesse ist die Modellierung komplexer Systeme zwangsläufig mit Unsicherheiten verbunden. Erkennen, Definieren und Berücksichtigen von Unsicherheiten in siedlungswasserwirtschaftlichen Modellen ist von zentraler Bedeutung. Nur bei Berücksichtigung etwaiger Modellunsicherheiten können mit der angestrebten Simulation realer Begebenheiten optimale Lösungen hinsichtlich Kosten und Wirksamkeit von Maßnahmen erzielt werden. Dabei gilt die richtige bzw. optimale Definition von Verwendungszweck, Anwendungsbereich und Modellgrenzen als Grundvoraussetzung (Kreikenbaum *et al.* 2004).

In den letzten Jahrzehnten ist mit steigender Rechenkapazität moderner Computer die Komplexität der verwendeten Modelle rasant angestiegen und immer mehr Prozesse werden immer genauer abgebildet. Modelle sind dabei jedoch immer eine vereinfachte Abbildung der Realität und beschreiben real auftretende physikalische Prozesse nie vollständig. Zusätzlich werden Modelle oft im Kontext begrenzter Datenverfügbarkeit, unsicherer Daten und unklarer Randbedingungen bzw. Szenarien verwendet. Beispielsweise ist die Aufzeichnung von Niederschlagsdaten – die treibende Kraft in Fragestellungen der Siedlungsentwässerung – nicht nur von Messungenauigkeiten gekennzeichnet, sondern ebenso schlagen sich Vereinfachungen der räumlichen Niederschlagsverteilungen in Punktmessungen durch Unsicherheiten in den Modellergebnissen nieder. Modellierung ist daher immer ein unsicherer Vorgang und es ist weitläufig anerkannt, dass eine Modellkalibrierung sowie die Unsicherheitsanalyse einen wichtigen Teil der Modellierungsaufgabe darstellen.

In der Literatur sind verschiedene Einteilungen und Klassifizierungen von Unsicherheitsquellen zu finden (z. B. Walker *et al.* (2003); Refsgaard *et al.* (2007); van der Keur, P. *et al.* (2008); Deletic *et al.* (2012)). Obwohl die Benennungen variieren, lassen sich prinzipiell zwei Klassifizierungen unterscheiden, zum einen Unsicherheiten nach Unsicherheitsquellen (z. B. in Eingangsdaten, Modellparametern, Modellstruktur) und zum anderen nach ihrer Art (z. B. statistische Unsicherheiten, Szenariounsicherheiten). Wichtig ist dabei, dass Unsicherheiten auch außerhalb unserer Vorstellung evident sind. Von van der Keur, P. *et al.* (2008) wird dies als „total ignorance“, also völlige Unkenntnis, bezeichnet. Diese Art von Unsicherheiten tritt beispielsweise auf, wenn bestimmte Prozesse nicht bekannt sind oder wenn im Falle von Zukunftsprognosen nicht abgeschätzt werden kann, wie etwaige neue (derzeit noch unbekannte) Technologien eine Zukunftsprognose beeinflussen können. Eine Einschätzung oder gar statistische Beschreibung dieser Unsicherheit ist naturgemäß nicht möglich und wird deshalb üblicherweise in klassisch-technischen Untersuchungen auch nicht durchgeführt.

Die Unsicherheiten in der Modellierung von städtischen Entwässerungssystemen können auf drei große Unsicherheitsquellen zurückgeführt werden (1) Unsicherheiten in den verwendeten Eingangsdaten (z. B. Niederschlagsdaten, Abflussdaten, Einzugsgebietsdaten), (2) Unsicherheiten in der Bestimmung von Modellparametern im Zuge der Kalibrierung und (3) Unsicherheit in der Modellstruktur (z. B. nicht berücksichtigte aber relevante Prozesse). Zusätzlich sind noch (4) Unsicherheiten bei Prognosen externer Einflüsse sowie (5) Unsicherheiten bei der numerischen Lösung von Modellgleichungen zu berücksichtigen (Kreikenbaum *et al.* 2004). In der praktischen Modellanwendung (vgl. Abbildung 126) können sich diese Gruppen überlagern und somit gegenseitig verstärken oder auch kompensieren. Dazu kommen in der Prognoseanwendung von Modellen noch Unsicherheiten in der Einschätzung zukünftiger Entwicklungen (z. B. Bevölkerungsentwicklung, Landnutzungsänderung, Klimawandel).

Im Zuge der bereits erfolgten Simulationen in der Projektbearbeitung wurde der Umgang mit Unsicherheiten implizit mitbehandelt. Nachfolgend werden exemplarisch die Auswirkungen einiger Unsicherheitsquellen gezeigt. Eine besondere Rolle wird dabei die Abwägung spielen, ob vorhandene Ressourcen besser in eine detaillierte Erhebung der Eingangsdaten für Modell oder in Kalibrierungsdaten (für eine inverse Bestimmung der Modellparameter) eingesetzt werden sollen.

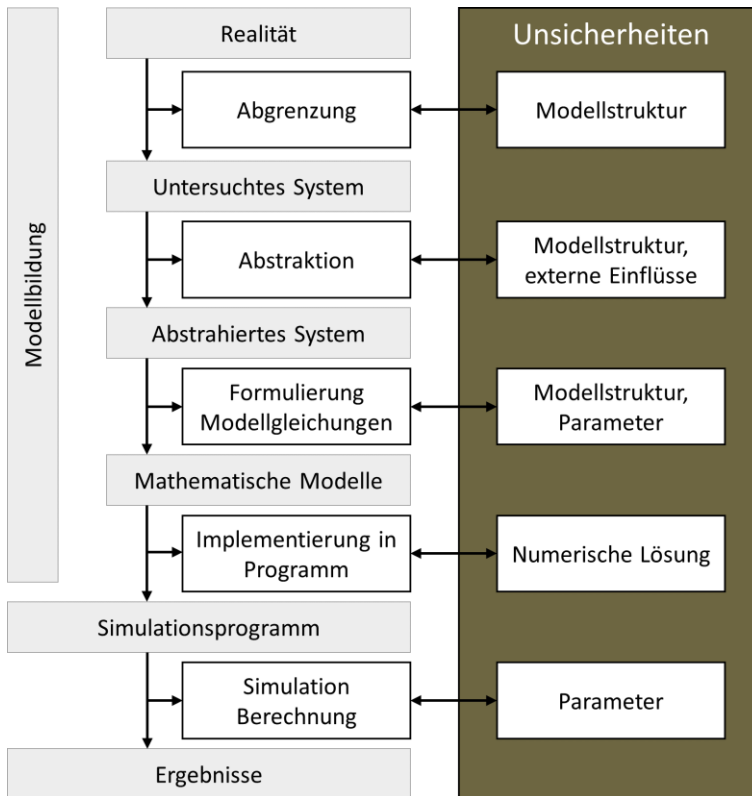


Abbildung 126: Vereinfachung der Realität zum modellierten System und die dabei auftretenden Unsicherheiten adaptiert von Kreikenbaum *et al.* (2004)

## 8.1. UNSICHERHEITEN VON EINGANGSDATEN

Eingangsdaten können abgeschätzt, kalibriert oder gemessen werden (Deletic *et al.* 2009). Zur Konkretisierung von dabei auftretenden Unsicherheiten können jeweils statistische Methoden eingesetzt werden (Deletic *et al.* 2012). Abgeschätzte Werte bzw. Verläufe folgen häufig aus der erforderlichen Prognose zum Langzeitverhalten innerhalb eines Modells. Oft bilden Messung oder Kalibrierung die Basis für weitere Abschätzungen (z. B.: räumliche Niederschlagsdatenverteilung (Deletic *et al.* 2009)).

Als Unsicherheit in den Daten wird meist das Problem verstanden, das aufgrund von Ungenauigkeiten in der Datenerhebung entsteht. Die Abweichungen vom realen Wert bestehen aus systematischen und zufälligen Fehlern. Diese Art von Unsicherheiten werden im ISO Leitfadens (ISO/IEC Guide 98-3 2008) bzw. in der entsprechenden DIN V ENV 13005 (1999) „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ behandelt. Dabei werden Unsicherheiten in der Messung durch eine Normalverteilung der Abweichungen zwischen gemessenem und realem Wert beschrieben. Diese Normalverteilung wird durch ihren Mittelwert und die Standardabweichung charakterisiert. Des Weiteren wird dieser Definition der Unsicherheiten der Eingangsdaten folgend angenommen, dass ein Datensatz zwar Unsicherheiten aber keine Datenfehler enthält. Datenfehler sind also vor der Verwendung der Daten zu entfernen.

Während diese Herangehensweise für relativ einfache Systeme mit gut bestimmten Randbedingungen geeignet ist, werden Unsicherheiten in der Niederschlags-Abfluss-Modellierung von weitergehenden Fragestellungen wie der Datenverfügbarkeit und der Repräsentativität der Daten bestimmt. Das bedeutet, gewisse Datenpunkte müssen nicht unbedingt falsch sein in dem Sinne, dass sie identifiziert und ausgeschieden werden können, sondern sie können auch richtig gemessen und trotzdem nicht charakteristisch für ein bestimmtes Gebiet oder Ereignis und damit ungeeignet für die Modellierung sein (Kleidorfer 2009).

Unsicherheiten in Daten (z. B. systematische Über- oder Unterschätzung von Niederschlag oder Abfluss) können bei der Kalibrierung durch Anpassung der Modellparameter zum Teil kompensiert werden, jedoch ist es problematisch, wenn für Kalibrierung und Simulationslauf unterschiedliche Datenquellen verwendet werden (z. B. unterschiedliche Anzahl von Messstationen, andere Stationen, Änderung der Fehlerkorrektur, Änderung der Messmethodik). Dies gilt besonders bei Simulation über lange Zeiträume. Unsicherheiten bei der Ermittlung von Regen- sowie Oberflächendaten (z. B. Befestigungsgrad) sind von höchster Relevanz, da derartige Unsicherheiten bei den Eingangsdaten den Einfluss von Planungsmaßnahmen (Anlagen der Siedlungsentwässerung, geplant und überprüft mit Hilfe von Modellen) sogar übersteigen können (Hoppe und Gruening 2007).

Bei Messdaten erfolgt laut (Deletic *et al.* 2009) im Wesentlichen eine Unterscheidung von systematischen und zufälligen Fehlern. Gamerith (2011) beschreibt, dass systematische Fehler jeweils in einer Richtung vom tatsächlichen Wert abweichen. Daher können sie nicht durch eine größere Anzahl von Messungen identifiziert werden, zusätzliche Evaluierungen sind dazu nötig. Systematische Fehler verhalten sich entweder zeitlich konstant oder variieren über zeitliche Perioden. Werden systematische Fehler identifiziert, können sie auch korrigiert werden. Zufällige Fehler können durch vermehrte Messergebnisse reduziert werden. Sie folgen häufig einer Normalverteilung und können nicht gänzlich vermieden, durch präzise Auswahl an erforderlichen Untersuchungen jedoch minimiert werden. Systematische Fehler entstehen beispielsweise durch ungünstige Positionierung der Messgeräte, während Funktionsfehler von Messgeräten zufällige Fehler darstellen – derartige Unsicherheitsquellen sollten „nach bestem Wissen und Gewissen“ eliminiert werden (Deletic *et al.* 2009). Gränicer (1996) weist bereits darauf hin, dass Messergebnisse bereits vor der Analyse systematischer und zufälliger Messabweichungen und somit etwaiger Unsicherheiten von groben Fehlern bereinigt werden müssen. Grobe Fehler beinhalten demzufolge beispielsweise Irrtümer, Fehlüberlegungen und Missverständnisse bei der Bedienung und Ablesung der Messinstrumente (z. B. auch falsche Messbereichseinstellung), bei der Protokollierung von Messdaten, Vorzeichenfehler, Programmierfehler in den Auswertprogrammen und dgl. mehr.

Die drei wichtigsten Gruppen von Eingangsdaten in diesem Zusammenhang stellen (1) die Regendaten, (2) die Oberflächendaten und (3) die Abflussmessdaten dar. Messergebnisse beschreiben Zufallsvariablen innerhalb Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen. Durch wiederholte Messungen können empirische Dichtefunktionen generiert und in weiterer Folge statistisch charakterisiert werden. Der exakte Wert einer zu messenden Variable kann somit angenähert, allerdings nicht eindeutig bestimmt werden (Gujer 2008). Unsicherheiten in den Modellparametern sind die am einfachsten bestimmbare Art von Unsicherheiten. Die Unsicherheit eines Modellparameters entspricht der Ungenauigkeit des Fehlers bei seiner Erhebung oder Messung (Kreikenbaum *et al.* 2004).

#### 8.1.1. REGENDATEN

Um Niederschlagsereignisse für siedlungswasserwirtschaftliche Modelle zu beschreiben, müssen gemäß Rauch *et al.* (2010) einerseits Abflussbildung sowie andererseits die damit in Zusammenhang stehende Abflusskonzentration in einem betrachteten Gebiet erfasst werden. Um Prozesse wie Muldenrückhalt, Infiltration oder Verwehungen innerhalb der Abflussbildung zu berücksichtigen sind eingehende Informationen zum Befestigungsgrad erforderlich. Der abflusswirksame Niederschlag ist dementsprechend jedenfalls geringer als der tatsächlich gefallene Niederschlag. Bereits einfache Modelle sind in der Lage das reale Abflussgeschehen gut darzustellen. Prozesse der Abflusskonzentration dienen der Beschreibung von Translation (zeitliche Verzögerung) und Retention (Verformung der Ganglinie) als weitere Einflussfaktoren bei der Entstehung des ausschlaggebenden Abflusses aus den jeweiligen Einzugsgebieten. In der Regel wird der Abfluss aus den Einzugsgebieten mittels Einheitsganglinien berechnet. Diese können durch unterschiedliche Modelle wie Einzellinearspeicher, Speicherkaskade oder Isochronenmethode dargestellt werden. Anhand von Einheitsganglinien wird festgehalten, welcher Abfluss aus dem Einzugsgebiet durch eine Einheit abflusswirksamen Niederschlags entsteht. Es gilt das Superpositionsprinzip zur anschließenden Bestimmung des gesamthaften, zu erwartenden Gebietsabflusses. Eine weitere, jedoch selten angewandte Möglichkeit zur Bestimmung des Oberflächenabflusses stellen Berechnungen der kinematischen Welle dar (Vereinfachung der Saint-Venant Gleichungen; basierend auf Energie- und Massenerhaltung).

Für Berechnungen zur Siedlungsentwässerung kommen unterschiedliche Datenformate mit Informationen hinsichtlich des maßgebenden Niederschlagsverhaltens im Berechnungsgebiet zum Einsatz (Regelung der Ermittlung und der entsprechenden Einsatzbereiche in EN 752 (2008) bzw. ÖWAV-Regelblatt 11 (2009), ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) oder DWA-A 118 (2006), DWA-A 531 (2012)):

- **Blockregen bzw. Regenspendenlinien:**  
Regenspendenlinien bilden statistische Auswertungen des realen Niederschlagsgeschehens einer Region. Um Ergebnisdaten von Regenspendenlinien nicht zu verfälschen wird eine angemessene Zeitspanne von aufgezeichneten Niederschlagsereignissen benötigt. Ausgehend von Regenspendenlinien werden Blockregen ermittelt, die mittlere Intensitäten innerhalb der ausgewerteten Dauer beschreiben.
- **Modellregen:**  
Im deutschsprachigen Raum sind vor allem Euler Typ II Regen sehr verbreitete Modellregen. Benötigte Daten dazu können aus tatsächlichen Regenaufzeichnungen oder statistischen Auswertungen gewonnen werden. Sie werden anhand von Regenspendenlinien mit ausgewählter Häufigkeit generiert – mittels Differenzbildung werden daraus Regenhöhen für entsprechende Zeitintervalle abgeleitet.
- **Starkregenserien:**  
Sie bestehen aus mehreren repräsentativen Regenereignissen, deren Auswirkungen im Kanalnetz getrennt simuliert werden (zur Begrenzung von Rechenzeiten). Dabei ist die Auswahl der repräsentativen Regenereignisse mit besonderer Sorgfalt zu treffen – sie erfolgt ähnlich wie eine Ermittlung von Regenspendenlinien (Rauch und Toffol 2005).

Moderne Methoden zur punktuellen Messung von Regenereignissen beruhen laut Gujer (2007) auf elektronischen Messgeräten und

Datenspeicherung. Heute eingesetzte Messsysteme basieren auf Waagen (Gewichtswaagen) und Wippen (Kippwaagen).

Kippwaagen gelten als weniger zuverlässig bei der Aufzeichnung starker Regenintensitäten als Gewichtswaagen. Neuere Messinstrumente funktionieren mit optischer Erfassung von Regentropfen und deren Größe (Leonhardt 2014).

Hoppe (2006) hat bei Messungen mit zwei direkt nebeneinander positionierten Wipp- Systemen Abweichungen von 5 - 25 %, insbesondere bei Starkniederschlagsereignissen – wie sie für eine Kalibrierung der Modelle erforderlich sind – festgestellt. In Summe war am Ende der Messperiode von 3 Monaten eine Differenz von 4,4 % an aufgezeichnetem Niederschlag zu verzeichnen. Er führt folgende Ursachen für systematische Messfehler an:

- Windfehler (Abdrift der Regentropfen)
- Spritzwasserverluste
- Benetzungsverluste
- Verdunstung (in Sammelkannen oder bei beheizten Niederschlagsschreibern)
- Mechanische Fehler des Wippensystems (Kalibrierung, etc.)
- fehlerhafte Messgeräteinstallation (Schrägstellung, etc.)
- Fehler bei der zeitlichen Zuordnung

Zusätzlich wurden auch bei der Weiterverarbeitung der Messdaten zufolge Auswertung mittels Softwareanwendungen Abweichungen festgestellt. Dabei lagen die mit Softwareanwendungen ausgewerteten Niederschlagssummen bis zu 23,3 % unter den Ergebnissen einer Rohdatenauswertung. Solche Abweichungen gründen auf programminterner Rohdatenauswertung, beispielsweise mit Intervallschranken und wirken sich insbesondere für hohe Niederschlagsintensitäten negativ auf die so erhaltenen Auswertungsergebnisse aus. Derartige Fehler bei der Messdatenverarbeitung sind als systematische Fehler einzustufen. Grundsätzlich wichtig ist eine adäquate Kalibrierung der verwendeten Messgeräte, da mögliche Unsicherheiten ohne Berücksichtigung von Korrekturfaktoren zunehmen.

Hoppe (2006) weist des Weiteren darauf hin, dass Angaben zu Unsicherheiten verursacht durch Windfehler sowie aufgrund von Spritzwasser für Messgeräte basierend auf Gewichtswaagen und Wippsystemen identisch sind. Gemäß WMO-No.8 (2008) verursachen Windfehler Unsicherheiten in Größenordnung von 2-10 % des gemessenen Niederschlags bei Regen (steigt das Gewicht der Regentropfen, nimmt der zugehörige Windfehler zufolge Sevruk (2002) ab) – bei Schneefall steigen sie auf 10-50 % an (WMO-No.8 2008). Eine Reduktion von Windfehlern kann durch niedrigere Installationshöhen der Messgeräte (geringere Windgeschwindigkeiten in Bodennähe), Positionierung der Messsysteme in windgeschützter Lage oder Verwendung von Geräten mit Windschild erzielt werden (Sevruk 2002). Spritzwasserverluste liegen laut WMO-No.8 (2008) in der Regel zwischen 1-2 %, Benetzungsverluste liegen typischerweise im Bereich von 2-15 % im Sommer und 1-8 % im Winter. Durch Verdunstung in Sammelkannen werden je nach Klima Fehler von 0-4 % verursacht. La Barbera *et al.* (2002) ermittelten anhand zahlreicher Untersuchungen zu mechanischen Fehlern bei Messwippen eine Größenordnung von diesbezüglich auftretenden Fehlern mit ca. 10 %.

Abbildung 127 zeigt einen Vergleich der Summenlinien von drei Niederschlagsmessungen eines alpinen Einzugsgebietes, welche in einem Abstand von ca. 3 km zueinander installiert wurden. Es wurden die 10 stärksten Regenereignisse eines Jahres aufgetragen. Es kann hier eindeutig der Unterschied im Volumen erkannt werden. Auch wenn man die Spitzenwerte sowie die zeitliche Verteilung der Spitzen (Abbildung 128) derselben Regenereignisse betrachtet, sieht man erhebliche Unterschiede. Eine Regenmessung an einem Ort mit einem Regenmessgerät scheint daher nicht ausreichend bzw. zielführend zu sein (Kleidorfer *et al.* 2014).

Quirnbach und Schultz (2002) verglichen punktuelle Niederschlagsmessungen mit RegenradarDaten. Sie haben festgestellt, dass für eine plausible Erfassung der räumlichen Niederschlagsverteilung eine Messeinrichtung pro 16 km<sup>2</sup> erforderlich ist. Zusätzlich sollte die Messung nicht weiter als 4 km vom Einzugsgebiet entfernt sein. Falls dies nicht gewährleistet ist, empfehlen sie einen Abgleich mit RegenradarDaten. Dabei weisen sie jedoch darauf hin, dass diese Vorgangsweise nur sinnvoll ist, wenn sich in der Nähe des Einzugsgebietes eine Regenradarstation befindet, da Regenradarmessungen mit zunehmender Entfernung weniger präzise Rückschlüsse auf die tatsächlichen Begebenheiten erlauben. Auch ein Abgleich und Datenverbesserung mittels Messungen mit Telekommunikationswellen (Fencl *et al.* 2013) ist eine Möglichkeit.

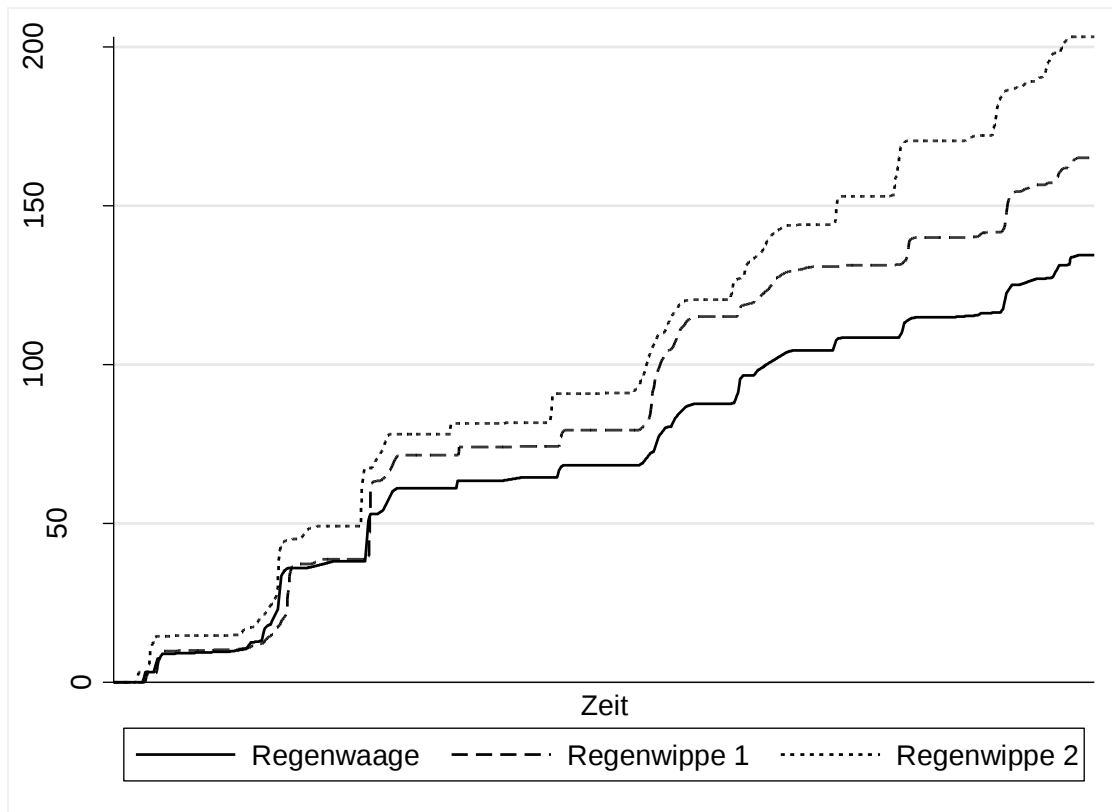


Abbildung 127: Kumulative Niederschlagsmenge von drei Regenmesseinrichtungen (eine Regenwaage und 2 Wippen) in einem alpinen Einzugsgebiet für 10 Regenereignisse

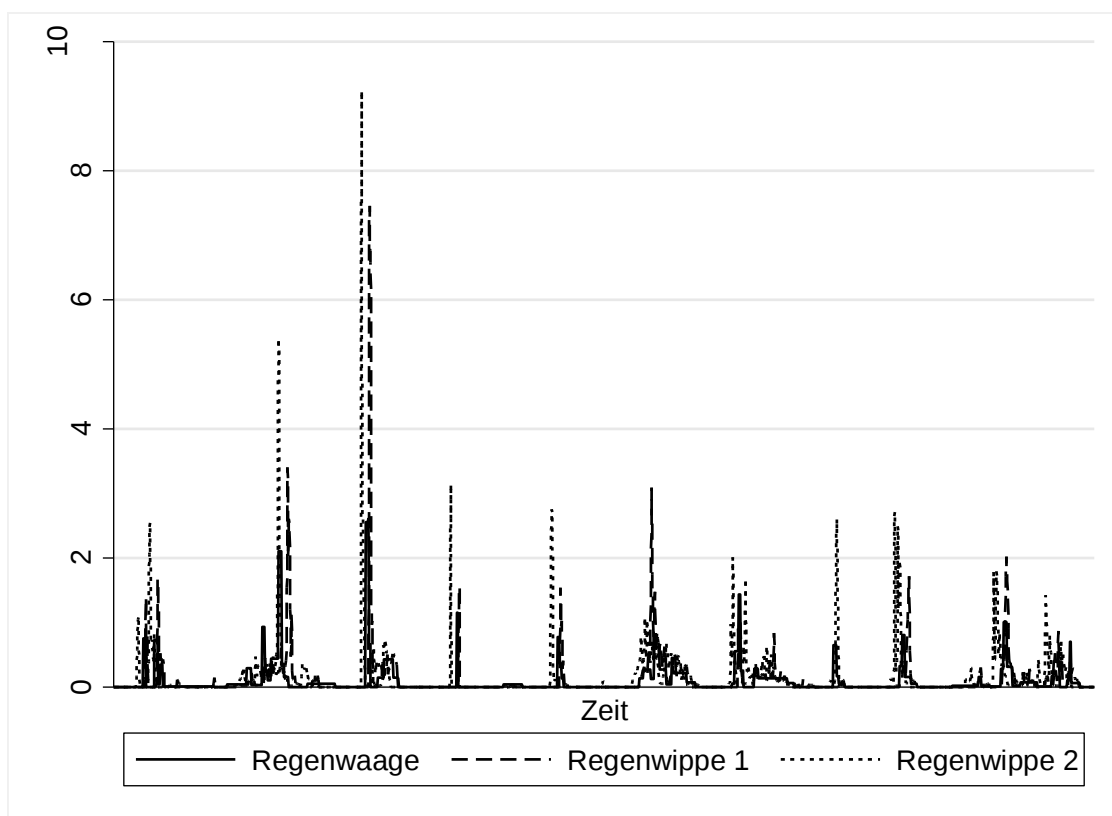


Abbildung 128: Niederschlagswerte (5 min Intervalle) von drei Regenmesseinrichtungen (eine Regenwaage und 2 Wippen) in einem alpinen Einzugsgebiet für 10 Regenereignisse

Die Funktionsweise von Regenradarmessungen beruht auf Mikrowellenimpulsen, wobei sowohl die Zeit zwischen Aussendung und Empfang von durch Niederschlagsteilchen reflektierten Pulsen, als auch entsprechende Intensitäten der empfangenen Signale gemessen und ausgewertet werden.

Messungen mittels Niederschlagsradar bergen Unsicherheiten wie:

- Radarstrahl überschießt bodennahe Echos in großer Entfernung (aufgrund der Erdkrümmung)
- Verdunstung des Niederschlags in geringer Höhe über dem Boden
- Orographisch bedingte Zunahme der Niederschlagsintensität
- Objekte mit einer sehr großen Reflektivität schatten Regionen dahinter ab (Berge oder starke Niederschläge)
- Die Intensität von Nieselregen wird oft unterschätzt, da dessen Regentröpfchen sehr klein sind
- Der Radarstrahl kann an Luftmassengrenzen gebeugt werden

Zufolge Einfalt *et al.* (2004) kann die räumliche Niederschlagsverteilung durch Miteinbeziehen von Regenradarmessungen besser erfasst werden. Da Unsicherheiten für Regenradarmessungen bei stärkeren Regenintensitäten ansteigen, gilt es spezifische Messkampagnen mit Regenwaagen oder Regenwippen und Radarmessungen in Kombination zu verwenden um optimale Ergebnisse zu erhalten. Eine Berücksichtigung von Regenradarmessungen birgt auch weitere Quellen von Unsicherheiten bei Modellen der Siedlungsentwässerung – speziell im Bereich von Transportmodellen kleinerer Regionen (Carpenter und Georgakakos 2004).

Abbildung 129 zeigt die Unterschiede, welche durch die verschiedenen Arten der Messung und der Verteilung des Regens auf das Einzugsgebiet und somit auch auf das Modell entstehen können. Das Niederschlagsregime vor allem im alpinen Raum ist deutlich durch die Topografie geprägt (Mikovits *et al.* 2015a). Eine einfache Interpolation von verschiedenen Regenschreibern (z. B. mithilfe von Voronoi-Polygonen (Muthusamy *et al.* 2015)) liefert ganz andere Ergebnisse als eine Aufteilung mithilfe von Rastern z. B. dem INCA-Klimawandelraster von 2002 bis 2012 der ZAMG (Mikovits *et al.* 2015a) oder Regenradardaten.

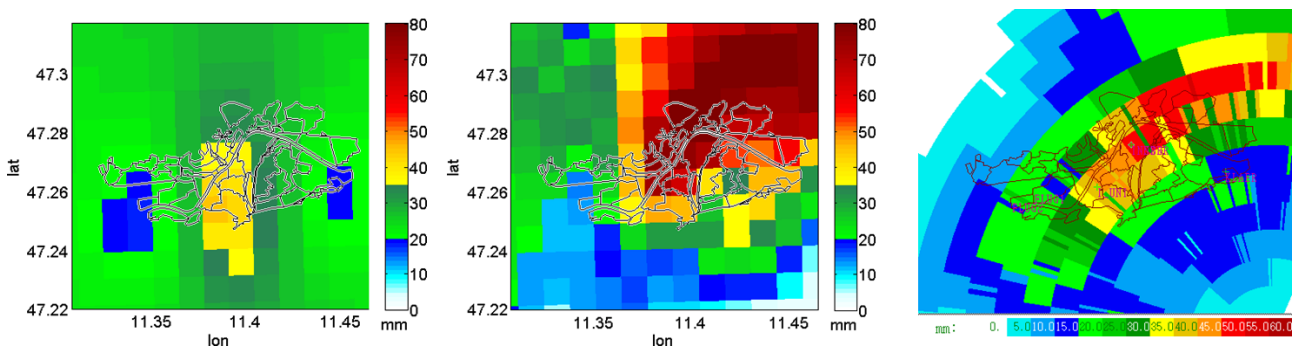


Abbildung 129: Unterschiede durch verschiedene Erfassung und Aufteilung von Regendaten: Interpolation von 4 Regenschreibern (links), Interpolation der 4 Regenschreiber mithilfe des INCA-rasters (Mitte) und Regenradardaten (Rechts) (Mikovits *et al.* 2015b)

Kleidorfer (2009) identifiziert Unsicherheiten in Niederschlagsdaten als äußerst signifikante Einflussfaktoren für Modellergebnisse, da diese die Ausgangslage für Berechnungen von Siedlungsentwässerungen darstellen. Von wesentlicher Bedeutung sind allerdings auch Unsicherheiten in den Eingangsdaten zufolge Reduzierung räumlicher oder zeitlicher Datenverteilungen (z. B. durch punktuelle Aufzeichnung von Niederschlagsdaten an separaten Messstellen, die unter Umständen nicht repräsentativ für die Niederschlagsverteilung im gesamten Untersuchungsgebiet sind – vor allem bei großen Gebieten mit wenigen Messstellen). Muthusamy *et al.* (2015) zeigen, dass es selbst bei kleinen Einzugsgebieten (unter 10km<sup>2</sup>) zu erheblichen Unterschieden in der Regenintensität kommen kann. In diesem kleinen Gebiet unterschied sich der ermittelte Spitzenabfluss (m<sup>3</sup>/s) bei Messung mit einem Regenmesser zur Messung mit 8 verteilten Regenmessern um bis zu 21,6%.

Bei der Nutzung von Modellregen (z. B. Euler Typ II Regen aus den Daten der ehyd) kann es auch zu erheblichen Unterschieden im ermittelten Überstauvolumen nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) kommen. Abbildung 130 zeigt die Auswirkungen der Wahl dieser Rasterpunkte auf das ermittelte Überstauvolumen eines kalibrierten Modells. Es wurde für die 16 zum Einzugsgebiet nächstgelegenen Rasterpunkte das Überstauvolumen für verschiedene Jährlichkeiten (von 1 – 10 Jahren) ermittelt. Dabei zeigt sich, dass der Überstau nachweis (ÖWAV-Regelblatt 11 2009) für ländliche Gebiete mit Wiederkehrzeit von 2 Jahren nicht für alle 16 Punkte eingehalten werden kann sondern nur für einige. Daher muss auf die Wahl des Rasterpunktes große Sorgfalt gelegt werden, bzw. könnte ein Verschieben der Rasterpunkte über die geographische Lage (z. B. Voronoi-Polygone) angedacht werden.

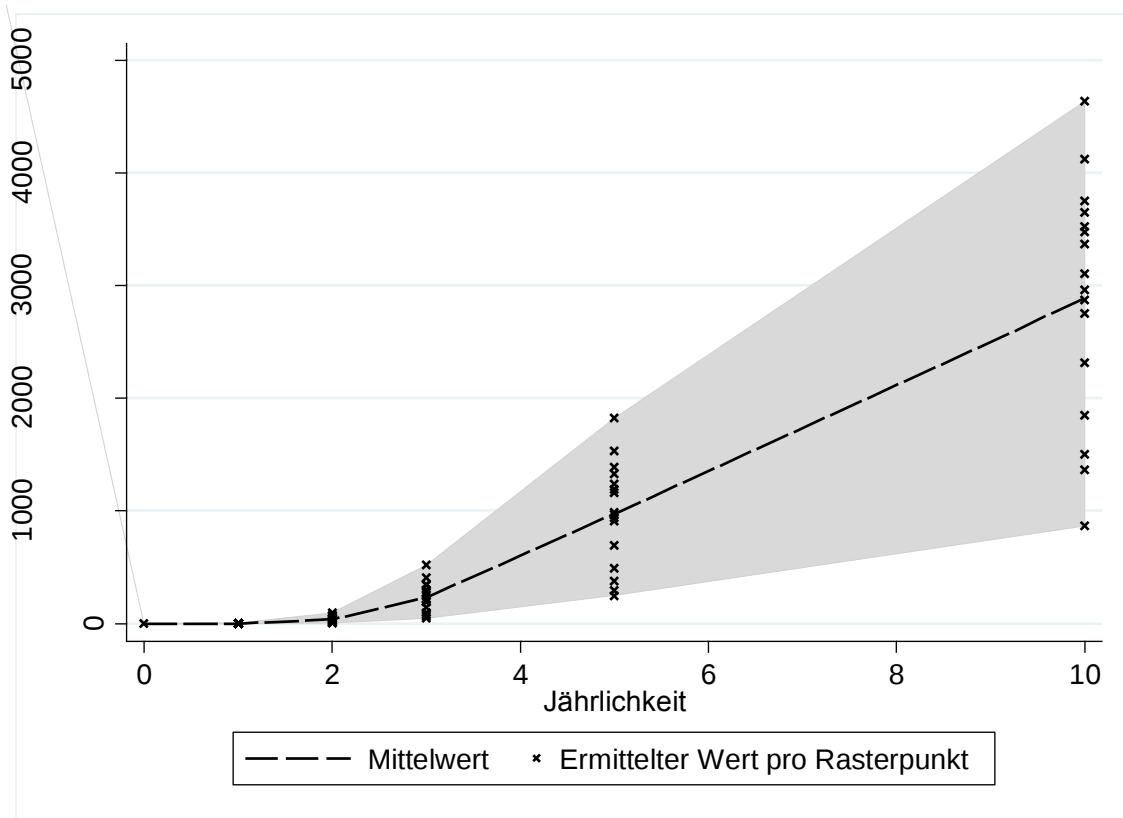


Abbildung 130: Ermittelter Überstauvolumen für ein kalibriertes Kanalnetz in Abhängigkeit von den gewählten Rasterpunkten zur Ermittlung des Euler-Typ II Regens für Jährlichkeiten von 1 -10

Allerdings sind Messungenauigkeiten von Niederschlagsdaten nicht ausschlaggebend, wenn für Kalibrierung und Prognose dasselbe Messinstrument verwendet wird (was jedoch nicht zwangsläufig immer zutrifft). Systematische Unter- oder Überschätzung beispielsweise von Niederschlagsdaten kann im Zuge der Kalibrierung durch Berücksichtigung möglicher Unsicherheiten (Sensitivitätsanalyse erforderlich) kompensiert werden. Je nach Art der Fehler in den Eingangsdaten führen auftretende Unsicherheiten gegebenenfalls jedoch zu einer Beeinträchtigung der gesamten Verteilung anderer Parameter bzw. von Berechnungsergebnissen – z. B. zufällige Fehler bei Niederschlagsdaten und ihr Einfluss auf einen Modellparameter des Schmutzstoffmodells (Kleidorfer 2009).

### 8.1.2. OBERFLÄCHENDATEN (Z. B. BEFESTIGUNGSGRAD)

Für eine hydrodynamische Modellierung ist die detaillierte Information über die Versiegelung der Oberfläche genauso wichtig wie die Charakterisierung des Regens sowohl für die Kalibrierung von Modellen als auch für die zukünftige Planung. Dabei muss für jedes Teileinzugsgebiet eines Kanalisationsschachtes der Befestigungsgrad (Anteil versiegelter Fläche zur Gesamtfläche) ermittelt werden. Des Weiteren ist die Erhebung des Gefälles empfehlenswert sofern kein digitales Geländemodell (z.T. als Open-Source verfügbar) vorliegt. Für die Erhebung dieser Daten existieren verschiedene Methoden:

- Bestimmung anhand des Katasterplans mit oder ohne Begehung
- Statische bzw. manuelle Satellitenbilddauswertung
- Automatische Satellitenbilddauswertung

Die Werte weichen aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden z.T. stark voneinander ab. Tabelle 33 zeigt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Methoden bei der Ermittlung des Befestigungsgrades aus der Studie von Krejci (1994). Zeisl *et al.* (2015) beschäftigten sich mit der Frage welchen Einfluss der Detailgrad der Erhebung der undurchlässigen Flächen auf die Abflussbildung hat. Von den vier möglichen Abstraktionsstufen (Einzugsgebiets-, Teileinzugsgebiets-, Grundstücks- und atomarer Ebene) wurden drei betrachtet – von Teileinzugsgebiets- bis zu atomarer Ebene (vgl. Abbildung 131). Die Teileinzugsgebiets-ebene nutzt Cluster von Flächen mit ähnlichen Eigenschaften, welche dann auf Grundstücksebene aufgelöst werden mit einer Unterscheidung zwischen Straßen und Grundstücken um dann mittels händischer Bearbeitung eines Orthofotos detailliert die einzelnen Dächer, Straßen usw. aufzulösen. Für den Vergleich wurde eine hydrodynamische Simulation mit gemessenen Regendaten über einen Zeitraum von 7 Monaten durchgeführt und der Abfluss im Anschlusspunkt verglichen (Abbildung 131 zeigt das Ergebnis eines ausgewählten Regenevents). Dabei

zeigte sich, dass es nur geringe Unterschiede im Abfluss gibt. Der Vergleich zeigte, dass in der Gesamtmenge des Abflusses kaum Unterschiede zu sehen sind aber signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Zeitschritten. Dies liegt vor allem daran, dass bei den detaillierteren Modellen die Spitze des Abflusses schneller am Anschlusspunkt ankommt als bei den größeren Modellen.

Tabelle 33: Ergebnisabweichungen bei der Erhebung des Befestigungsgrads zufolge Erhebungsmethoden nach Krejci (1994)

| Methode                            | Befestigungsgrad [-] |
|------------------------------------|----------------------|
| Digitalisieren von Planunterlagen  | 0,32 (keine Angabe)  |
| Arealstatistik                     | 0,33 ( $\pm 0,11$ )  |
| Statistische Luftbilddauswertungen | 0,44 ( $\pm 0,04$ )  |
| Maximum Likelihood *               | 0,27 ( $\pm 0,04$ )  |
| Binärhierarchisch                  | 0,36 ( $\pm 0,05$ )  |
| Empirische Funktionen *            | 0,43 ( $\pm 0,06$ )  |

\* Satellitenbilddauswertung

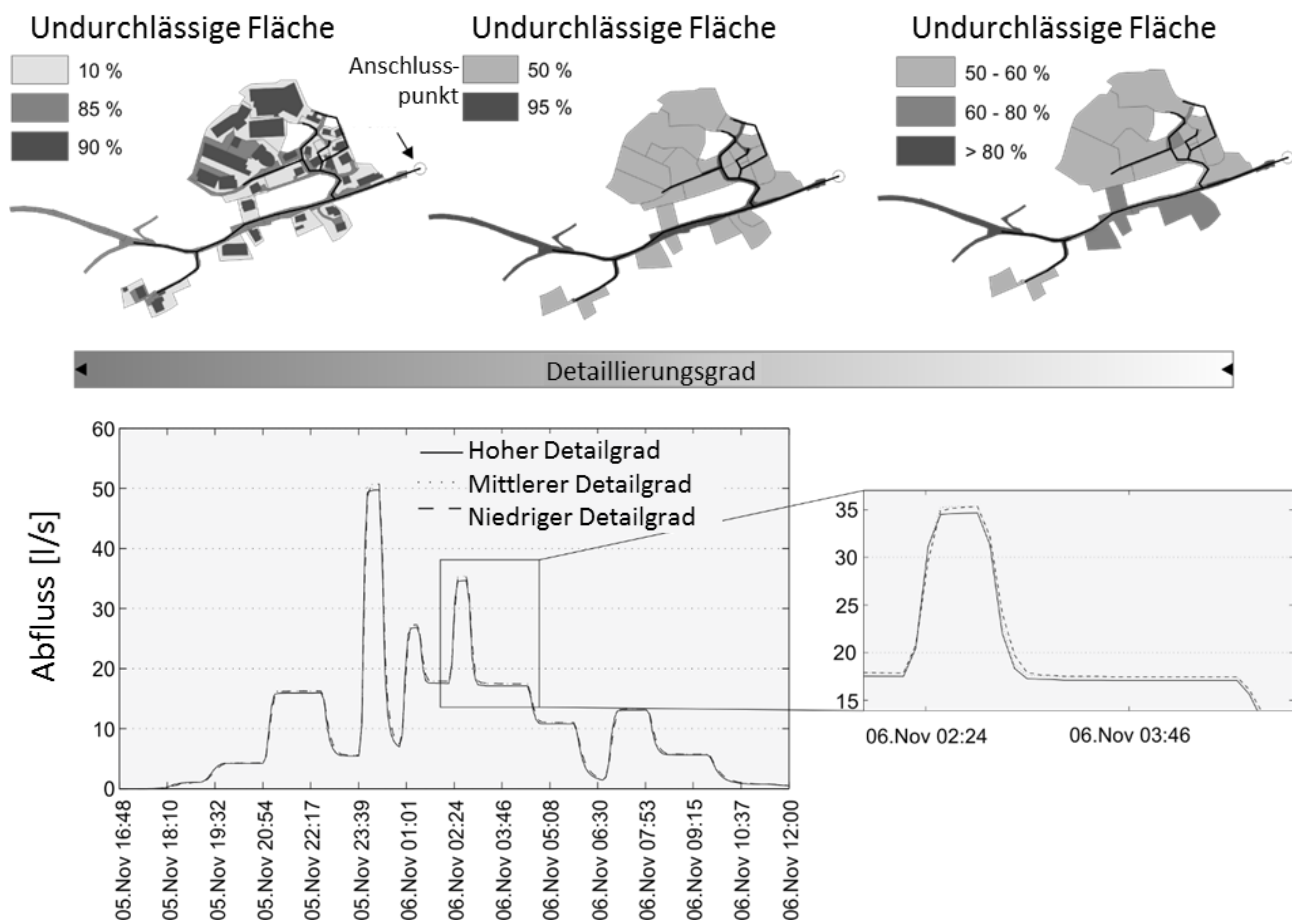


Abbildung 131: Detailgrad der betrachteten Modelle und die Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss eines Regenevents (Zeisl *et al.* 2015)

Die Notwendigkeit der genaueren Erfassung hängt daher vom Einsatzgebiet der Simulation ab. Wenn rein die Abwassermenge gefragt ist, kann ein größeres Modell ausreichen. Für genauere Aussagen im Einzugsgebiet (z. B. für Regenwassernutzung etc.) ist aber ein genaueres Oberflächenmodell vonnöten.

### 8.1.3. ABFLUSSMESSDATEN

Da Abfluss- bzw. Wasserstandsmessungen (wie auch Regenmessungen) für die Kalibrierung von hydrodynamischen Modellen notwendig sind, haben sie einen höheren Einfluss auf das Modell als andere Eingangsdaten, bei denen die Unsicherheiten zum Teil (z. B. bei Oberflächendaten wie dem Anteil der undurchlässigen Flächen) mit der Kalibrierung vermindert bzw. kompensiert werden können. Abbildung 132 zeigt die Auswirkung solcher Messfehler auf den Überstaunachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009). Der Nachweis wurde für drei Modelle geführt unter Nutzung eines Euler-Typ II Modellregens. Einmal mit einem Modell das auf die aktuellen Messungen kalibriert wurde und jeweils mit einem Modell das auf fehlerhafte Messungen von + bzw. - 30% kalibriert wurde. Man sieht, dass diese Fehler erhebliche Einflüsse auf die Modellperformance haben. Während bei +30% schon ab einer Jährlichkeit von 1 Überstau auftritt, gibt es diesen bei -30% erst ab einer Jährlichkeit von 5.

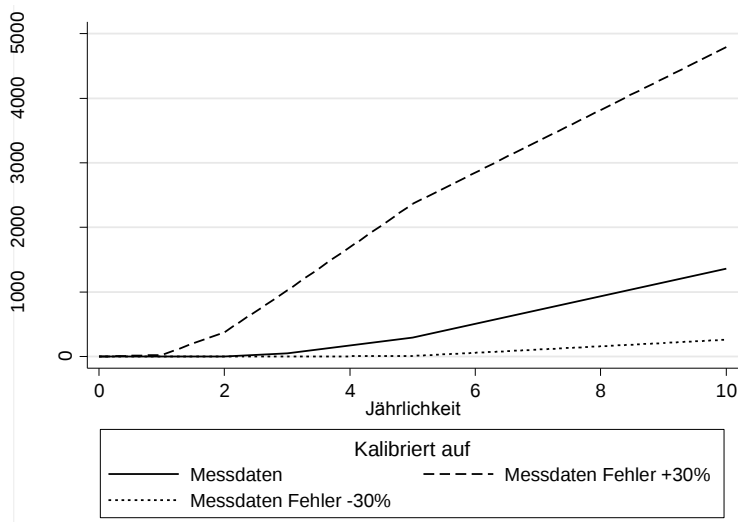


Abbildung 132: Auswirkung von Messfehlern auf den Überstaunachweis

## 8.2. UNSICHERHEITEN HINSICHTLICH DER KALIBRIERUNG

Im Zuge der Kalibrierung soll eine Divergenz zwischen aufgezeichneten Ereignissen sowie dabei aufgetretener Begebenheiten (je nach Zweck der Modellberechnung) und den Modellsimulationen minimiert werden (Kleidorfer 2009). Unsicherheiten der Kalibrierung resultieren aus den zur Kalibrierung eingesetzten Daten, deren Auswahl und den bei der Kalibrierung eingesetzten Methoden (Leonhardt 2014).

Gemäß Kleidorfer *et al.* (2011) ist diese Art von Unsicherheiten in einem siedlungswasserwirtschaftlichen Modell überwiegend auf die Verfügbarkeit von adäquaten Kalibrierungsdaten zurückzuführen. Dabei unterscheiden sie zwischen zeitlicher und örtlicher Datenverfügbarkeit. Entsprechend sollte die Kalibrierung anhand von Langzeitreihen erfolgen, um eine Verfälschung durch nicht repräsentative Niederschlagsereignisse zu vermeiden. Sollte aufgrund beschränkter Datenverfügbarkeit dennoch eine Kalibrierung anhand von Einzelereignissen unumgänglich sein, müssen diese mit äußerster Sorgfalt bestimmt werden. Bezüglich der erforderlichen räumlichen Auflösung von Kalibrierungsdaten bestehen Untersuchungen hinsichtlich des erforderlichen Datenumfanges für unterschiedliche Systemparameter (z. B. für „Entlastungsvolumina“ 30 – 50 % der Mischwasserüberläufe und für „Anzahl der Überläufe“ 70 – 80 % der Mischwasserüberläufe). Sie haben in weiterer Folge gezeigt, dass sich insbesondere Unsicherheiten bei der Kalibrierung nachteilig auf Berechnungsergebnisse eines Modells auswirken. Demzufolge ist es möglich, dass angestrebte Abschätzungen von Abläufen, bei zu geringer Datendichte für eine adäquate Kalibrierung, außerhalb des Kalibrierungszeitraums nur mangelhafte Aussagekraft aufweisen. Des Weiteren weisen sie auf einen diesbezüglich signifikanten Zusammenhang mit der räumlichen Regenverteilung hin (Unsicherheiten von Eingangsdaten). Weisen die bei der Kalibrierung verwendeten Daten bzw. Parameter nicht die benötigte Detailliertheit bzw. Aussagekraft auf, weichen die im Zuge der Simulation angestellten Prognosen gegebenenfalls stark von real möglichen Situationen ab.

Abbildung 133 zeigt die Auswirkung der Wahl des Niederschlagsereignisses für die Kalibrierung auf den Überstaunachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009). Der Nachweis wurde für 12 Modelle geführt unter Nutzung eines Euler-Typ II Modellregens. Als Ausgangspunkt wurde das unkalibrierte Modell genutzt und mit dem kalibrierten Modell mittels 10 Regenereignissen verglichen. Nachher wurde eine Kalibrierung auf jedes dieser Regenereignisse einzeln durchgeführt um die Schwankungsbreite zu zeigen. Die Unterschiede sind zum Teil erheblich. Daher ist eine Kalibrierung mit mehreren ausgewählten Ereignissen notwendig.

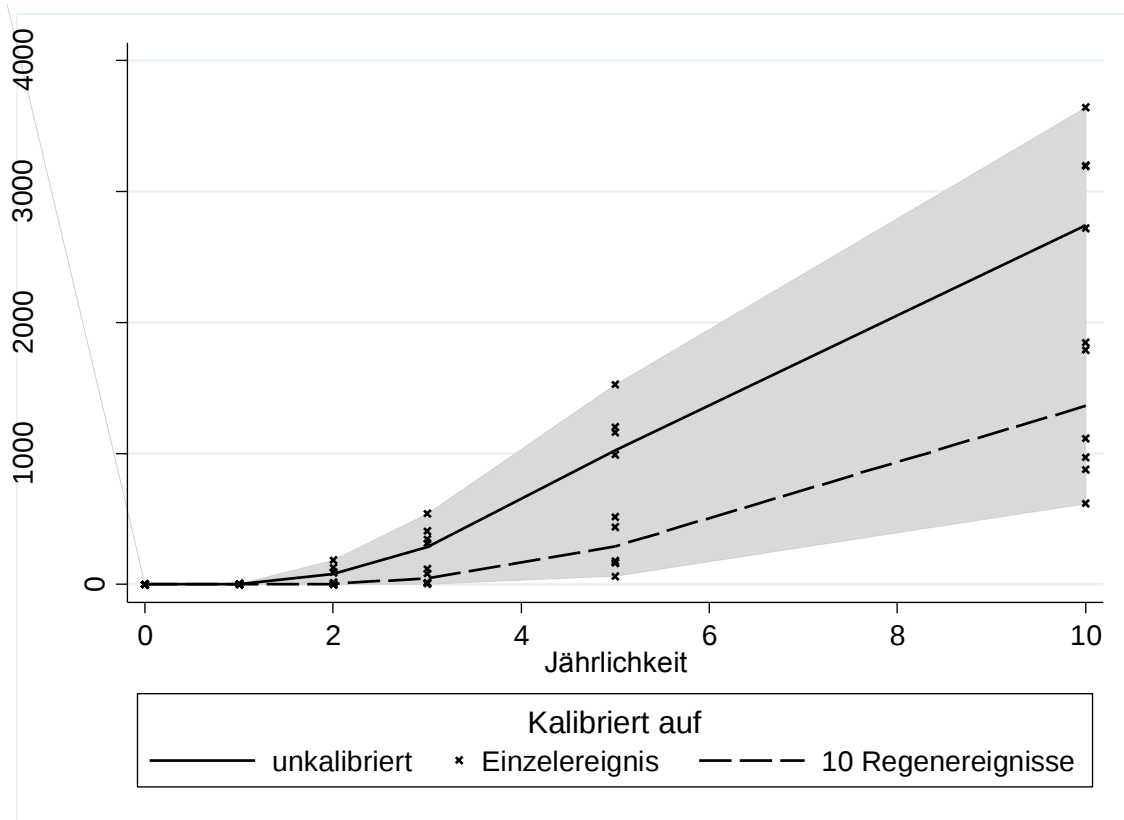


Abbildung 133: Auswirkung der Kalibrierung mittels unterschiedlicher Regenereignisse auf den Überstaunachweis

Unter Parameterunsicherheit versteht man Ungenauigkeiten in den Modellergebnissen aufgrund der Wahl von Modellparametern. Zu beachten ist hier, dass sich Unsicherheiten in den Daten auf die Bestimmung der Kalibrierungsparameter niederschlagen können. Ein kalibriertes Modell sollte daher auf jeden Fall auch validiert werden, d.h. es sollten auch Rechenläufe durchgeführt werden wo Modellausgaben mit Messdaten verglichen werden, die nicht zur Kalibrierung verwendet wurden (Split-Sample Validation).

Häufig können unterschiedliche, zusammenhängende Kalibrierungsparametersätze ähnlich gute Ergebnisse hinsichtlich Modellübereinstimmung mit gemessenen Ereignissen erzielen. Eine derartige Streuung kann durch die Kalibrierung auf nichtlineare Funktionen, mit lokalen anstatt globalen Minima beruhen – ist dies der Fall, scheitert die Kalibrierung (wenn keine weiteren Spezifikationen ange stellt werden). Deshalb ist es von wesentlicher Bedeutung im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse die wahrscheinlichste Parameterverteilung zu bestimmen. Hierbei wird die Sensitivität einer Simulation bezüglich der im Modell vorhandenen bzw. verwendeten Parameter analysiert – bei komplexeren Modellstrukturen soll die Sensitivitätsanalyse unbedingt auf Eingangsdaten ausgeweitet werden. Wichtig ist es dabei auch der Interaktion von Eingangs- und Kalibrierungsdaten Rechnung zu tragen (Kleidorfer 2009).

### 8.3. UNSICHERHEITEN IN DER MODELLSTRUKTUR

Unsicherheiten in der Modellstruktur entstehen, wie Kreikenbaum *et al.* (2004) beschreiben, überwiegend beim Abstrahieren des realen Systems (Vereinfachungen und Idealisierungen) sowie durch das Ausdrücken relevanter Prozesse in mathematischen Gleichungen. Unsicherheiten in der Modellstruktur lassen sich demzufolge wiederum in 3 Kategorien unterteilen:

- Unsicherheiten in der Berücksichtigung relevanter Variablen und Prozesse
- Unsicherheiten bei der Prozessformulierung
- Unsicherheiten bei der Systemdefinition (räumliche und zeitliche Auflösung der zu untersuchenden Entwässerungssysteme und der dabei relevanten Prozesse)

Es besteht also ein signifikanter Zusammenhang zwischen Unsicherheiten in der Modellstruktur und Unsicherheiten in Modelleingangsdaten bzw. -parametern (siehe: Berücksichtigung von Variablen und Prozessen bzw. räumliche und zeitliche Auflösung von Prozessen). Von besonderer Bedeutung in der Siedlungsentwässerung ist dabei die räumliche Repräsentation der Einzugsgebiete. Zur Abschätzung der Größenordnung strukturell bedingter Fehler werden konkurrierende Modelle und unter Umständen Computerpro-

gramme untereinander verglichen, da bei kommerziellen Softwareanwendungen in der Regel eine grundsätzliche, ausgesuchte Modellstruktur vorgeben ist (Kreikenbaum *et al.* 2004). Daher ist darauf zu achten, dass bei einem Wechsel des Programms bzw. auch bei einem Versionswechsel die Kalibrierung zu aktualisieren ist.

Kleidorfer *et al.* (2011) bemerken, dass Unsicherheiten in der Modellstruktur gegenüber Unsicherheiten der Kalibrierung einen eher geringen Stellenwert einnehmen. Diese Feststellung basiert auf Kompensation von Modellstrukturunsicherheiten durch eine modellspezifische Kalibrierung – ein Parameter muss, auch bei gleichen Grundvoraussetzungen, für jedes Modell im Speziellen kalibriert werden.

## 8.4. UNSICHERHEITEN BEI PROGNOSEN EXTERNER EINFLÜSSE

Dabei handelt es sich um Unsicherheiten, die beispielsweise aus der Vorhersage zukünftiger Entwicklungen im Untersuchungsgebiet resultieren (Einwohnerzahl, Abwasserzusammensetzung, Auswirkung technischer Neuerungen, Klimawandel, etc.). Unrealistische Annahmen können die Simulation bzw. eine damit einhergehende Maßnahmenplanung maßgebend beeinträchtigen. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Prognosen externer Einflüsse auf ein siedlungswasserwirtschaftliches Modell zu überprüfen muss ein Vergleich verschiedener Szenarien erfolgen (Kreikenbaum *et al.* 2004).

So kann festgestellt werden welche Prognosen von besonderer Relevanz für die Modellergebnisse sind und dementsprechend intensiv verifiziert werden sollen. Anhand dessen gilt es das Maß an Unsicherheiten dieser Art möglichst zu minimieren, da eine genaue Erfassung zukünftiger Einflüsse bzw. Ereignisse in vielen Fällen nicht möglich ist.

## 8.5. UNSICHERHEITEN NUMERISCHER LÖSUNG ZU MODELLGLEICHUNGEN

Sie entstehen, da eine analytische Lösung bei Modellrechnungen nur in seltenen, speziellen Einzelfällen stattfinden kann (Kreikenbaum *et al.* 2004). Deshalb ist in der Regel eine numerische Lösung erforderlich. Gewöhnlich, so halten sie fest, ist diese Art der Unsicherheiten bei siedlungswasserwirtschaftlichen Modellen im Verhältnis zu Unsicherheiten anderen Ursprungs vernachlässigbar.

## 8.6. UNSICHERHEITSANALYSEN IN DER PLANUNGSPRAXIS

Derzeit werden Unsicherheitsanalysen zu Modellen von Siedlungsentwässerungen überwiegend in der Wissenschaft angewandt (Kleidorfer *et al.* 2011; Vanrolleghem *et al.* 2011).

Anhand der angeführten Erläuterungen ist jedoch bereits erkennbar, dass eine Implementierung entsprechender Analysen sowie die Kommunikation etwaiger Unsicherheiten sowohl gegenüber Entscheidungsträgern als auch der Öffentlichkeit in der Planungspraxis von essentiellern Belang sind. Daher sollte die Aufbereitung von in der Wissenschaft angewandten Methoden und die Generierung entsprechender Softwarewerkzeuge für in der Ingenieurspraxis umsetzbare Unsicherheitsanalysen als weitere Zielsetzung gelten (Kleidorfer *et al.* 2011).

Grundsätzlich kann man zwei Verfahrensgruppen der Unsicherheitsanalyse unterscheiden:

- Vorwärtsmodellierung
- Inverse Modellierung

Sowohl zur Vorwärtsmodellierung als auch zur inversen Modellierung existieren zahlreiche Methoden unterschiedlicher Detailliertheit (z. B.: GLUE – Generalized Likelihood Uncertainty Estimation – nach Beven und Binley (1992), AMALGAM – a multi-algorithm, genetically adaptive multiobjective method – nach Vrugt und Robinson (2007); BATEA – Bayesian Total Error Analysis – nach Kuczera *et al.* (2006)). Die Auswahl der Methodik hängt insbesondere von Fragestellung, Datenverfügbarkeit und Modelllaufzeit ab. Bei der Vorwärtsmodellierung werden anhand von (gegebenen) Unsicherheiten (Daten, Parameter, Randbedingungen, etc.) Beeinflussungen der Modellergebnisse überprüft. Dabei kommen beispielsweise einfache Fehlerfortpflanzungsgleichungen oder aufwändige, „Monte Carlo“-basierte Methoden mit statistischer Auswertung der Simulationsergebnisse zum Einsatz.

Funktionsprinzip einer „Monte Carlo“-Simulationsroutine gemäß Deletic *et al.* (2012): Gemessene Variablen werden mit einem Faktor  $ID_{\text{Faktor}} = f(\delta, \epsilon)$  multipliziert, wobei  $\delta$  eine systematische Variabilität und  $\epsilon$  eine zufällige Variabilität darstellt. Somit wird beispielsweise ein Eingangsdatenfehlermodell mit zwei zusätzlichen Parametern  $\delta$  und  $\epsilon$  eingeführt.

Im Zuge einer inversen Modellierung soll in der Regel die Ermittlung von Modellparametern oder deren Verteilung erfolgen – Model-  
lsergebnisse werden mit Messdaten verglichen und so etwaige Unsicherheiten bestimmt. Sinnvollerweise werden inverse Modellierung  
und Vorwärtsmodellierung häufig in Kombination verwendet. In diesem Fall erfolgt in einem ersten Schritt eine Bestimmung von  
Unsicherheiten in Modellparametern mittels geeigneter Referenz- bzw. Kalibrierungsperioden (Messdaten sind verfügbar). Danach  
werden die somit erhaltenen Ergebnisse durch Methoden der Vorwärtsmodellierung auf den Prognosezeitraum, zu dem keine Messda-  
ten generierbar sind, übertragen (Kleidorfer *et al.* 2011).

Kenntnis der Parametersensitivität ist essentiell für das Verständnis des Modellverhaltens und unterstützt sowohl eine adäquate Mo-  
dellkalibrierung als auch eine spezifische Datenerhebung. Daher erfolgt eine Analyse der Parametersensitivität in der Regel während  
der Modellerstellung. Es gilt dabei Veränderungen der Modellergebnisse zufolge von Variationen bei Modellparametern oder einge-  
setzten Daten zu untersuchen, mit dem Ziel der Unterscheidung von modellbeeinflussenden Parametern und anderen ohne große Ein-  
flussnahme im konkreten Modell. Anhand dessen kann festgelegt werden welche Daten erhoben werden und gegebenenfalls sorgfältig  
analysiert werden müssen, bzw. bei welchen Daten eine entsprechende Abschätzung ausreicht.

Da die prägenden Parameter individuell vom Modell abhängen, beinhalten Modelle, bestehend aus  $i$  Untermodellen (mit jeweils  $n$   
Parametern) dementsprechend  $n$  mal  $i$  Parameter (Kleidorfer 2009). Unter Parameterunsicherheit versteht man Ungenauigkeiten in den  
Modellergebnissen aufgrund der Wahl von Modellparametern. Zu beachten ist hier, dass sich Unsicherheiten in den Daten auf die  
Bestimmung der Kalibrierungsparameter niederschlagen können. Ein kalibriertes Modell sollte daher auf jeden Fall auch validiert  
werden, d.h. es sollten auch Rechenläufe durchgeführt werden wo Modellausgaben mit Messdaten verglichen werden, die nicht zur  
Kalibrierung verwendet wurden (Split-Sample Validation).

Im Idealfall kann die Kalibrierung zur Bestimmung der Parameter sowie die Validierung mit Ereignissen ähnlicher Charakteristik (z.  
B. mit ähnlich starken Niederschlagsereignissen) durchgeführt werden. Die Werte der ermittelten Parameter sollen auf ihre Plausibilität  
überprüft werden; dies ist gut möglich bei Parametern mit physikalischem Bezug (z. B. Abflussbeiwert), jedoch schlechter möglich  
bei rein empirischen Modellen. Hier sollten die gefundenen Parameterwerte mit üblichen Angaben aus der Literatur verglichen werden,  
um Plausibilität sicherzustellen.

Um den Einfluss der verschiedenen Quellen von Unsicherheiten auf die Modellergebnisse einschätzen zu können, stehen eine Vielzahl  
von verschiedenen Methoden zur Verfügung, die sich stark in ihrer Komplexität und in ihrer praktischen Anwendbarkeit (z. B. Limi-  
tation durch hohen Rechenaufwand für Modelle mit langen Laufzeiten, Datenverfügbarkeit, etc.) unterscheiden.

Die Sensitivitätsanalyse gibt Auskunft, wie sich die Ergebnisse des Modells bei Veränderung der Eingabegrößen in plausiblen Band-  
breiten verändern und wo das Modell sehr empfindlich (mit großen Veränderungen in den Modellausgaben) reagiert. Die Sensitivität  
eines Parameters hängt dabei vom Wert des Parameters selbst, vom Wert der anderen Parameter und von den Eingangsdaten ab.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind notwendig für:

1. eine einfachere und bessere Kalibrierung. Man weiß, wie das Modell auf Veränderungen reagiert, und kann deshalb rascher  
eine gute Modellkalibrierung erzielen. Allen Parametern, die bei kleiner Veränderung zu großen Änderungen in den Ergeb-  
nissen führen, ist besonderes Augenmerk zu schenken.
2. die Beurteilung der Aussagequalität des kalibrierten Modells. Viele Parameter können nur in Bandbreiten geschätzt werden.  
Durch die Sensitivitätsanalyse wird abgeschätzt, wie sich Modellergebnisse durch Variation dieser Parameter verändern.  
Dies ist besonders für Bereiche wichtig, wo keine Messdaten zur Modellkalibrierung vorliegen (z. B. Extremereignisse) oder  
die Messdaten ungenügend sind. Auch Eingangsdaten in das Modell, wie z. B. Durchflüsse, sind mit Messunsicherheiten  
behaftet.
3. die Beurteilung der Aussagequalität von Variantenuntersuchungen. Bei der Untersuchung von Maßnahmen im Untersu-  
chungsgebiet wird das kalibrierte Modell mehr oder weniger stark verändert. Die Unsicherheiten in den Aussagen können  
nur mittels Sensitivitätsanalyse erfasst werden.

Eine lokale Sensitivitätsanalyse ermittelt die Sensitivität eines Parameters genau an einem Punkt. Dieser Punkt sollte möglichst nahe  
am erwarteten oder bereits kalibrierten Wert des Parameters liegen. Der Rechenaufwand hierbei ist relativ gering und es sind nur so  
viele zusätzliche Berechnungen notwendig, wie es Parameter im Modell gibt. Die manuelle Sensitivitätsanalyse ist dabei ein Spezialfall  
der lokalen Sensitivitätsanalyse, zur Durchführung sind keine besonderen Kenntnisse oder Softwarewerkzeuge notwendig. Hierbei  
wird manuell der Wert für einen Parameter geändert und die Auswirkungen dieser Änderung auf die Modellergebnisse ermittelt.  
Ebenso kann die Sensitivität auf Änderungen in den Eingangsdaten getestet werden, indem diese variiert werden.

Zur Unterstützung bei der Festlegung des Ausgangswertes können beispielsweise vorab Untersuchungen durchgeführt oder in der

Literatur vorgeschlagene, typische Werte eingesetzt werden. Um Vergleiche der Parametersensitivität zu ermöglichen, werden Model-  
l-ergebnisse und Modellparameter häufig normalisiert. Ein Maß für die lokale Sensitivität ist die Steigung der linearisierten Funktion  $f(\Theta_M)$  in Abhängigkeit der Modellparameter  $\Theta_M$ ; absolute – absolute Sensitivität, siehe Kleidorfer (2009) bzw. Reichert (1994):

$$s_{i,j}(\Theta_M) = \frac{\partial f(\Theta_{M,j})}{\partial \Theta_{M,j}}$$

Mögliche Definitionen für vergleichbare Sensitivitäten sind weiters gemäß Kleidorfer (2009) bzw. Reichert (1994):

- Absolute – relative Sensitivität (beschreibt die Absolute Veränderung der Ergebnisse für eine relative Veränderung der Parameter von 100%)

$$s_{i,j}(\Theta_M) = \frac{1}{f(\Theta_{M,j})} \cdot \frac{\partial f(\Theta_{M,j})}{\partial \Theta_{M,j}}$$

- Relative – absolute Sensitivität (beschreibt die relative Veränderung der Ergebnisse für eine absolute Veränderung der Parameter)

$$s_{i,j}(\Theta_M) = \frac{1}{f(\Theta_{M,j})} \cdot \frac{\partial f(\Theta_{M,j})}{\partial \Theta_{M,j}}$$

- Relative – relative Sensitivität (beschreibt die relative Veränderung der Ergebnisse für eine relative Veränderung der Parameter von 100%)

$$s_{i,j}(\Theta_M) = \frac{\Theta_{M,j}}{f(\Theta_{M,j})} \cdot \frac{\partial f(\Theta_{M,j})}{\partial \Theta_{M,j}}$$

Die Ergebnisse der manuellen Sensitivitätsanalyse für sich erlauben noch keine echten Aussagen über Unsicherheiten in den Modell-  
ausgaben. Werden die Abweichungen in den Parametern jedoch entsprechend einer realistischen Abweichung in der Parameterbestim-  
mung gewählt, lässt sich eine Abschätzung über die Modellunsicherheiten abgeben.

Ebenso können die Parameter in der manuellen Sensitivitätsanalyse so gewählt werden, dass sie bestimmten zu untersuchenden Sze-  
narien entsprechen (Szenarienanalyse). Dabei werden vom Modellanwender basierend auf seinen Erfahrungen mit dem Modell, der  
Datengrundlage (Genauigkeit der Eingangsdaten, Art der Datenermittlung) und der Anwendungssituation bestimmte Kombinationen  
von Parametersätzen definiert. Die Parametersätze können entsprechend verschiedener Annahmen gewählt werden z. B.:

- wahrscheinlichstes Szenario: Kombination, die erwartet wird
- „worst case“ Szenario: Überlagerung von ungünstigen Kombinationen (z. B. höchster Niederschlag, höchster Abflussbei-  
wert)
- „best case“ Szenario: Überlagerung von günstigen Kombinationen.

Zusätzlich ist es auch möglich Szenarien anhand von Prognosen für zukünftige Entwicklungen (z. B. Landnutzungsänderung (Mikovits  
*et al.* 2013), Klimawandel (Kleidorfer *et al.* 2009)) zu erstellen.

#### **Beispiel : Szenarienanalyse mittels manueller Sensitivitätsanalyse**

Ein Teileinzugsgebiet im urbanen Raum entwässert in die städtische Kanalisation. Die abflusswirksame befestigte Fläche beträgt 10  
ha. Für ein gewähltes (gemessenes) Ereignis sind Niederschlagsdaten in 5-Minuten-Intervallen verfügbar. Die Dauer des Ereignisses  
beträgt ca. 8 Stunden (gesamtes Niederschlagsvolumen 27,1 mm) wobei die Intensitätsspitze des Ereignisses mit 1,6 mm Niederschlag  
innerhalb von 5 Minuten im letzten Drittel des Ereignisses erreicht wird. In der Simulation ergibt sich ein maximaler Abfluss zur  
Einleitung in die Kanalisation von 533 l/s.

In einer Szenarienanalyse (vgl. Abbildung 134) wird geprüft, wie sich die Änderung der abflusswirksamen befestigten Fläche auf  
den Spitzenabfluss auswirkt.

Szenario 1: Eine Abkoppelung von Flächenanteilen durch Versickerung (Reduktion der abflusswirksamen befestigten Fläche auf 7 ha)  
führt zu einem Spitzenabfluss von 373 l/s

Szenario 2: Eine Fortschreitende Flächenversiegelung (Erhöhung der abflusswirksamen befestigten Fläche auf 15 ha) führt zu einem  
Spitzenabfluss von 800 l/s

In gleicher Weise kann beispielsweise der Einfluss von (abgeschätzten) Unsicherheiten in der Flächenerhebung getestet werden.

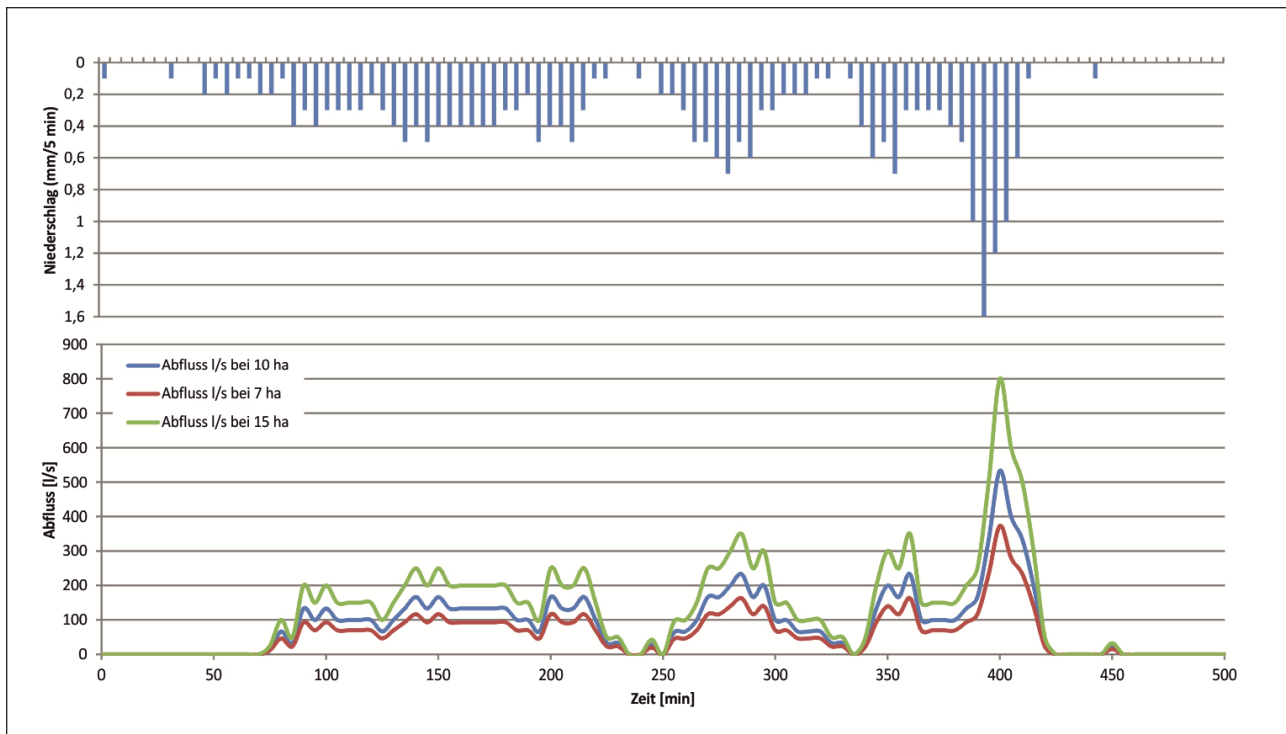


Abbildung 134: Einfluss unterschiedlicher Parameter auf den Abfluss in einer Szenarienanalyse

Ein Nachteil der lokalen Sensitivitätsanalyse ist, dass Korrelationen von Parametern und damit verbundene gegenseitige Kompensationen nicht entdeckt werden können, des Weiteren wird die Sensitivität nur an einem bestimmten Punkt und nicht über einen größeren Wertebereich getestet. Diese Nachteile können mit der *globalen Sensitivitätsanalyse* vermindert werden. Dabei werden die Parameter (oder Eingangsdaten) gleichzeitig innerhalb einer Bandbreite zufällig variiert und es werden die Auswirkungen auf die Modellergebnisse ermittelt. Diese Vorgangsweise hat den Nachteil, dass in Abhängigkeit der zu untersuchenden Parameter viele Rechenläufe (bis zu mehrere 1000) notwendig sein können. Für Modelle mit langen Laufzeiten ist dies also oft nicht möglich. Weiters ist es für solch Monte-Carlo basierte Verfahren notwendig, dass die Parameterwerte automatisch aus einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung ausgewählt und im Simulationsprogramm gesetzt werden. Dies ist dann möglich wenn die Softwarewerkzeuge solche Analysen intern unterstützen oder wenn die Simulationen im Batch-Modus automatisiert werden können.

Für globale Sensitivitätsanalysen im Rahmen der Siedlungsentwässerung sind hauptsächlich numerische Methoden von Bedeutung (analytische Methoden sind meist nicht praktikabel). Eine globale Sensitivitätsanalyse basiert auf einer Parameterverteilung als Ausgangslage, wobei diese Herangehensweise bereits Unsicherheitsanalysemethoden nahe kommt (Kleidorfer 2009). Resultate einer solchen Sensitivitätsanalyse hängen laut Beven (2009) stark von der Auswahlmethode der Parameter innerhalb dieser Parameterverteilung, der Anzahl an Iterationen und somit der eingesetzten Analyseverfahren ab (die „Hornberger-Spear-Young Methode“ ist ein Beispiel für eine globale Sensitivitätsanalysemethode).

Der Vorteil graphischer Sensitivitätsanalysen liegt in einer erleichterten Visualisierung und Interpretation der Parametersensitivität. Mittels „Scatter Plots“ können Einflüsse von Parametervariationen auf Modellergebnisse oder Vergleiche der Sensitivität unterschiedlicher Parameter dargestellt werden (Kleidorfer 2009).

Auch nach einer Analyse der Parametersensitivität besteht die Möglichkeit, dass mehrere Parametersätze existieren, die zu ähnlich guten Übereinstimmungen zwischen Simulation und gemessenen Ereignissen führen. Mittels Identifizierung kann analysiert werden, ob die Variation eines Parameters durch entsprechende Anpassung anderer Parameter (innerhalb gegebener Unsicherheitsbereiche) kompensiert werden kann.

Modellkalibrierung, Datenverfügbarkeit, Modellstruktur und Parameteridentifizierbarkeit sind eng miteinander verknüpft. Daher stellt die Identifizierung ein wichtiges Instrument zur Verbesserung von Messkampagnen im Rahmen der Modellkalibrierung dar. Analysen von Beeinflussungen der Anzahl an identifizierbaren Parametern durch Messmethoden sowie Anzahl und Standort von Messstellen bilden da-bei die Basis einer solchen Optimierung. Zur Identifizierung werden nur ein Modellergebnis und ein gut definiertes Messszenario benötigt – somit kann die Identifizierung für die Datenerhebung selbst oder zur Untersuchung von Gestaltungsmöglichkeiten der Messkampagnen eingesetzt werden. Wird eine Identifizierungsanalyse nach erfolgten Messkampagnen durchgeführt, kann die

Modellkalibrierung mit der vorhandenen Parameteridentifizierbarkeit optimiert werden.

Es bestehen unterschiedliche Methoden zur Identifizierung des „optimalen Parametersatzes“. Dazu zählen (Pareto-) Suchalgorithmen oder „Monte Carlo“-basierte Methoden (z. B. GLUE oder Bayes' sche Inferenz). „Monte Carlo“-basierte Methoden ermöglichen die Identifizierung von Parameterkompensationen, da alle Modellparameter gemeinsam variiert werden. Sie sind jedoch äußerst rechenintensiv bzw. sind zahlreiche Rechengänge zur Untersuchung der relevanten Parameterbereiche erforderlich (Kleidorfer *et al.* 2012).

Eine zumindest grundlegende Untersuchung der Unsicherheiten eines Modells ist von großer Bedeutung zur Beurteilung der Qualität der Modellergebnisse. Da die Szenarienanalyse lediglich einen geringen zusätzlichen Rechenaufwand bedeutet und auch keine besonderen Anforderungen an die Modellierungswerkzeuge gestellt werden (die Parameterkombinationen können händisch gesetzt werden), wird empfohlen, eine solche auf jeden Fall durchzuführen. Sofern die Rechenzeiten pro Rechenlauf gering sind und eine automatische Parameteränderung in der Software möglich ist, werden vertiefte Unsicherheitsuntersuchungen mittels Monte-Carlo basierter Methoden empfohlen.

Unabhängig von der verwendeten Methode zur Kalibrierung und Sensitivitätsanalyse sollten Simulationsergebnisse immer auf ihre Plausibilität geprüft werden. Die Möglichkeiten der Plausibilisierung hängen dabei von der verfügbaren Datenlage ab. Die Art der Plausibilitätsprüfung in städtischen Einzugsgebieten hängt stark von der Modellanwendung ab. Die beiden zu unterscheidenden Anwendungsgebiete sind dabei der Nachweis der Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme in Hinblick auf Überstau und Überflutung sowie die Leistungsfähigkeit in Hinblick auf Gewässerschutz. Während in der ersten Anwendung vor allem extreme Starkniederschläge relevant sind (und vom Modell richtig abgebildet werden müssen), sind in der zweiten Anwendung die Schmutzstoffemissionen bei den wesentlich häufiger auftretenden mittleren Ereignissen von Interesse. Da dabei die Schmutzstoffemissionen in die Vorfluter im langjährigen Durchschnitt berechnet werden, sind hier auch Kalibrierung und Plausibilisierung auf Summenparameter geeignet. Zu diesen beiden Anwendungen bestehen auch entsprechende Regelwerke

Für beide Anwendungen sind es jedoch üblicherweise die Sommermonate, in welchen die relevanten Niederschlagsereignisse fallen. Hier kommt es zu konvektiven Starkniederschlägen, die zu Mischwasserüberläufen oder Kanalnetzüberlastungen führen.

Abbildung 135 zeigt als Beispiel für eine solche Plausibilitätsprüfung den Vergleich von simulierten (strichlierte Linien) und gemessenen Wasserständen (durchgehende Linien) in an einem Mischwasserüberlaufbauwerk. In Abbildung 135 (links) ist zu sehen, dass vor der Kalibrierung die Spitze der Abflussschwellen überschätzt wird. Nach der Kalibrierung (Abbildung 135, rechts) ist die Übereinstimmung auch für die Abflussspitze sehr gut. In diesem Fall stehen Wasserstandsmessungen in einem Mischwasserüberlaufbauwerk als Kalibrierungsdaten zur Verfügung, jedoch könnte eine Plausibilisierung der Simulationsergebnisse hier auch ohne detaillierte Messung durchgeführt werden. Abbildung 135 zeigt auch die Höhe der Überlaufschwelle im Bauwerk. Die Messung überschreitet diesen Wert, es kommt also zu einer Mischwasserentlastung während dieses Ereignisses. Wenn diese Entlastung in der Simulation nicht auftritt (Abbildung 135, links) jedoch in der Natur beobachtet wird kann dieser Vergleich zur Plausibilisierung verwendet werden.

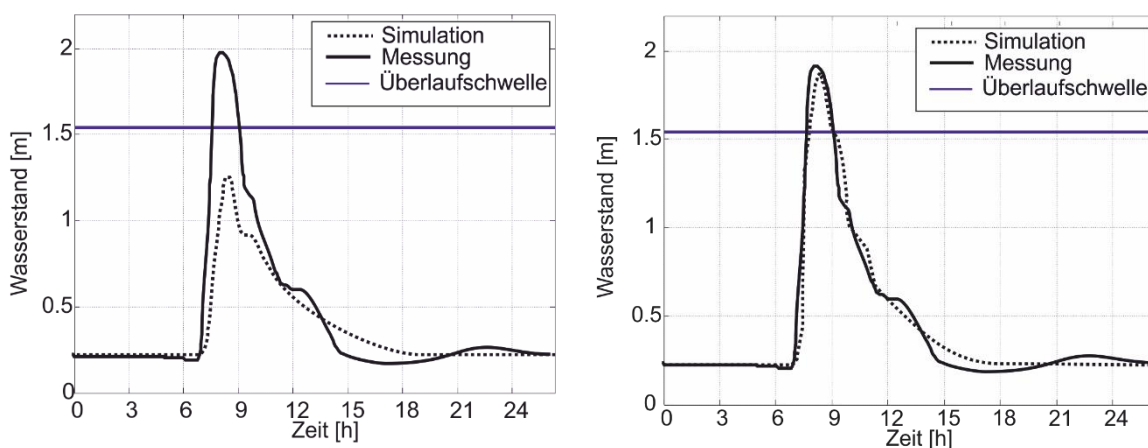


Abbildung 135: Vergleich von simulierten und gemessenen Wasserständen im städtischen Kanal vor einer Kalibrierung (links) und danach (rechts)

## 9. FALLSTUDIEN

Um die Methodenentwicklung bereits direkt an konkreten Fragestellungen durchführen zu können, wurden, wie bereits erwähnt, Teile von Arbeitspaket 3 vorgezogen. Dazu wurden drei Fallstudien ausgewählt:

- Telfs
- Ostösterreich (anonym)
- Weiz

Den einzelnen Fallstudien wurden hierbei auch teils unterschiedliche Schwerpunkte zugesprochen, welche im Detail behandelt wurden. Im Nachfolgenden finden sich nähere Ausführungen zu den drei Fallstudien.

### 9.1. FALLSTUDIE TELFS

#### 9.1.1. BESCHREIBUNG DER FALLSTUDIE

Die Gemeinde Telfs ist Teil des Abwasserverbandes Telfs und Umgebung mit der gemeinsamen Abwasserreinigungsanlage in Telfs. Die Gemeinde ist charakterisiert durch alpine klimatische Verhältnisse, d. h. kalte Winter und konvektive Starkniederschläge im Sommer. Die Entwässerung erfolgt teilweise im Mischsystem und teilweise im Trennsystem. Die Gemeindekanalisation wird durch die Gemeindewerke Telfs verwaltet, die Verbandssammler durch den Abwasserverband. Zu Beginn des Projektes lagen die Kanalnetzdaten der Gemeinde Telfs in einem digitalen Leitungsinformationssystem vor. Detaillierte Informationen zu Sonderbauwerken (Mischwasserüberläufe, Retentionsbecken, etc.) lagen in analogen und digitalen Plänen vor. Mit dieser Datenlage konnte relativ einfach ein hydrodynamisches Modell (semi-) automatisch erstellt werden.

Ein hydrodynamisches Modell erfordert die detaillierte Abbildung der gesamten Netzwerktopologie (Lage, Durchmesser, Höhenlage von Haltungen und Schächten) inklusive einer Beschreibung der Sonderbauwerke (Beckenvolumina, Wehrhöhen, etc.) samt angeschlossenen Flächen (mit Abflussbeiwerten). In der manuellen Modellerstellung ist dabei vor allem die Übertragung der Netzwerkelemente (Koordinaten, Höhen, Durchmesser) sehr zeitaufwändig. Gerade aber dieser Teil der Modellerstellung lässt sich einfach automatisieren. Im gegenständlichen Projekt wurde eine Schnittstelle programmiert, die die Kanalnetzdaten direkt aus der Oracle Datenbank des digitalen Leitungsinformationssystems in die hydrodynamische Modellierungssoftware SWMM übernimmt. Generell ist ein derartiger Datenimport allerdings für jede hydrodynamische Software möglich. Als Ausgangsdaten können auch andere Formen der Datenhaltung verwendet werden (z. B. GIS Daten, AutoCad-Daten, Access- oder Excel-Datenbanken, etc.). Die Güte des Ergebnisses und der Aufwand für die manuelle Prüfung und Nachbearbeitung hängen immer von der Qualität und der Art der verwendeten Daten ab. Im gegenständlichen Fall mussten die Höhendaten der Schachtdeckel korrigiert und z.T. ergänzt werden. Dies geschah durch ein Verschneiden der Schachtdaten mit einem digitalen Geländemodell des Einzugsgebietes. Fehlende Haltungslängen konnten dann automatisch aus den Knotenabständen berechnet werden.

Daten zu Sonderbauwerken lagen in vielen Fällen nicht automatisch verarbeitbar vor, hier war eine händische Ergänzung der fehlenden Daten notwendig. Beispielsweise musste die Geometrie von Speicherbecken, Wehrlänge und -höhe von Entlastungsbauwerken in das hydrodynamische Modell eingegeben werden. Ebenso mussten Auslässe aus dem System (Mischwasserentlastungen, Zulauf zur Abwasserreinigungsanlage) manuell definiert werden. Eine Automatisierung dieser Arbeitsschritte ist sicher möglich, allerdings meist nicht wirtschaftlich, da es sich nur um eine geringe Anzahl entsprechender Elemente handelt und in diesem Fall die Modellerstellung nur einmalig durchgeführt wird. Ein hydrodynamisches Kanalnetzmodell kann allerdings auch gänzlich vollautomatisch aus einem Leitungsinformationssystem (nach ÖWAV-Regelblatt 40 (2010)) erstellt werden, so dass Änderungen in den Daten (z. B. nach Baumaßnahmen oder Datenkorrekturen) direkt übersetzt werden können. In so einem Fall ist allerdings zu beachten, dass die benötigten Informationen (z. B. zu Sonderbauwerken) auch in der Datenbank abgelegt werden. Diverse Produkte bieten eine derartige Schnittstelle bereits an. Die meisten der benötigten Informationen (z. B. sämtliche Daten zu Haltungen und Schächten) werden in einem Kanalkataster nach ÖWAV-Regelblatt 40 (2010) auch gefordert, Ergänzungen sind lediglich bei manchen Informationen zu Sonderbauwerken bzw. zu angeschlossenen Entwässerungsflächen notwendig.

Abflusswirksame Flächen wurden aus Planunterlagen (z. B. Katasterplänen) übernommen und mit typischen Abflussbeiwerten für die jeweilige Bebauungsart hinterlegt. Dies ist kein Ersatz für eine (vom Betreiber geplante) detaillierte Flächenerhebung z. B. durch die Auswertung von Orthofotos, wie es für eine genaue Nachweisführung notwendig ist, ermöglicht aber die Erstellung eines vereinfachten Modells, anhand von dem bereits erste Ergebnisse ermittelt und die weitere Messkampagne geplant werden kann.

Für die Nachweisführung der Leistungsfähigkeit nach ÖWAV Regelblatt 11 sind Starkregenserien (extrahiert aus einem mehrjährigen Regenkontinuum – für Jährlichkeit 3 ca. 10 Jahre) oder Modellregen (erstellt aus ausgewerteten Regenstatistiken) notwendig. Die zeitliche Auflösung der Niederschlagsmessung sollte dabei nicht größer als 5 - 10 min sein (Rauch und Toffol 2005). Dies ist notwendig, um die schnell ablaufenden Prozesse in der Stadtentwässerung abbilden zu können.

Niederschlagszeitreihen können jeweils über die hydrographischen Dienste der Bundesländer kostenlos oder die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) gegen einen Kostenbeitrag angefordert werden. Die Lage der Niederschlagsmessstellen und die Art der Messung der hydrographischen Dienste (z. B. Ombrograph oder Totalisator) kann über das Internetportal <http://ehyd.gv.at/> abgerufen werden. Die Daten, die darüber zu Verfügung gestellt werden, sind jedoch lediglich Tagessummen und somit für eine Modellierung in der Siedlungsentwässerung ungeeignet. Darüber hinaus kann über das Österreichische Normungsinstitut die Datenbank „NIEDA“ des ÖWAV erworben werden, welche 77 hoch aufgelöste Regenserien der ZAMG enthält.

Ausgewertete Niederschlagsstatistiken (nicht die Zeitreihen) können als Bemessungsniederschlag für ganz Österreich im ehyd Portal für Jährlichkeiten zwischen 1 (Niederschlagsereignis tritt statistisch 1 mal pro Jahr auf) und 100 (Niederschlagsereignis tritt statistisch 1 mal pro 100 Jahre auf) und für Dauerstufen zwischen 5 und 90 Minuten abgerufen werden. Daraus kann ein Bemessungsmodellregen wie der in Österreich und Deutschland gebräuchliche Modellregen des Typs Euler II erstellt werden (Rauch und Toffol 2005) und für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) verwendet werden.

Für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) ist ein Regenkontinuum von zumindest 10 Jahren notwendig. Hier reichen also die ausgewerteten Niederschlagsintensitäten nicht aus. Falls keine Niederschlagsaufzeichnung direkt im Untersuchungsgebiet vorhanden ist, können auch Niederschlagsdaten aus einem benachbarten Gebiet verwendet werden, sofern diese in ihrer Niederschlagscharakteristik ähnlich sind.

#### **9.1.2. BESCHREIBUNG DER MESSKAMPAGNE**

Für die Modellkalibrierung und –validierung, auch aufgrund der Abstände zu den nächstgelegenen vorhandenen Niederschlagsmessstellen, werden im Untersuchungsgebiet Niederschlags- und gleichzeitig Abflussmessungen durchgeführt. Um die räumliche Niederschlagsverteilung berücksichtigen zu können, wurden Messstationen (1 Regenwaage, 2 Regenwippen) an drei Standorten installiert. Die zeitliche Auflösung der Regenwaage liegt im Minutenbereich, die Regenwippen zeichnen Ereignisse auf. Abfluss und Wasserstand wurden im Hauptsammler an einer Stelle gemessen, die eine möglichst integrale Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes ermöglicht (Abbildung 136). Da eine Messung der Abflussgeschwindigkeit (und damit des Durchflusses) aufgrund einer raschen Verlandung des an der Sohle montierten Sensors schwierig war, wurden schlussendlich gemessene und simulierte Wasserstände (gemessen über Druck und Ultraschall) verglichen.

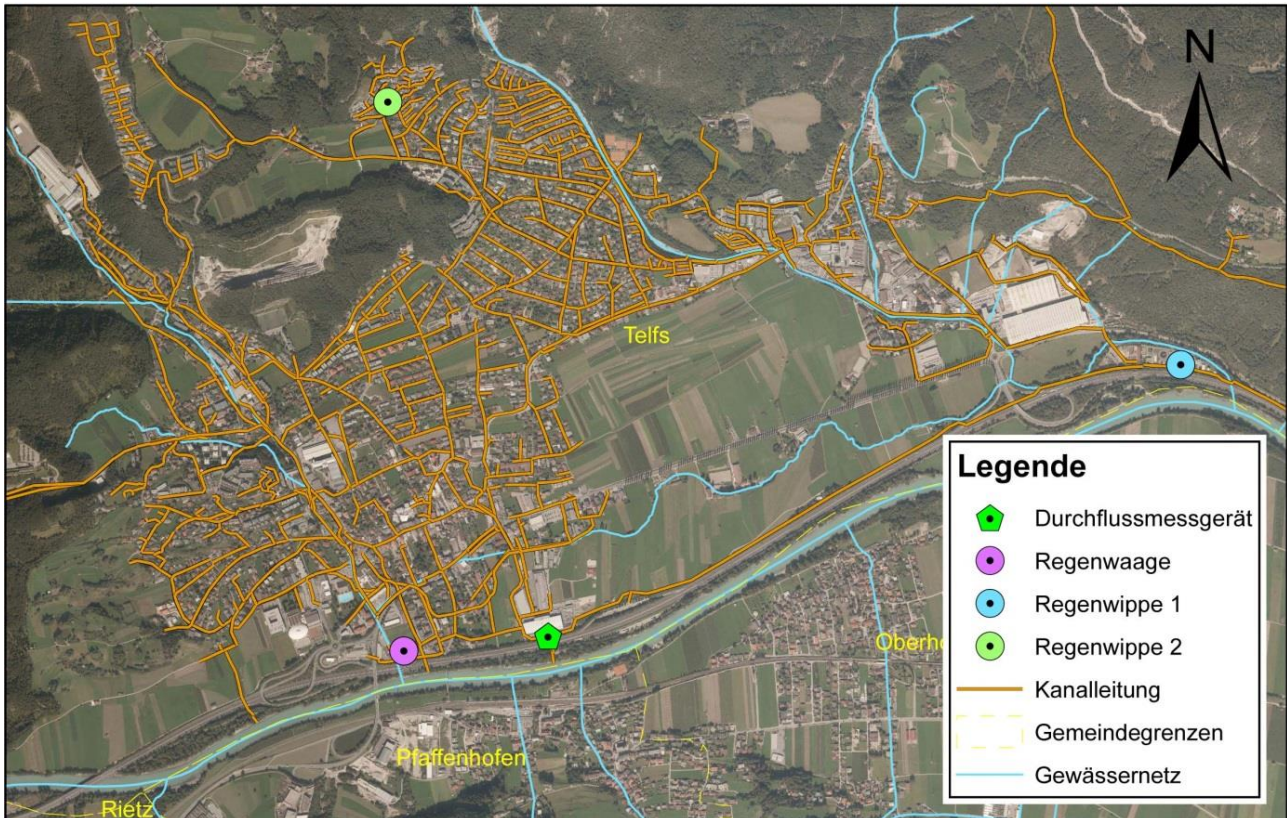


Abbildung 136: Lage der Niederschlags- und Abflussmessungen im Untersuchungsgebiet

Abbildung 137 zeigt einen Vergleich der Summenlinien der drei Niederschlagsmessungen. Im dargestellten Zeitraum wurden drei Niederschlagsereignisse aufgezeichnet. Wie zu sehen ist, unterscheiden sich diese deutlich. Die Messung mit Regenwippe 2 liegt im nördlichen Bereich des Einzugsgebietes und zeigt höhere Niederschlagssummen (und auch Niederschlagsintensitäten) als die beiden anderen Messstationen. Da die für die Siedlungsentwässerung relevanten Starkniederschläge im Untersuchungsgebiet im Sommer auftreten, sollten die Messungen über das Sommerhalbjahr durchgeführt werden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die in Abbildung 137 gezeigten Messungen im Herbst 2013 durchgeführt wurden und sich somit nicht für eine abschließende Kalibrierung und Bewertung eignen. Diese Messungen bildeten die Vorarbeiten für die Messkampagne, welche im Sommerhalbjahr 2014 durchgeführt wurde. Mit Hilfe dieser Daten erfolgte dann die Kalibrierung des Modells.

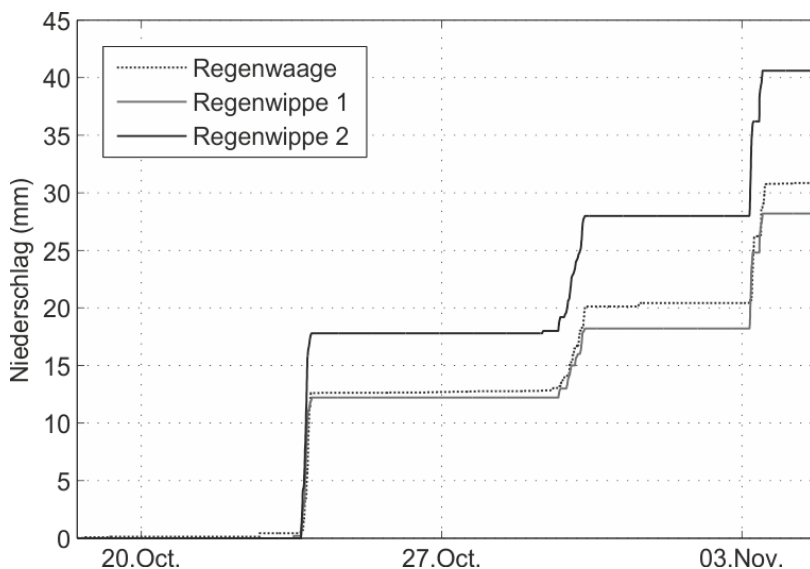


Abbildung 137: Vergleich der Summenlinien der Niederschlagsmessungen Herbst 2013

Die Lokalität der Durchflussmessung wurde aufgrund der Netztopologie kurz vor dem wichtigsten Mischwasserüberlaufbauwerk des

Netzes (siehe Abbildung 138) gewählt, da ein Großteil des im Gemeindegebiets anfallenden Abwassers durch die Messstelle zur ARA abgeführt wird und die Zuflüsse aus den Nachbargemeinden, welche einen weiteren Unsicherheitsfaktor darstellen, erst nach der Messstelle in den Hauptsammler eingeleitet werden. Im Bereich der Messstelle liegt ein geringes Sohlgefälle von 1,5‰ vor. Die Grobabmessungen des Kanals betragen 2400/1500mm.

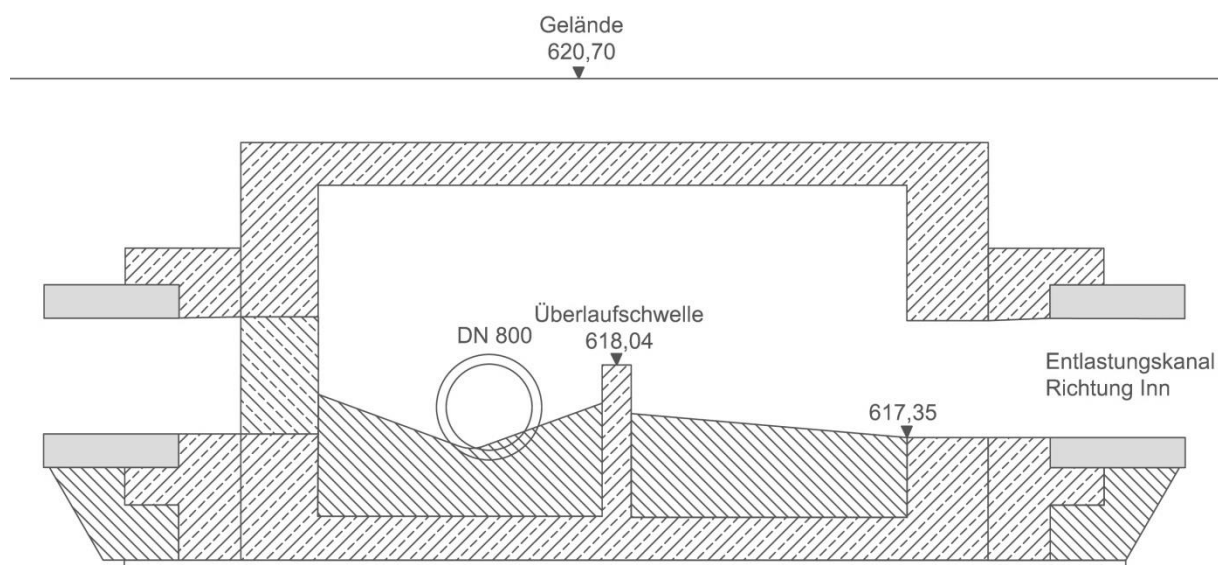


Abbildung 138: Querschnitt des Mischwasserüberlaufbauwerks RAT

Um eine Übersicht über die Verteilung der Füllstandhöhen für die Messungen 2014 zu erhalten (siehe Abbildung 139), wurden zuerst alle Werte der Größe nach absteigend sortiert. Das Ergebnis war eine Kurve, welche am Anfang sehr schnell bis auf 0,2 m abfällt. Der Maximalwert betrug 1,45 m, dies entspricht der Vollfüllung des Kanals. Ab diesem Punkt kann im Kanal auch ein hydraulischer Überdruck aufgebaut werden. Die Häufigkeitsverteilung der Füllstandhöhen zeigte, dass wie zu erwarten der Trockenwetterabfluss der dominierende Abfluss ist. Bei den Füllstandhöhen zeigte sich, dass es im Laufe der Messung zu zwei Regenereignissen kam, an denen der Füllstand von 1,25 m überschritten wurde. In diesen Fall springt das Mischwasserüberlaufbecken an. Nur an einem einzigen Regenereignis war der Kanal vollständig gefüllt und zwar am 23.06.2014 von 16:54 bis 17:12. Insgesamt gab es während der Aufzeichnungen über 60 Regenereignisse, die meisten davon von Ende Juli bis Mitte August.

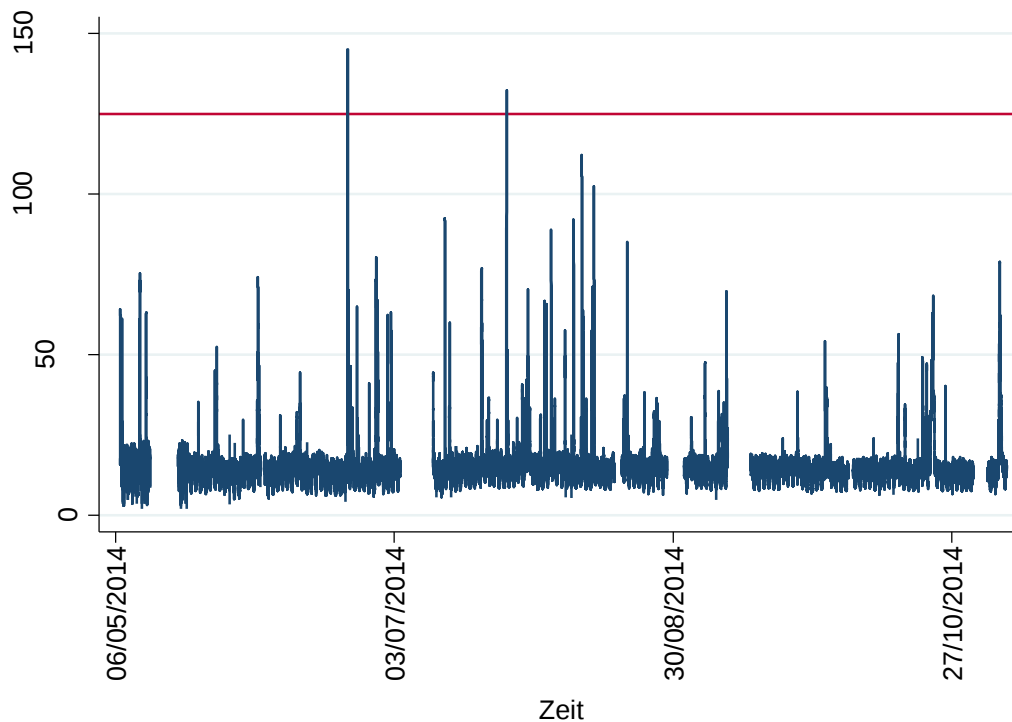


Abbildung 139: Füllstandhöhen aus Messung 2014

In Abbildung 140 sind die Abflussverhältnisse und Füllstandhöhen vom 14.06.2014 bis zum 21.06.2014 abgebildet. In dieser Woche gab es keine Niederschläge. Dementsprechend deutlich sind die Tagesgewohnheiten der Bevölkerung zu erkennen. In den Nachtstunden von 1-5 Uhr ist der Abfluss mit Werten von 2-3 l/s am geringsten, in den Morgenstunden steigt er steil an und erreicht in den Mittagsstunden sein Maximum. Ebenso erkennbar ist, dass die Spitzenwerte an Werktagen (Dienstag, Mittwoch) auftreten.

Anhand des Verlaufes der Abflussganglinie kann auf typische Verläufe wie z. B. einer Stadt oder ländliche Gebiete zurückgeschlossen werden. An der Kurve lassen sich die tageszeitlichen Arbeits- und Lebensgewohnheiten der Gemeinde an den starken Spitzen der Kurve an bestimmten Tageszeiten erkennen.

Zur Kontrolle wurden die gemessenen Geschwindigkeiten mittels Manning-Strickler-Formel kontrolliert sowie mittels einer groben Abschätzung mithilfe von Versuchen mit Tischtennisbällen. Die berechnete Fließgeschwindigkeit mittels Manning-Stricklerformel wurde zur Abschätzung der Unsicherheit zufolge Messfehler mit der gemessenen Fließgeschwindigkeit verglichen (siehe Abbildung 141). Dabei stellte sich heraus, dass sich manche Ergebnisse um mehrere 100 % voneinander unterschieden. Diese wurden in Abbildung 141 nicht dargestellt, es wurden nur Ergebnisse akzeptiert, welche sich maximal um 60% voneinander unterscheiden. Grundsätzlich musste trotz dieses großen Toleranzbereichs festgestellt werden, dass sehr große Unterschiede zwischen den beiden Werten auftreten. Aus diesem Grund müssen die Werte der Fließgeschwindigkeiten kritisch betrachtet werden. Auch bei den praktischen Versuchen mit den Tischtennisbällen stimmten die Fließgeschwindigkeiten in 2 von 3 Fällen nicht überein. Auffallend war zudem, dass die Manning-Stricklerformel geringfügig zu große Fließgeschwindigkeiten lieferte. Die plausibelsten Werte wurden bei großen Abflüssen geliefert, während vor allem bei Trockenwetterabflüssen die gemessenen Geschwindigkeiten viel zu niedrige Werte haben.

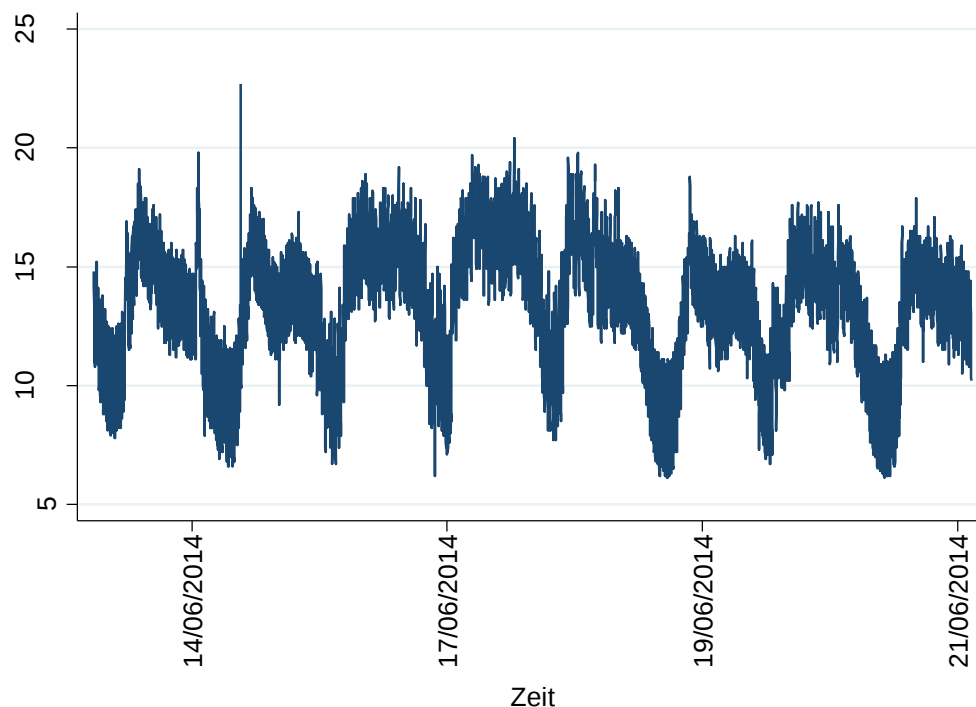


Abbildung 140: Trockenwetterabfluss

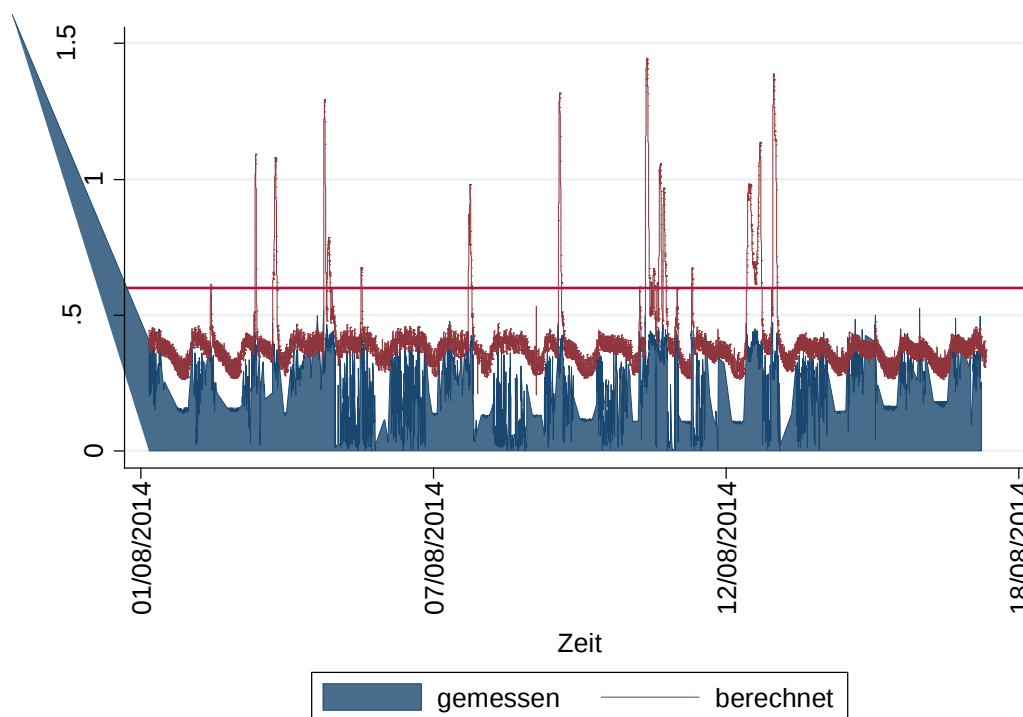


Abbildung 141: Geschwindigkeiten aus Messung 2014 im Vergleich zu Berechnungen mittels Manning-Strickler-Formel

Eine immer wieder auftretende Problematik des Fallbeispiels ist der Rückstau des Inns in das Entlastungsbauwerk (siehe Abbildung 142), vor welchem die Messungen stattfinden. Die Berührungspunkte zwischen urbanen und natürlichen Abfluss sind die Einleitungskanäle aus den Abwasserreinigungsanlagen und aus den Überlaufbauwerken bei Mischwasserkanälen, die das gereinigte Abwasser, beziehungsweise durch den Niederschlag verdünnte Abwasser in ein Fließgewässer leiten. Kommt es durch starke und langanhaltende Niederschläge oder durch die Schneeschmelze im Frühjahr zu einem Anstieg des natürlichen Abflusses und damit auch der Wasseroberfläche, kann es bei falscher oder zu tiefer Anordnung der Kanäle zu einem Einstau kommen. Dadurch sind diese Entlastungsbauten

beziehungsweise Reinigungsanlagen in ihrer Wirkung behindert. Hinsichtlich der Jährlichkeit ist noch erwähnenswert, dass Hochwässer in den Flüssen meistens für ein 100-jährliches Ereignis simuliert werden, während das Kanalsystem, abhängig von der Bebauung, höchstens für ein 5-jährliches Ereignis dimensioniert wird. Dies wurde auch im Zuge der Messkampagne untersucht.

Nach den Ausführungsplänen erfolgt ein Einstau des Entlastungskanals des Mischwasserüberlaufbauwerkes und somit eine Beeinflussung eines möglichen Überlaufes ab einer Höhe von 617,35m, welche in den folgenden Abbildungen als gerade, rote Linie dargestellt ist. Die Flusshöhe setzt sich aus dem ermittelten Pegelnullpunkt auf Höhe des Überlaufbauwerkes und der mittleren täglichen Wassershöhe zusammen. Für den Pegelnullpunkt wurde das Flussgefälle zwischen den Stationen Magerbach (Nr. 201459), Telfs (Nr. 230078) und Zirl (Nr. 201475) ermittelt und ergibt ca. 2 ‰. Das Mischwasserüberlaufbauwerk befindet sich ca. 350m von der Messstation Telfs entfernt, wodurch sich eine Höhendifferenz von 0,65 m und ein Pegelnullpunkt von 615,47 m ergibt.

Diese Abbildungen lassen erkennen, dass ein Einstau sehr oft in den Sommermonaten erfolgt und wie im Jahr 1999 auch über einen längeren Zeitraum vorhanden ist. Es erfolgt durchschnittlich zwei Mal pro Jahr ein Überlauf in den Sommermonaten, wo noch zusätzlich der Entlastungskanal eingestaut ist. Auch sind zwei Überlastungen pro Jahr für ein Überlaufbauwerk nicht gerade häufig.

Im Jahr 1993 ist der Abfluss geringer als in den Jahren 1999 und 2005. Die Ganglinie des Inns ist mittels der blauen Linie dargestellt und aus der Abbildung 142 ist weiter erkennbar, dass es im Jahr 1993 nur ca. 8 Mal zu einem Einstau des Entlastungskanals gekommen ist. Es kam am 04. Juli und 11. Juli 1993 zu einer Entlastung des Mischwasserkanals, während die Oberfläche des Inns bei beiden Entlastungen unterhalb von 617,35 m lag, wodurch es zu keinem Einstau gekommen ist.

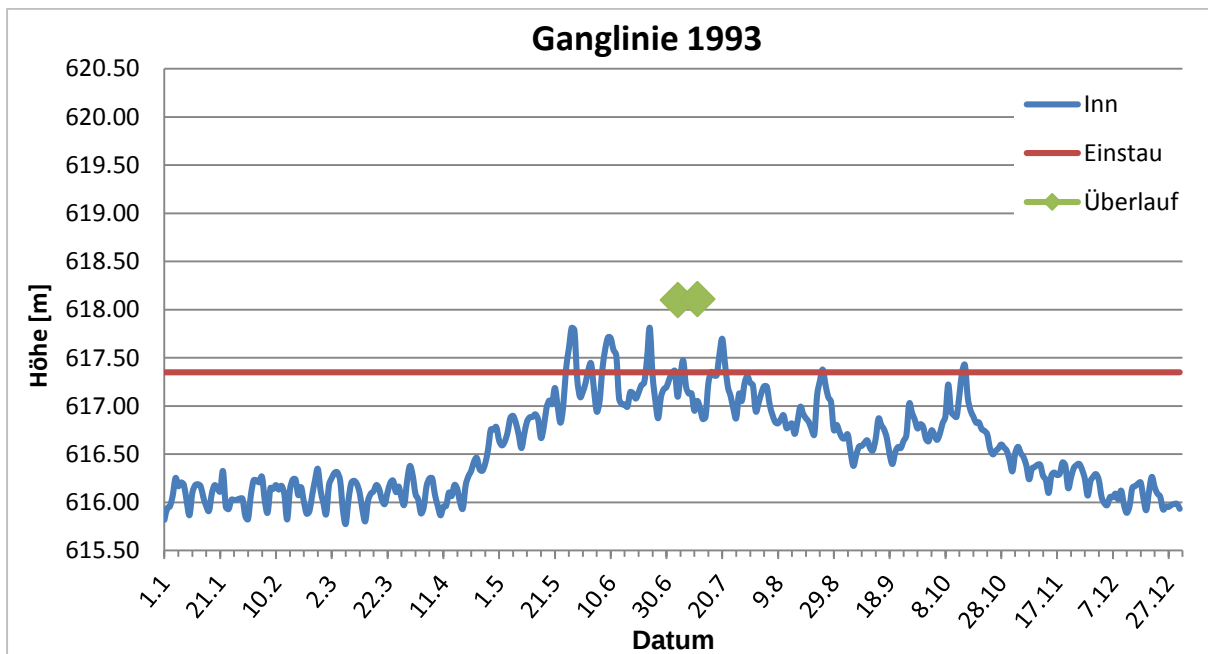


Abbildung 142: Ganglinienvergleich 1993

Im Jahr 1999 ist der Entlastungskanal fast durchgehend von Anfang Mai bis Mitte Oktober eingestaut. Dies ist aus der Abbildung 143 dadurch erkennbar, dass über diesen Zeitraum die blaue Linie als Ganglinie des Inns großteils über der roten Linie, die die Grenze für den Einstau festlegt, liegt. Insgesamt ist es im Jahr 1999 zu 4 Entlastungen, am 21. und 22. Mai und weiter noch am 22. und 28. Juli gekommen. Jedoch ist im Unterschied zu 1993 der Entlastungskanal in diesem Zeitraum eingestaut. Dies führte zur Beeinflussung des Abflusses sowie zur Absetzung von Innsediment im Entlastungsbauwerk.

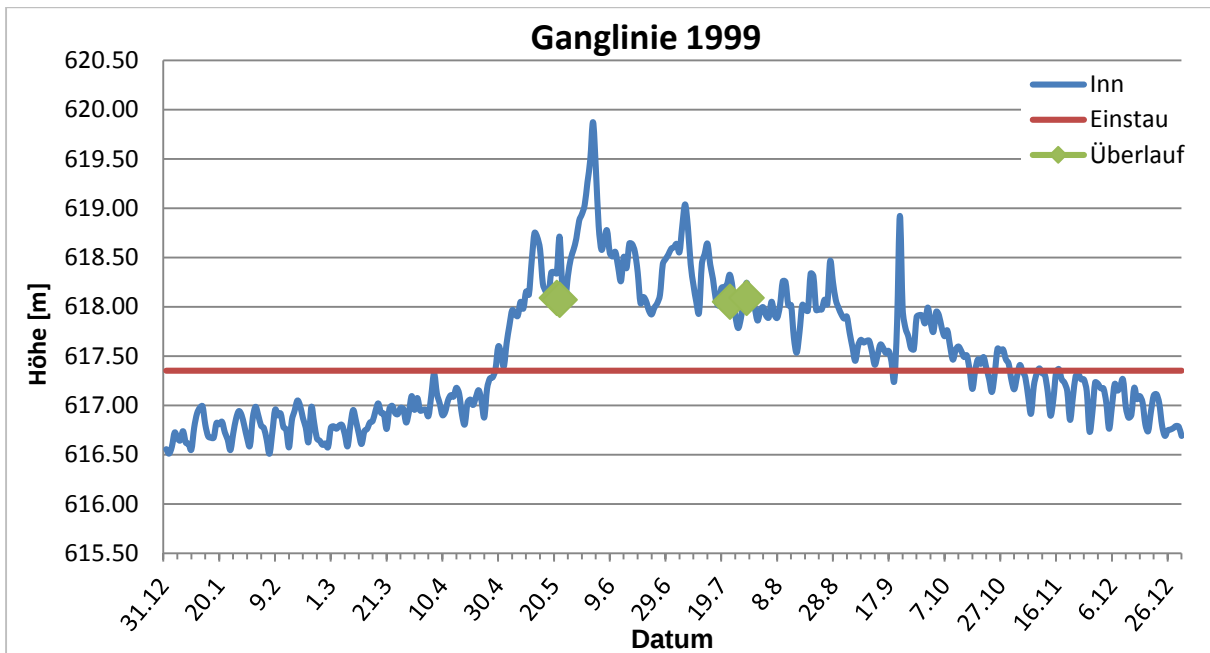


Abbildung 143: Ganglinienvergleich 1999

Im Jahr 2005 ist es am 05. Juli und 23. August zu einer Entlastung des Mischwasserkanals gekommen und auch in diesem Jahr ist der Entlastungskanal während der Entlastungen zumindest teilweise eingestaut gewesen, wie aus der Abbildung 144 zu entnehmen ist.

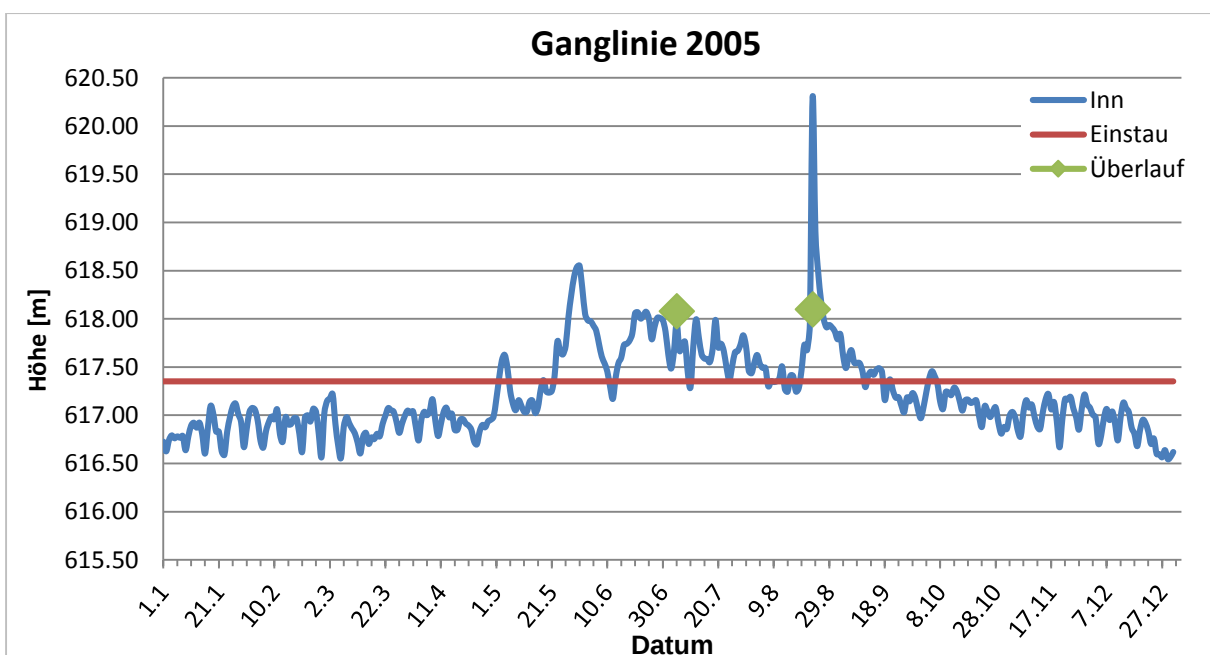


Abbildung 144: Ganglinienvergleich 2005

### 9.1.3. KALIBRIERUNG UND KALIBRIERUNGSSZENARIEN

Nach den vorbereitenden Messungen 2013 wurde zur Kalibrierung des Modells eine Messkampagne (Niederschlags- und Abflussmessung) im Jahr 2014 durchgeführt. Die Niederschlagsaufzeichnung erfolgte mittels drei Messstationen an unterschiedlichen Standorten (Regenwaage am GWT, Regenwippe 1 bei der ARA, Regenwippe 2 am Wasserwaal – siehe Abbildung 145). Die zeitliche Auflösung der Regenwaage liegt im Minutenbereich, die Regenwippen zeichneten Ergebnisse auf. Den verschiedenen Einzugsgebieten wurden die Regenmesser aufgrund ihrer geographischen Lage zugewiesen, d.h. immer der nächstgelegene Regenmesser lieferte die Daten für das Einzugsgebiet. Im Hauptsammler (RAT) wurden Wasserstand- und Abflussmessung so situiert, dass eine möglichst ganzheitliche Erfassung der Abwasserströme des gesamten Einzugsgebietes entstehen konnte. Die Abflussgeschwindigkeitsmessungen (Durchfluss) gestalteten sich durch häufiges Verlanden an der Sohle des Sensors jedoch problematisch, weshalb vor der Kalibrierung ein Vergleich von gemessenen und simulierten Wasserständen (Messung über Druck und Ultraschall) erfolgte (Kleidorfer *et al.* 2014).

Anhand der gewonnenen Messdaten wurden die 10 stärksten Regenereignisse im Jahr 2014 zur Modellkalibrierung ausgewählt (siehe Abbildung 145). Das Modell wurde anschließend nach mehreren Szenarien kalibriert, um Unsicherheiten zufolge der Kalibrierungsdaten verdeutlichen zu können. Es erfolgte eine Kalibrierung auf alle 10 Regenereignisse gemeinsam sowie auf jedes einzelne der Regenereignisse. Drei weitere Modellkalibrierungen entstanden durch Verarbeitung der Messergebnisse jeder Regenmessstelle separat, wobei wiederum alle 10 Regenereignisse gemeinsam herangezogen wurden. Zusätzlich wurden zwei weitere Kalibrierungen durchgeführt, unter der Annahme, dass die Wasserstandshöhenmessung im RAT die tatsächlichen Höhen jeweils um 30% über- bzw. unterschritt (bei Kalibrierung auf alle 10 Regenereignisse gemeinsam und Verwendung der Daten aller drei Regenmessstellen). Insgesamt wurden 17 Szenarien für die Kalibrierung betrachtet (siehe Tabelle 34). Zur Kalibrierung für alle 10 Regenereignisse wurde eine Regenserie gebildet mit Zwischenräumen, welche den Anforderungen der DWA-A 118 (2006) entspricht:

*„Die Auswirkungen der Regenereignisse innerhalb der Kanalnetze hinsichtlich der Abflüsse und Wasserstände gehen jedoch über das jeweilige Regenende hinaus, so dass diese sich mit den Auswirkungen eines Nachfolgeereignisses überlagern können, wenn der Abstand zwischen den Ereignissen gering ist. Der zeitliche Mindestabstand zwischen einzelnen Ereignissen ergibt sich aus der Entleerungszeit des Entwässerungssystems. Die Regenpause sollte jedoch mindestens 4 Stunden betragen.“*

Die aus diesen Anforderungen ermittelten 4h Mindestabstand ergibt eine Regenserie mit einer Gesamtlänge von 158h.

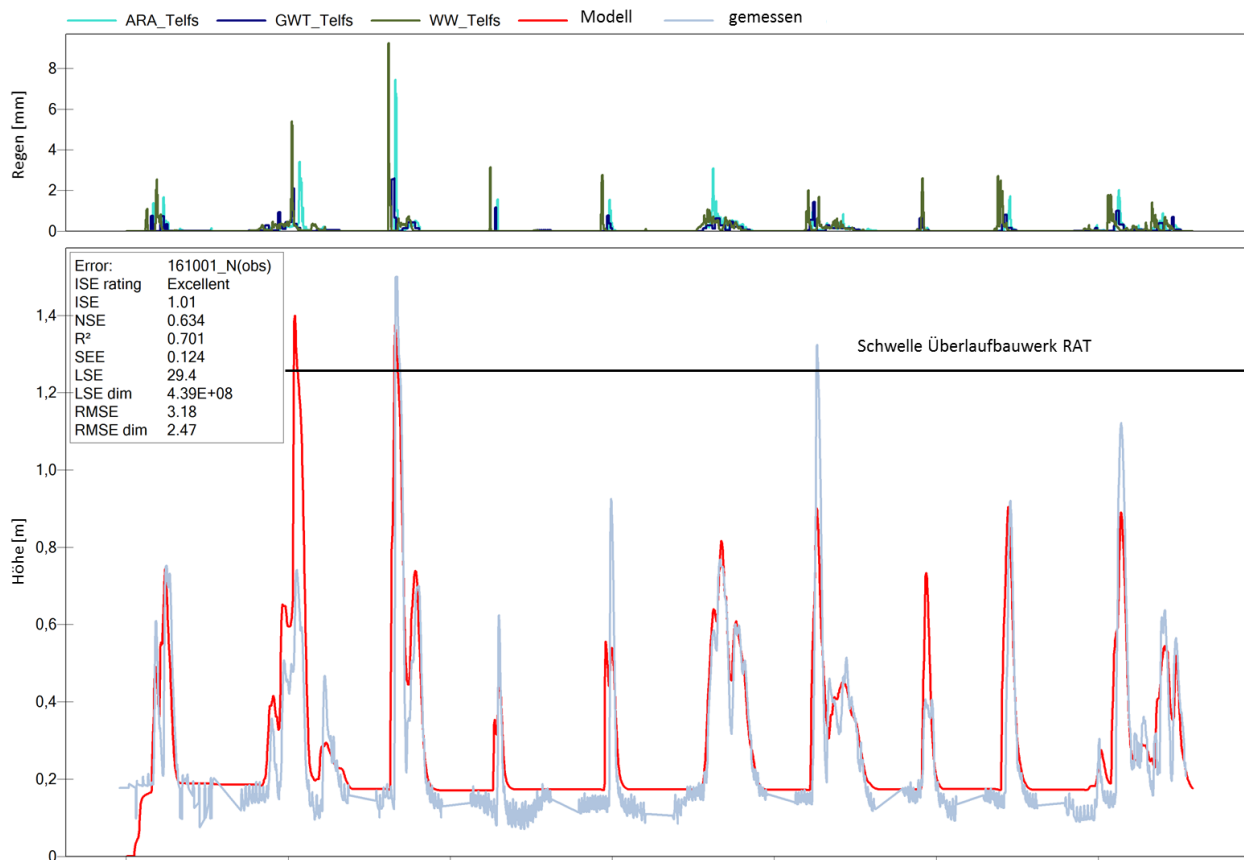


Abbildung 145: Regenserie aus den 10 stärksten gemessenen Regenereignissen 2014 sowie Vergleich der gemessenen Wasserstandshöhen am RAT mit den modellierten aus dem unkalibrierten Modell

Tabelle 34: Betrachtete Szenarien bei der Kalibrierung

| Abkürzung     | Beschreibung                                                                                                                                                            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UK_00         | Unkalibriertes Modell                                                                                                                                                   |
| KR_01 – KR_10 | Modell auf Regenereignis 1 – 10 kalibriert unter Nutzung aller 3 Regenmesser                                                                                            |
| KG_11         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter Nutzung aller 3 Regenmesser                                                                |
| KE_12         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter alleiniger Nutzung von Regenmesser GWT                                                     |
| KE_13         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter alleiniger Nutzung von Regenmesser ARA                                                     |
| KE_14         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter alleiniger Nutzung von Regenmesser Wasserwaal (WW)                                         |
| KF_15         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter Nutzung aller 3 Regenmesser unter Annahme eines Messfehlers in der Abflussmessung von +30% |
| KF_16         | Modell kalibriert auf Regenserie bestehend aus den 10 Regenereignissen unter Nutzung aller 3 Regenmesser unter Annahme eines Messfehlers in der Abflussmessung von -30% |

Als Parameter für die Kalibrierung wurden die Breite der Einzugsgebiete, welche einen Einfluss auf die Fließzeit an der Oberfläche hat, der Anteil der undurchlässigen Fläche, welcher das Abflussvolumen beeinflusst, sowie die Rohrrauigkeit der Kanäle, welche Geschwindigkeit und Verluste beeinflusst, gewählt. Als Grenzwerte der Kalibrierung wurde eine minimale Breite bzw. Länge von 1m sowie maximal 100% und minimal 0% undurchlässige Fläche für die Einzugsgebiete festgelegt. Für die Rohrrauigkeit wurde eine plausible Variabilität von 0,009 bis 0,03 angenommen.

Neben einem rein optischen Vergleich wurde die Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Ganglinien auch mathematisch beschrieben. Als Zielfunktion für die Übereinstimmung zwischen gemessener und modellierter Ganglinie bei der Kalibrierung wurde die häufig verwendete Nash-Sutcliffe Effizienz (NSE) gewählt (siehe dazu auch Kapitel 6.4).

Das Kalibrieren der Modelle von KE\_12 – KE\_14 zeigte unterschiedliche Ergebnisse. Während die Kalibrierung auf die Regenwaage GWT gut funktionierte, waren die Kalibrierungsergebnisse für die beiden Regenwippen ARA und Wasserwaal schwieriger. Dies streicht die Wichtigkeit der Messpunktpositionierung hervor und zeigte auch dass die verschiedenen Messstellen unterschiedlichen Einfluss auf den Abfluss im RAT haben.

Tabelle 35 zeigt die erreichten Werte der einzelnen Modelle für die verschiedenen Regenereignisse sowie für die Regenserie. Dabei zeigt sich, dass für zwei Regenereignisse (Regenereignis 2 und 5) eine Kalibrierung in den Plausibilitätsgrenzen auf eine akzeptable NSE von mehr als 0,5 nicht möglich ist. 4 Modelle sind bei 6 von 10 Regenereignissen, sowie beim Gesamtwert der Regenserie über diesem Wert. Dabei ist festzuhalten, dass für die Regenserie nur die Zeiten der Regenereignisse selbst und nicht die Abstände eingerechnet wurden um den Wert nicht zu verfälschen. Um das anwendbarste Modell zu finden wurde für alle Modelle der Abstand (in NSE) zum jeweils besten Modell pro Regenereignis ermittelt (siehe Tabelle 36). Dabei zeigte sich, dass KG\_11 über alle Regenereignisse im Durchschnitt die beste Performance bietet.

Tabelle 35: Nash-Sutcliffe Efficiency der einzelnen Modelle für die verschiedenen Regenereignisse sowie die Regenserie

| Regenereignis    | Nash-Sutcliffe Efficiency für Modell |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  | KR 01                                | KR 02  | KR 03  | KR 04  | KR 05  | KR 06  | KR 07  | KR 08  | KR 09  | KR 10  | KG 11  | UK 00  |
| 1                | 0.664                                | -0.414 | 0.273  | 0.168  | 0.599  | 0.576  | 0.612  | 0.187  | 0.482  | 0.549  | 0.560  | 0.487  |
| 2                | -1.850                               | -0.062 | -0.557 | -0.262 | -1.040 | -0.888 | -1.270 | -0.302 | -0.770 | -1.310 | -0.751 | -0.985 |
| 3                | 0.406                                | 0.374  | 0.753  | 0.360  | 0.553  | 0.579  | 0.527  | 0.689  | 0.715  | 0.479  | 0.627  | 0.499  |
| 4                | 0.188                                | 0.320  | 0.163  | 0.559  | 0.382  | 0.422  | 0.342  | 0.285  | 0.237  | 0.351  | 0.415  | 0.428  |
| 5                | 0.302                                | 0.128  | 0.210  | 0.275  | 0.367  | 0.336  | 0.321  | 0.249  | 0.253  | 0.342  | 0.329  | 0.341  |
| 6                | 0.533                                | -0.300 | 0.602  | 0.667  | 0.934  | 0.957  | 0.878  | 0.532  | 0.810  | 0.849  | 0.933  | 0.936  |
| 7                | 0.739                                | -0.100 | 0.283  | 0.503  | 0.730  | 0.734  | 0.763  | 0.248  | 0.523  | 0.749  | 0.692  | 0.727  |
| 8                | -0.776                               | 0.300  | 0.612  | -0.364 | -0.070 | -0.199 | -0.637 | 0.724  | 0.564  | -0.814 | 0.204  | -0.705 |
| 9                | 0.424                                | 0.228  | 0.667  | 0.194  | 0.549  | 0.537  | 0.480  | 0.643  | 0.723  | 0.395  | 0.618  | 0.394  |
| 10               | 0.715                                | -0.028 | 0.336  | 0.504  | 0.755  | 0.731  | 0.751  | 0.329  | 0.535  | 0.769  | 0.691  | 0.751  |
| Gesamt           | 0.498                                | 0.322  | 0.545  | 0.542  | 0.627  | 0.641  | 0.600  | 0.545  | 0.606  | 0.582  | 0.650  | 0.610  |
| Anzahl > NSE 0.5 | 4                                    | 0      | 5      | 5      | 7      | 7      | 6      | 5      | 7      | 5      | 7      | 4      |

Tabelle 36: Abstand zum Modell mit der besten Nash-Sutcliffe Efficiency für die verschiedenen Regenereignisse

| Regenereignis | Abstand zur besten Kalibrierung |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | KR_01                           | KR_02 | KR_03 | KR_04 | KR_05 | KR_06 | KR_07 | KR_08 | KR_09 | KR_10 | KG_11 |
| 1             | -                               | 1.078 | 0.391 | 0.496 | 0.065 | 0.088 | 0.052 | 0.477 | 0.182 | 0.115 | 0.104 |
| 2             | 1.788                           | -     | 0.495 | 0.200 | 0.978 | 0.826 | 1.208 | 0.240 | 0.708 | 1.248 | 0.689 |
| 3             | 0.347                           | 0.379 | -     | 0.393 | 0.200 | 0.174 | 0.226 | 0.064 | 0.038 | 0.274 | 0.126 |
| 4             | 0.371                           | 0.239 | 0.396 | -     | 0.177 | 0.137 | 0.217 | 0.274 | 0.322 | 0.208 | 0.144 |
| 5             | 0.065                           | 0.239 | 0.157 | 0.092 | -     | 0.031 | 0.046 | 0.118 | 0.114 | 0.025 | 0.038 |
| 6             | 0.424                           | 1.257 | 0.355 | 0.290 | 0.023 | -     | 0.079 | 0.425 | 0.147 | 0.108 | 0.024 |
| 7             | 0.024                           | 0.863 | 0.480 | 0.260 | 0.033 | 0.029 | -     | 0.515 | 0.240 | 0.014 | 0.071 |
| 8             | 1.500                           | 0.424 | 0.112 | 1.088 | 0.794 | 0.923 | 1.361 | -     | 0.160 | 1.538 | 0.520 |
| 9             | 0.299                           | 0.495 | 0.056 | 0.529 | 0.174 | 0.186 | 0.243 | 0.080 | -     | 0.328 | 0.105 |
| 10            | 0.054                           | 0.797 | 0.433 | 0.265 | 0.014 | 0.038 | 0.018 | 0.440 | 0.234 | -     | 0.078 |
| Summe         | 4.872                           | 5.771 | 2.875 | 3.613 | 2.458 | 2.432 | 3.450 | 2.633 | 2.145 | 3.858 | 1.899 |

#### 9.1.4. EINFLUSS DER FLÄCHENERHEBUNG

Abbildung 146 zeigt einen Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Wasserständen für ein ausgewähltes Niederschlagsereignis. Dabei werden unterschiedliche Stufen der Modellbildung miteinander verglichen. Modell 1 stellt die erste Phase der Modellbildung dar, dabei wurden die Abflussbeiwerte pauschal mit  $\psi=0.9$  nur grob abgeschätzt und die verschiedenen Abflussflächen nicht weiter differenziert. Ebenso wurde keine Differenzierung mit den unterschiedlichen Niederschlagsmessungen durchgeführt. Durch eine Unterscheidung in Straßen ( $\psi=0.9$ ) und sonstige Flächen ( $\psi=0.5$ ) konnte bereits eine wesentlich bessere Übereinstimmung erzielt werden (Modell 2). Modell 3 stellt eine weitere Verbesserung der Modellgüte dar, indem zusätzlich zur Flächendifferenzierung die räumliche Regenverteilung über die drei Messstationen berücksichtigt wird. Dabei wurde den Einzugsgebieten die jeweils nächste Niederschlagsmessstation zugewiesen.

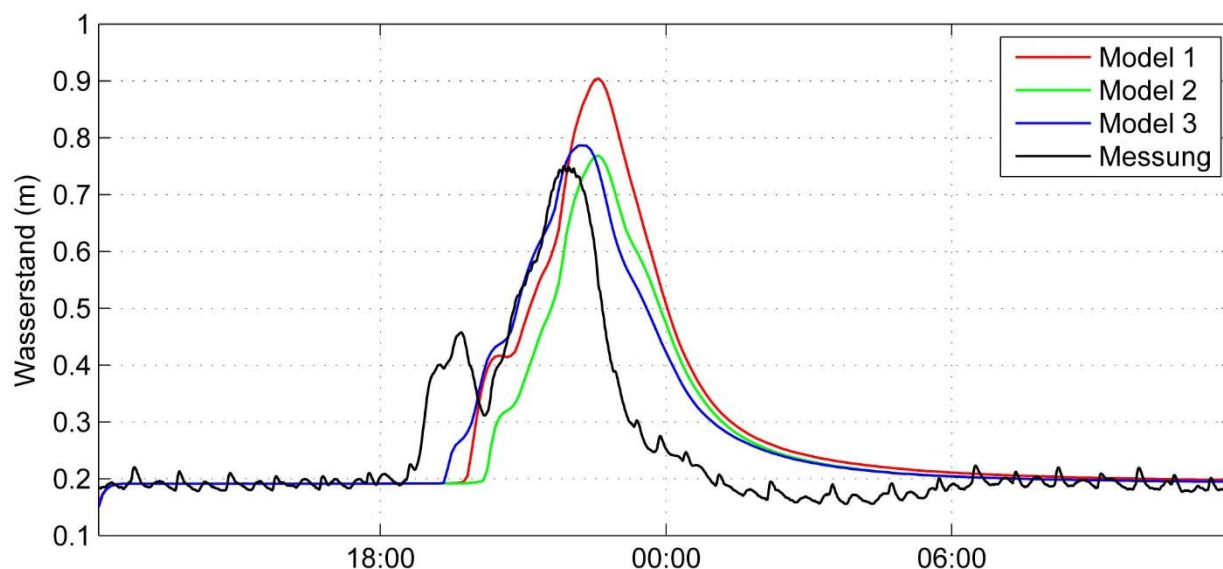


Abbildung 146: Vergleich gemessener und simulierter Wasserstände

Tabelle 37 zeigt den NSE für die drei oben beschriebenen Stufen der Modellerstellung und die drei Niederschlagsereignisse nach Abbildung 146. Ereignis 1 stellt die in Abbildung 146 dargestellte Ganglinie dar.

Tabelle 37: Nash Sutcliffe Effizienz für unterschiedliche Modellstufen und Ereignisse

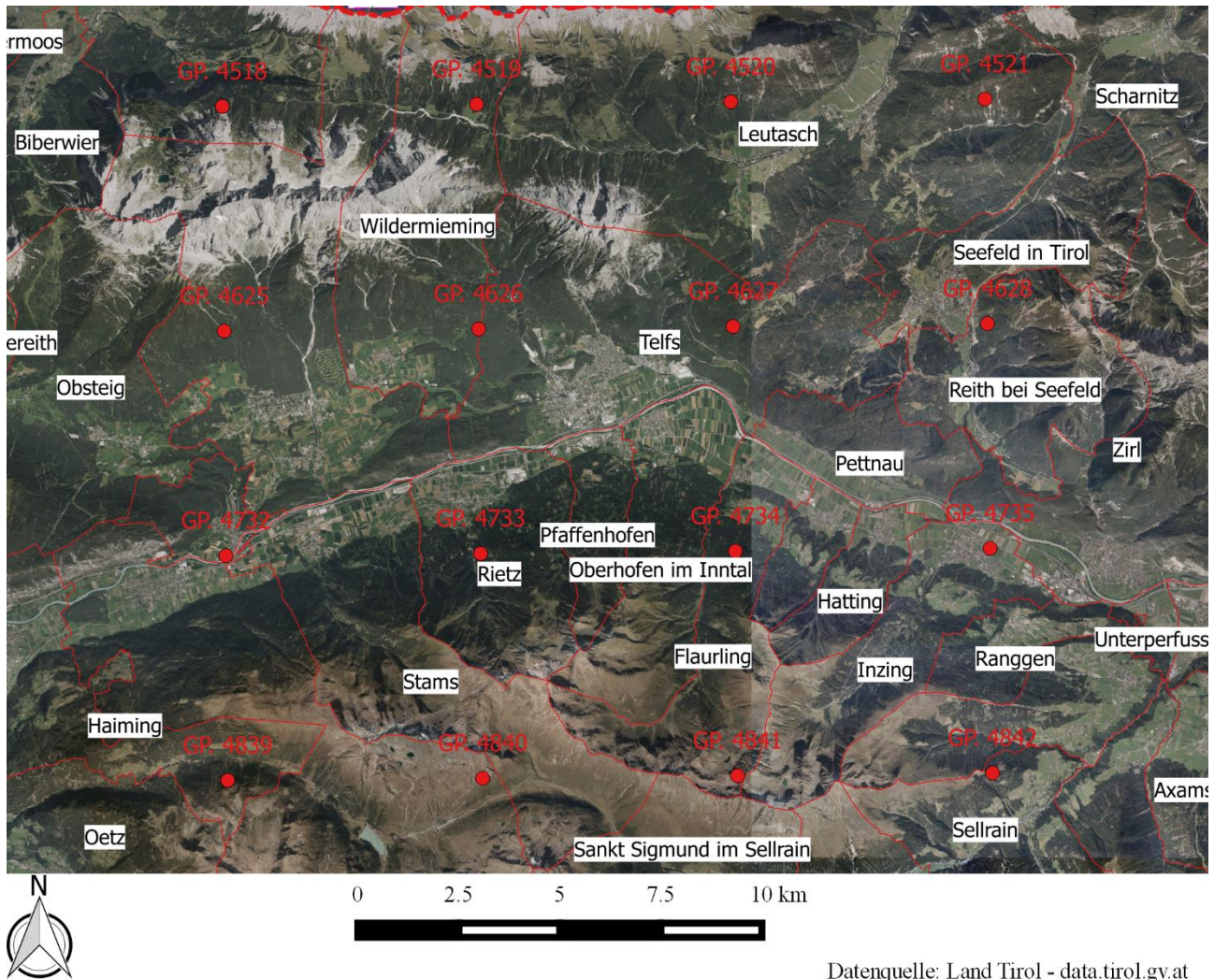
|          | Ereignis 1 | Ereignis 2 | Ereignis 3 |
|----------|------------|------------|------------|
| Modell 1 | 0,17       | -0,49      | -0,42      |
| Modell 2 | 0,37       | 0,08       | -0,08      |
| Modell 3 | 0,64       | 0,14       | 0,41       |

Wie zu sehen ist, kann also bereits mit geringem Datenaufwand (d.h. ohne detaillierte Flächenerhebung, kurze Messkampagne) ein Status erreicht werden, bei dem das hydrodynamische Modell eine akzeptable Übereinstimmung mit gemessenen Daten zeigt. Mit höherem Detaillierungsgrad (von Modell 1 zu Modell 3) steigt die Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messungen. Gleichzeitig kann aber auch gesehen werden, dass nicht alle Niederschlagsereignisse gleich gut abgebildet werden können. Während dies für Ereignis 1 (NSE=0,64) recht gut funktioniert, ist die Übereinstimmung bei Ereignis 2 (NSE=0,14) begrenzt.

Wie beschrieben sind nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) die Überstauhäufigkeiten in Abhängigkeit der Nutzungskategorie zu berechnen. Bei Verwendung von Modellregen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten ist dieser Nachweis direkt möglich. Alternativ kann die Simulation mit einer Starkregenserie durchgeführt werden, welche anschließend statistisch ausgewertet wird.

### 9.1.5. EINFLUSS DER SZENARIEN UNTER NUTZUNG DES BEMESSUNGSREGENS

Als erster Vergleich wurden für 120-minütige Euler-Modellregen aus den ausgewerteten Niederschlagsstatistiken für ganz Österreich im ehyd Portal die Überstauvolumen berechnet. Dazu wurden Simulationen für das kalibrierte (KG\_11) und unkalibrierte (UK\_00) Modell sowie Wiederkehrdauern von 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50 und 100 Jahren ausgeführt. Dazu wurden die 16 nächstgelegenen Gitterpunkte rund um das Gemeindegebiet Telfs genutzt (siehe Abbildung 147).



Datenquelle: Land Tirol - data.tirol.gv.at

Abbildung 147: Genutzte Gitterpunkte zur Berechnung des Euler Typ II Regens

Die folgenden Diagramme (Abbildung 148 - Abbildung 150) stellen auszugsweise die erhaltenen Simulationsergebnisse hinsichtlich Überstauvolumen von unkalibriertem und kalibriertem Modell gegenüber. Es zeigt sich, dass das Überstauvolumen aus dem unkalibrierten Modell die mit kalibriertem Modell erhaltenen Ergebnisse wesentlich übersteigt. Zudem beschränkt sich das Überstauvolumen des kalibrierten Modells für eine Wiederkehrdauer von 2 Jahren auf einen vernachlässigbar geringen Wert, hingegen ergeben die Resultate des unkalibrierten Modells bereits ein nennenswertes Überstauvolumen. Dies ist insofern von besonderer Bedeutung, als dass Entwässerungssysteme in der Regel so zu bemessen sind, dass für eine Wiederkehrdauer von 2 Jahren kein Überstau auftreten sollte. Für Berechnungen zu GP 4839, GP 4840 und GP 4841 übersteigt das „Ergebnis – unkalibriert“ zufolge eines Regenereignis mit Wiederkehrdauer 3 sogar das anhand des kalibrierten Modells erhaltene Volumen der Jährlichkeit 5. Generell reicht das Überstauvolumen laut unkalibriertem Modell vielfach an das Ergebnis der nächsten simulierten Wiederkehrdauerstufe gemäß kalibriertem Modell heran.

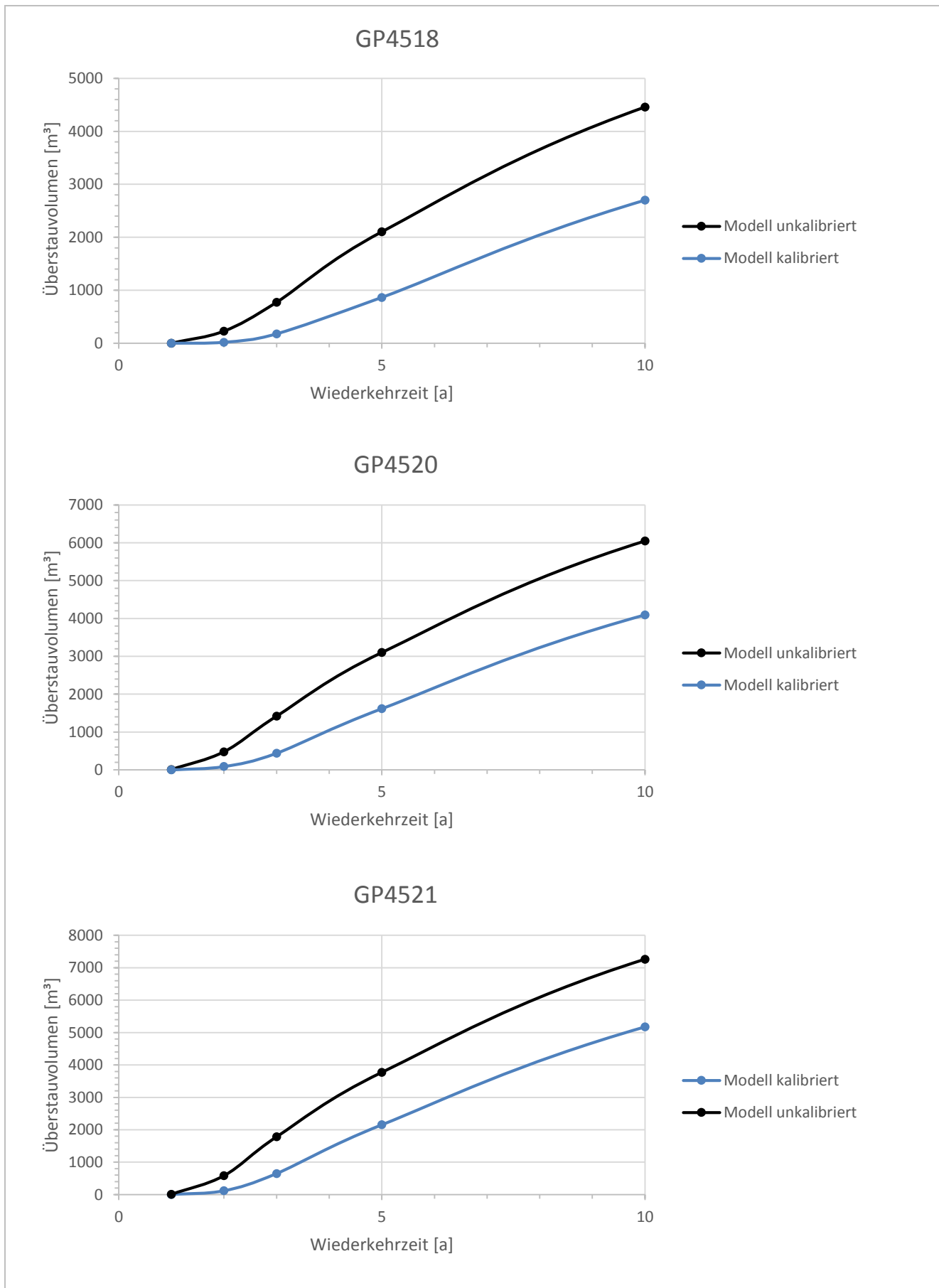


Abbildung 148: Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4518, GP4519, GP4521)

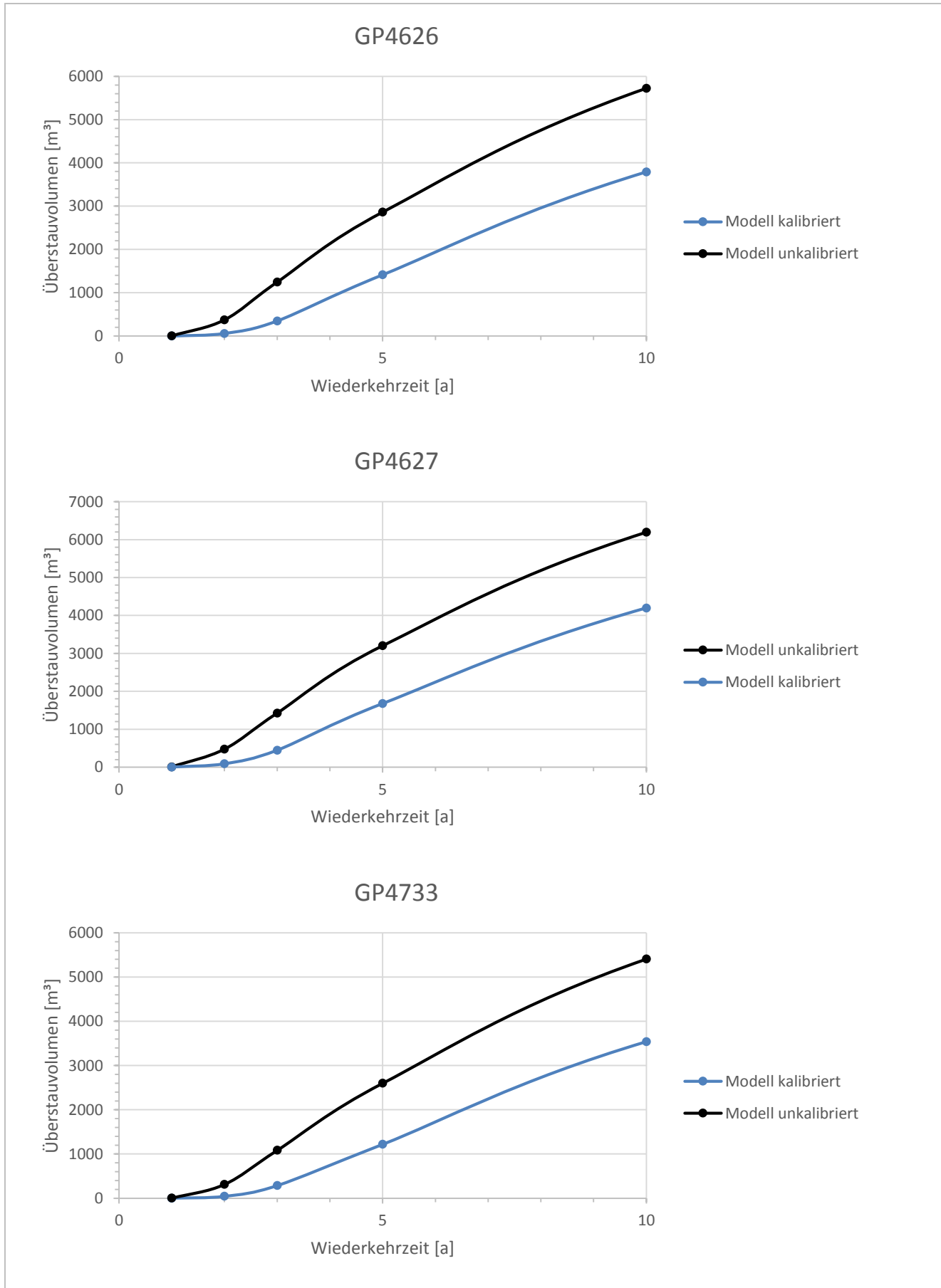


Abbildung 149: Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4626, GP4627, GP4733)

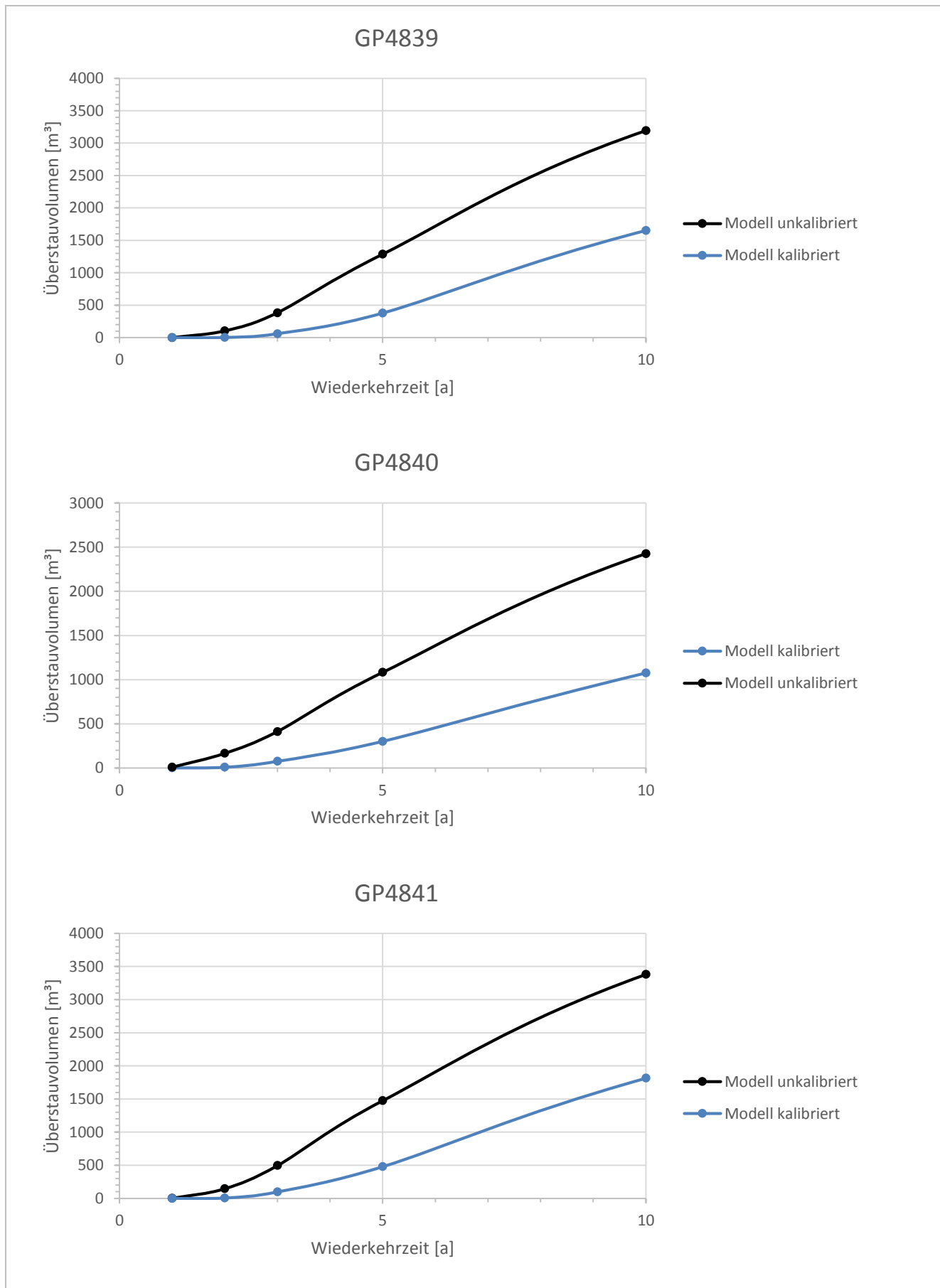


Abbildung 150: Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4839, GP4840, GP4841)

Nachstehend erfolgt eine erweiterte Darstellung der oben gezeigten Überstauvolumina über die Gitterpunkte (Wiederkehrdauer 1 Jahr - 100 Jahre). Zuerst sind in Abbildung 151 und Abbildung 152 die Ergebnisse des kalibrierten Modells angeführt und anschließend die Simulationsergebnisse des unkalibrierten Modells (Abbildung 153 und Abbildung 154) mit deutlich höheren Überstauvolumina.

Die hier ersichtlichen Unterschiede zufolge örtlicher Variation der eingesetzten Niederschlagsdaten über die ausgewählten Gitterpunkte in der Umgebung von Telfs sind gravierend. Um die aufgetretenen Divergenzen klar aufzuzeigen ist für die relevanten Wiederkehrdauern zusätzlich ein Mittelwert des Überstauvolumens über alle untersuchten Gitterpunkte eingetragen.

Beispielsweise übersteigt in Abbildung 151 das Überstauvolumen des kalibrierten Modells, zufolge der Simulation mit Niederschlagsdaten von GP4521 (aufgetretener Maximalwert) die Modellergebnisse für GP4839 (aufgetretener Minimalwert) um das 10-fache. Außerdem kann man erkennen, dass das Überstauvolumen für GP4839 und eine Wiederkehrdauer von 3 Jahren das über alle Gitterpunkte mittlere Überstauvolumen für eine Wiederkehrdauer von 2 Jahren nur marginal übersteigt. Allgemein liegt das mittlere Ergebnis (über alle Gitterpunkte) hinsichtlich auftretenden Überstauvolumens bei rund 295 m<sup>3</sup>, während die niedrigsten Werte für Überstauvolumina mit Wiederkehrdauer von 3 Jahren für Niederschlagsdaten gemäß GP4839 62 m<sup>3</sup>, für GP4840 76 m<sup>3</sup> und GP4841 98 m<sup>3</sup> betragen.

Sämtliche Simulationen mit Wiederkehrdauer 1 Jahr weisen im kalibrierten Modell kein bzw. kein nennenswertes Überstauvolumen auf.

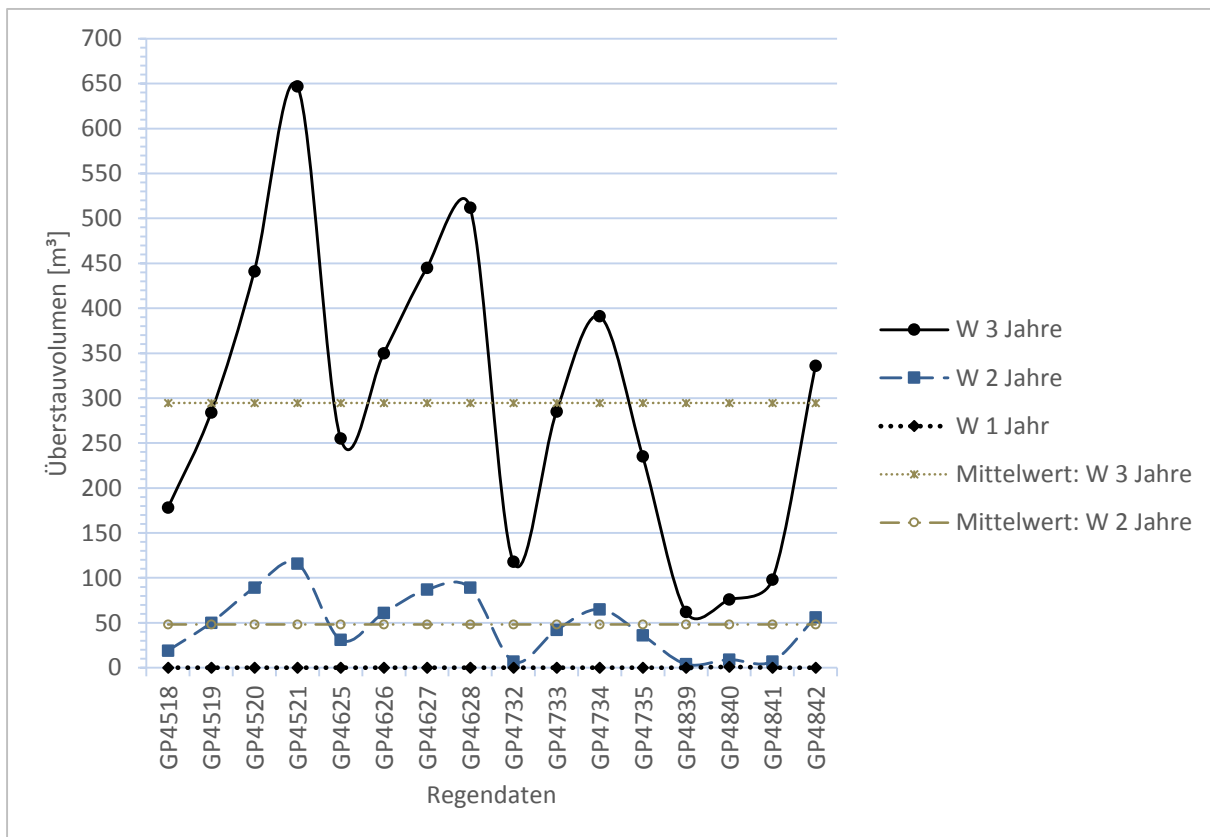


Abbildung 151: Ergebnisse kalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 1 - 3

Auch im untenstehenden Diagramm (Abbildung 152), zur Gegenüberstellung der höheren Jährlichkeiten sind enorme Unterschiede auszumachen. Der bei Verwendung von Niederschlagsdaten zu GP4839 auftretende Minimalwert nähert sich für eine Wiederkehrdauer von 100 Jahren dem über alle Gitterpunkte mittleren Überstauvolumen für eine Wiederkehrdauer von 20 Jahren. Aufgrund derartiger Abweichungen in den Modellergebnissen, zufolge einer örtlichen Verteilung von Niederschlagsdaten, kann bereits verdeutlicht werden wie ausschlaggebend die (örtliche) Verfügbarkeit und eine sorgfältige Auswahl der Niederschlagsdaten für Modellberechnungen der Siedlungsentwässerung sind.

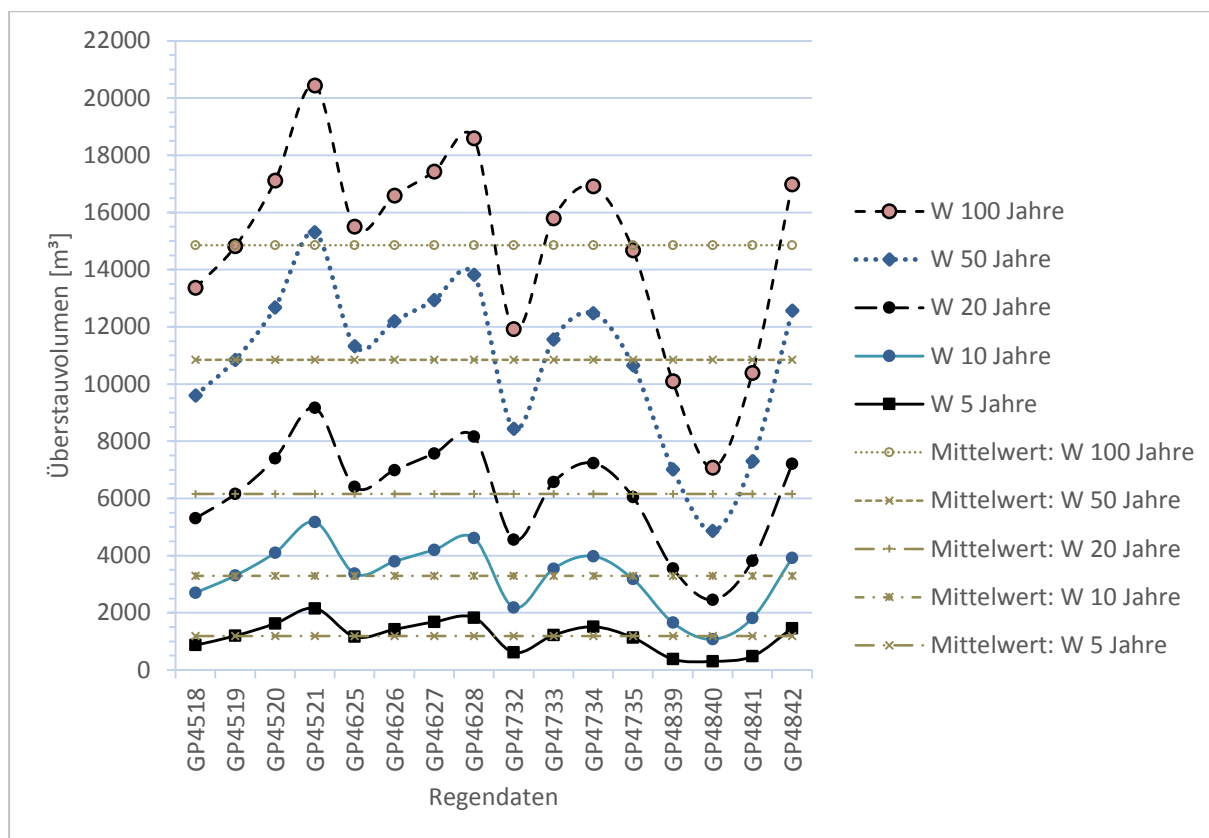


Abbildung 152: Ergebnisse kalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 5 - 100

Die beiden nachfolgenden Diagramme (Abbildung 153 und Abbildung 154) zeigen eben diese Diskrepanz für Berechnungsergebnisse des unkalibrierten Modells, wobei im Vergleich zu Ergebnissen des kalibrierten Modells grundsätzlich ein höheres Überstauvolumen für sämtliche Gitterpunkte erkennbar ist. Auch für diese Darstellungen ist ein über die Gitterpunkte gemittelter Überstauvolumen zur Verdeutlichung der Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen eingetragen.

Während am kalibrierten Modell beispielsweise über sämtliche Gitterpunkte mittlere Überstauvolumina von rund 50 m³ für ein 2-jährliches Regenereignis und rund 1.190 m³ für ein 5-jährliches Regenereignis auftreten, ergeben sich am unkalibrierten Modell für eine Wiederkehrdauer von 2 Jahren rund 325 m³ und für eine Wiederkehrdauer von 5 Jahren rund 2.500 m³ an Überstauvolumen.

Am unkalibrierten Modell entsteht nur mehr für GP4839 kein Überstau bei einer Wiederkehrdauer von 1 Jahr – alle übrigen Simulationsergebnisse zeigen hier für ein 1-jährliches Regenereignis ein Überstauvolumen < 10 m³ auf.

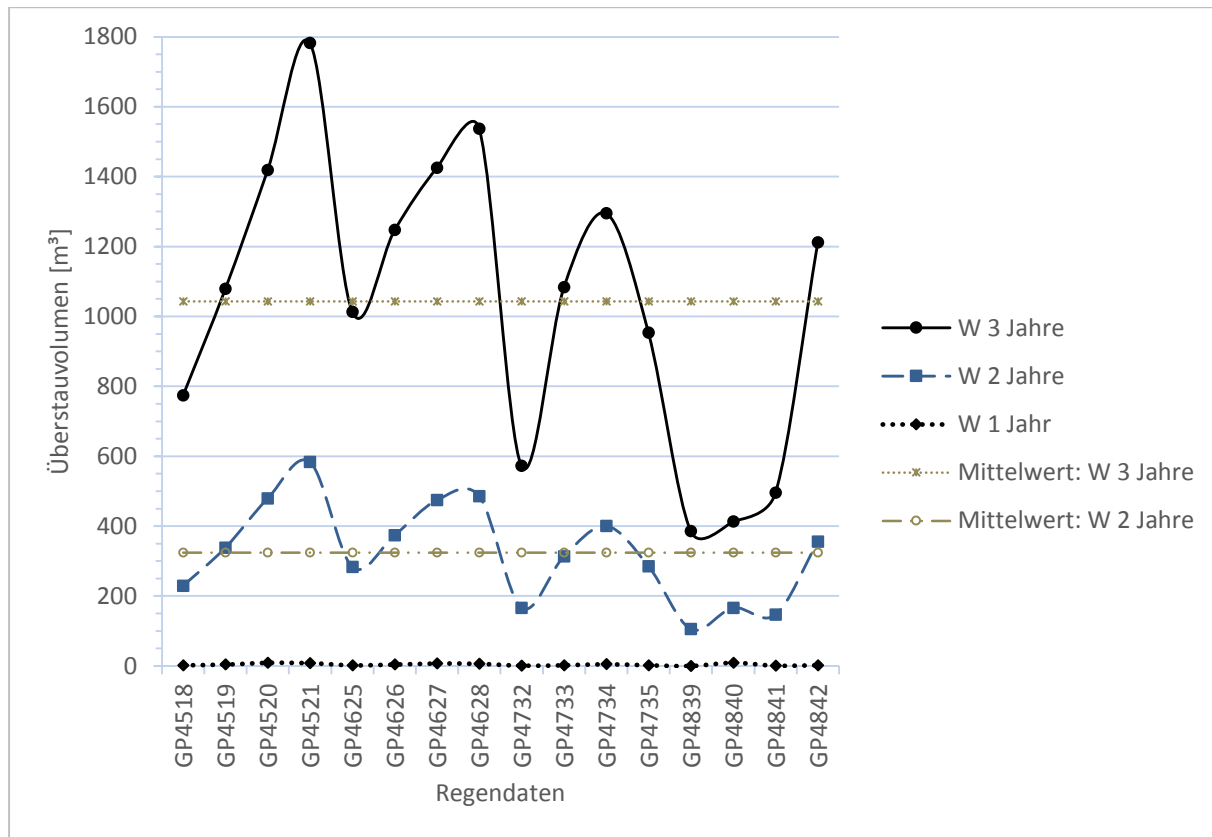


Abbildung 153: Ergebnisse unkalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 1 - 3

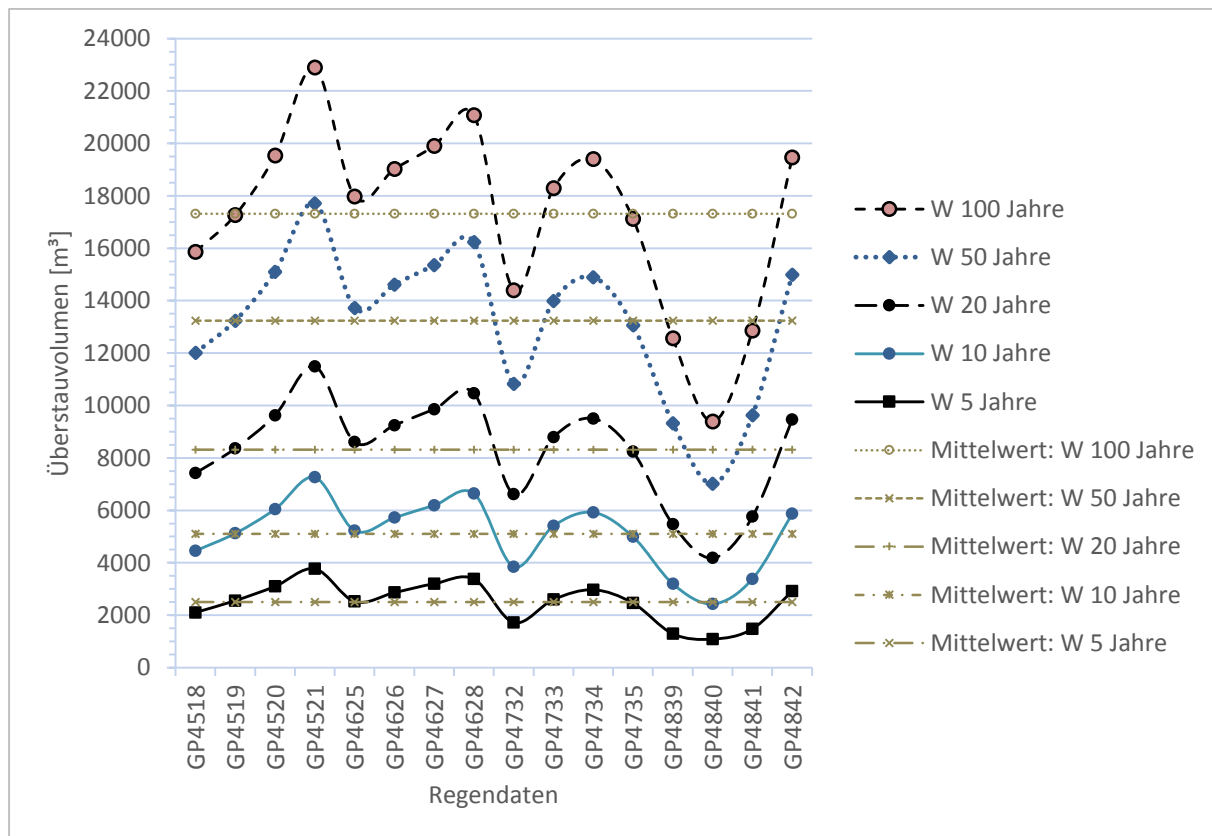


Abbildung 154: Ergebnisse unkalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 5 - 100

In Abbildung 155 ist die Anzahl der Modellpunkte abgebildet, an denen Überstau auftritt. Dabei sind sowohl die Ergebnisse aus der Berechnung des kalibrierten, als auch des unkalibrierten Modells dargestellt. Hierbei lässt sich erkennen, dass für eine Wiederkehrdauer von 50 und 100 Jahren die Berechnungsergebnisse des unkalibrierten Modells zwar ein höheres Überstauvolumen ergeben (siehe oben), jedoch im kalibrierten Modell an mehreren Punkten Überstau auftritt. Wiederum kann grundsätzlich eine deutliche Diskrepanz zwischen kalibriertem und unkalibriertem Modell festgehalten werden. Zudem wird wie bereits zuvor die enorme Beeinflussung der Modellergebnisse zufolge von geringfügig regional variierten Niederschlagsdaten deutlich. Da bei einer Jährlichkeit 1 kein Überstau im kalibrierten Modell auftritt gibt es auch keine Schächte bei denen er zu beobachten wäre.

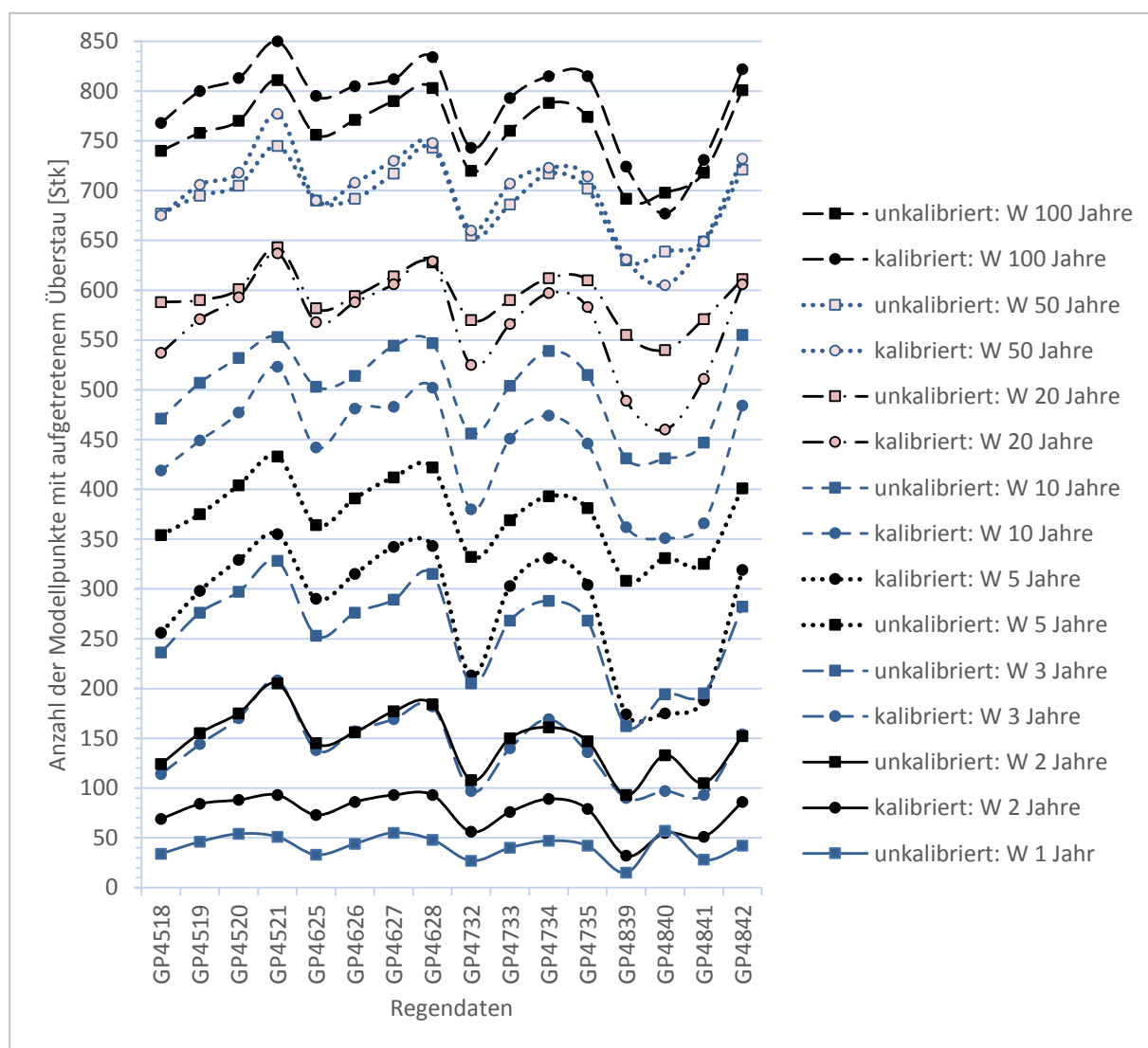


Abbildung 155: Modellergebnisse – Anzahl der Modellpunkte mit Überstau für alle untersuchten Gitterpunkte

Abbildung 156 und Abbildung 157 zeigen die Mischwasserentlastungsvolumina in Abhängigkeit der untersuchten Niederschlagsdatensätze für das kalibrierte sowie das unkalibrierte Modell. Abbildung 158 und Abbildung 159 stellen die Zulaufvolumina zur ARA dar. Für beide Auswertungen ist ersichtlich, dass die Simulationsergebnisse des unkalibrierten Modells die des kalibrierten wesentlich übersteigen und teilweise an deren nächste simulierte Wiederkehrdauerstufe heranreichen. Wie für die vorherigen Auswertungen haben die örtlich variierten Niederschlagsdatensätze noch erheblichen Einfluss auf die Modellergebnisse.

Abbildung 160 bis Abbildung 163 zeigen die zum Teil linearen Zusammenhänge des Mischwasserüberlaufvolumens zum Überstau- bzw. Oberflächenabflussvolumens. Dabei werden nochmals die Unterschiede der einzelnen Kalibrierungsszenarien sowie der Nutzung der verschiedenen Gitterpunkte sichtbar.

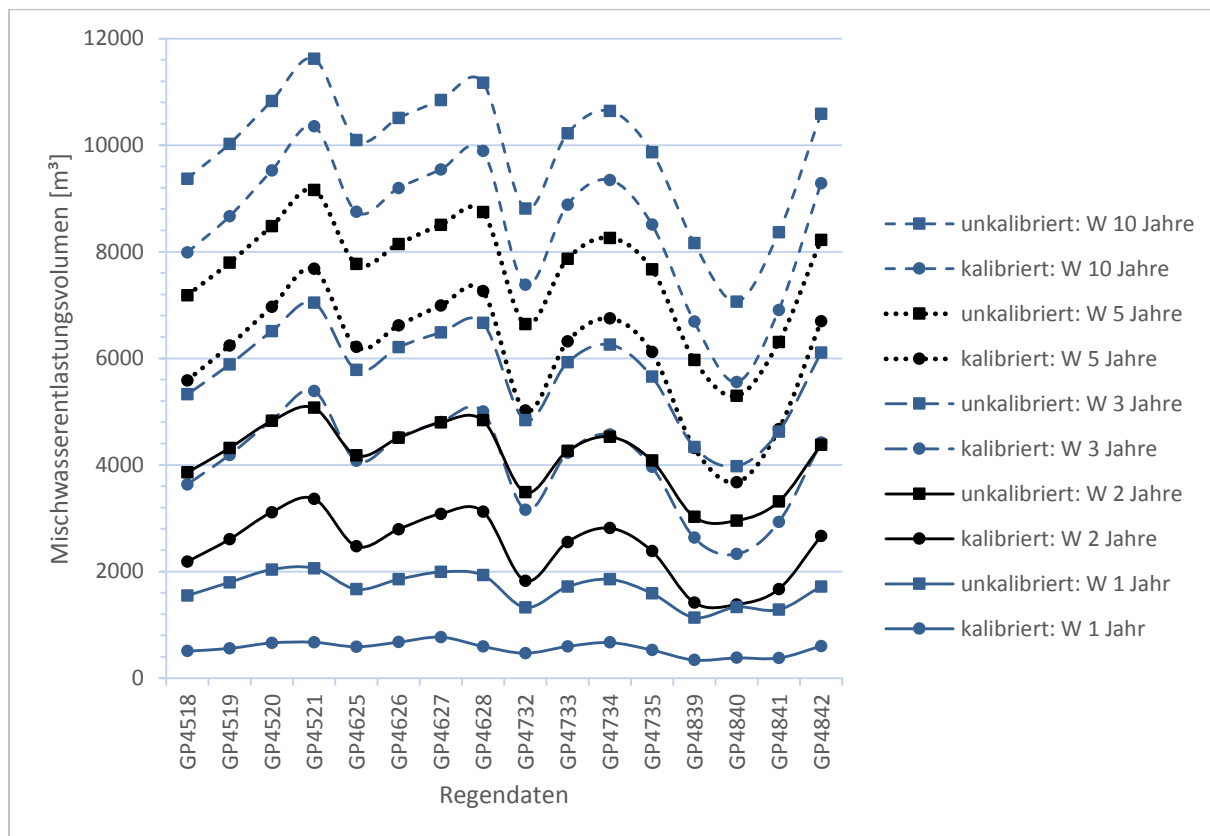


Abbildung 156: Modellergebnisse – Mischwasserentlastungsvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 1 - 10

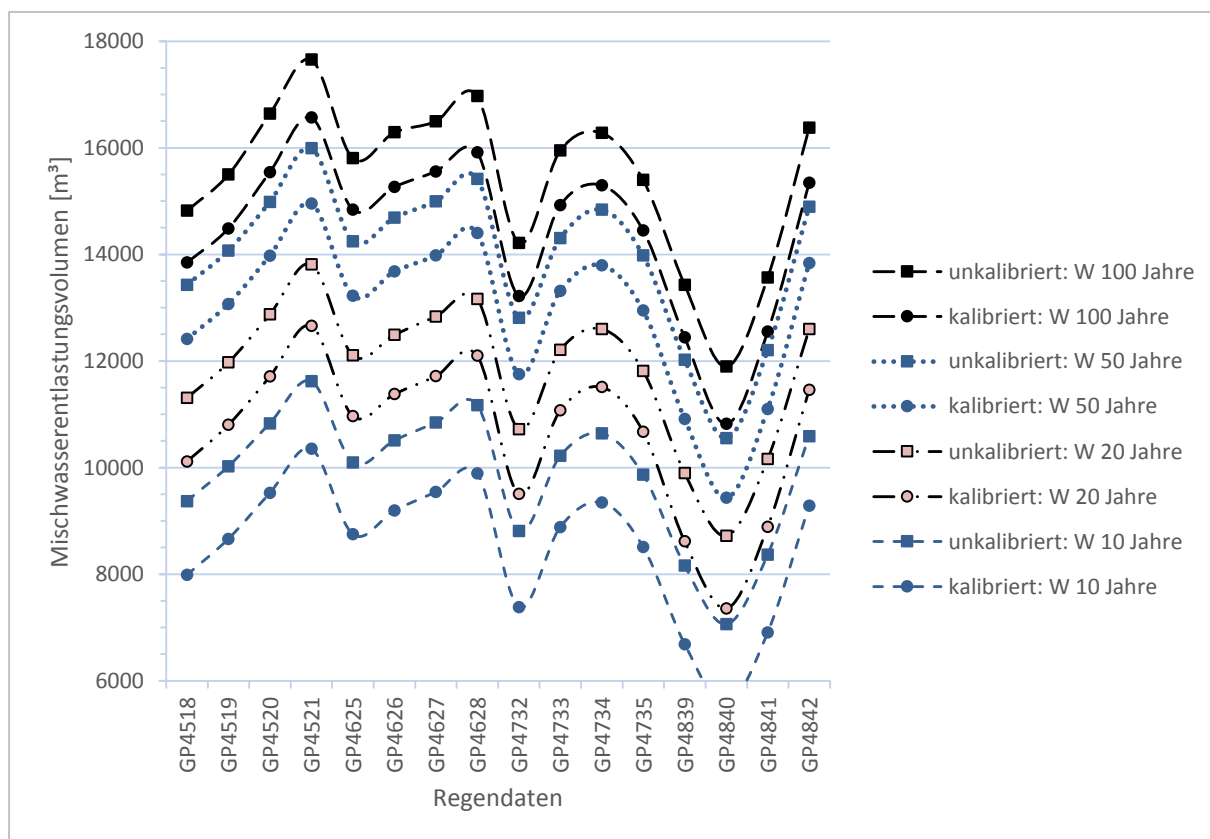


Abbildung 157: Modellergebnisse – Mischwasserentlastungsvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 10 - 100

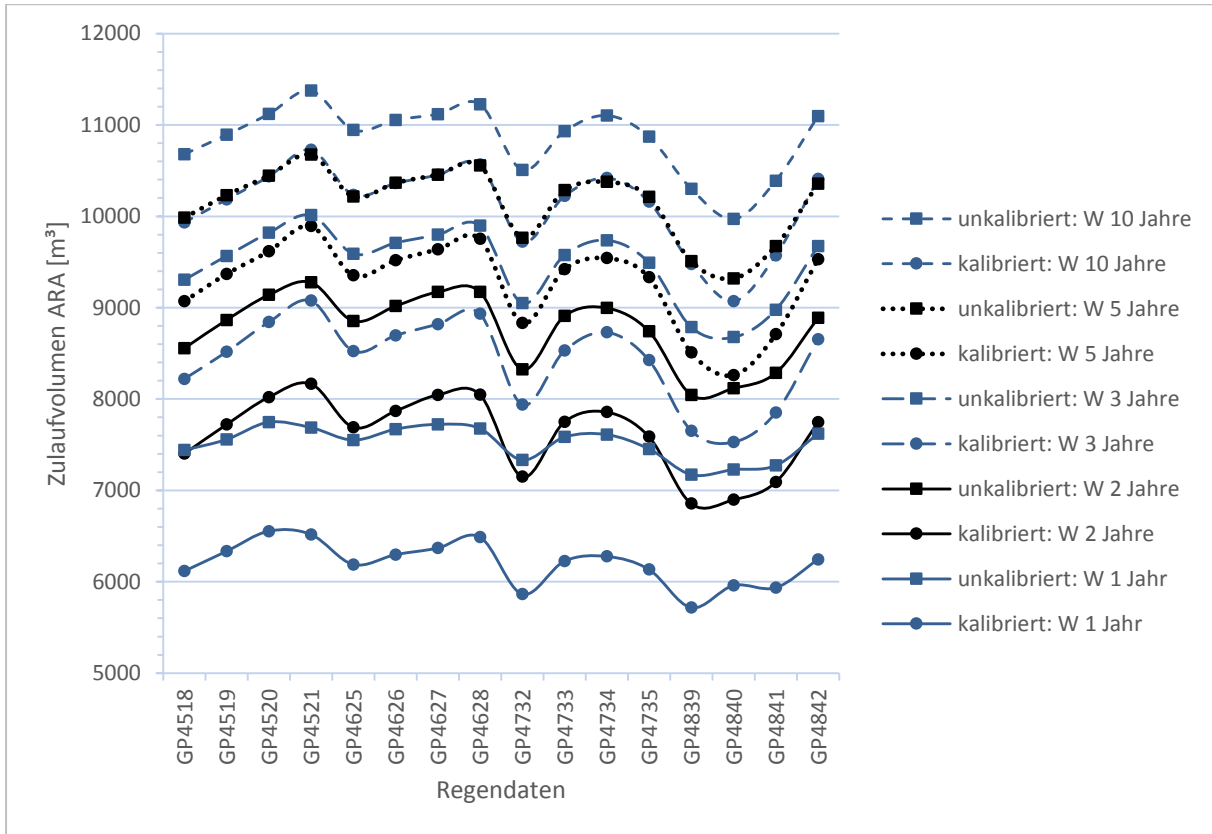


Abbildung 158: Modellergebnisse – Zulaufvolumen zur ARA für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 1 - 10

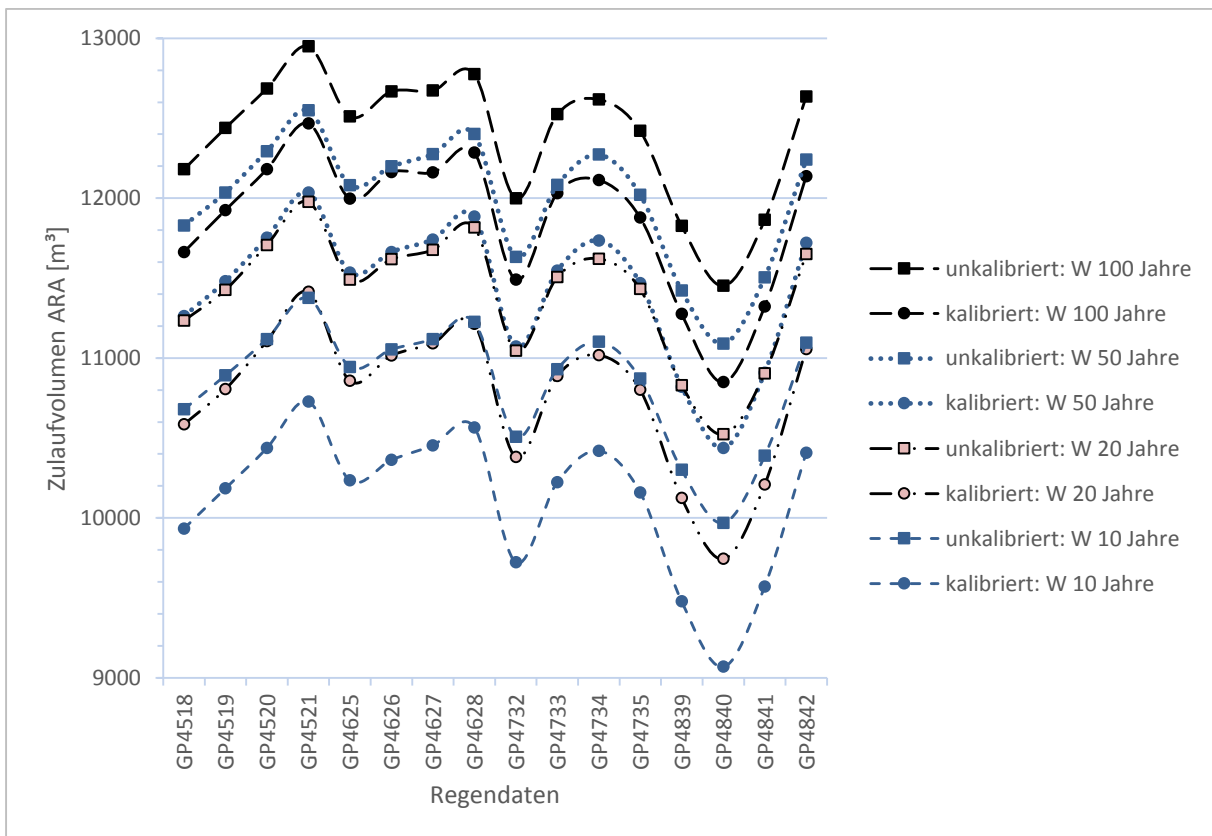


Abbildung 159: Modellergebnisse – Zulaufvolumen zur ARA für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 10 – 100

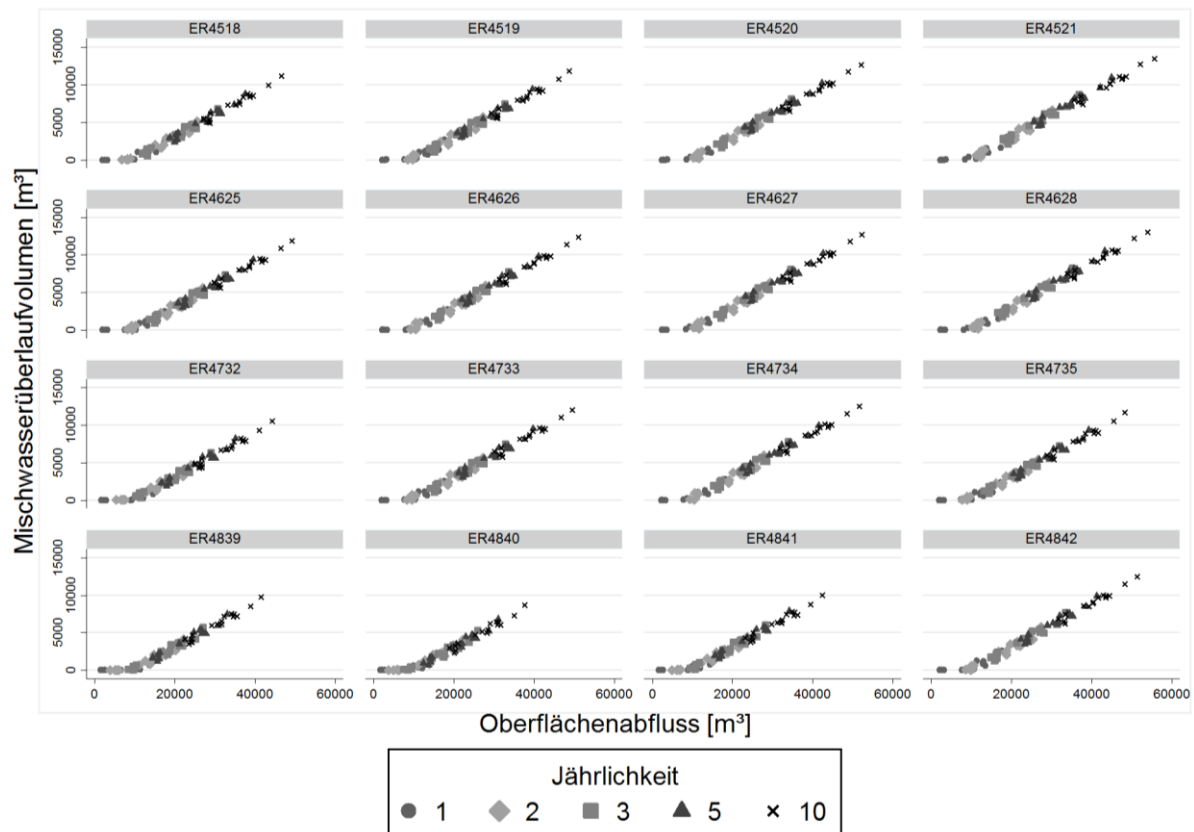


Abbildung 160: Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Oberflächenabfluss für die einzelnen Gitterpunkte

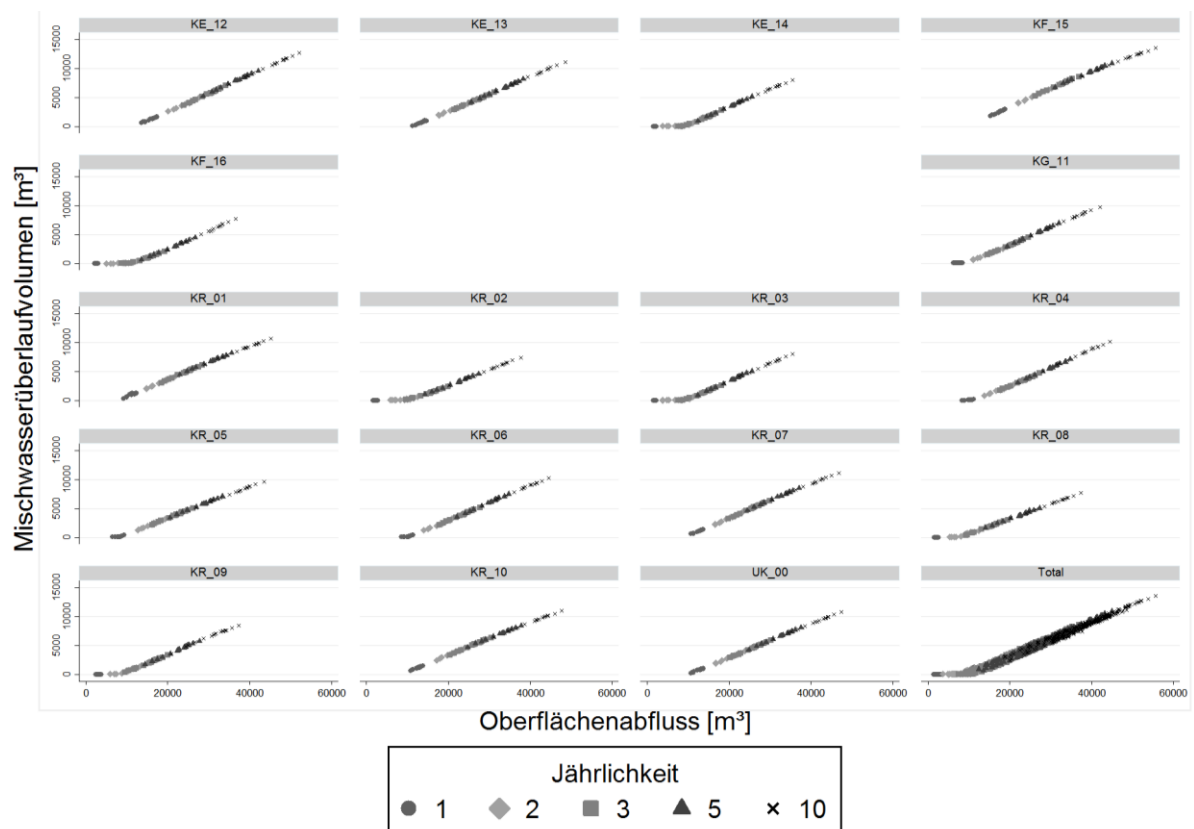


Abbildung 161: Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Oberflächenabfluss für die einzelnen Kalibrierungsszenarien

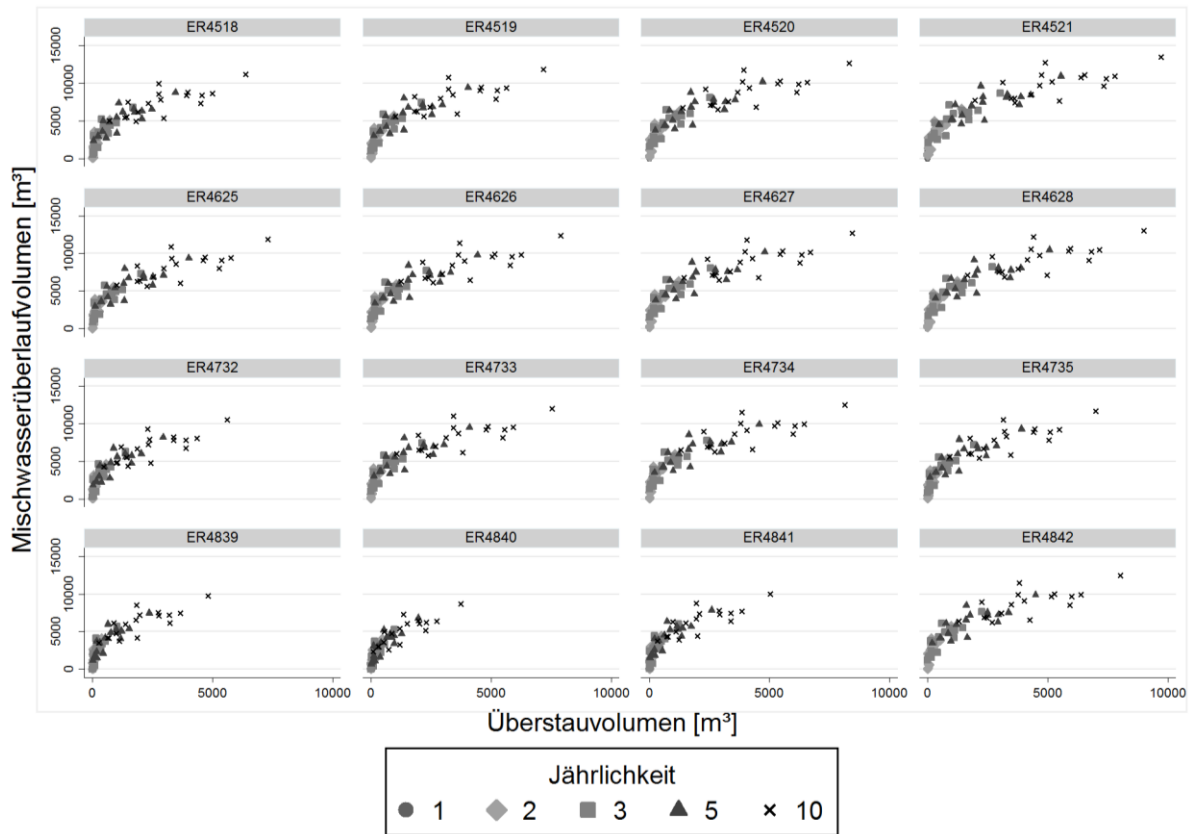


Abbildung 162: Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Überstauvolumen für die einzelnen Gitterpunkte

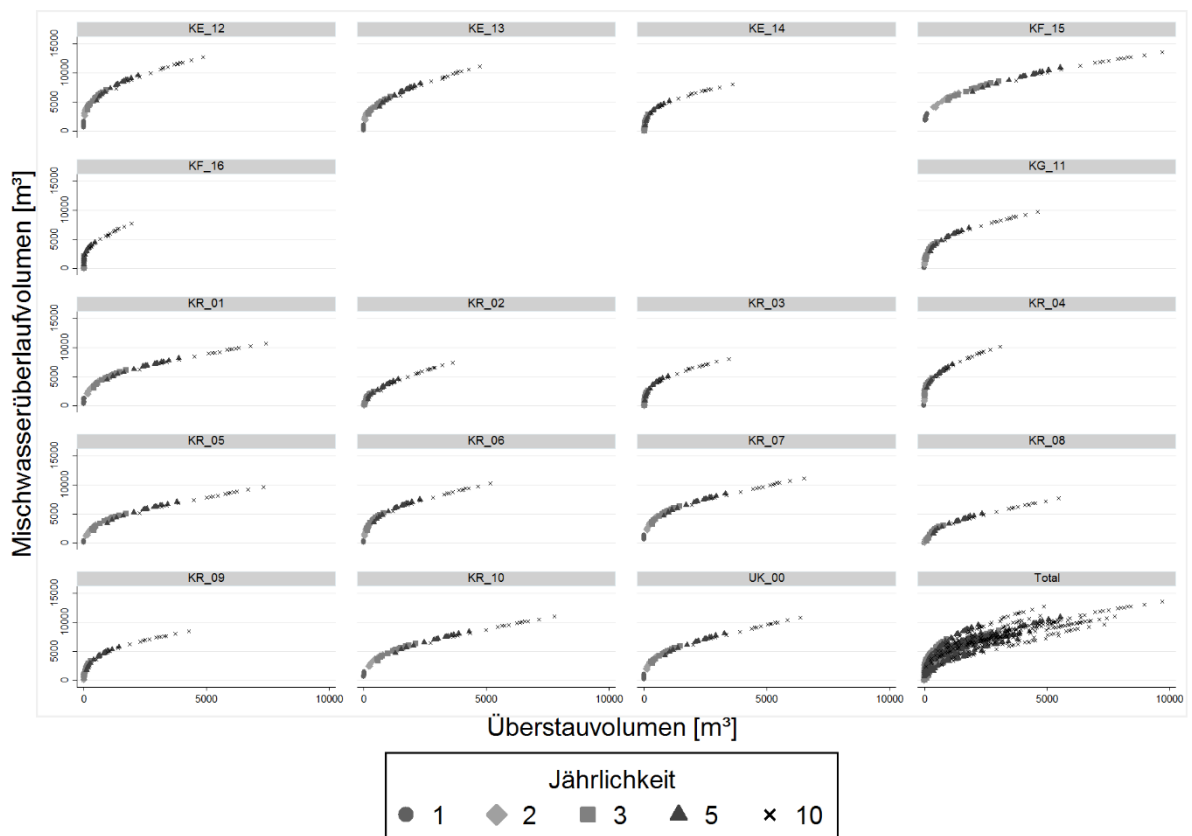


Abbildung 163: Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Überstauvolumen für die einzelnen Kalibrierungsszenarien

### 9.1.6. EINFLUSS DER SZENARIEN UNTER NUTZUNG VON 10-JAHRES LANGZEITSIMULATION

Es wurden des Weiteren jeweils Simulationsläufe mittels 10 Jahres - Niederschlagsdaten der Aufzeichnungsstationen Seefeld und Innsbruck Flughafen (siehe Abbildung 164) mit unkalibriertem (UK\_00) sowie mit verschiedenen kalibrierten Modellen (siehe Tabelle 34) durchgeführt.

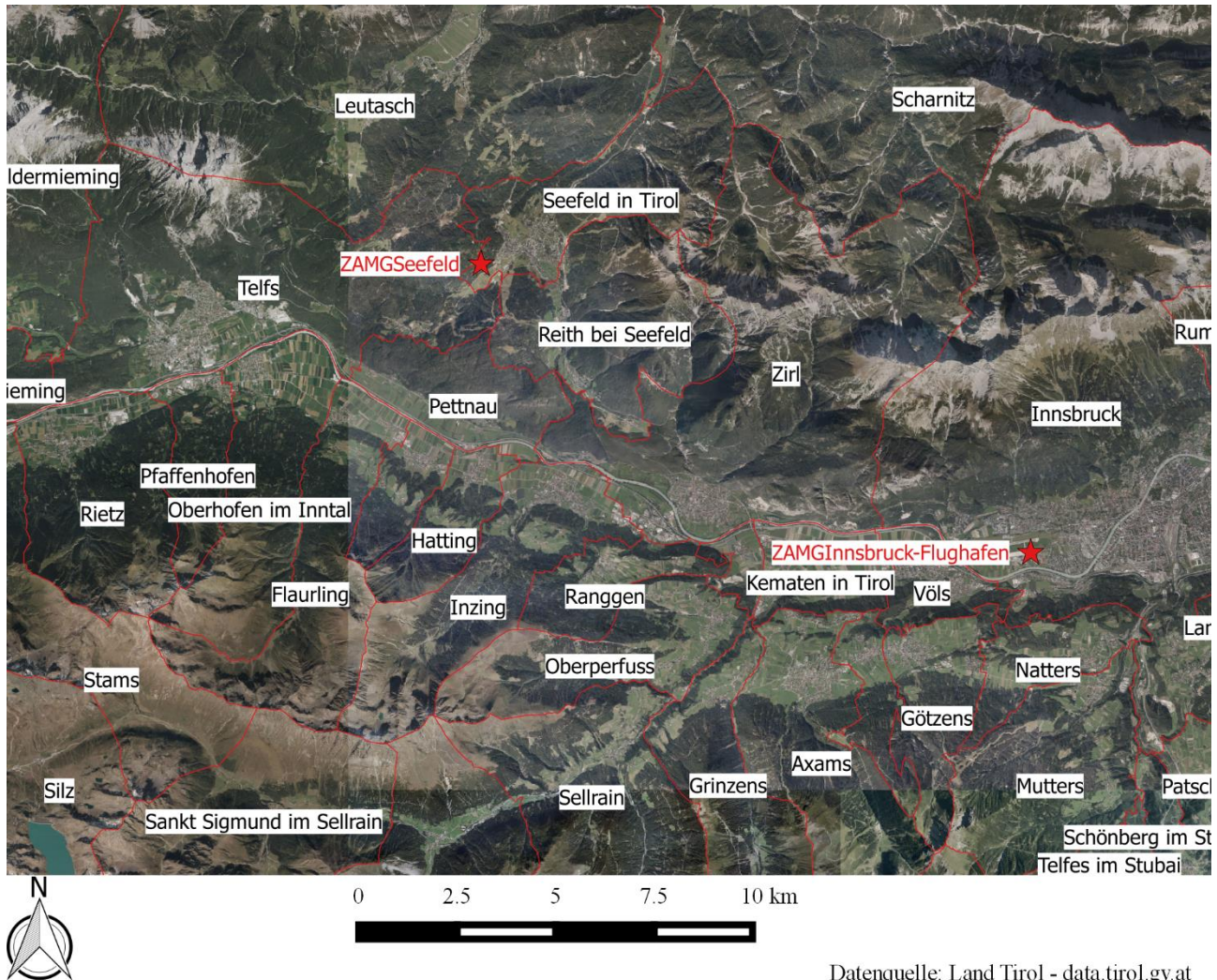


Abbildung 164: Genutzte Messstellen der ZAMG für die Langzeitsimulation

In der nachfolgenden Abbildung 165 ist anhand der eingesetzten Niederschlagsdatensätze Seefeld und Innsbruck Flughafen zu erkennen, dass das Überstauvolumen für Daten zu Innsbruck-Flughafen sichtlich geringer ausfällt als bei Verwendung entsprechender Niederschlagsdaten der Messstation Seefeld. Besonders drastisch zeigt sich jedoch der Einfluss auf die Ergebnisse zufolge Modellkalibrierung. Die Einflussnahme durch die eingesetzten Niederschlagsdaten weist bei Betrachtung des Überstauvolumens für die unterschiedlichen Modellkalibrierungen bzw. gegenüber dem unkalibrierten Modell ein recht konstantes Verhalten auf. Bei Kalibrierung auf ein einzelnes der 10 Starkregenereignisse folgt vielfach ein gegenüber dem unkalibrierten Modell wesentlich geringeres Überstauvolumen – gegenüber dem auf die 10 stärksten Regenereignisse im Jahr 2014 gemeinsam kalibrierten Modell wird hingegen vermehrt ein signifikant höheres Überstauvolumen erzielt, während nur für 3 der Starkregenereignisse die Ergebnisse zum Überstauvolumen deutlich geringer. Auch bei Simulation mit Modellen, kalibriert auf die Messergebnisse von nur einem Regenmesser (Messkampagne Telfs, Tirol), treten gegenüber dem unkalibrierten Modell geringere Überstauvolumina auf. Zu beachten ist, dass die Relevanz des Einsatzes von über das Untersuchungsgebiet verteilten Messstellen für eine gesamthafte Erfassung der Siedlungsentwässerung verdeutlicht wird. Das Ergebnis zum auftretenden Überstauvolumen zufolge Kalibrierung bei gesamthafter Betrachtung aller Messstellen wird durch separaten Einsatz der Aufzeichnungen jeweils einer Messstelle gleichermaßen über- bzw. unterschritten. Gravierend zeigt

sich der Einfluss der Abflussmessung im RAT auf das erhaltene Überstauvolumen. Die Daten der Abflussmessung dienen der Abstimmung von Niederschlagsereignis und Abflussverhalten im Kanal – die im Zuge einer Abflussmessung generierten Daten sind daher besonders relevant für eine adäquate Modellkalibrierung.

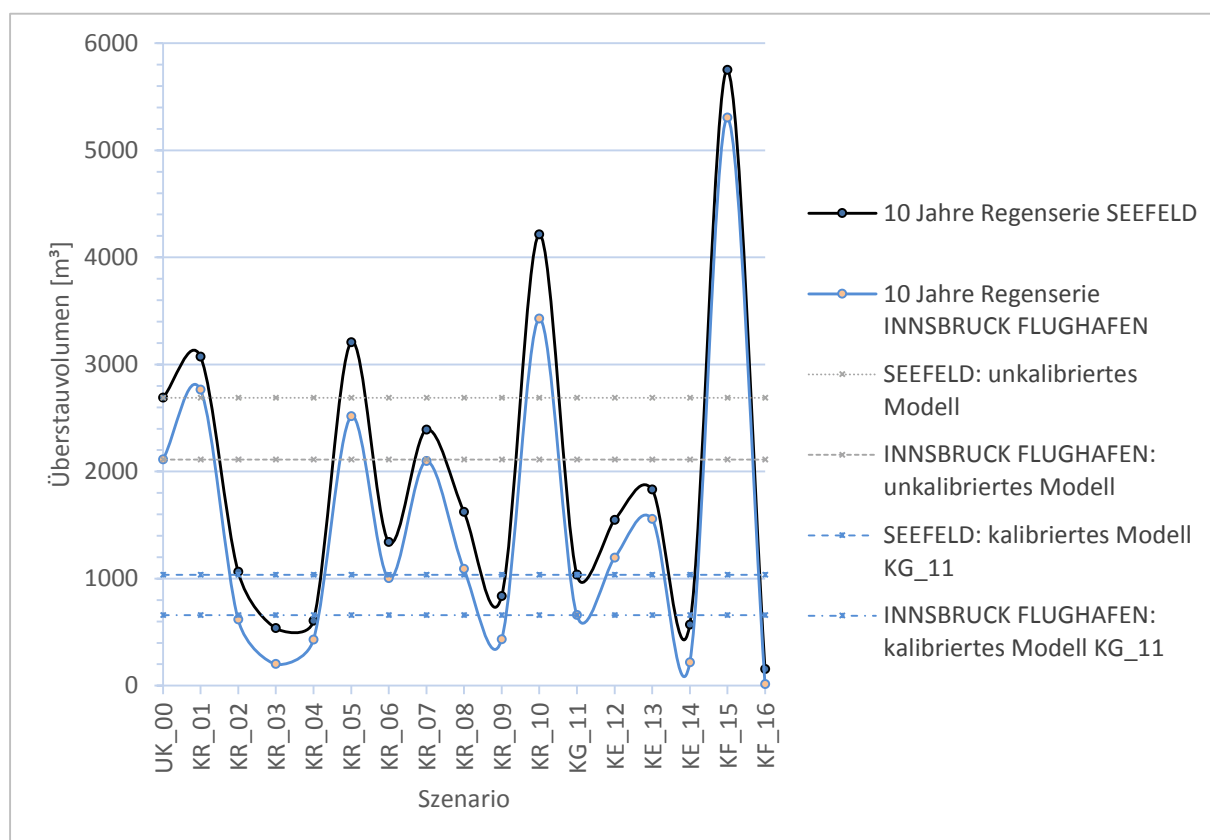


Abbildung 165: Modellergebnisse Langzeitsimulation – Überstauvolumen über 10 Jahre

Hinsichtlich des in Abbildung 166 dargestellten Zulaufvolumens zur ARA besteht vermehrt eine Diskrepanz des Modellverhaltens zufolge der Niederschlagsdatenvariation. Dabei ist vor allem erkennbar, dass hier die Modellkalibrierung KG\_11 (alle 10 Starkregenereignisse gemeinsam) für die eingesetzte Niederschlagsdatenauswertung Innsbruck-Flughafen ein höheres Zulaufvolumen ergibt, als das unkalibrierte Modell. Zuzufolge einer Kalibrierung auf Regenereignis 1 tritt in beiden Fällen ein unvergleichbar hoher Zulauf an zu reinigendem Abwasser zur ARA auf. Die für Regenereignis 4 und 6 kalibrierten Modelle hingegen liefern zu den für Innsbruck-Flughafen ausgewerteten Niederschlagsdaten ein im Vergleich zu allen anderen Kalibrierungsvarianten, wie auch verglichen mit den Simulationsergebnissen für Seefeld, äußerst geringe Zulaufvolumina zur ARA bzw. unterschreiten als einzige die Zulaufvolumina der unkalibrierten Modelle. Die Gesamtzuflussmenge zur ARA für die beiden ist im Durchschnitt über die zehn Jahre ca. 15% höher als die gemessenen Daten der ARA aus den Jahren 2009-2011 (im Mittel 2.400.000 m³). Allerdings kann dies in der Schwankungsbreite liegen, da über die Jahre betrachtet solche Schwankungen durchaus zu beobachten sind.

Die Annahme einer Unterschätzung der tatsächlichen Wasserstandshöhen im RAT wirken sich diesbezüglich nur geringfügig aus – die Annahme einer Überschätzung zeigt speziell für die Modellsimulation zum Niederschlagsdatensatz der Aufzeichnungsstation Seefeld eine signifikante Diskrepanz zu den weiteren Kalibrierungsansätzen.

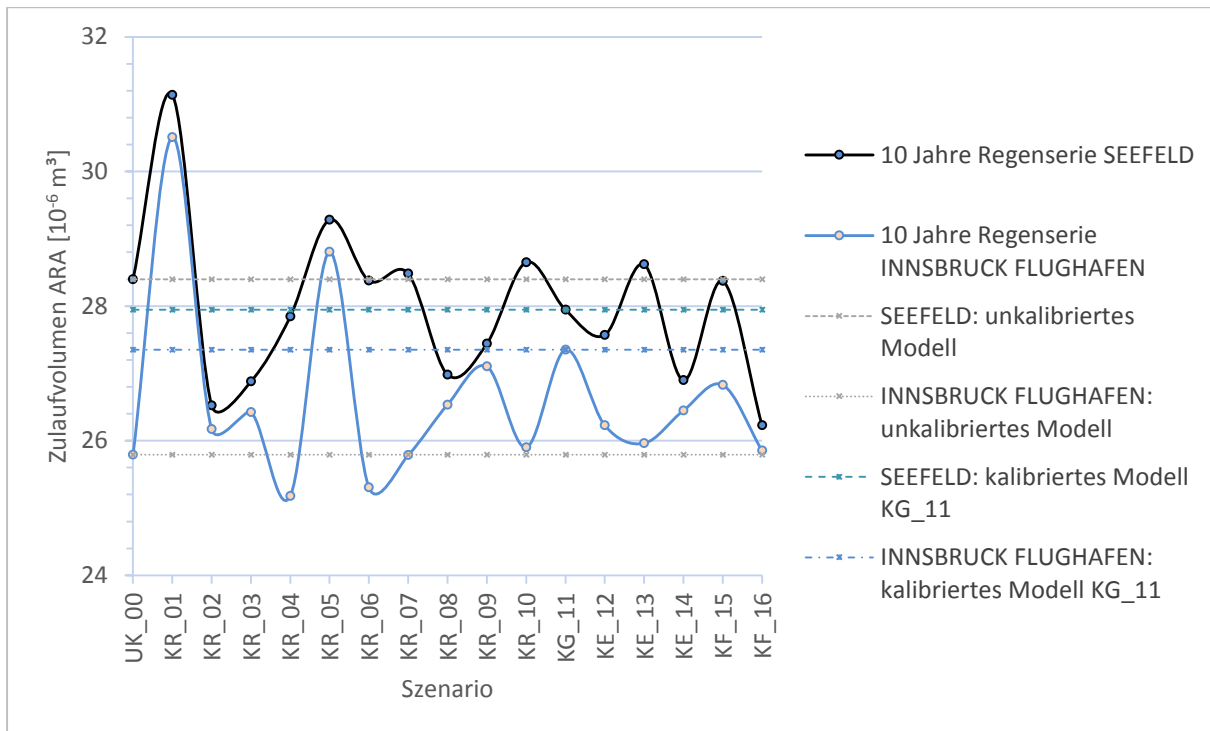


Abbildung 166: Modellergebnisse Langzeitsimulation – Zulaufvolumen zur ARA über 10 Jahre

Der maximal auftretende Durchfluss im RAT (Abbildung 167) verhält sich für Niederschlagsdaten zugrunde Auswertungen der Aufzeichnungsstationen Seefeld und Innsbruck-Flughafen sehr ähnlich. Große Abweichungen in den Modellergebnissen sind für die unterschiedlich kalibrierten Modelle auszumachen. Insbesondere zeigen hier die für jeweils eine einzelne Regenmessstation der durchgeführten Mess-kampagne stark unterschiedliche Verhältnisse auf.

Entsprechend der Modellkalibrierung mit zugrundeliegender Annahme einer Unterschätzung der Wasserstandshöhen im RAT entsteht interessanterweise ein geringerer maximaler Durchfluss als für die Annahme einer Überschätzung der entsprechenden Wasserstandshöhen (jeweils für einen Fehler von 30%). Dieses Verhältnis lässt vermuten, dass durch einen kontinuierlich höheren Durchfluss im Kanal keine so ausgeprägte Abflussspitze auftritt.

Die 10 einzelnen, zur Kalibrierung verwendeten Regenereignisse bedingen eine starke Variation des maximalen Durchflusses. Wiederrum wird bei einem Vergleich des unkalibrierten Modells mit dem für alle 10 Regenereignisse kalibrierten Modell auch der maximale Durchfluss im RAT überschätzt.

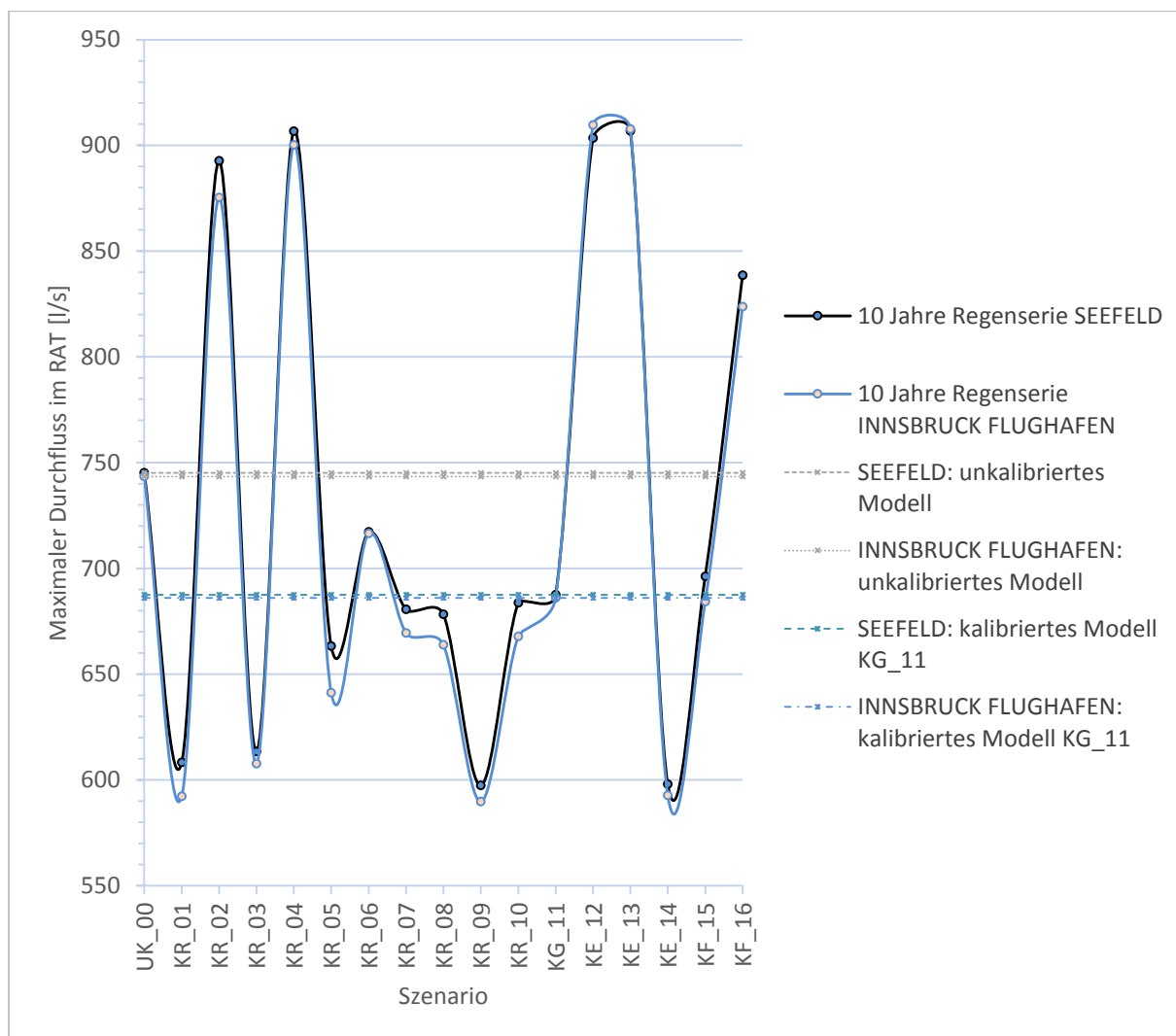


Abbildung 167: Modellergebnisse Langzeitsimulation – maximaler Durchfluss im RAT

Bei Betrachtung des gesamthaften, über 10 Jahre hinweg auftretenden Durchflusses (Abbildung 168) gemäß den dazu erhaltenen Simulationsergebnissen verhält sich die Variation der Niederschlagsdatensätze (Seefeld und Innsbruck-Flughafen) für die angeführten Kalibrierungsvarianten unterschiedlich. Insbesondere die Annahme eines kontinuierlichen Messfehlers bei der Abflussmessung im RAT wirkt sich für die Simulation mittels Niederschlagsdaten zu Innsbruck-Flughafen deutlich geringer aus als für die Regendaten der Station Seefeld.

Das unkalibrierte Modell liefert für Seefeld ein recht hohes Durchflussvolumen, während für Innsbruck zufolge der kalibrierten Modelle überwiegend ein höheres Durchflussvolumen festgehalten wird als anhand des unkalibrierten Modells.

Auch zeigt sich für eine Kalibrierung auf Regenereignis 1 ein markanter Spitzenwert beim Durchflussvolumen innerhalb der Siedlungsentwässerungsinfrastruktur.

Das Durchflussvolumen im RAT zufolge der für alle 10 Starkregenereignisse kalibrierten Modelle, unter Variation der Niederschlagsdaten (Seefeld bzw. Innsbruck-Flughafen), liegt zwar in einer ähnlichen Größenordnung, allerdings ist die absolute Differenz von 500.000 m<sup>3</sup> dennoch nennenswert.

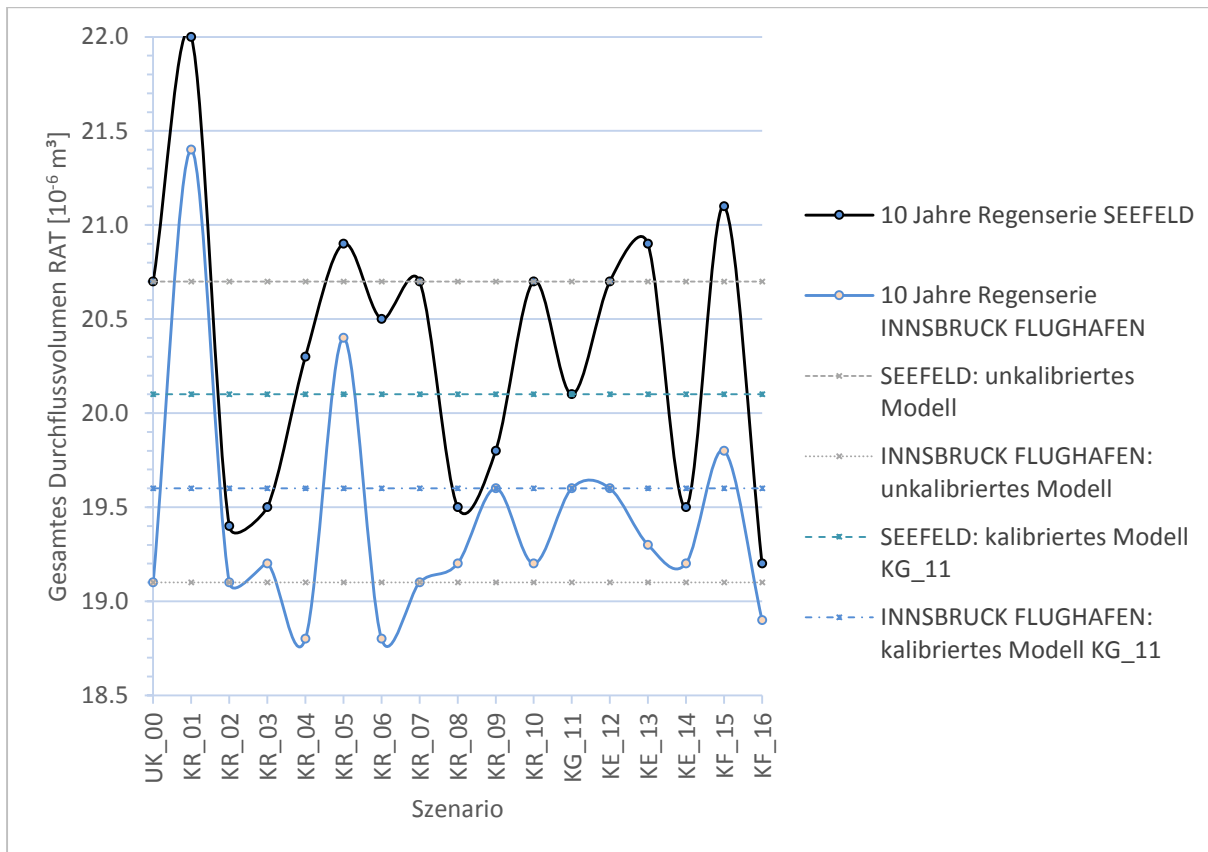


Abbildung 168: Modellergebnisse Langzeitsimulation – Durchflussvolumen im RAT über 10 Jahre

Der Nachweis der Mischwasserentlastungen nach (ÖWAV-Regelblatt 19 2007) erfordert eine Langzeitsimulation über zumindest 10 Jahre. Danach wird jener Anteil des Regenwasserabflusses berechnet, welcher an der Abwasserreinigungsanlage behandelt werden soll (Wirkungsgrad der Weiterleitung). Dieser Wert schwankt in Abhängigkeit der Niederschlagscharakteristik und der Ausbaugröße der Abwasserreinigungsanlage. Erste Tests mit der hydrodynamischen Berechnungssoftware SWMM (Gironás *et al.* 2010) zeigen, dass für kleinere Gemeinden eine derartige Langzeitsimulation durchaus hydrodynamisch durchgeführt werden kann. Die Berechnung des Wirkungsgrades erfolgt direkt aus den aufsummierten Mischwasseremissionen  $V_{Q_e}$  und dem Oberflächenabfluss  $V_{Q_R}$ :

$$\eta = 1 - \frac{V_{Q_e}}{V_{Q_R}}$$

Die Berechnungszeiten liegen für eine 10-jährige Niederschlagszeitreihe (kontinuierliche Simulation) auf einem üblichen Büro-PC (Intel I7 CPU mit 2.8 GHz) bei ca. 12 Stunden. Dies beinhaltet noch keinerlei Eingriffe zur Beschleunigung der Berechnung wie eine Parallelisierung der Berechnungssoftware auf mehrere Rechenkerne (Burger *et al.* 2014), Verwendung von Emulatoren (Machac *et al.* 2014) oder eine Aufteilung der Niederschlagsreihe in einzelne Ereignisse und Verteilung dieser (Telegdy und Stefan 2014). Beim Fallbeispiel Weiz (siehe Kapitel 9.3) wird zudem die im Zuge des Projekts DATMOD erarbeitete Methodik einer kombinierten Nachweisführung (siehe Kapitel 7.3) mit einer Serie von Regenereignissen zum Zwecke der Berechnungszeitreduzierung aufgezeigt.

ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) erfordert allerdings auch den Nachweis sogenannter kritischer Fälle, z. B. zur Vermeidung kritischer Situationen der akuten Ammoniaktoxizität. Hierfür ist die Ammoniumkonzentration mittels Mischungsrechnung für jeden Simulationszeitschritt zu berechnen und anschließend die 1-Stunden-Spitze auszuwerten.

Besonders für kleinere und mittlere Kanalisationsunternehmen ist eine kombinierte Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 (2009) und ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) ein empfehlenswerter Weg, sofern ohnehin ein hydrodynamisches Modell vorhanden ist oder erstellt werden soll. Der große Vorteil liegt dabei in einem verminderten Aufwand durch Vermeidung einer doppelten Modellerstellung und -wartung (hydrodynamisches und hydrologisches Modell). In dieser Arbeit wurde die semiautomatische Erstellung eines hydrodynamischen Modells aus den Daten des digitalen Leitungsinformationssystems gezeigt. Ergänzend notwendige Informationen zu Flächendaten können aus Katasterplänen übernommen werden. Die Abflussbeiwerte wurden in dieser Arbeit lediglich grob abgeschätzt und trotzdem konnte bereits eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Wasserständen erreicht werden.

### 9.1.7. FAZIT

Anhand des Vergleichs an Modellergebnissen der Simulationen mit Niederschlagsdatensätzen zu den umliegenden Geländepunkten im Raum Telfs zeigen sich erhebliche Diskrepanzen zwischen den erzielten Beurteilungen der Verhältnisse innerhalb der untersuchten Siedlungsentwässerungsinfrastruktur. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von Unsicherheitsanalysen bei Simulationsmodellen der Siedlungsentwässerung. Vorhandene Eingangsdaten müssen dezidiert ausgewählt und überprüft bzw. verglichen und abgestimmt werden, um ein realistisches Bild der tatsächlichen Abläufe und Bedingungen zur untersuchten Siedlungsentwässerung zu erhalten.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Fläche von ca. 116 km<sup>2</sup> und die ausgewählten Geländepunkte beschreiben das umliegende Gebiet von ca. 400 km<sup>2</sup>. Die direkt am Untersuchungsgebiet liegenden Geländepunkte (GP4626, GP4627, GP4733 und GP4734) weisen hinsichtlich ihrer Niederschlagsdatenauswertungen und den damit durchgeführten Modellsimulationen wesentlich bessere Übereinstimmungen in den Modellergebnissen auf als bei weiterer Ausweitung der Niederschlagsdatenerfassung. Dadurch wird die Relevanz einer regional hoch aufgelösten Niederschlagsdatenverfügbarkeit für Modellsimulationen zur Siedlungsentwässerung – insbesondere kleinerer und mittlerer Gemeinden, wie im Fall des Abwasserverbandes Telfs und Umgebung – klar ersichtlich.

Grundsätzlich ist anhand der aufgezeigten Vergleiche die hohe Relevanz der Modellkalibrierung erkennbar. Es zeigt sich, dass für alle Simulationsvarianten mit Modellregen bezogen auf Geländepunkte in der umliegenden Region zu Telfs die erforderlichen Kapazitäten der Siedlungsentwässerung durch unkalibrierte Modellberechnungen wesentlich überschätzt werden. Bei Fokus auf die zufolge des Einsatzes der oben genannten, direkt am Untersuchungsgebiet liegenden Niederschlagsdatensätze erhaltenen Modellergebnisse vermindern sich die Abweichungen aufgrund der Niederschlagsdatenvariation, während die Modellkalibrierung enorm an Bedeutung gewinnt.

Auch die mittels der Langzeitsimulationen über 10 Jahre erhaltenen Modellergebnisse zeigen, wenn auch weniger signifikant, Unterschiede zufolge einer Gegenüberstellung der verwendeten Niederschlagsdaten „Seefeld“ bzw. „Innsbruck-Flughafen“ auf. Insbesondere kann diese Diskrepanz durch eine adäquate Modellkalibrierung verringert werden. Hierbei relativiert sich der Einfluss der durchgeführten Niederschlagsdatenvariation im Vergleich zur Bedeutung der Modellkalibrierung.

In Anbetracht der außerordentlichen Tragweite der Modellkalibrierung treten die zur Kalibrierung vorhandenen Messdaten in den Vordergrund. Sind die generierten Messdaten beispielsweise örtlich oder zeitlich stark eingeschränkt und somit nicht in der Lage die vorhandenen Begebenheiten gut abzubilden, wirkt sich das gravierend auf die entsprechenden Modellergebnisse aus, wie anhand der gezeigten Kalibrierungsvarianten ersichtlich. Zuzufolge einer Kalibrierung mittels der Niederschlagsdatenaufzeichnung von nur einer der drei eingesetzten Messstellen treten gegenüber einer Kalibrierung unter Einbeziehung der beiden weiteren Messdatensätze erhebliche Veränderungen in den Modellergebnissen auf – es werden dadurch (je nach Messstelle) wesentlich geringere als auch höhere erforderliche Kapazitäten für die untersuchte Siedlungsentwässerungsstruktur erfasst. Daraus lässt sich die Folgerung ableiten, dass nur eine Niederschlagsdatenmessstelle nicht ausreicht, um ein ganzheitliches Verständnis der für die Modellsimulation ausschlaggebenden Verhältnisse zu erlangen. Ebenso konzentriert sich eine Kalibrierung auf ein einzelnes Regenereignis stark auf eine spezielle Situation bzw. sehr spezifische Begebenheiten und führt daher zu einer unzureichend aussagekräftigen Beurteilung des Prozessverhaltens innerhalb der untersuchungsgegenständlichen Siedlungsentwässerung, was eine Umlegung auf andere Ereignisse erschwert bzw. verfälschen kann.

Besondere Bedeutung für eine adäquate Modellkalibrierung hat die Abflussmessung, aufgrund ihrer ausschlaggebenden Funktion bei der Abstimmung der Niederschlagsdatenerhebungen auf die Abläufe innerhalb der Kanalisation. Dies spiegelt sich in den Modellergebnissen mit Modellkalibrierung unter der Annahme von Messfehlern bei der Wasserstandshöhenmessung im RAT deutlich wider. Sowohl hinsichtlich Überstau als auch Mischwasserentlastungsvolumen bildet die Fehlerannahme bei der Abflussmessung mit Abstand die höchste Diskrepanz in den Modellergebnissen aus. Auch bei Betrachtung der Modellergebnisse für den Durchfluss zeigt die Modellkalibrierung unter Annahme eines Fehlers bei der Wasserstandshöhenmessung von 30% deutliche Abweichungen vom kalibrierten Modell KG\_11, bei dessen Kalibrierung von einer realistischen Abflussmessung ausgegangen wurde (sämtliche weitere Kriterien wurden für die drei Kalibrierungsvarianten identisch gewählt).

## 9.2. FALLSTUDIE OSTÖSTERREICH

### 9.2.1. DATENGRUNDLAGEN UND ZIELSETZUNG

Der Standort der zweiten Fallstudie befindet sich im Osten Österreichs. Auf Wunsch des betreffenden Abwasserverbandes wird dieser hier aber anonym behandelt. Das Einzugsgebiet umfasst zwei Ortschaften, die über zwei getrennte Sammelkanäle an die Kläranlage (Ausbaugröße 5.000 EW) angeschlossen sind. Die verfügbaren Datengrundlagen zur Kanalisation sind in den beiden Teileinzugsgebieten derzeit noch sehr unterschiedlich. Während in dem einen Bereich ein digitales Leitungssystem erst im Aufbau ist, ist in dem anderen Teil bereits ein hydrodynamisches Modell des Kanalnetzes verfügbar. Aufgrund der guten Trennbarkeit der beiden Teileinzugsgebiete wird im Rahmen der Fallstudie nur auf jenes Teilnetz zurückgegriffen, das die Anforderungen an den Datenumfang bereits jetzt erfüllt. Das betreffende Kanalsystem hat eine Länge von rund 12 km. Davon ist der größte Teil als Mischkanalisation ausgeführt, allerdings ist auch eine Regenkanalisation vorhanden (qualifiziertes Mischsystem). Im System gibt es zwei Pumpwerke und eine Mischwasserentlastung inkl. Rückhaltebecken (Fangbecken im Hauptschluss).

Für die im Projekt durchgeführten Untersuchungen konnte teilweise auf das bereits bestehende hydrodynamische Kanalnetzmodell zurückgegriffen werden. Die Daten betreffend die Schächte, Haltungen, Pumpwerke und die Mischwasserentlastung wurden direkt übernommen. Da der Schwerpunkt dieser Fallstudie auf Untersuchungen betreffend die Flächendetaillierungsgrade gelegt wurde, wurden für alle 4 Ebenen die Flächendaten komplett neu erhoben. Die Ergebnisse der Flächenerhebungen in den 4 Detaillierungsebenen wurden verglichen (erhobene Fläche, Aufwand, Fehlerpotenzial, Abflussverhalten im Kanalnetz). Modellberechnungen wurden für die relevanten Ebenen 2, 3, und 4 durchgeführt und die Abflussspitzen und -mengen anhand eines Bemessungsregens verglichen (Überstaue, Abfluss- und Entlastungsspitzen).

Neben dem hydrodynamischen Modell sind für die untersuchte Fallstudie auch die Ergebnisse von Vor-Ort-Begehungen hinsichtlich der tatsächlich an die Kanalisation angeschlossenen Dach- und Straßenflächen verfügbar. Diese Informationen über den Anschlussgrad der einzelnen Teilflächen stellten ebenfalls eine wichtige Grundlage für die durchgeführten Untersuchungen dar.

### 9.2.2. DATENERHEBUNG UND DATENAUFBEREITUNG

Wie eingangs erwähnt, stehen bei den beschriebenen Untersuchungen die unterschiedlichen Flächenansätze im Mittelpunkt.

Folgende Flächentypen wurden unterschieden:

- **Gesamtfläche:** Hierbei handelt es sich um die Fläche des gesamten Einzugsgebietes (z. B. Gemeindegebiet, kanalisiertes Gebiet)
- **Befestigte Fläche:** Dies sind jene Flächen im Einzugsgebiet, die in irgendeiner Form befestigt sind (z. B. Dachflächen, Straßenflächen, Hauseinfahrten, Gartenwege etc.), auch wenn die Art der Befestigung eine zumindest teilweise Versickerung des Niederschlages erwarten lässt (z. B. Rasengittersteine)
- **Angeschlossene Flächen:** Dies sind jene befestigten Flächen, die tatsächlich an das Kanalisationssystem angeschlossen sind.
- **Abflusswirksame Flächen:** Hierbei wird noch die Möglichkeit der teilweisen Durchlässigkeit der angeschlossenen Flächen mitberücksichtigt (z. B. Rasengittersteine)

Abbildung 169 zeigt die Vorgangsweise der Erhebung und Aufbereitung der Flächendaten, beginnend mit der Gesamtfläche, über die befestigte Fläche, die angeschlossene Fläche bis hin zur Ermittlung der abflusswirksamen Fläche.

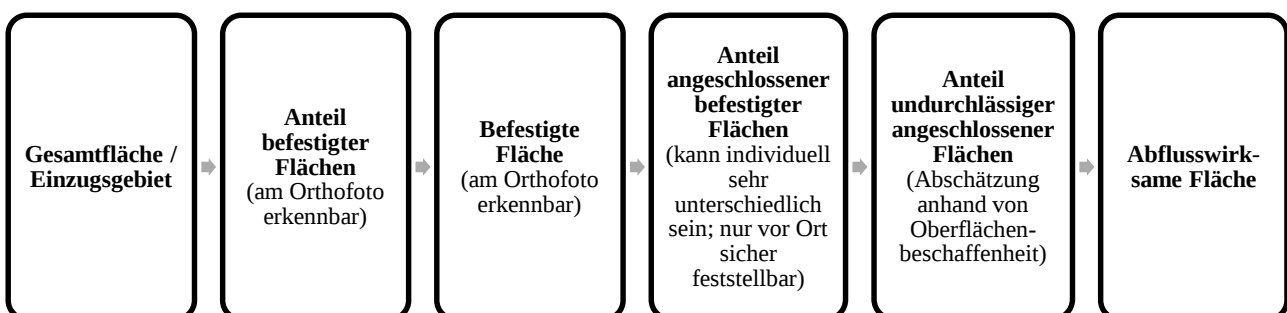


Abbildung 169: Vorgangsweise bei der Ermittlung der abflusswirksamen Fläche

Im ersten Schritt wird immer die befestigte Fläche ermittelt. Dabei wurde untersucht, wie sehr sich die ermittelten befestigten Flächen je nach Ermittlungsmethode unterscheiden, mit welchen möglichen Fehlern zu rechnen ist und wie hoch der Arbeitsaufwand jeder Methode ist. Details zu den Methoden der Flächenermittlungen in den unterschiedlichen Genauigkeitsebenen sind nachfolgend ausgeführt.

Die weiteren Arbeitsschritte sind jeweils die Ermittlung oder Abschätzung der angeschlossenen befestigten Flächen sowie die Undurchlässigkeiten der angeschlossenen befestigten Flächen. Je nach den unterschiedlichen Genauigkeitsebenen gibt es auch hierbei entsprechend unterschiedliche Verfahren von der pauschalen Schätzung über Stichproben mittels Referenzflächen bis zur differenzierten Betrachtung jeder Einzelfläche. Das Ergebnis ist letztendlich immer die abflusswirksame Fläche.

#### 9.2.2.1. EBENE 1 – EINZUGSGEBIET

Hierbei wird ein pauschaler Befestigungsgrad festgelegt und damit die vorhandene befestigte Fläche definiert. Im Fallbeispiel wurde der Befestigungsgrad auf 40 % geschätzt. Diese Methode ist sehr zeiteffizient, aber dafür ist der potenzielle Fehler bei dieser Art der Flächenermittlung auch am größten. Der zusätzliche Aufwand, der dann im Modell für die Aufteilung der Gesamtfläche auf einzelne Schächte noch anfällt, ist nicht berücksichtigt.

Der tatsächliche befestigte Flächenanteil wurde mit der Prozent-Schätzung zwar nur um knapp 13 % überschätzt und kam dem tatsächlichen Wert, im Vergleich zu den Stichprobenverfahren am nächsten, der potenziell mögliche Fehler ist jedoch groß, wenn die Abschätzung mit nur einem mittleren Befestigungsgrad für das gesamte Einzugsgebiet erfolgt.

Der Anteil der angeschlossenen befestigten Flächen sowie die Undurchlässigkeiten der angeschlossenen befestigten Flächen werden in weiterer Folge ebenso pauschal geschätzt. Als Ergebnis aller pauschalen Schätzungen wird die abflusswirksame Fläche erhalten.

Der Arbeitsaufwand für diese Abschätzung beträgt wenige Stunden (4 bis 6 h), die Fehlermöglichkeit ist aber groß und es bedarf gut abgesicherten Erfahrungswerten.

In der unten stehenden Abbildung 170 ist das Einzugsgebiet, ermittelt nach der Methode der Ebene 1 sowie das Kanalnetz (Schächte und Haltungen) dargestellt.

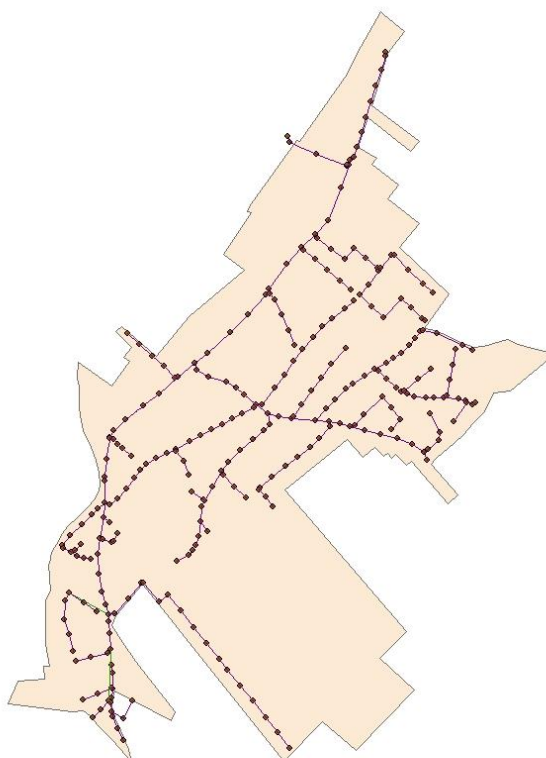


Abbildung 170: Ebene 1 - Einzugsgebiet

### 9.2.2.2. EBENE 2 – TEILEINZUGSGEBIET

Bei dieser Methode, die eine gängige Praxis in Planungsbüros ist, wird das gesamte Gebiet in einige möglichst homogene Teileinzugsgebiete unterteilt. Danach wird für jedes dieser Teileinzugsgebiete versucht, einen möglichst repräsentativen Ausschnitt zu wählen, für den eine Teilflächendifferenzierung durchgeführt wird. Der potenzielle Fehler der Flächenermittlung ist hier stark von der Repräsentativität der Referenzflächen abhängig. Über die Hochrechnung aus der Teilflächendifferenzierung der Referenzflächen können in weiterer Folge für die Abflussabschätzung auch verschiedene Abflussbeiwerte für verschiedene Befestigungsgrade berücksichtigt werden.

Tabelle 38 und Tabelle 39 zeigen die Zusammenfassung der Teilflächen innerhalb der ausgewählten Referenzflächen je Teileinzugsgebiet. Für die Auswahl der Stichprobenflächen (repräsentativen Flächen) wurden zwei Verfahren untersucht:

- 1) Grundstücke mittels Umkreiswerkzeug in der GIS-Anwendung ausgewählt und danach entsprechend den Grundgrenzen (z. B. DKM) der ausgewählten Grundstücke im Detail ausgewertet (grundstücksscharfe Abgrenzung: Tabelle 38)
- 2) Referenzflächenauswahl mittels eines Polygons (z. B. Viereck oder Rechteck) und Verschneidung dieser Figur mit den Detailflächen (Berechnung mittels Rechteckzuschnitt: Tabelle 39).

Tabelle 38: Teilflächenanteile der Referenzflächen mittels grundstücksscharfer Detailauswertung für die Zuordnung zu den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Quelle: Berechnung aus dem Fallbeispiel)

| <b>Referenzflächen für Teileinzugsgebiete<br/>(Berechnung mittels grundstücksscharfer Abgrenzung)</b> | Anteile Straßen                              | Anteile Parkplatz, Weg / Asphalt / Beton / Kies (ev. teildurchlässig) | Anteile Einfahrten, Kies / halbdurchlässig | Anteile Schrägdach | Anteile Flachdach | Anteile nicht angeschl. Dachfläche (Flugdach, Pavillon etc.) | Anteile befestigte Gartenflächen (Wege, Fliesen, Waschbeton) | Anteile Grünflächen, unbefestigte Flächen | Anteil befestigt |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| Teileinzugsgebiet Gewerbeflächen (typisch 60 - 100 % befestigt)                                       | 9%                                           | 32%                                                                   | 28%                                        | 12%                | 7%                | 2%                                                           | 0%                                                           | 10%                                       | 90%              |
| Teileinzugsgebiet Innerstädtisch (80-100 % befestigt)                                                 | kein innerstädtisches Gebiet im Fallbeispiel |                                                                       |                                            |                    |                   |                                                              |                                                              |                                           |                  |
| Teileinzugsgebiet Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhaus (typisch 65-80% befestigt)                       | 15%                                          | 6%                                                                    | 8%                                         | 39%                | 0%                | 0%                                                           | 6%                                                           | 25%                                       | 75%              |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus dicht (typisch 50-65 % befestigt)                                   | 16%                                          | 2%                                                                    | 7%                                         | 27%                | 0%                | 0%                                                           | 10%                                                          | 38%                                       | 62%              |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus extensiv (typisch 30-50 % befestigt)                                | 7%                                           | 3%                                                                    | 1%                                         | 14%                | 6%                | 1%                                                           | 8%                                                           | 61%                                       | 39%              |
| Teileinzugsgebiet Grünland und Wasserflächen (typisch unter 5 % befestigte Fläche)                    | 0%                                           | 1%                                                                    | 0%                                         | 0%                 | 0%                | 0%                                                           | 0%                                                           | 99%                                       | 1%               |

Tabelle 39: Teilflächenanteile der Referenzflächen mittels Flächenverschnitt mit (rechteckiger) Stichprobenfläche für die Zuordnung zu den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Quelle: Berechnung aus dem Fallbeispiel)

| <b>Referenzflächen für Teileinzugsgebiete</b><br><b>(Berechnung mittels Rechteckzuschnitt)</b> | Anteile Straßen                              | Anteile Parkplatz, Weg / Asphalt / Beton / Kies (ev. teildurchlässig) | Anteile Einfahrten, Kies / halbdurchlässig | Anteile Schrägdach | Anteile Flachdach | Anteile nicht angeschl. Dachfläche (Flugdach, Pavillon etc.) | Anteile befestigte Gartenflächen (Wege, Fliesen, Waschbeton) | Anteile Grünflächen, unbefestigte Flächen | Anteil befestigt |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| Teileinzugsgebiet Gewerbeflächen (typisch 60 - 100 % befestigt)                                | 9%                                           | 32%                                                                   | 28%                                        | 12%                | 7%                | 2%                                                           | 0%                                                           | 10%                                       | 90%              |
| Teileinzugsgebiet Innerstädtisch (80-100 % befestigt)                                          | kein innerstädtisches Gebiet im Fallbeispiel |                                                                       |                                            |                    |                   |                                                              |                                                              |                                           |                  |
| Teileinzugsgebiet Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhaus (typisch 65-80% befestigt)                | 10%                                          | 8%                                                                    | 5%                                         | 37%                | 0%                | 0%                                                           | 5%                                                           | 34%                                       | 66%              |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus dicht (typisch 50-65 % befestigt)                            | 11%                                          | 1%                                                                    | 6%                                         | 25%                | 0%                | 0%                                                           | 8%                                                           | 49%                                       | 51%              |
| Teileinzugsgebiet Einfamilienhaus extensiv (typisch 30-50 % befestigt)                         | 8%                                           | 3%                                                                    | 2%                                         | 12%                | 3%                | 0%                                                           | 6%                                                           | 64%                                       | 36%              |
| Teileinzugsgebiet Grünland und Wasserflächen (typisch unter 5 % befestigte Fläche)             | 0%                                           | 1%                                                                    | 0%                                         | 0%                 | 0%                | 0%                                                           | 0%                                                           | 99%                                       | 1%               |

Insgesamt wurde mit beiden Methoden der tatsächliche befestigte Flächenanteil in dem Fallbeispiel deutlich überschätzt (rund 30 %). Grund dafür ist, dass die Referenzflächen unbewusst in eher dichter bebauten Bereichen der Teilflächen angenommen wurden als es dem tatsächlichen Durchschnitt der Fläche entspricht und somit einzelne befestigte Flächenanteile überrepräsentiert wurden.

Der Arbeitsaufwand dieser Methode beträgt für die Festlegung der Teileinzugsgebiete einen halben Tag und für die Auswertung jeder Referenzfläche einen weiteren knappen halben Tag (gesamt für jeweils eine Variante der Referenzflächenabgrenzung im vorliegenden Fallbeispiel mit fünf relevanten Teileinzugsgebieten: 20 h).

Mit zunehmender Größe der Stichprobenfläche werden die Unterschiede zwischen den Methoden und die Überschätzung geringer, jedoch der Arbeitsaufwand größer.

Der Anteil der angeschlossenen Flächen und der Undurchlässigkeiten dieser Flächen wird in weiterer Folge für die jeweiligen Stichprobenflächen ermittelt und ebenso für die entsprechenden Teileinzugsgebiete hochgerechnet um letztendlich die abflusswirksame Fläche zu erhalten.

In der unten stehenden Abbildung 171 sind die Teileinzugsgebiete der Ebene 2 sowie das Kanalnetz (Schächte und Haltungen) dargestellt.

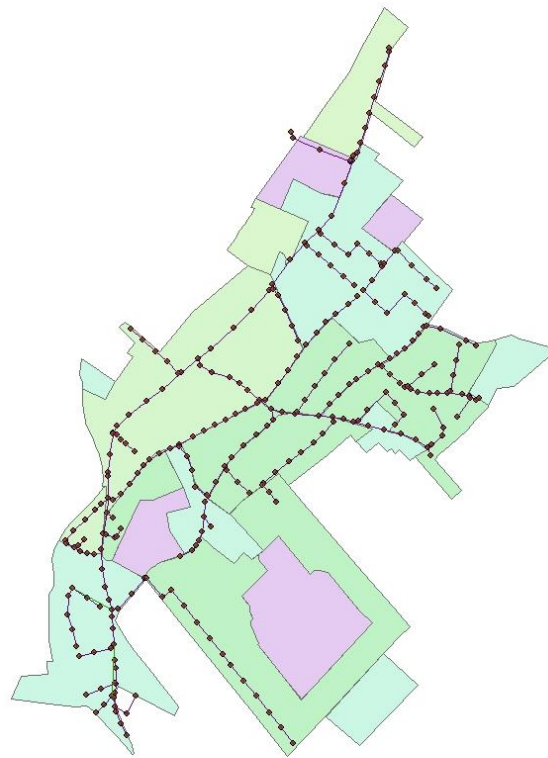


Abbildung 171: Ebene 2 - Teileinzugsgebiete

### 9.2.2.3. EBENE 3 – GRUNDSTÜCKE

Bei dieser Methode werden alle Grundstücke des Modellgebietes je nach Bebauung bzw. Oberflächenbefestigung, einer bestimmten Grundstücksart zugeordnet.

Aus den einzelnen Grundstücken werden je Grundstücksart mehrere Referenzgrundstücke ausgewählt, deren Teilflächen erhoben werden (siehe Abbildung 172 bis Abbildung 174). Die ermittelte Teilflächendifferenzierung wird anschließend auf alle Grundstücke dieser Art angewendet.

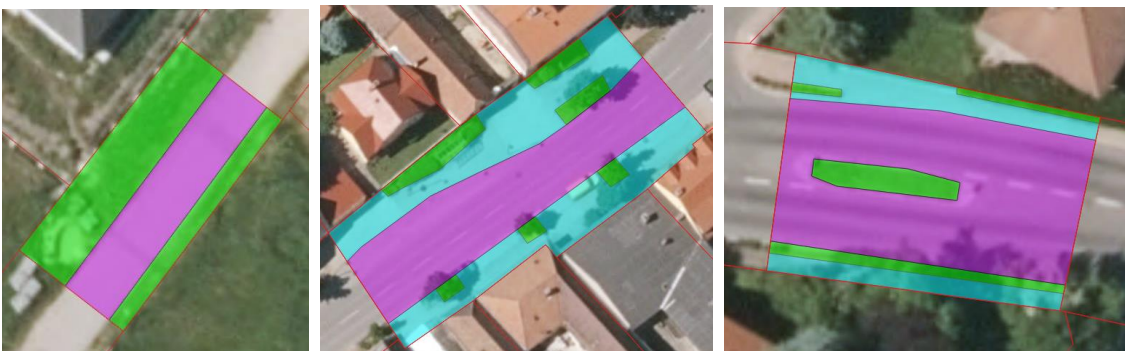


Abbildung 172: Teilflächendifferenzierung für drei Referenzgrundstücke der Grundstücksart „Verkehrsflächen, Parkplätze“; Datenquelle: Geo-Daten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel



Abbildung 173: Teilflächendifferenzierung für Referenzgrundstücke der Grundstücksarten „Ortskern“ (links), „Einfamilienhaus dichte Bebauung“ (mitte), „Einfamilienhaus extensive Bebauung“ (rechts); Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel



Abbildung 174: Teilflächendifferenzierung für Referenzgrundstücke der Grundstücksarten „Gewerbegrundstück intensiv (links)“, „Gewerbegrundstück extensiv (rechts)“; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

Tabelle 40 zeigt die Zusammenfassung der Teilflächenanteile innerhalb der ausgewählten Referenzgrundstücke je Grundstücksart.

Tabelle 40: Grundstücksarten und deren Flächenanteile gemäß der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel

| Referenzgrundstücke                                                         | Anteile Straßen                              | Anteile Parkplatz, Weg / Asphalt / Beton / Kies (ev. teildurchlässig) | Anteile Einfahrten, Kies / halbdurchlässig | Anteile Schrägdach | Anteile Flachdach | Anteile nicht angeschlossener Dachflächen (Flugdach, Pavillion etc.) | Anteile befestigte Gartenflächen (Wege, Fliesen, Waschbeton) | Anteile Grünflächen, unbefestigte Flächen | Anteil befestigt |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| Verkehrsflächen, Parkplätze (typisch 80-100 % befestigt)                    | 51%                                          | 30%                                                                   | 0%                                         | 0%                 | 0%                | 0%                                                                   | 0%                                                           | 19%                                       | 81%              |
| Gewerbegrundstück intensiv (typisch 80-100 % befestigt)                     | 0%                                           | 41%                                                                   | 0%                                         | 22%                | 21%               | 0%                                                                   | 0%                                                           | 16%                                       | 84%              |
| Gewerbegrundstück extensiv (typisch 40-80 % befestigt)                      | 0%                                           | 10%                                                                   | 18%                                        | 0%                 | 34%               | 1%                                                                   | 0%                                                           | 37%                                       | 63%              |
| Innerstädtische Grundstücke (80-100 % befestigt)                            | kein innerstädtisches Gebiet im Fallbeispiel |                                                                       |                                            |                    |                   |                                                                      |                                                              |                                           |                  |
| Ortskern / Reihenhäuser / Wohnhaus – Grundstücke (typisch 60-80% befestigt) | 0%                                           | 18%                                                                   | 1%                                         | 43%                | 2%                | 1%                                                                   | 3%                                                           | 31%                                       | 69%              |
| Einfamilienhausgrundstück dicht bebaut (typisch 40-60 % befestigt)          | 0%                                           | 5%                                                                    | 4%                                         | 21%                | 8%                | 2%                                                                   | 8%                                                           | 53%                                       | 47%              |
| Einfamilienhausgrundstück extensiv bebaut (typisch bis 40 % befestigt)      | 0%                                           | 1%                                                                    | 3%                                         | 14%                | 7%                | 0%                                                                   | 1%                                                           | 75%                                       | 25%              |
| Grünflächen, unbebaute Grundstücke (typisch unter 10 % befestigte Fläche)   | 0%                                           | 6%                                                                    | 1%                                         | 0%                 | 0%                | 0%                                                                   | 0%                                                           | 93%                                       | 7%               |

Der Arbeitsaufwand dieser Methode beträgt für die Grundstücksartenzuordnung rund einen Tag, und für die Referenzflächenauswertung (Durchschnittlich 5 Referenzgrundstücke je Grundstücksart) und Hochrechnung einen weiteren halben Tag je Grundstücksart (gesamt für das vorliegende Fallbeispiel mit sechs relevanten Grundstücksarten: 36 h)

Der überschaubare Mehraufwand gegenüber der Erhebung mittels Teileinzugsgebieten (Ebene 2) verringert durch die Einbeziehung und Zuordnung jedes einzelnen Grundstückes den möglichen Fehler. Der tatsächliche befestigte Flächenanteil wurde zwar mit der Methode der Grundstücksartenzuordnung noch immer leicht überschätzt (16 %), jedoch weit weniger als zuvor mit der Erhebung mittels Teileinzugsgebieten (Ebene 2).

Der Anteil der angeschlossenen Flächen und der Undurchlässigkeiten dieser Flächen wird wie auch bei der vorhergehenden Methode (Ebene 2) in weiterer Folge für die jeweiligen Stichprobengrundstücke ermittelt und für die entsprechenden Grundstücksarten hochgerechnet um letztendlich die abflusswirksame Fläche zu erhalten.

In der unten stehenden Abbildung 175 sind die einzelnen Grundstücke der Ebene 3 sowie das Kanalnetz (Schächte und Haltungen) dargestellt.

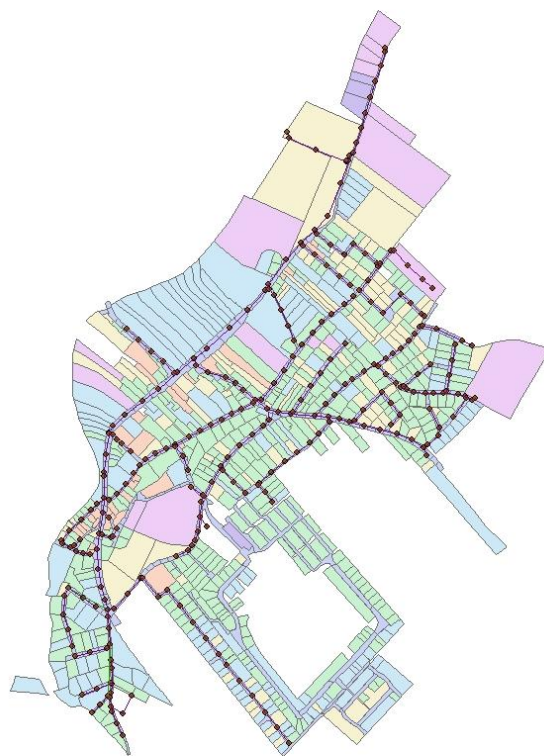


Abbildung 175: Ebene 3 - Grundstücke

#### 9.2.2.4. EBENE 4- TEILFLÄCHENDIFFERENZIERUNG

Bei dieser Methode werden alle im Einzugsgebiet vorhandenen Flächen auf sogenannter teilflächendifferenzierter Ebene erfasst und verschiedenen Kategorien zugeordnet. Abbildung 176 zeigt einen Ausschnitt einer Teilflächendifferenzierung. Die Methode dient gleichsam als Referenzmethode für alle vorher beschriebenen Methoden zur Ermittlung der befestigten Flächen.

Abbildung 177 zeigt die Flächenanteile im Projektgebiet des Fallbeispiels, wie sie im Zuge der Teilflächendifferenzierung erhoben wurden. Die befestigten Flächen belaufen sich insgesamt auf rund 36 %, die unbefestigten Flächen auf 64 %. Somit zeigt sich auch, dass die Schätzung des Befestigungsgrades entsprechend der Methode der Genauigkeitsebene 1, mit 40 % für das Projektgebiet des Fallbeispiels eine gute Näherung war. Dafür ist aber Erfahrung nötig und außerdem muss dem durchschnittlichen Befestigungsgrad auch noch ein plausibler Abflussbeiwert (oder eine separate Abschätzung des Anteils der angeschlossenen Flächen und der Undurchlässigkeiten dieser Flächen) zugeordnet werden wohingegen bei der Teilflächendifferenzierung eine Zuordnung der angeschlossenen Flächen und der Undurchlässigkeiten bereits durch die Art der Teilfläche vorgegeben sein kann (z. B. vor Ort ermittelt werden kann).

Der Arbeitsaufwand nur für die Ermittlung aller befestigten Flächen beträgt bei dieser Methode für das vorliegende Fallbeispiel 65 h.



Abbildung 176: Ausschnitt der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel mit und ohne hinterlegtem Orthofoto; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - [geodaten.bgld.gv.at](http://geodaten.bgld.gv.at) sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel

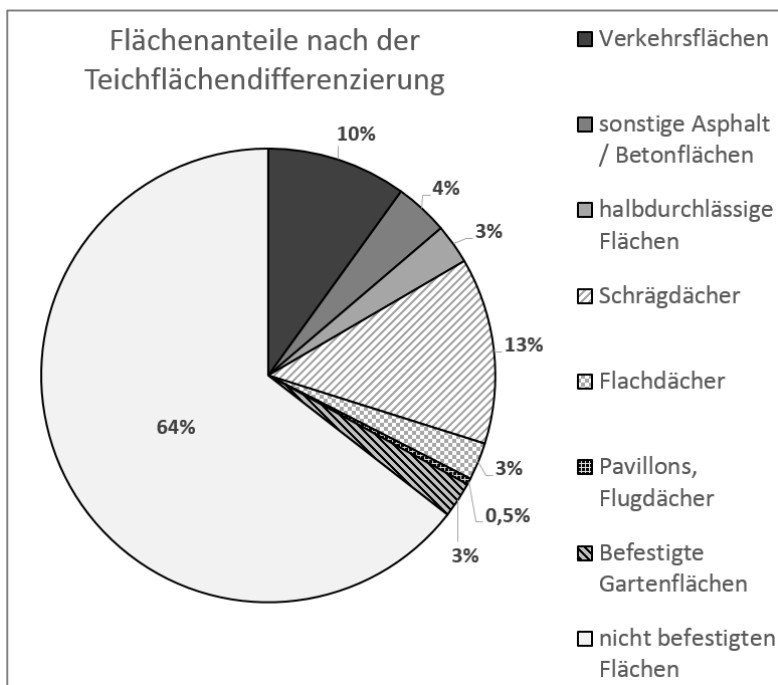


Abbildung 177: Flächenanteile im Projektgebiet des Fallbeispiels (Quelle: eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel)

In der unten stehenden Abbildung 178 sind die Teilflächen der Ebene 4 sowie das Kanalnetz (Schächte und Haltungen) dargestellt.

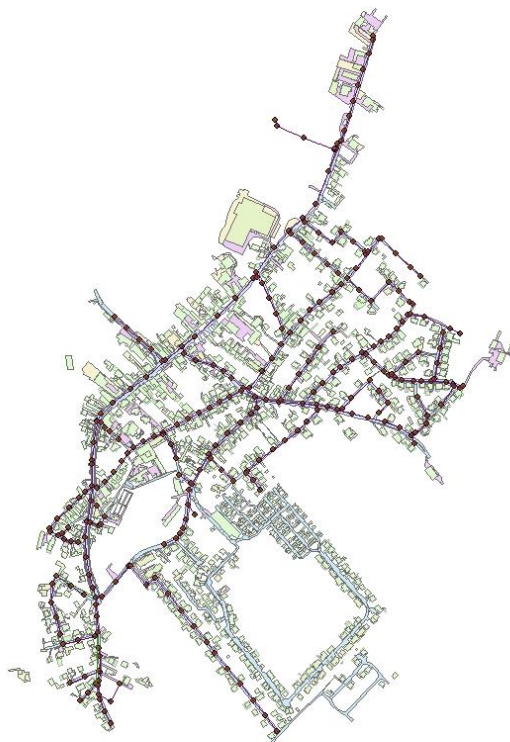


Abbildung 178: Ebene 4 - Teilflächendifferenzierung

### 9.2.3. MODELLERSTELLUNG

Nach der Digitalisierung und Aufbereitung der Flächendaten im GIS wurden die jeweiligen Shapefiles, wie sie im vorigen Kapitel vorgestellt wurden, in das Modell importiert. Der wesentlichste Parameter dabei war die angeschlossene Fläche. Die Undurchlässigkeiten der einzelnen Teilflächen sowie die Definition sonstiger Verluste erfolgten dann direkt im Modell. Die Zuordnung der einzelnen Flächen zu den jeweiligen Schächten, über die der Flächenabfluss in das Kanalnetz eingeleitet wird, erfolgte im Modell automatisiert und für jede Ebenen einzeln.

Für die Niederschlagsbelastung wurde ein Modellregen nach Euler (Typ II) angesetzt (Dauerstufe 30 min, Wiederkehrzeit 3 Jahre), der aus den Daten des entsprechenden eHYD Gitterpunktes abgeleitet wurde.

Auf den Ansatz eines Schmutzwasseranfalls im System wurde hier verzichtet, da dieser verglichen mit dem Niederschlagswasserabfluss in einem Mischsystem ohnehin nur eine sehr untergeordnete Bedeutung spielt.

In der nachstehenden Abbildung 179 ist das Modell mit skalierten Haltungsdurchmessern dargestellt. Das am obersten (nördlichsten) Punkt des Netzes dargestellte Dreieck symbolisiert den Kläranlagenstandort, jenes links davon die Mischwasserentlastung. Die einzelnen Kreise stellen hier die Schächte dar.

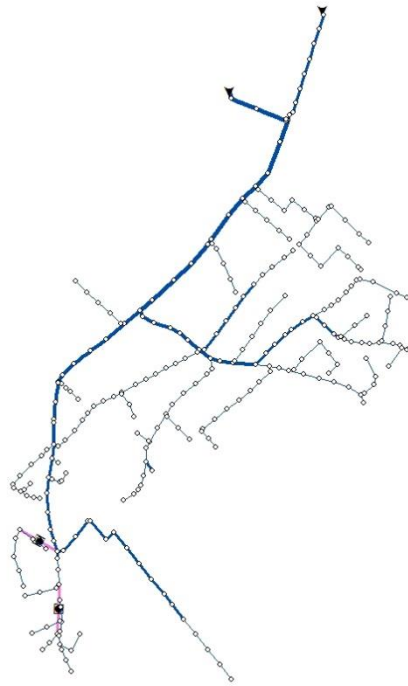


Abbildung 179: Hydrodynamisches Modell der Fallstudie Ostösterreich

Auf den Import und die modelltechnische Untersuchung der Ebene 1 wurde aufgrund des hohen Abstraktionsgrades bei den modelltechnischen Untersuchungen allerdings verzichtet.

#### 9.2.4. VARIANTENVERGLEICHE

##### 9.2.4.1. ERMITTLUNG DER BEFESTIGTEN FLÄCHEN

Die angegebene Aufwandsschätzung bezieht sich nur auf die Erhebung der befestigten Flächen und erfolgt unter der Voraussetzung, dass der Anwender im Umgang mit der Software (GIS) bereits erfahren ist. Der Initialaufwand bei erstmaliger Anwendung kann dementsprechend erheblich höher sein.

Tabelle 41 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der jeweiligen Methoden, deren Aufwand und gibt eine Abschätzung über den potenziell möglichen Fehler. Die ermittelten Werte repräsentieren dabei eine ländliche Gemeinde mit unter 2000 Einwohnern.

Tabelle 41: Methodenvergleich der Ermittlung der befestigten Flächen

| Methode                             | Bestimmung des Befestigungsgrades       | Ermittelte befestigte Fläche | Arbeitsaufwand (Stunden) | potenziell möglicher Fehler                               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ebene 1 – Einzugsgebiet             | Versiegelungsgrad geschätzt (z. B. 40%) | 39,4 ha                      | 5                        | sehr hoch                                                 |
| Ebene 2 – Teileinzugsgebiet         | Hochrechnung je Teilfläche              | 44,6 ha                      | 20                       | Referenzflächen-abhängig                                  |
| Ebene 3 - Grundstücksebene          | Hochrechnung je Grundstück              | 40,7 ha                      | 36                       | Referenzflächen-abhängig; (i.A. geringer als bei Ebene 2) |
| Ebene 4 – Teilflächen-differenziert | anhand aller Teilflächen                | 35,1 ha                      | 65                       | gering                                                    |

Weitere Betrachtungen sowie Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden sind im Kapitel 5.3.2 beschrieben.

Eine Gesamtübersicht über die Flächenermittlungsmethoden für alle vier Ebenen und die darin ermittelten Flächenarten (Gesamtfläche, befestigte Fläche, angeschlossene Fläche, abflusswirksame Fläche) ist im Anhang ersichtlich.

#### 9.2.4.2. MODELLIERTE ABFLÜSSE

Wie bereits erwähnt, wurde die Ebene 1 bei der Modellierung nicht mehr extra berücksichtigt, da viele Aussagen betreffend die Ebene 2 sinngemäß auch auf die Ebene 1 übertragen werden können. Auf die konkreten Punkte wird in den nächsten Absätzen genauer eingegangen.

Generell wurden für 5 Szenarien Modelle erstellt und Berechnungen durchgeführt. Variiert wurden dabei im Wesentlichen die angeschlossenen, abflusswirksamen Flächen entsprechend der verschiedenen Erhebungsmethoden und unter Berücksichtigung der Unterschiede ob eine Vor-Ort-Erhebung bezüglich der tatsächlich angeschlossenen Flächen vorliegt oder nicht. Das Kanalnetz sowie der angesetzte Niederschlag blieben in allen Szenarien unverändert. Die einzelnen Szenarien stellen sich wie folgt dar:

- Ebene 2 (2 Szenarien): Die befestigten Flächen sind in beiden Szenarien dieselben, auch die angenommenen Undurchlässigkeiten der angeschlossenen Flächen sowie die Verluste wurden nicht variiert. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Szenarien der Ebene 2 ist der Anteil der angeschlossenen befestigten Flächen. Während im Szenario „Ebene 2 – Vor Ort“ die Ermittlung der Anschlussgrade in den einzelnen Flächenkategorien auf den durch die Vor-Ort-Begehung ermittelten Anschlussgrade der Einzelflächen beruhte, wurden die Anschlussgrade im Szenario „Ebene 2 – Orthofoto“ vom Schreibtisch aus abgeschätzt.
- Ebene 3 (2 Szenarien): Für die beiden Szenarien der Ebenen 3 gelten die gleichen Grundannahmen wie bei Ebene 2. Auch hier wird zwischen den Szenarios „Ebene 3 – Vor Ort“ und „Ebene 3 – Orthofoto“ unterschieden. Klarerweise wird aber hier in Bezug auf die befestigten Flächen nicht mehr von den Teileinzugsgebieten der Ebene 2 sondern von Grundstücken der Ebene 3 ausgegangen.
- Ebene 4 (1 Szenario): Grundlage sind hier die in Teilflächendifferenzierung erhobenen befestigten angeschlossenen Flächen. Der Anteil der tatsächlich angeschlossenen Flächen wurde aus den Informationen der Vor-Ort-Begehung für jede Flächenkategorie berechnet und pauschal angewendet. Auf eine flächengenaue Verortung der tatsächlich angeschlossenen Flächen wurde zur Vereinfachung des Modells allerdings verzichtet. Durch die Berücksichtigung der flächengenauen Verortung kann es noch zu kleinen, lokalen Änderungen kommen, die aber auf das Gesamtergebnis kaum einen Einfluss haben solange es sich um eine einigermaßen homogene Verteilung der Abschlussgrade im Einzugsgebiet handelt. Gleiches gilt für die Undurchlässigkeiten der einzelnen Kategorien.

Bei den Vergleichen der Modellierungsergebnisse der einzelnen Szenarien wurden unterschiedliche Systemverhalten in Abhängigkeit von den an das Kanalnetz angeschlossenen Flächen untersucht. Da es sich hier um einen relativen Vergleich handelt, spielen absolute Zahlen eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund wurde auf eine Kalibrierung des Modells in diesem Fall bewusst verzichtet. Die

wesentlichen Modellierungsergebnisse stellen sich wie folgt dar.

Wie erwähnt, wurden bei beiden Szenarien der Ebene 2 die einzelnen Teileinzugsgebiete jeweils einem Schacht zugeordnet. Dies führt zu einer Überlastung der betroffenen Schächte und damit zu Überstauen im System. In den nachstehenden Abbildungen (Abbildung 180 und Abbildung 181) sind die bei der Modellierung aufgetretenen Systemüberlastungen bei den Schächten durch größere Kreise beispielhaft für einen Zeitpunkt dargestellt.

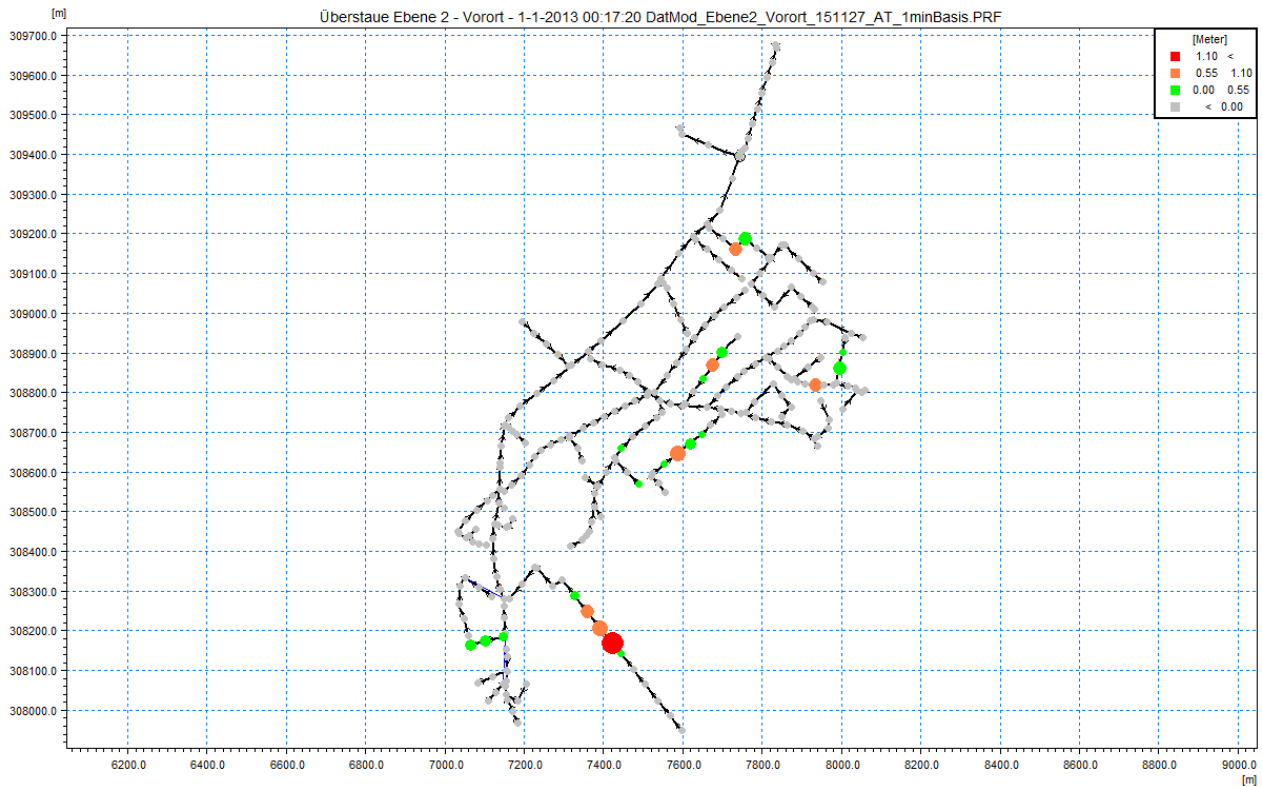


Abbildung 180: Überstau im Szenario „Ebene 2 – Vor Ort“

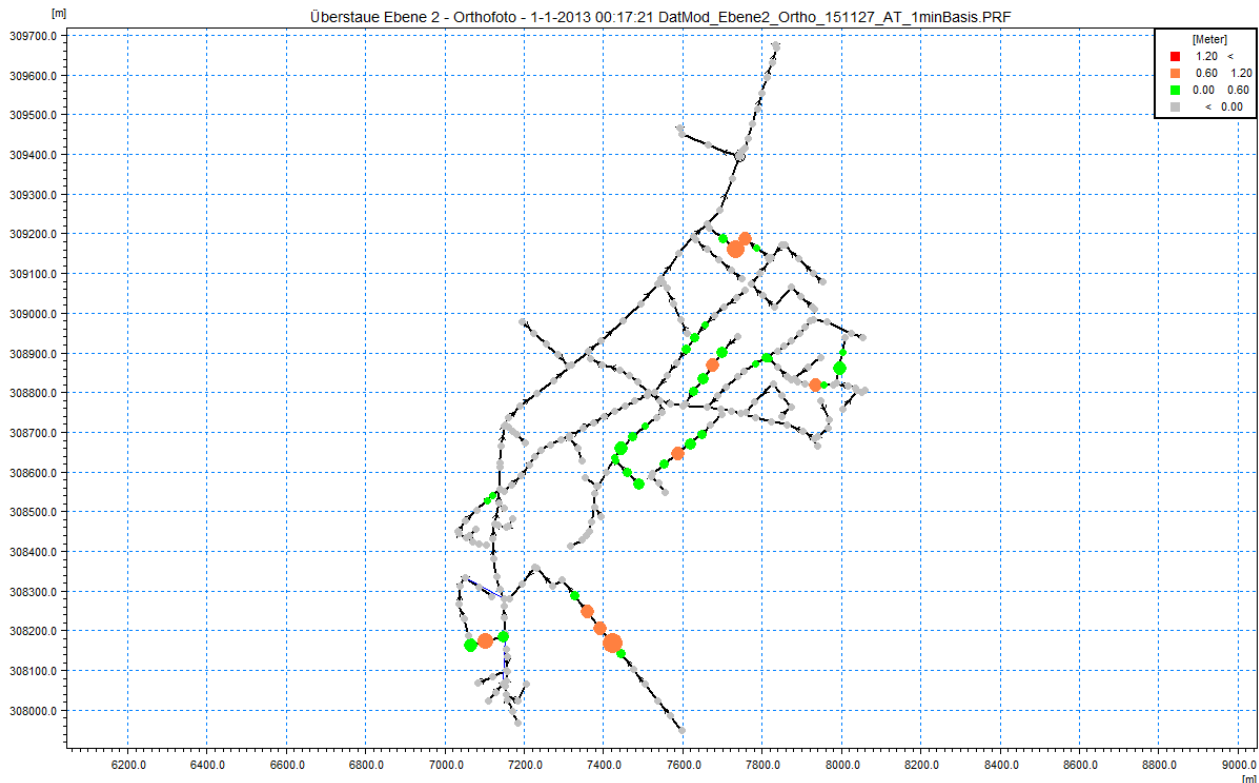


Abbildung 181: Überstau im Szenario „Ebene 2 – Orthofoto“

Beide Varianten der Ebene 2 führen zu Überstauen im System. Dies ist darauf zurückzuführen, dass jeweils die gesamten Teilflächen nur einem einzelnen Schacht zugeordnet wurden. Da dieser Zustand klarerweise nicht der Realität entspricht, müsste das Modell entsprechend angepasst werden: Entweder wird die Struktur des Netzes vereinfacht oder aber die Teileinzugsgebiete weiter unterteilt und auf mehrere Schächte aufgeteilt.

Da das Modell in einem hohen Detaillierungsgrad vorhanden ist, macht es wenig Sinn, dieses zu „vereinfachen“. Die Anpassung der Flächen (weitere Unterteilung der Teileinzugsgebiete bzw. Ermittlung und Zuordnung einer „Metermengenanzahl“) erscheint in diesem Zusammenhang einfacher. Allerdings stellt sich die Frage, ob es hier generell nicht gleich sinnvoller wäre, die Flächen gemäß Ebene 3 oder 4 zu erheben. Dadurch würde man sich nachträgliche Anpassungen der Flächen oder des Modells ersparen können.

In den nachstehenden Abbildungen sind die Abflusskurven für die beiden Szenarien der Ebene 3 sowie jenes der Ebene 4 dargestellt.

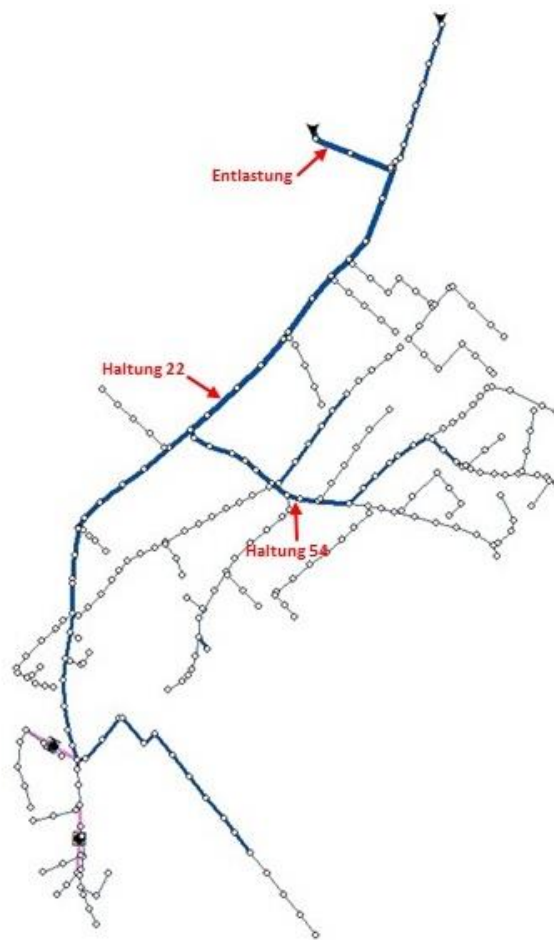


Abbildung 182: Lage der dargestellten Haltungen

In allen Abbildungen ist erkennbar, dass der Abfluss im Szenario „Ebene 3 – Orthofoto“ weit über den beiden anderen Szenarien liegt. Daraus wird ersichtlich, dass der richtigen Annahme/Abschätzung des Anschlussgrades eine wesentliche Bedeutung bei der hydraulischen Beurteilung von Kanalnetzen zukommt.

Die Abflusskurve des Szenarios „Ebene 4“ ist generell etwas niedriger als jene des Szenarios „Ebene 3 – Vor Ort“, ein nennenswerter Unterschied ist aber hier nicht auszumachen.

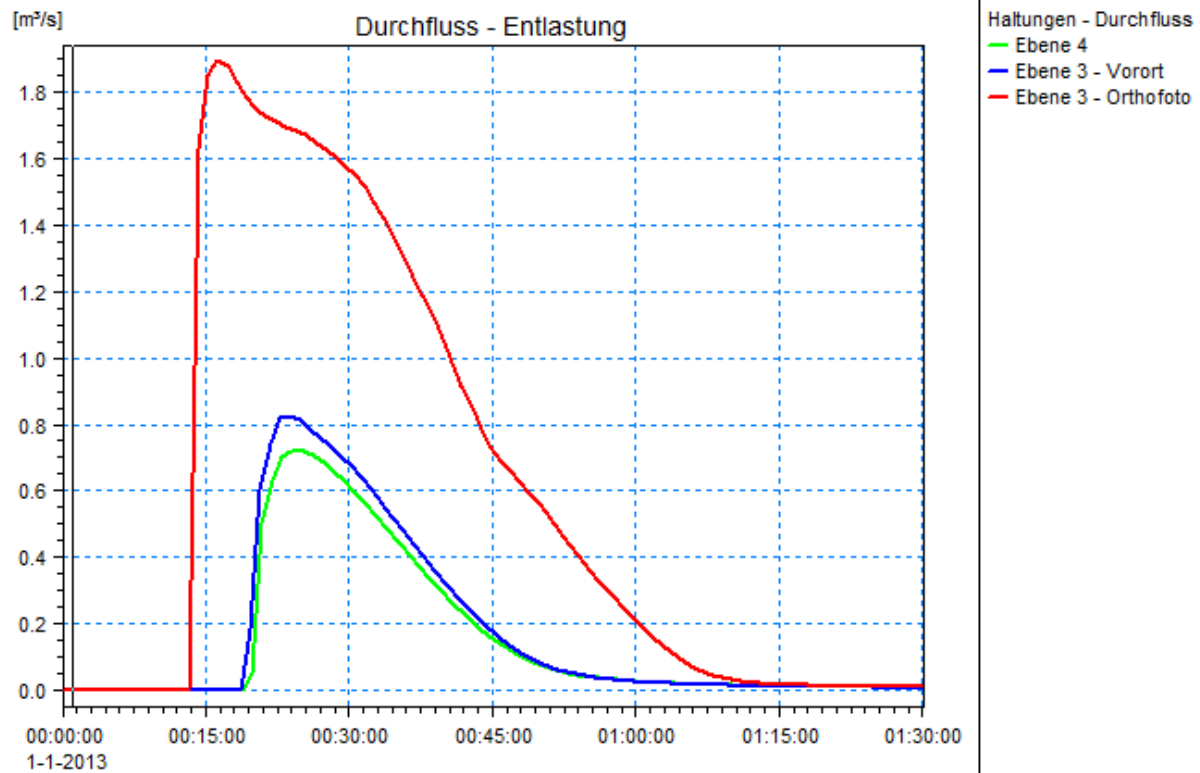


Abbildung 183: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in der Mischwasserentlastung

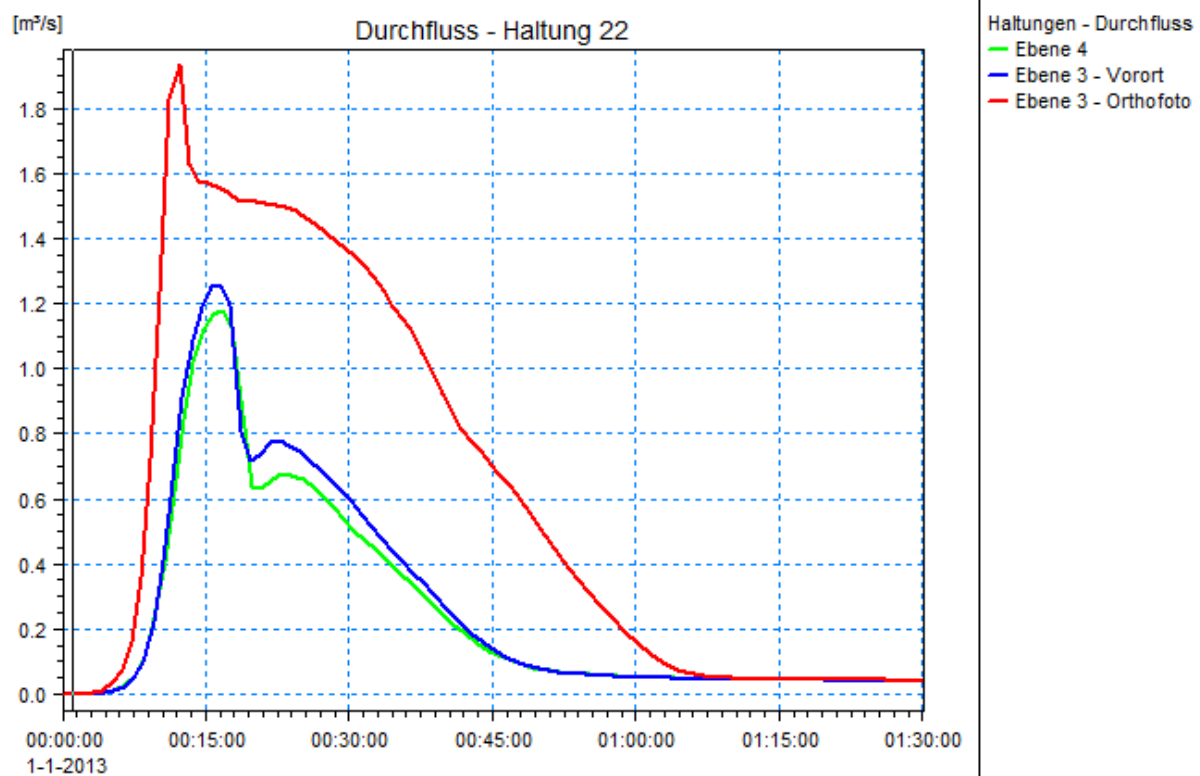


Abbildung 184: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in Haltung 22

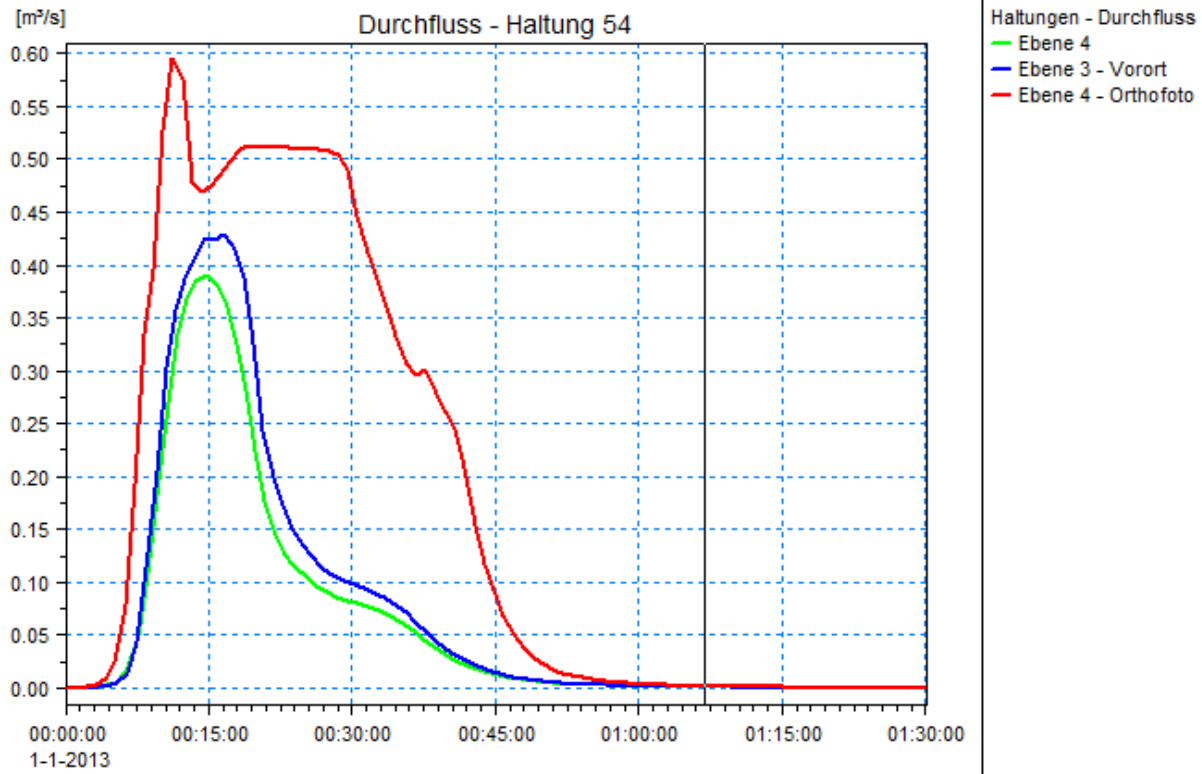


Abbildung 185: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in Haltung 54

Aus hydraulischer Sicht sind bei entsprechender Ermittlung der Anschlussgrade Nachweise auf Ebene 3 sicherlich auch aussagekräftig. Allerdings stellt sich hier aufgrund der sonstigen Nachteile gegenüber dem Nachweis auf Ebene 4 (v. a. Nachvollziehbarkeit der Flächenansätze) hier doch die Frage nach der generellen Sinnhaftigkeit aus praktischer, vorausplanender Sicht.

#### 9.2.4.3. ZEITLICHER UND MONETÄRER AUFWAND

Wird die erste Methode (Ebene 1 mit Schätzung eines pauschalen Befestigungsgrades für das gesamte Einzugsgebiet) wegen des großen potenziell möglichen Fehlers als praktikable Alternative außer Acht gelassen, dann zeigt sich, dass mit steigendem Grad der Flächendifferenzierung die ermittelte Gesamtgröße der befestigten Fläche sinkt. Gleichzeitig sinkt auch die Fehlermöglichkeit bei der Flächenermittlung, wo hingegen der zeitliche Aufwand steigt. Im konkreten Fall eines Einzugsgebietes von knapp 2.000 EW und einer Kanalnetzlänge von etwa 12 km, liegt in Bezug auf den Zeitaufwand zwischen der Methode 2 und 4 ein Faktor 3, zwischen den Methoden 3 und 4 ein Faktor von 2. Dies klingt im ersten Moment viel, in absoluten Zahlen sind das aber nur 45 bzw. knapp 30 Arbeitsstunden an Mehraufwand. Bei einem angenommenen Ingenieurssatz von 100,- EUR/Stunde bedeutet das im konkreten Fall Mehrkosten von 3.000,- bzw. 4.500,- EUR. Durch diesen Mehraufwand kann der potenzielle Fehler bei der Flächenermittlung stark gesenkt werden, darüber hinaus können Daten in einer derartigen Auflösung auch noch für andere Anwendungen (Regenwassermanagement, Schadstofftransport, Gebührensplitting, etc.) herangezogen werden.

## 9.3. FALLSTUDIE WEIZ

Bei der „Fallstudie Weiz“ wird der Fokus auf die Umsetzung einer kombinierten Nachweisführung (detaillierte Beschreibung hierzu unter Kapitel 7.3) gelegt. Die hierzu erforderlichen Arbeitsschritte sind in Abbildung 186 dargestellt.

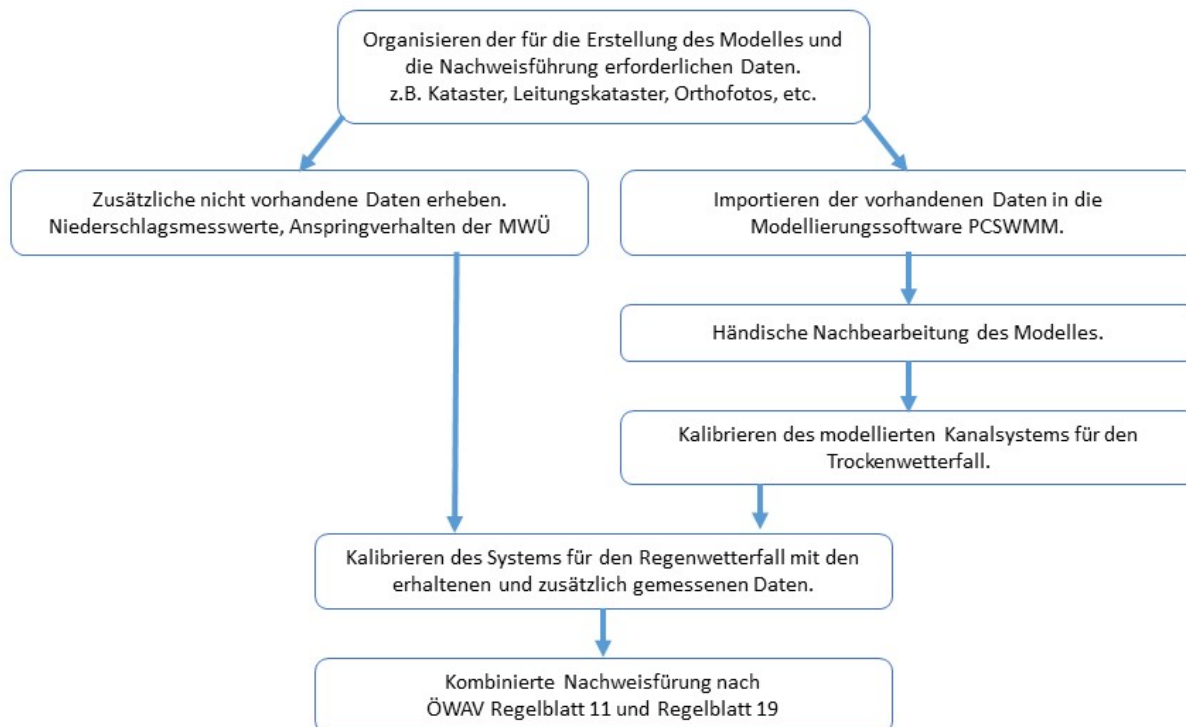


Abbildung 186: Darstellung des Ablaufschemas für das Fallbeispiel Weiz

Die einzelnen Schritte werden nachfolgend im Detail beschrieben.

### 9.3.1. STADTGEMEINDE WEIZ

Die Stadtgemeinde Weiz befindet sich im Herzen der österreichischen Oststeiermark, etwa 25 km östlich von Graz und ist die Hauptstadt des gleichnamigen Bezirkes. Sie ist mit rund 11.357 Einwohnern die größte Stadt der Region. Es befinden sich einige größere Industriebetriebe dort, wodurch man Weiz durchaus als regional bedeutenden Industriestandort bezeichnen kann. Zusätzlich gibt es in der Stadt ein Schulzentrum für rund 3000 Schüler. Weiz liegt auf einer Seehöhe von 477 müA und weist eine Gesamtfläche von 17,5 km<sup>2</sup> auf (<http://www.weiz.at/rathaus/stadtinformationen>, Stand 07.12.2015). In Abbildung 187 ist die Lage der Stadt Weiz in der Steiermark dargestellt.

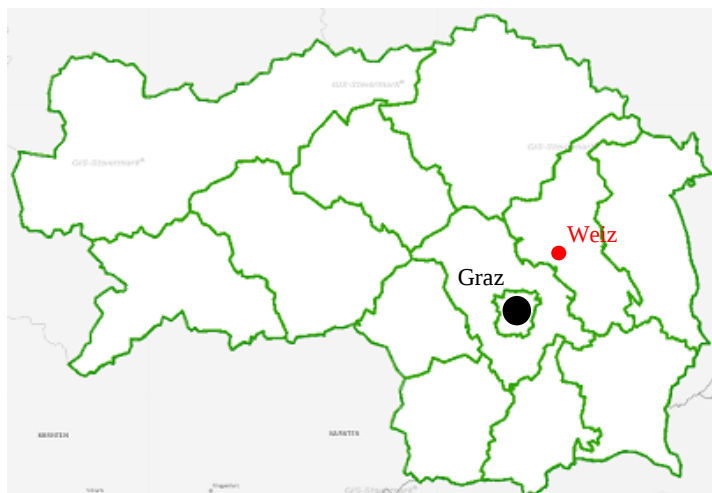


Abbildung 187: Lage der Stadt Weiz in der Steiermark (GIS Steiermark)

Die Abwasserreinigungsanlage Weiz wurde 1976 in Betrieb genommen. Sie ist für 30.000 Einwohnerwerte dimensioniert und wird vom Wasserwerk Weiz, welches zur Stadtgemeinde Weiz gehört, betrieben. Das in der Abwasserreinigungsanlage behandelte Abwasser wird in den Weizbach, einem Nebenfluss der Raab, eingeleitet. Derzeit sind rund 8900 Einwohner (EW) aus Weiz und ca. 4200 EW aus den angrenzenden Gemeinden Naas, Mitterdorf, Mortantsch und Thanhausen an das Kanalisationssystem der ARA Weiz angeschlossen. Abbildung 188 zeigt das Einzugsgebiet der Weizer Abwasserreinigungsanlage.

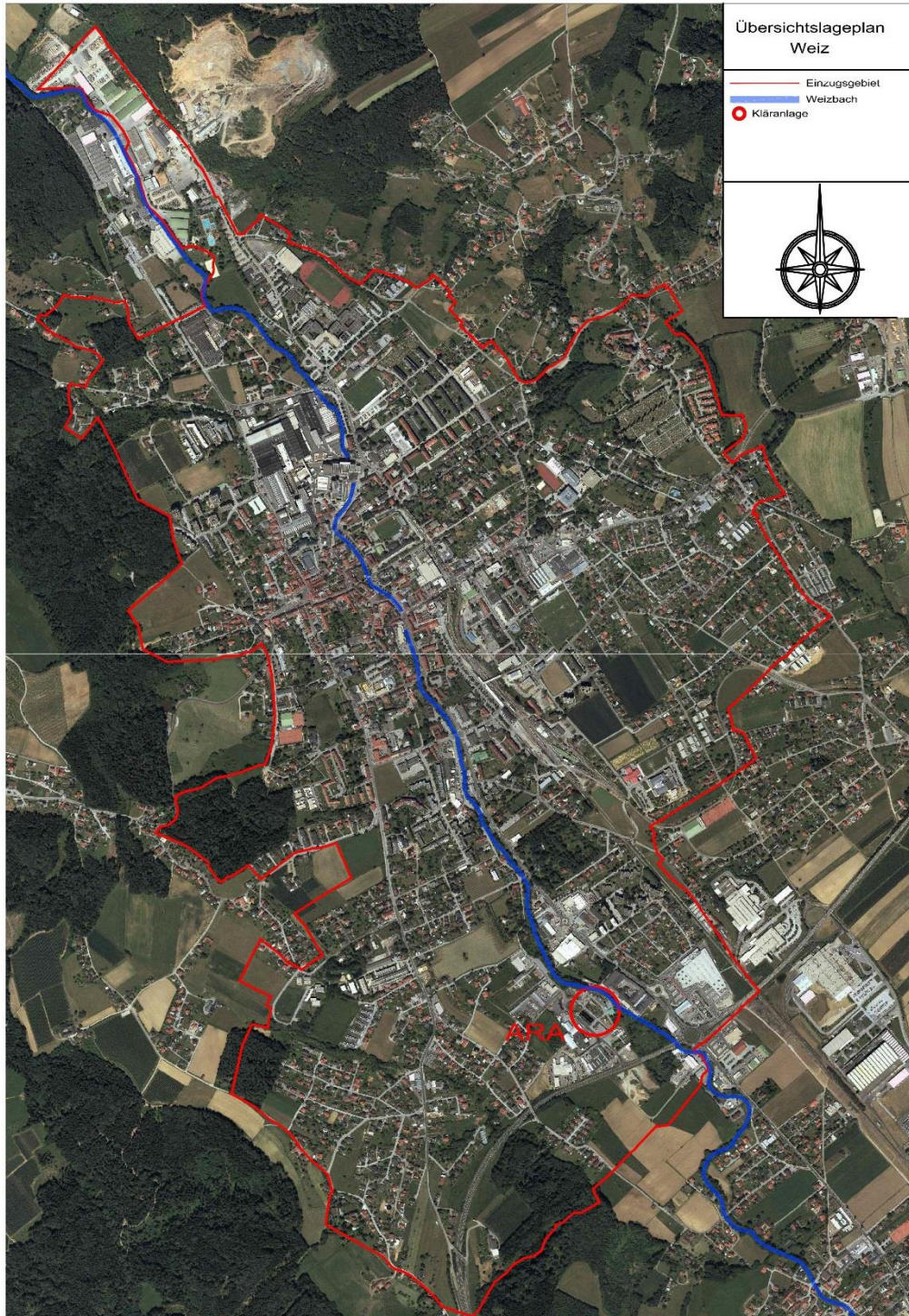


Abbildung 188: Übersichtslageplan von Weiz mit dem Einzugsgebiet der Abwasserreinigungsanlage

Das Weizer Kanalisationssystem besteht zum Teil aus einem Trennsystem mit Schmutzwasserkanal und Regenwasserkanal und teilweise aus einem Mischsystem. Die gesamte Länge der Kanalleitungen liegt bei über 60 km. Im Stadtgebiet von Weiz befinden sich zehn Mischwasserüberläufe, welche in den Weizbach eingeleitet werden.

Aufgrund dieser zuvor aufgezählten Randparameter repräsentiert die Stadt Weiz ein durchschnittliches Kanalsystem von kleinen und mittleren Kanalisationsunternehmen und bietet sich daher als Fallbeispiel für das Projekt DATMOD an.

### 9.3.2. VERWENDETE DATEN

Für den Aufbau des Modells wurden zunächst Daten gesammelt und gesichtet und somit die für das Modell erforderliche Datengrundlage geschaffen. Dabei wurden die unter Kapitel 4 erarbeiteten Ausführungen zu den erforderlichen Daten bzw. deren Bezugsquellen herangezogen.

Die Einteilung der Daten wurde dementsprechend getroffen in:

- Leitungsbezogene Daten
- Einzugsgebietsbezogene Daten
- Meteorologische Daten
- Monitoring-Daten

Für das Fallbeispiel Weiz war eine Vielzahl von Daten unterschiedlichster Art bereits vorhanden. Im folgenden Kapitel wird kurz erläutert woher diese stammen, für welchen Teilschritt sie verwendet wurden, welche Daten nachbearbeitet und welche fehlenden Daten zusätzlich aufgenommen werden mussten.

#### 9.3.2.1. LEITUNGSBEZOGENE DATEN

Das Kanalisationssystem der Stadtgemeinde Weiz wurde bereits digital aufgenommen und in einem digitalen Leitungsinformationssystem abgelegt. Die entsprechenden Daten werden durch die Firma GISquadrat über das Regionalbüro Weiz verwaltet und wurden für die Erstellung des Modells zur Verfügung gestellt. Es wurden die folgenden Kanalnetzdaten als Shape Files übermittelt:

Kanalnetz-Kanten (als Polylinien Shape)

Kanalnetz-Knoten (als Point Shape)

Die erhaltenen Shapes wurden dann mit Hilfe einer GIS-Software gesichtet und auf fehlerhafte Daten überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass bei einigen Schächten die Höhe der Schachtsohle mit 0 müA angegeben war. Zusätzlich war bei einigen Knoten die Schachttiefe auf 0 m gesetzt. Für einen kleinen Teil der Leitungen waren keine Angaben zu deren Querschnittsform und Durchmesser vorhanden. Im Zuge der Datenaufbereitung wurden für die Modellierungssoftware folgende Spalten aus den Spalten der Shape-Files generiert:

- Conduits
  - Name                aus     KantenID
  - InletNode        aus     Von\_MSLink
  - OutletNode       aus     Bis\_MSLink
  - Description      aus     Kanalnetz
  - Tag                aus     Straße
  - Length    aus     Länge\_auf
  - Crosssection    aus     Profilform
  - Geom1    aus     Durchmesser
- Knoten
  - Name                aus     KnotenID
  - Description        aus     Kanalnetz
  - Tag                aus     Straße
  - InvertElev        aus     Sohle
  - Depth             aus     Abstich

Folgende Schritte wurden unternommen, um die Daten in die Modellierungssoftware SWMM importieren zu können:

- Anpassen der Schachtssohlhöhen auf 460 müA (bei Knoten, bei denen sie auf 0 müA gesetzt waren).
- Anpassen der Schachtiefen auf 1,5 m bei Knoten bei denen sie auf 0 m gesetzt waren.
- Ändern der Durchmesser von Millimeter auf Meter.
- Ändern der Bezeichnungen für die Querschnittsform der Stränge entsprechend der in der Modellierungssoftware geforderten Terminologie
- Anpassen der Querschnittsform und Durchmesser für Leitungen ohne Daten (durch Befragung Betriebspersonal bzw. durch Interpolation)

Für die Sonderbauwerke und hier im Speziellen für die Mischwasserüberläufe waren keine Angaben in der Datenbank des Leitungsinformationssystems gespeichert. Da diese Informationen für ein Kanalnetzmodell und die entsprechende Nachweisführung von großer Bedeutung sind, wurden sie vor der Erstellung des Modells vor Ort vermessen. Der Mischwasserüberlauf in der Dr.-Karl-Renner-Gasse funktioniert über eine um ca. 0,25 m in Richtung des Weizbachs ansteigende Leitung und hat deshalb weder eine Schwellenhöhe noch -länge. Auch der MWÜ in der Anzengrurgasse hat keine Schwelle, sondern wird über ein DN600 Drosselrohr in Kombination mit einem Absturzschaft geregelt. Tabelle 42 listet die einzelnen Sonderbauwerke auf und zeigt, welche Größen ermittelt und im Modell implementiert wurden.

Tabelle 42: Ergebnisse der Vermessung der Sonderbauwerke

| Vermessung der Sonderbauwerke |                   |                    |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|
| Bezeichnung                   | Schwellenhöhe [m] | Schwellenlänge [m] |
| MWÜ Almrausch                 | 0,12              | 3,5                |
| MWÜ Hofstattgasse             | 0,15              | 3,6                |
| MWÜ Siemens                   | 0,18              | 1,8                |
| MWÜ Dr.-Karl-Renner G.        | -                 | -                  |
| MWÜ Lederergasse              | 0,17              | 0,8                |
| MWÜ Admiral                   | 0,12              | 6,5                |
| MWÜ Mühlfeldgasse             | 0,26              | 0,6                |
| MWÜ Schubertgasse             | 0,22              | 1,3                |
| MWÜ Anzengrurgasse            | -                 | -                  |
| MWÜ Schnitzlergasse           | 0,95              | 12,0               |

### 9.3.2.2. EINZUGSGEBIETSBEZOGENE DATEN

Um das Einzugsgebiet im Modell beschreiben zu können, werden eine Vielzahl von Daten benötigt. Durch die „Abteilung 7 – Referat Statistik und Infrastruktur“ des Landes Steiermark, wurde für die Stadtgemeinde Weiz aus dem GIS-Steiermark ein digitales Geländemodell zur Verfügung gestellt. Die Orthofotos und ein aktueller Kataster wurden vom Regionalbüro Weiz der Firma GISquadrat bereitgestellt. Im Zuge des computerunterstützten Datenimports konnte das Einzugsgebiet Weiz auf Basis des Katasters in kleine Teilflächen, sogenannte Subcatchments, unterteilt werden. Mit Hilfe des digitalen Geländemodells konnten fehlende Höheninformationen bei Knoten und Leitungen ergänzt werden und die Abflussrichtung sowie das Gefälle der Subcatchments ermittelt werden. Die Orthofotos wurden vor allem benötigt um die Abgrenzungen der einzelnen Teilflächen optimieren zu können und deren Oberflächenbeschaffenheiten zu definieren.

Die benötigten Informationen bezüglich der Einwohnerdaten wurden von der Stadtgemeinde Weiz bereitgestellt. Des Weiteren lieferten sie Angaben zu maßgebenden Schmutzwassererzeugern im Gemeindegebiet sowie Informationen zu weiteren Gemeinden, die an das Kanalisationssystem Weiz angeschlossen sind.. In Tabelle 43 und Tabelle 44 sind die Daten bezüglich der Einwohner und der Industrie zusammengefasst. Zudem wird ersichtlich, an welchen Knoten (Schächten) diese angehängt sind.

Tabelle 43: Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz

| Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz |           |                         |
|------------------------------------------|-----------|-------------------------|
| Gemeinde                                 | Einwohner | Knoten                  |
| Weiz                                     | 8900      | ganzes Modell           |
| Mortantsch                               | 2100      | N4157                   |
| Naas                                     | 1700      | N1428                   |
| Mitterdorf                               | 190       | N1576                   |
| Thanhausen                               | 210       | N1640 (RW), N916, N1710 |

Tabelle 44: Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz

| Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz |                           |        |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|
| Name                                                          | Wasserverbrauch [m³/Jahr] | Knoten |
| Andritz AG                                                    | 17900                     | N367   |
| Schlachthof                                                   | 13300                     | N2026  |
| Schulzentrum                                                  | 6400                      | N370   |
| Tankstelle Rosenberger                                        | 4300                      | N1815  |
| LKH Weiz                                                      | 9400                      | N3961  |
| Pensionistenheim Weiz                                         | 7800                      | N1475  |
| Weizer Schafbauern                                            | 8100                      | N4004  |
| Moosdorfer Stahlbau                                           | 3000                      | N1758  |
| Volkshilfe Pflegeheim                                         | 5500                      | N1447  |
| GH Ederer                                                     | 8000                      | N1344  |

### 9.3.2.3. METEOROLOGISCHE DATEN

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in Weiz beträgt 799 mm, wobei im Mittel der Jänner mit 25,4 mm der niederschlagärmste und der Juni mit 120,4 mm der niederschlagsstärkste Monat ist. Abbildung 189 zeigt die mittleren Monatssummen des Niederschlags zwischen 1971 und 2000 in Weiz.

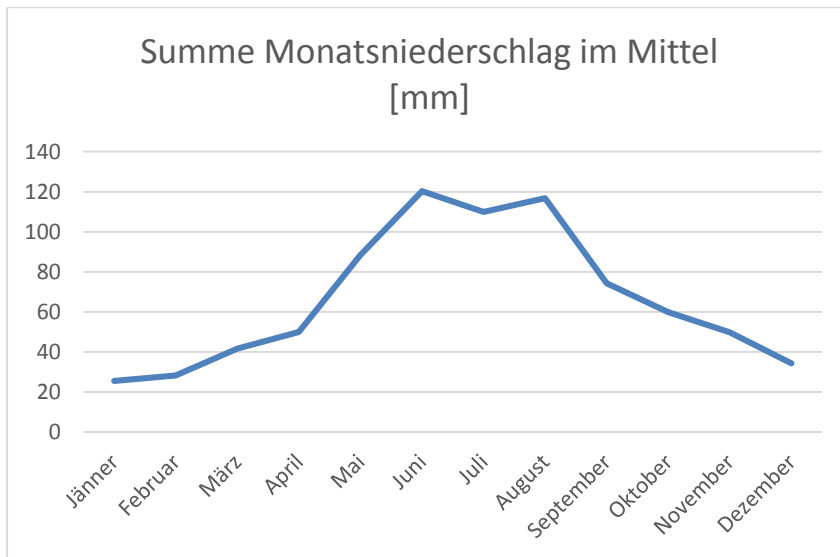


Abbildung 189: Mittlere Monatssummen des Niederschlags von 1971-2000 in Weiz ([http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm), Stand 07.12.2015)

Die für die Nachweise nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19 erforderlichen Niederschlagszeitreihen stammen von der Messstation für den Großraum Graz an der Karl-Franzens Universität Graz (OEWA, 2007a), da für den Raum Weiz keine hochauflösenden Langzeitserien akquiriert werden konnten.

#### 9.3.2.4. MONITORING-DATEN

Um das Modell für den Trocken- und den Regenwetterfall kalibrieren zu können, werden neben den Niederschlagsdaten noch weitere Daten aus Messungen im Kanalnetz benötigt.

Im Trockenwetterfall wird das Modell mit Hilfe der zuvor genannten Einwohnerdaten und den im 3-Minuten-Intervall gemessenen Zuflusswerten zur ARA Weiz kalibriert. Die Ergebnisse dieser ständigen Zuflussmessung wurden vom Wasserwerk Weiz zur Verfügung gestellt.

Für die Kalibrierung im Regenwetterfall müssen zeitgleiche Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet und Abflussmessungen im Kanalnetz vorhanden sein. Zur Generierung von Niederschlagsdaten für die Kalibrierung wurde ein Regenschreiber (Niederschlagswippe) am Betriebsgelände des Wasserwerkes Weiz aufgestellt. Die Aufzeichnung erfolgte hierbei in 5-Minuten-Intervallen.

#### Temperatursensoren

Zur Kalibrierung (v.a. für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19) kann auch die Übereinstimmung des Überlaufverhaltens (Überlaufhäufigkeit und Überlaufdauer) an Mischwasserüberläufen zwischen Modell und Realität herangezogen werden. Dazu wurden in ausgewählten Mischwasserüberläufen Temperatursensoren, deren Funktionsweise im Folgenden näher erläutert wird, eingebaut.

Gewöhnliche Messmethoden für Mischwasserüberläufe wie Durchflussmessungen und Wasserspiegelmessungen sind von der Anschaffung über die Installation und den Betrieb bis hin zur Wartung mit hohen Kosten verbunden. Für das Fallbeispiel Weiz wurde deshalb statt den herkömmlichen Messgeräten, eine neue kostengünstige und bereits zuvor erfolgreich getestete Methode zur Erfassung von Überlaufereignissen eingesetzt (Hofer et al., 2014). Das Prinzip basiert auf einer simultanen Messung der Temperatur durch zwei im Mischwasserüberlauf eingebaute Temperatursensoren. Der erste der beiden Sensoren wird direkt im Abwasserstrom angebracht und misst ständig die Temperatur des Abwassers. Der zweite Temperatursensor wird hingegen auf oder hinter der Überlaufschwelle angebracht. Er misst im Trockenwetterfall die Lufttemperatur im Kanal. Aus diesem Grund unterscheiden sich die gemessenen Temperaturwerte der beiden Sensoren im Trockenwetterfall voneinander. Kommt es aufgrund eines Niederschlagsereignisses zu einem erhöhten Abfluss im Kanal und in weiterer Folge zu einem Anspringen des Mischwasserüberlaufs, sind plötzlich beide Temperatursensoren unter Wasser wobei sich ihre Messergebnisse angleichen. Werden diese Ergebnisse später ausgewertet, so lässt sich der exakte Zeitpunkt bestimmen an dem das Überlaufereignis begonnen und geendet hat. In der folgenden Abbildung 190 ist ein beim Einbau der Sensoren aufgenommenes Bild zu sehen. Im Vordergrund befindet sich der erste Temperatursensor im Abwasserstrom. Im linken oberen Eck des Fotos ist der hinter der Überlaufschwelle angebrachte zweite Sensor zu sehen.



Abbildung 190: Eingebaute Temperatursensoren in einem Weizer MWÜ

In Abbildung 191 sind sämtliche Mischwasserüberläufe, die Lage der eingebauten Temperatursensoren und die Position des Regenschreibers dargestellt.

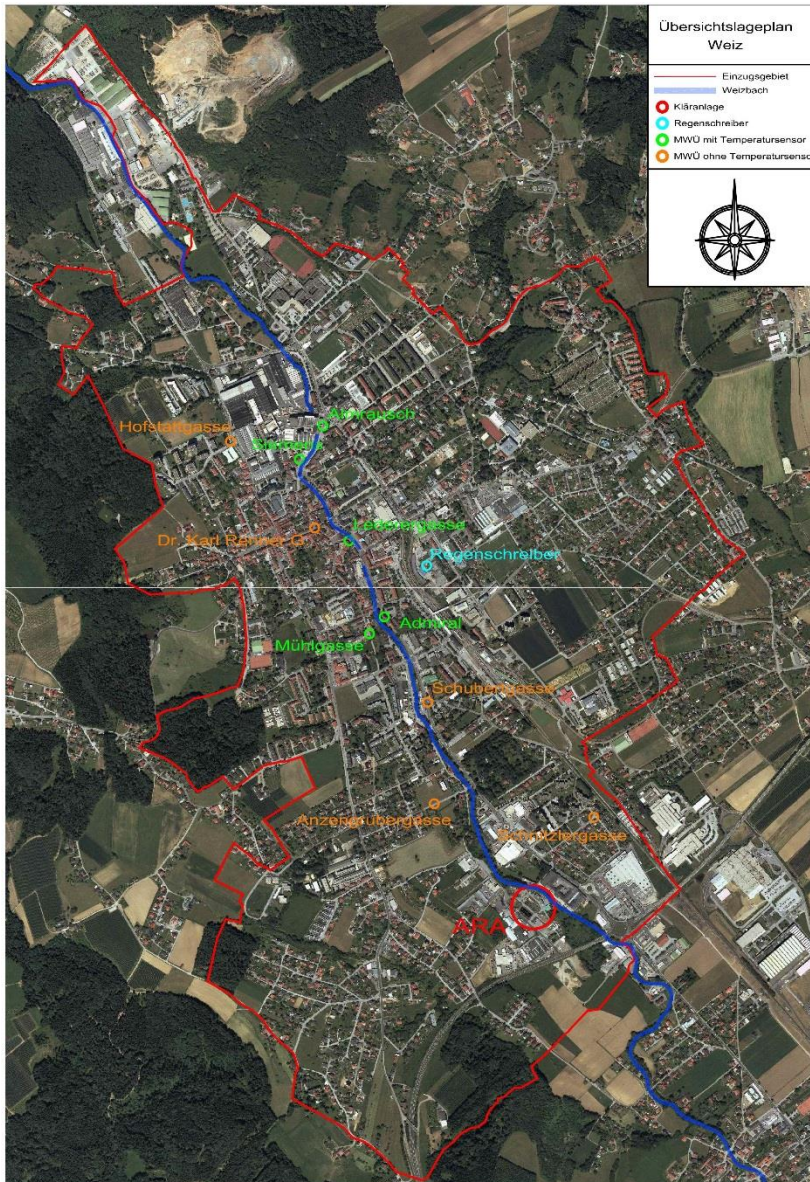


Abbildung 191: Übersicht Mischwasserüberläufe, ARA, Regenschreiber

Tabelle 45 zeigt die aus den Messergebnissen der Temperatursensoren abgeleiteten Mischwasserüberlaufereignisse.

Tabelle 45: Messergebnisse der Temperatursensoren und daraus abgeleitete Überlaufereignisse

| Messergebnisse der Temperatursensoren |            |       |       |
|---------------------------------------|------------|-------|-------|
| Name des MWÜ                          | Datum      | von   | bis   |
| Mühlgasse                             | 08.07.2015 | 13:15 | 14:08 |
|                                       |            | 15:52 | 16:40 |
|                                       |            | 17:15 | 18:00 |
|                                       |            | 18:15 | 00:03 |
| Lederergasse                          | 08.07.2015 | 13:15 | 13:40 |
|                                       |            | 14:23 | 16:02 |
|                                       |            | 17:45 | 18:02 |
|                                       |            | 18:12 | 19:05 |
|                                       |            | 20:03 | 22:42 |
|                                       |            | 23:17 | 00:15 |
| Admiral                               | 17.08.2015 | 01:35 | 04:25 |
| Almrausch                             | 17.08.2015 | 01:38 | 04:25 |
| Lederergasse                          | 17.08.2015 | 01:40 | 03:35 |
| Mühlgasse                             | 17.08.2015 | 01:35 | 04:16 |

### 9.3.3. ERSTELLEN DES MODELLS

Nach der Datensammlung und –aufbereitung wurde mit der Modellierung des Kanalisationssystems begonnen. Dieser Vorgang kann in zwei wesentliche Schritte unterteilt werden. Zuerst wurde ein Großteil der Grunddaten in die Modellierungssoftware PCSWMM importiert. Danach mussten die fehlenden Informationen manuell ergänzt und das Modell auf Fehler geprüft werden.

#### 9.3.3.1. DATENIMPORT

Nachdem alle benötigten Daten wie im Kapitel 9.3.2 beschrieben verfügbar gemacht und in das richtige Format aufbereitet wurden, können diese in die Modellierungssoftware übertragen werden. Der Datenimport erfordert keinen großen Zeitaufwand, wenn die erforderliche Datenaufbereitung zuvor gewissenhaft durchgeführt wurde. Deshalb ist die Qualität und die Bearbeitung der Daten ein kritischer Punkt bei der Erstellung eines Modells. PCSWMM bietet für das Importieren die Möglichkeit, Daten aus Datenbanken, sowie Exceldateien, GIS-Shapes oder Ähnlichem automatisch einzulesen.

Die wesentlichen Grunddaten konnten auf dem oben beschriebenen Weg aus einer Excel-Datei in die Software importiert werden. Das so erstellte Modell besitzt 3713 Subcatchments, 2299 Junctions (Knoten), 2317 Conduits (Leitungen) und 17 Outfalls (Auslässe). Selbstverständlich weist das Modell in dieser Phase noch wesentliche Ungenauigkeiten auf und es müssen nun in den folgenden Schritten die Fehler korrigiert und die im Modell fehlenden Daten und Informationen ergänzt werden.

#### 9.3.3.2. BEARBEITUNG DER TEILFLÄCHEN (SUBCATCHMENTS)

Für das Fallbeispiel Weiz wurde das Einzugsgebiet, basierend auf dem vorliegenden Kataster, während dem automatisierten Import der Daten in die einzelnen Subcatchments unterteilt. Dabei wurde die Detaillierungsstufe „Ebene 3“ (siehe Kapitel 5.3.4.3) gewählt. Es ist in weiterer Folge erforderlich, die Parameterwerte der einzelnen Teilflächen festzulegen. In Tabelle 46 sind die verschiedenen wichtigsten Eigenschaften eines Subcatchments (Terminologie aus SWMM) aufgezählt und ihre jeweilige Funktion kurz erläutert.

Tabelle 46: Beschreibung der Eigenschaften einer Teilfläche (Subcatchments)

| Eigenschaften der Subcatchments |                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Eigenschaft                     | Beschreibung                                                    |
| Name                            | Name des Subcatchments                                          |
| X-Coordinate                    | X-Koordinate des Schwerpunktes                                  |
| Y-Coordinate                    | Y-Koordinate des Schwerpunktes                                  |
| Description                     | Optionale Beschreibung des Modellierers                         |
| Tag                             | Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer  |
| Rain Gage                       | Die dem Subcatchment zugewiesenen Niederschlagsereignisse       |
| Outlet                          | Anschlusspunkt des Subcatchments                                |
| Area [ha]                       | Fläche des Subcatchments                                        |
| Width [m]                       | Wirksame Abflussbreite des Subcatchments                        |
| Flow Length [m]                 | Längster Fließweg des Subcatchments                             |
| Slope [%]                       | Gefälle des Subcatchments                                       |
| Imperv. [%]                     | Versiegelungsgrad des Subcatchments                             |
| N Imperv                        | Manningwert des versiegelten Flächenanteils des Subcatchments   |
| N Perv                          | Manningwert des unversiegelten Flächenanteils des Subcatchments |
| Dstore Imperv [mm]              | Muldenverluste auf den versiegelten Flächen des Subcatchments   |
| Dstore Perv [mm]                | Muldenverluste auf den unversiegelten Flächen des Subcatchments |
| Zero Imperv [%]                 | Flächenanteil der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste       |

Die Aufteilung der Subcatchments basiert auf einem Datensatz des Katasters, der abgesehen von der Fläche und den Koordinaten ihres Schwerpunktes keine weiteren relevanten Informationen für die Subcatchments besitzt. Daher wurden die fehlenden Informationen vorerst mit Standardwerten belegt. Mit den zusätzlich vorhandenen Daten, wie zum Beispiel dem digitalen Geländemodell oder den Orthofotos, war es nun die Aufgabe, Methoden zu entwickeln, mit denen diese fehlenden Informationen in einem ausreichenden Detaillierungsgrad ermittelt werden konnten.

Zuvor musste jedoch die Grundstruktur der Subcatchments auf Fehler überprüft und die einzelnen Teilflächen in Form und Größe angepasst werden. Ziel war es, die Aufteilung der Flächen so anzupassen, dass die jeweilige Fläche des Subcatchments selbst eine ähnliche Topografie aufweist und der Entwässerungspunkt bestimmt werden kann. Diese Überarbeitung war notwendig, da die Struktur der einzelnen Flächen aufbauend auf dem Kataster erstellt wurde. Die Grundstücke waren dabei von sehr unterschiedlicher Größe. Manche von ihnen, wie beispielsweise Straßen, besaßen eine enorme Länge und andere wiederum waren deutlich zu klein. In einigen Fällen waren mehrere Subcatchments mit ähnlichen Eigenschaften nebeneinander und konnten zusammengefügt werden. Zusammenfassend wurden folgende Bearbeitungsschritte an der Grundstruktur der Subcatchments vorgenommen:

- Löschen sämtlicher für das Modell irrelevanten Subcatchments wie zum Beispiel die Flächen des Weizbaches, Flächen deren Oberflächenabfluss nicht ins System gelangen kann (z.B. aufgrund des Gefälles) oder für das Kanalnetz nicht abflusswirksame Waldgebiete.
- Ausbessern von Fehlern wie Löcher oder Überlappungen von Teilflächen die beim Datenimport des Katasters entstanden sind.
- Unterteilen von zu großen Flächen wie Straßen, Industriegelände oder Eisenbahnanlagen in mehrere kleinere Subcatchments
- Verbinden von kleinen Subcatchments mit ähnlichen angrenzenden Teilflächen (z. B. Gehwege neben Straßen)

- Zusammenfügen von nebeneinander liegenden Subcatchments mit gleichen Eigenschaften bezüglich Oberflächenabfluss und Topografie

Nach der Überprüfung der einzelnen Subcatchments, konnte mit der Ermittlung der noch ausstehenden Informationen begonnen werden. Dabei mussten vor allem Angaben und Werte für die Eigenschaften Anschlusspunkt („Outlet“), Abflussbreite („Width“) und sämtliche Angaben zu dem Versiegelungsgrad sowie der Oberfläche der Subcatchments festgelegt werden. In den folgenden zwei Unterkapiteln wird detailliert erläutert wie die fehlenden Informationen systematisch ermittelt werden konnten. Dazu musste jedes einzelne Subcatchment separat betrachtet werden und mit Hilfe zusätzlicher Daten wie dem DGM oder Orthofotos die gesuchten Werte bestimmt werden. Grundsätzlich wurden diese zwei Schritte bei der Bearbeitung des Modells simultan ausgeführt. Aus Gründen der Übersicht werden sie hier allerdings in zwei unterschiedlichen Kapiteln beschrieben.

### Ermittlung von „Outlet“ und „Width“

Nach dem Erstellen der Subcatchments durch Importieren der Katasterdaten wurden für die Teilflächen von PCSWMM automatisch der „Outlet“ (Entwässerungspunkt), also der Anschlusspunkt an dem der Oberflächenabfluss weiter in das System fließt, ausgewählt. Das Programm weist hier standardmäßig dem Subcatchment den nächstgelegenen Knoten zu. Das entspricht selbstverständlich nicht immer der Realität. Deshalb wurde Schritt für Schritt jedes Subcatchment einzeln betrachtet und der korrekte „Outlet“ ermittelt. Hierfür wurde mit Hilfe des DGM das Gefälle der Flächen sowie die daraus resultierenden Richtungen des Oberflächenabflusses bestimmt und kontrolliert, ob diese mit den gewählten Anschlusspunkten verträglich sind. In einigen Fällen stellte sich bei dieser Analyse heraus, dass die betrachteten Flächen aus abflusstechnischer Sicht keine Relevanz für das Modell besitzen, weshalb sie entfernt wurden. Außerdem wurde die Kanalisationsart, d.h. ob das Subcatchment an einen Regen- oder Mischwasserkanal angeschlossen ist überprüft und in weiterer Folge ermittelt, ob der korrekte Anschlusspunkt gewählt wurde. Der Anschluss von Subcatchments an einen Schmutzwasserkanal ist nicht zulässig, da in diesem nur Schmutzwasser und kein Niederschlagswasser abgeführt werden soll. Eine genaue Darstellung des Schmutzwasserabflusses bzw. des Abflussverhaltens im Trockenwetterfall findet sich in Kapitel 9.3.4.1 wieder.

Eine weitere bedeutende Eigenschaft des Subcatchments ist seine „Width“. Diese virtuelle Größe beschreibt die wirksame Abflussbreite der Fläche. Ihr Zusammenhang mit der Fläche des Subcatchments und der Länge des Weges des Oberflächenabflusses wird in der folgenden Formel dargestellt:

$$Width = \frac{\text{Längster Fließweg}}{\text{Fläche Subcatchment}}$$

Die Berechnung der Abflussbreite für jedes einzelne Subcatchment separat auszuführen wäre nicht effektiv und würde den benötigten Detaillierungsgrad deutlich übersteigen. Deshalb wurde für das Fallbeispiel Weiz nach einer Methode vorgegangen, die sowohl eine ausreichende Genauigkeit sowie eine erforderliche Effektivität gewährleistet. Auf die Abflussbreite haben die Größe der Fläche, vor allem aber ihre Form und die Lage der abflusswirksamen Oberfläche (z.B. das Gebäude, die versiegelte Fläche, etc.) auf dem Subcatchment den deutlich größten Einfluss.

Deshalb wurden im Zuge der schon für die Überprüfung der „Outlets“ erforderlichen einzelnen Betrachtung der Teilflächen, die Flächen nach ihrer Form in fünf Hauptgruppen unterteilt. Der Betrachtungspunkt, nach welchem die Form beurteilt wird, ist jeweils der Anschlusspunkt des Subcatchments. Als Bezeichnung für die einzelnen Gruppen wurden die Buchstaben A bis E gewählt. Außerdem wurde Straßen eine gesonderte Bezeichnung gegeben, da sie alle eine sehr ähnliche Form aufweisen. Die genaue Aufteilung der Gruppen wird in Tabelle 47 dargestellt.

Tabelle 47: Kategorisierung der Subcatchments nach Form

| Kategorisierung der Subcatchments nach Form zur Bestimmung der „Width“ |                                                     |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Gruppe                                                                 | Form                                                |
| A                                                                      | ein Quadrat                                         |
| B                                                                      | ein aufgestelltes Rechteck (lange Seite senkrecht)  |
| C                                                                      | ein quer liegendes Rechteck (lange Seite waagrecht) |
| D                                                                      | ein umgedrehtes Trapez (lange Seite oben)           |
| E                                                                      | ein Trapez (lange Seite unten)                      |
| St                                                                     | eine Straße                                         |

Das Eigenschaftsfeld „Tag“ der Subcatchments bietet dem Anwender in PCSWMM die Möglichkeit, den Flächen Informationen zuzuweisen, nach denen sie später sortiert werden können. Diese Funktion wurde verwendet, um die Teilflächen mit der jeweiligen oben beschriebenen Kennzeichnung zu versehen.

Für Subcatchments, die eine sehr extreme Variante ihrer Form aufweisen, wie zum Beispiel ein Rechteck mit einer großen Länge aber einer geringen Breite, wurde statt des Großbuchstabens der Kleinbuchstabe verwendet. Zusätzlich dazu wurden bei Subcatchments, die nicht direkt an einem Anschlussknoten angrenzen, wodurch der Fließweg des Oberflächenabflusses deutlich länger wird, vor dem Buchstaben zu Gruppeneinteilung ein X vorangestellt. Eine weitere Sonderkennzeichnung wurde vorgenommen, wenn ein Subcatchment von einem anderen umschlossen wird. Ein klassisches Beispiel hierfür wäre ein Einfamilienhaus umgrenzt von einem Garten. Ihnen wurde, vor die Bezeichnung für die Form der Fläche, ein Z vorgestellt.

Da auch die Lage der versiegelten Fläche in dem Subcatchment eine wesentliche Rolle spielt, wurde der Bezeichnung für die Form, falls diese Fläche nicht in der Mitte liegt, eine Zahl als zusätzliche Kennzeichnung beigelegt. Befindet sie sich im vorderen Drittel bekam sie eine 1 und für das hintere Drittel eine 3.

In Abbildung 192 werden die einzelnen Formen sowie die Sonderbezeichnungen dargestellt, die zur Bestimmung der Width erforderlich waren.

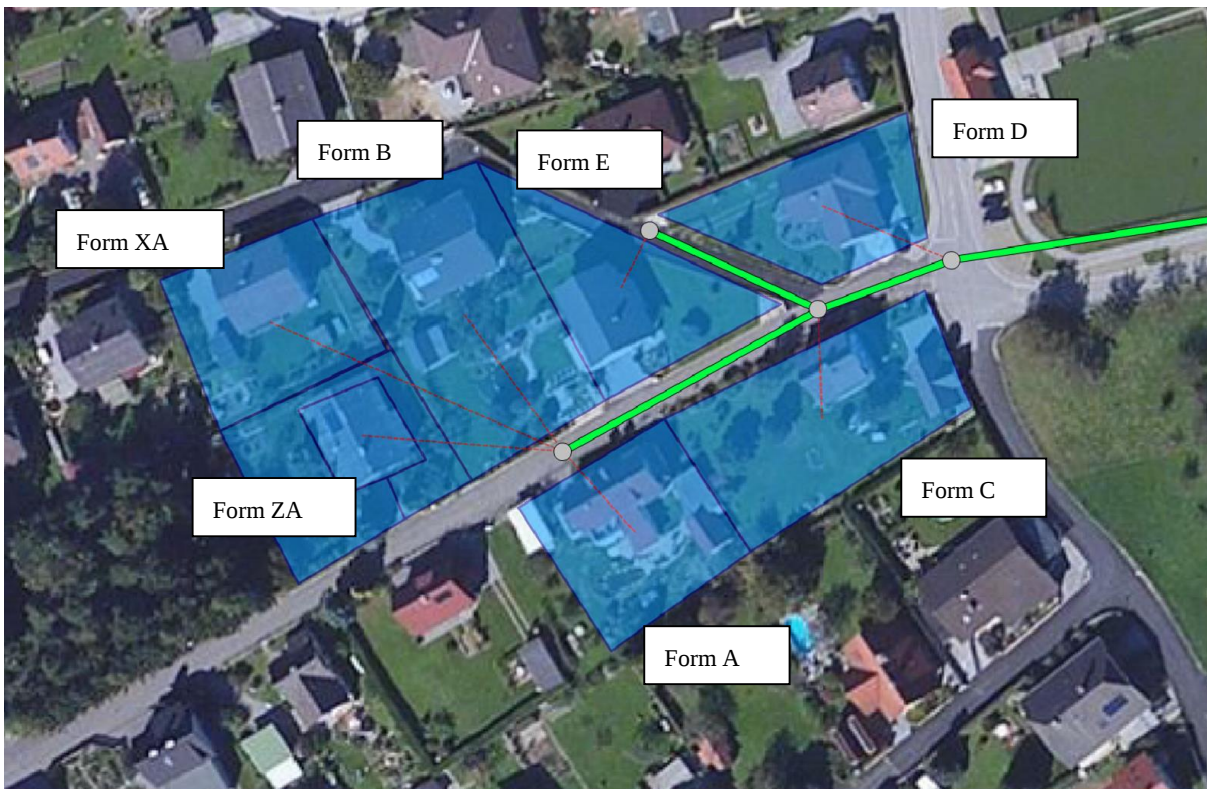


Abbildung 192: Darstellung der einzelnen Formen der Subcatchments zur Bestimmung der „Width“

Nachdem alle Subcatchments in ihre Gruppen inklusive der Sonderbezeichnungen unterteilt wurden, konnte damit begonnen werden ihnen eine „Width“ je nach Gruppe zuzuweisen. Dazu wurde in einer Excel-Tabelle für jede Gruppe, abhängig von der Fläche des jeweiligen Subcatchments und empirisch ermittelten Faktoren, ein Wert für die Abflussbreite errechnet und ins PCSWMM übertragen. In der folgenden Tabelle 48 sind die verschiedenen Formeln für die unterschiedlichen Gruppen mit ihren Sonderbezeichnungen dargestellt.

Tabelle 48: Formeln der jeweiligen Gruppen zur Ermittlung der „Width“

| Formeln zur Berechnung der „Width“                                                  |                                       |                                   |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Kategorie                                                                           | Formel                                | Faktoren unterteilt nach Position |                 |                 |
|                                                                                     |                                       | x <sub>w1</sub>                   | x <sub>w2</sub> | x <sub>w3</sub> |
| A                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{X_w}$            | 0,850                             | 0,850           | 0,850           |
| B                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{3} * X_w}$ | 0,333                             | 0,667           | 1,000           |
| b                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{5} * X_w}$ | 0,333                             | 0,667           | 1,000           |
| C                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{2} * X_w}$ | 0,500                             | 0,500           | 0,500           |
| c                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{2} * X_w}$ | 1,000                             | 1,000           | 1,000           |
| D                                                                                   | $W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{6} * X_w}$ | 0,333                             | 0,333           | 0,333           |
| d                                                                                   | $W = \sqrt{A} * X_w$                  | 0,500                             | 0,500           | 0,500           |
| E                                                                                   | $W = \sqrt{A} * X_w$                  | 2,449                             | 2,449           | 2,449           |
| e                                                                                   | $W = \sqrt{A} * X_w$                  | 1,414                             | 1,414           | 1,414           |
| ZA                                                                                  | $W = \frac{A}{X_w}$                   | 23,000                            | 26,000          | 20,000          |
| ZB                                                                                  | $W = \frac{A}{X_w}$                   | 23,000                            | 26,000          | 20,000          |
| ZC                                                                                  | $W = \frac{A}{X_w}$                   | 23,000                            | 26,000          | 20,000          |
| St                                                                                  | $W = 15$                              | -                                 | -               | -               |
| X                                                                                   | Formel je nach Kategorie              | Faktor * 3                        | Faktor * 3      | Faktor * 3      |
| W ... Width [m]; A ... Fläche [m²]; x <sub>w</sub> ... empirisch ermittelter Faktor |                                       |                                   |                 |                 |

Für eine Teilfläche, die vom Bezugspunkt aus gesehen, die Form eines extrem schmalen aufgestellten Rechtecks mit einer Fläche von 100 m² besitzt und auf der sich im mittleren Drittel ein Gebäude umgeben von Wiese befindet, würde sich die „Width“ wie folgt berechnen:

$$W = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{5} * X_w} = \frac{\sqrt{100}}{\sqrt{5} * 0,667} = 6,70 \text{ m}$$

### Ermittlung der Oberflächenverhältnisse

Um den Oberflächenabfluss im Modell realitätsnah simulieren zu können, ist es wichtig die Oberflächenverhältnisse, wie den Grad der Versiegelung oder die Oberflächenrauigkeiten, ausreichend genau abzubilden. Wie schon bei der Bestimmung der Abflussbreite wäre es nicht effektiv, für jedes der Subcatchments die Oberflächenverhältnisse einzeln zu bestimmen. Aus diesem Grund wurde für das Modell des Fallbeispiels Weiz eine weitere Unterteilung der Subcatchments in Gruppen nach den Oberflächentypen vorgenommen. Dazu wurde im Zuge der Betrachtung der einzelnen Subcatchments für die Bestimmung der Kennwerte „Width“ und „Outlet“ aus dem vorherigen Kapitel, jede einzelne Teilfläche zusätzlich mit den hinterlegten Orthofotos abgeglichen. Die Aufteilung der Flächen erfolgte nach dem in Tabelle 49 dargestellten Prinzip.

Tabelle 49: Aufteilung der Flächen nach Oberflächentypen

| Kategorien der Oberflächentypen |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Kategorie                       | Beschreibung                      |
| DS                              | Dachfläche mit Spitzdach          |
| DF                              | Dachfläche mit Flachdach          |
| BA                              | Befestigte Fläche Asphalt / Beton |
| BS                              | Befestigte Fläche Schotter / Erde |
| St                              | Straße                            |
| E                               | Eisenbahn                         |
| A                               | Acker                             |
| Wi                              | dünnere niedriger Bewuchs, Wiese  |
| Wa                              | dichter Bewuchs, Wald             |

Die Abkürzungen wurden im Eigenschaftsfeld „Tag“ der Subcatchments im PCSWMM nach einem Bindestrich der Bezeichnung, für die Form der Teilflächen angehängt. Da viele Subcatchments aus unterschiedlichen Oberflächentypen bestehen, wurde zuerst die für den Oberflächenabfluss ungünstigste Fläche als prozentuelle Größe an der Gesamtfläche in den folgenden Intervallen angegeben:

- 20 = 0% bis 20%
- 40 = 20% bis 40%
- 60 = 40% bis 60%
- 80 = 60% bis 80%

Eine Fläche bestehend aus einem Wohnhaus mit Flachdach und einem Garten wurde dann zum Beispiel mit DF40Wi bezeichnet.

Nachdem für alle Subcatchments der Flächentyp bestimmt wurde, konnten für jede Gruppe die folgenden Eigenschaften festgelegt werden:

- Die „Imperviousness“ (der Versiegelungsgrad) in Prozent nach den oben genannten Intervallen.
- Die Manning Beiwerte  $n$  für die versiegelten sowie unversiegelten Flächen.
- Die Muldenverluste in mm für die versiegelten sowie unversiegelten Flächen.
- Die Prozent der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste (zero-imperviousness).

In Tabelle 50 werden sämtliche Unterteilungen der Subcatchments nach ihren Flächentypen und ihre ihnen zugewiesenen Manning Beiwerten aufgelistet.

Tabelle 50: Manningbeiwerte der Subcatchments

| Manning Beiwerte der Subcatchments |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| Flächenart                         | Manning Beiwert n |
| Flachdach                          | 0,012             |
| Spitzdach                          | 0,014             |
| Straße                             | 0,012             |
| Asphalt / Beton                    | 0,018             |
| Schotter                           | 0,020             |
| Wiese                              | 0,200             |
| Acker                              | 0,120             |
| Wald                               | 0,600             |
| Eisenbahn                          | 0,025             |

#### 9.3.3.3. BEARBEITUNG DER LEITUNGSELEMENTE

Nachfolgend wird auf die Bearbeitung der Knoten (Junctions) sowie der Leitungen (Conduits) näher eingegangen.

##### **Knoten (Junctions)**

Junctions sind Knoten im Entwässerungssystem, wie zum Beispiel Kanalschächte oder Zusammenschlüsse offener Kanäle, an denen Leitungen aufeinandertreffen und externe Zuflüsse in das System gelangen. Wie schon bei den zuvor beschriebenen Subcatchments (siehe Kapitel 9.3.3.2), wurden mit Hilfe des programmunterstützten Datenimports, die wichtigsten Grunddaten in das PCSWMM-Kanalnetzmodell übertragen. Zusätzlich dazu mussten die fehlenden Informationen der Grunddaten und Parameter von bestimmten Eigenschaften der Knoten ergänzt werden. Außerdem mussten die externen Zuflüsse der einzelnen Junctions festgelegt werden. In Tabelle 51 sind die wichtigsten Eigenschaften der Knoten aufgelistet und beschrieben.

Tabelle 51: Beschreibung der Eigenschaften eines Knoten (Junction)

| Eigenschaften der Junctions       |                                                                              |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Eigenschaft                       | Beschreibung                                                                 |
| Name                              | Name des Knotens                                                             |
| X-Coordinate                      | X-Koordinate des Knotens                                                     |
| Y-Coordinate                      | Y-Koordinate des Knotens                                                     |
| Description                       | Optionales Kommentar oder Beschreibung des Modellierers                      |
| Tag                               | Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer               |
| Invert Elev. [m]                  | Höhe der Schachtsohle                                                        |
| Rim Elev. [m]                     | Kanaldeckeloberkante, wird automatisch aus Invert Elev. + Depth berechnet    |
| Depth [m]                         | Maximale Wassertiefe, ist zumeist die Schachttiefe                           |
| Initial Depth [m]                 | Anfängliche Wassertiefe im Knoten                                            |
| Surcharge Depth [m]               | Maximale Einstautiefe bevor es zu einer Überflutung kommt                    |
| Ponded Area [m <sup>2</sup> ]     | Größe der überfluteten Fläche bei Überflutungen                              |
| Baseline [m <sup>3</sup> /s]      | Basiswert des direkten Zuflusses                                             |
| Baseline Pattern                  | Zeitliches Muster des direkten Zuflusses                                     |
| Time Series                       | Direkter Zufluss nach einer zeitlichen Serie                                 |
| Scale Factor                      | Skalierungsfaktor für den direkten Zufluss                                   |
| Average Value [m <sup>3</sup> /s] | Durchschnittlicher Wert des Trockenwetterzuflusses                           |
| Time Pattern 1 - 4                | Bis zu 4 optionale zeitlichen Muster für den durchschn. Trockenwetterzufluss |

Doch bevor die Knoten mit zusätzlichen Informationen ergänzt werden konnten, musste wie schon zuvor bei den Subcatchments die Grundstruktur der importierten Daten auf Fehler überprüft und gegebenenfalls adaptiert werden. Dieser Schritt wurde durch die Kontrolle jedes einzelnen Leitungsstranges gemeinsam mit der Überprüfung der Leitungen durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Korrekturen vorgenommen:

Korrigieren der Sohlhöhen durch Ermittlung des Gefälles durch den Vergleich mit den anschließenden Leitungen (bei Knoten, deren Schachtsohlhöhe vor dem Datenimport auf 460 müA angepasst werden musste)

Korrigieren der Sohlhöhen durch Ermittlung des Gefälles durch den Vergleich mit den anschließenden Leitungen (bei Knoten, deren Schachtsohlhöhe bezogen auf die angrenzenden Knoten nicht plausibel ist).

Durch das Verschneiden mit dem digitalen Geländemodell konnten für die Knoten, deren Schachttiefe in den erhaltenen Daten fälschlicherweise auf 0 m gesetzt waren und deshalb auf 1,5 m angepasst wurden, die Schachttiefen korrigiert werden.

Korrigieren der Schachttiefen durch das Verschneiden mit dem DGM (bei Knoten, deren Schachttiefen bezogen auf die angrenzenden Knoten nicht plausibel sind).

Entfernen der für das Modell nicht benötigten Knoten, vor allem in Bereichen in denen anderenfalls sehr kurze Leitungslängen (< 10 m) auftreten würden. Diese Maßnahme ist erforderlich, um die numerische Stabilität der Berechnungen gewährleisten zu können. Auf das Ergebnis der Simulationsläufe haben die entfernten Knoten aber keinen Einfluss.

Nachdem die Grundstruktur der Knoten überprüft und korrigiert wurde, konnte mit der Zuweisung der noch fehlenden Eigenschaften und Parameter begonnen werden. In dem Eigenschaftsfeld „Average Value“ der Junctions besteht die Möglichkeit, dem Knoten einen regelmäßigen externen Zufluss in m<sup>3</sup>/s oder l/s zuzuweisen. Diese Funktion wurde verwendet um den Schmutzwasserzufluss des Systems zu modellieren. Dazu wurde schon beim Import der Daten den Knoten im Feld „Description“, abhängig davon ob sie Schmutzwasser führen, entweder die Bezeichnung „Freispiegel SWK“ oder „Freispiegel RWK“ zugeteilt. Um die Knoten später einfach nach

ihrem Eigenschaftsfeld „Tag“ sortieren zu können, wurden im nächsten Schritt in PCSWMM, mit Hilfe einer Such- und Abfragefunktion, sämtliche Leitungen mit der „Description“ „Freispiegel RWK“ ausgewählt und mit dem „Tag“ „o“ versehen. Ihnen wurde in weiterer Folge kein Schmutzwasserzufluss zugewiesen. Zusätzlich gab es im Kanalnetzmodell Junctions, bei denen bekannt war, dass im Vergleich zu den anderen Knoten ein größerer Zufluss auftreten wird. Das sind beispielsweise Knoten an denen eine weitere Gemeinde oder größere Industriebetriebe angeschlossen sind. Ihnen wurde der „Tag“ „Zufluss xxx“ gegeben, wobei für das „xxx“ der jeweilige Name des Betriebes oder Gemeinde eingetragen wurden.

Für den Schmutzwasserabfluss wurde ein täglicher Wasserverbrauch von 120 l/(d\*EW) angenommen. Der sich daraus ergebende gesamte Schmutzwasseranfall wurde auf die Knoten des Kanalisationssystems verteilt. Das täglich anfallende Schmutzwasser der bekannten großen Industrie- und Gewerbebetriebe wurde über den auf 80% reduzierten jährlichen Wasserverbrauch (aufgrund etwaiger Wasserverluste bei Produktionsprozessen etc.) berechnet. In Tabelle 52 ist die Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch den häuslichen Wasserverbrauch dargestellt während Tabelle 53 dies entsprechend für die Betriebe aufzeigt. Zudem ist die Verteilung der Zuflüsse auf die Knoten angegeben.

Tabelle 52: Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch häuslichen Wasserverbrauch

| Ermittlung des Trockenwetterzuflusses Gemeinden |             |                  |      |          |                  |
|-------------------------------------------------|-------------|------------------|------|----------|------------------|
| Gemeinde                                        | Knotenname  | Anzahl d. Knoten | EW   | Q [m³/s] | pro Knoten [l/s] |
| Weiz                                            | Alle SWK    | 1684             | 8900 | 0,012361 | 0,007            |
| Mortantsch                                      | N4157       | 1                | 2100 | 0,002917 | 2,917            |
| Naas                                            | N1428       | 1                | 1700 | 0,002361 | 2,361            |
| Mitterdorf                                      | N1576       | 1                | 190  | 0,000264 | 0,264            |
| Thanhausen                                      | N916, N1710 | 2                | 210  | 0,000292 | 0,146            |

Tabelle 53: Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Betriebe

| Ermittlung des Trockenwetterzuflusses Betriebe |            |                 |          |                                |
|------------------------------------------------|------------|-----------------|----------|--------------------------------|
| Betrieb                                        | Knotenname | Wasserverbrauch |          | 80% des Wasserverbrauchs [l/s] |
|                                                |            | [m³/Jahr]       | m³/s     |                                |
| Andritz AG                                     | N367       | 17900           | 0,000568 | 0,57                           |
| Schlachthof                                    | N2026      | 13300           | 0,000422 | 0,42                           |
| Schulzentrum                                   | N370       | 6400            | 0,000203 | 0,20                           |
| Tankstelle Rosenberger                         | N1815      | 4300            | 0,000136 | 0,14                           |
| LKH Weiz                                       | N3961      | 9400            | 0,000298 | 0,30                           |
| Pensionistenheim Weiz                          | N1475      | 7800            | 0,000247 | 0,25                           |
| Weizer Schafbauern                             | N4004      | 8100            | 0,000257 | 0,26                           |
| Moosdorfer Stahlbau                            | N1758      | 3000            | 0,000095 | 0,10                           |
| Volkshilfe Pflegeheim                          | N1447      | 5500            | 0,000174 | 0,17                           |
| GH Ederer                                      | N1344      | 8000            | 0,000254 | 0,25                           |

### Leitungen (Conduits)

Wie schon bei den Knoten konnte für die Leitungen ein Großteil der Grunddaten durch den Datenimport ins PCSWMM übertragen werden. Danach wurden die fehlerhaften Werte korrigiert und fehlende Daten ergänzt. Die wichtigsten Eigenschaften der Conduits

werden in Tabelle 54 dargestellt und erläutert.

Tabelle 54: Beschreibung der Eigenschaften einer Leitung (Conduit)

| Eigenschaften der Conduits |                                                                       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Eigenschaft                | Beschreibung                                                          |
| Name                       | Name des Conduits                                                     |
| Inlet Node                 | Name des Knotens am Anfang der Leitung                                |
| Outlet Node                | Name des Knotens am Ende der Leitung                                  |
| Description                | Optionales Kommentar oder Beschreibung des Modellierers               |
| Tag                        | Optionale Kategorie oder Klassifizierung durch den Modellierer        |
| Length [m]                 | Länge der Leitung                                                     |
| Roughness                  | Manningbeiwert für die Rauigkeit in der Leitung                       |
| Inlet Offset [m]           | Differenz zwischen Leitungssohle und Schachtssohle am Leitungsanfang  |
| Outlet Offset [m]          | Differenz zwischen Leitungssohle und Schachtssohle am Leitungsende    |
| Initial Flow [m³/s]        | Anfänglicher Durchfluss in der Leitung                                |
| Flow Limit [m³/s]          | Maximal erlaubter Durchfluss in der Leitung                           |
| Entry Loss Coeff.          | Koeffizient für Energieverluste beim Leitungsanfang                   |
| Exit Loss Coeff.           | Koeffizient für Energieverluste beim Leitungsende                     |
| Avg. Loss Coeff.           | Koeffizient für durchschnittliche Energieverluste entlang der Leitung |
| Seepage Rate [mm/hr]       | Verlustrate durch Leckagen in der Leitung                             |
| Cross-Section              | Querschnittsform der Leitung                                          |
| Geom1 -4 [m]               | Verschiedene Längenangaben zu dem ausgewählten Querschnitten          |

Da die Grundstruktur der Leitungen in PCSWMM stark von den Knoten abhängig ist, wurde die Überprüfung und Korrektur gemeinsam mit der Kontrolle der Junctions durchgeführt. Sämtliche Punkte die für die Knoten an Korrekturmaßnahmen an der Grundstruktur durchgeführt werden mussten, nehmen natürlich in gleichem Maße Einfluss auf Leitungen und werden daher nicht erneut aufgelistet. Zusätzlich dazu wurden an den Leitungen die folgenden Anpassungen vorgenommen:

Entfernen der für das Modell irrelevanten Hausanschlüsse.

Überprüfen und gegebenenfalls Anpassen der Durchmesser und Formen der Kanalleitungen durch den Vergleich mit den angrenzenden Leitungen.

Überprüfung der Art des Kanals (RWK, SWK oder MWK) anhand des weiterführenden Verlaufes des Stranges.

Nachdem die Grundstruktur der Leitungen von Fehlern und Ungereimtheiten bereinigt wurde, konnten die noch fehlenden Parameter den weiteren Eigenschaften der Conduits zugewiesen werden. Da das Weizer Kanalisationssystem im Wesentlichen aus alten Beton- und Steinzeugtrohren besteht, wurde den Leitungen ein Rauigkeitsbeiwert („Roughness“) von 0,017 zugewiesen.

#### 9.3.3.4. BEARBEITUNG DER SONDERBAUWERKE

In Weiz gibt es 10 Mischwasserüberläufe. Diese wurden bereits vor der Modellierungsarbeit vermessen und mussten daher nur mehr manuell in PCSWMM in das Modell integriert werden. Dafür wurden „Weirs“ (Wehre) zwischen zwei Knoten gesetzt. Diese PCSWMM-Elemente bilden die Überlaufschwelle ab. Ihnen wurden die Schwellenhöhen („Inlet Offset“) und die Schwellenlängen („Length“) der jeweiligen Überlaufbauwerke zugewiesen.

Des Weiteren gibt es im Weizer Kanalisationssystem drei Pumpenanlagen. Für die Pumpen war leider keine genaue Pumpenkennlinie

akquirierbar, eine genaue Pumpensteuerung konnte somit nicht in das Modell eingepflegt werden. Den Pumpen wurde jedoch ihre jeweilige maximale Pumpleistung zugewiesen.

### 9.3.4. KALIBRIEREN DES MODELLES

Nachdem sämtliche Daten in das Modell integriert wurden und das Modell wie in den vorherigen Punkten beschrieben nachbearbeitet wurde, konnte mit den ersten Berechnungsläufen und danach mit der Kalibrierung begonnen werden. Näheres zur Kalibrierung findet sich im Kapitel 6.4.

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen die Kalibrierung für Trocken- sowie Regenwetter.

#### 9.3.4.1. KALIBRIERUNG TROCKENWETTER

Zuerst wurde die Kalibrierung des Trockenwetterfalls durchgeführt. In dieser Phase ist der Oberflächenabfluss ohne Bedeutung. Dadurch konnte das Kanalnetzmodell anhand weniger Parameter (Trockenwetterzufluss, Rauigkeiten der Leitungen, etc.) kalibriert werden.

Für die ersten Berechnungen wurde den entsprechenden Knoten ein konstanter Trockenwetterzufluss zugewiesen. Mit Hilfe der Daten aus dem in Weiz positionierten Regenschreiber, konnte der regenfreie Mittwoch, der 5. August 2015 als Trockenwettertag für die Kalibrierung identifiziert werden. Da der Kläranlagenzufluss in 3-Minuten-Intervallen gemessen wird und die Messungen teilweise Sprünge aufweisen, wurden die Messungen für die Kalibrierung auf 30-Minuten-Intervalle aufsummiert.

Ziel war es, in einem ersten Schritt das Volumen des Trockenwetterabflusses auf eine korrekte Größe zu kalibrieren und erst danach die Form der Abflusskurve an die gemessenen Ergebnisse anzupassen. Das Simulationsergebnis für den genannten Trockenwettertag wird in der folgenden Abbildung 193 dargestellt. Die orange Linie mit der Bezeichnung „C26 (obs)“ zeigt den gemessenen Kläranlagenzufluss und die blau Linie, bezeichnet als „C26“ den Zufluss der Simulation.

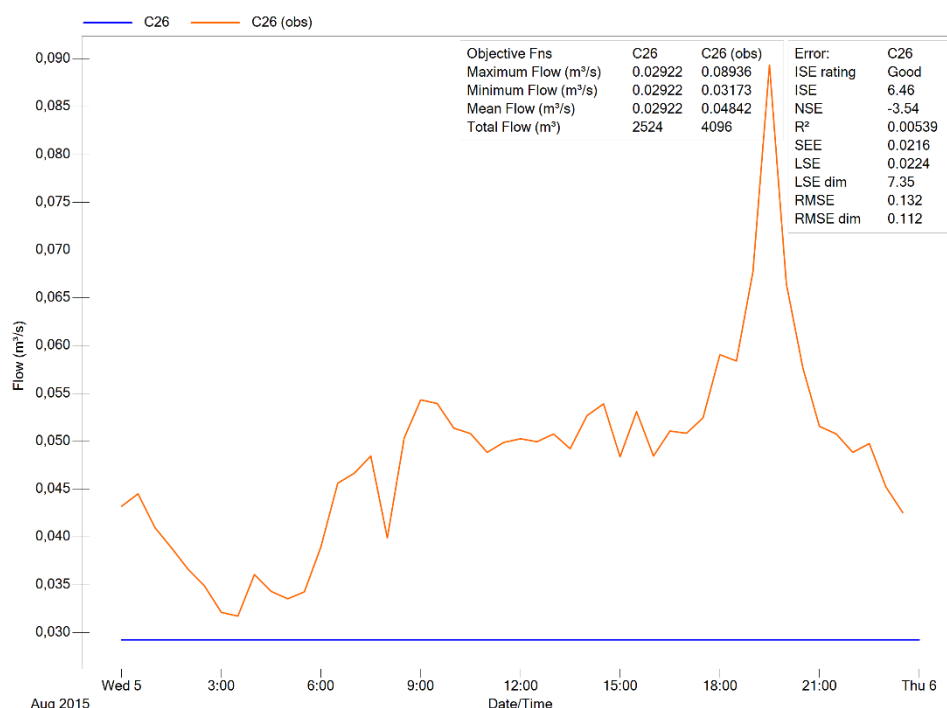


Abbildung 193: Berechnungsergebnis erster Simulationslauf Trockenwetter

Die Berechnung zeigt, was sich schon vorab in Gesprächen mit Mitarbeitern aus dem Bereich der Abwasserentsorgung der Stadtgemeinde Weiz herauskristallisierte. Im Weizer Kanalisationssystem gibt es einen sehr hohen Fremdwasseranteil. Aus der Berechnung ergab sich eine Differenz zwischen gemessenen und simulierten Volumen von 1572 m³. Dieses Fremdwasser musste nun zusätzlich im Modell berücksichtigt werden. Das zuvor genannte fehlende Volumen wurde daher als Fremdwasseranteil auf die einzelnen Knoten verteilt. Insgesamt sind im Modell 13.100 Einwohner an die Kläranlage Weiz angeschlossen. Das zusätzliche Wasser wurde anteilmäßig an der Gesamtzahl der Einwohner verteilt, woraus die in der folgenden Tabelle 55 dargestellte Aufteilung entstand.

Tabelle 55: Ermittlungen des Trockenwetterzuflusses inkl. Fremdwasser der Gemeinden

| Ermittlung des Trockenwetterzufluss Gemeinden inkl. Fremdwasser (FW) |             |                  |      |          |               |                  |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|------|----------|---------------|------------------|
| Gemeinde                                                             | Knotenname  | Anzahl d. Knoten | EW   | Q [m³/s] | Q + FW [m³/s] | pro Knoten [l/s] |
| Weiz                                                                 | Alle SWK    | 1684             | 8900 | 0,012361 | 0,000019      | 0,019            |
| Mortantsch                                                           | N4157       | 1                | 2100 | 0,002917 | 0,007494      | 7,494            |
| Naas                                                                 | N1428       | 1                | 1700 | 0,002361 | 0,006068      | 6,068            |
| Mitterdorf                                                           | N1576       | 1                | 190  | 0,000264 | 0,000685      | 0,685            |
| Thanhausen                                                           | N916, N1710 | 2                | 210  | 0,000292 | 0,000610      | 0,305            |

Nachdem die neuen Trockenwetterzuflüsse den Knoten des Modells zugewiesen wurden, konnte ein weiterer Berechnungslauf durchgeführt werden. Die nun erzielten Simulationsergebnisse zeigen, dass die Differenz des Volumens durch die getroffenen Maßnahmen auf eine ausreichend geringe Größe verringert werden konnte. Abbildung 194 stellt die Ergebnisse der zweiten Berechnung (erneut in blau), im Vergleich zur Messung des Kläranlagenzuflusses in orange dar.

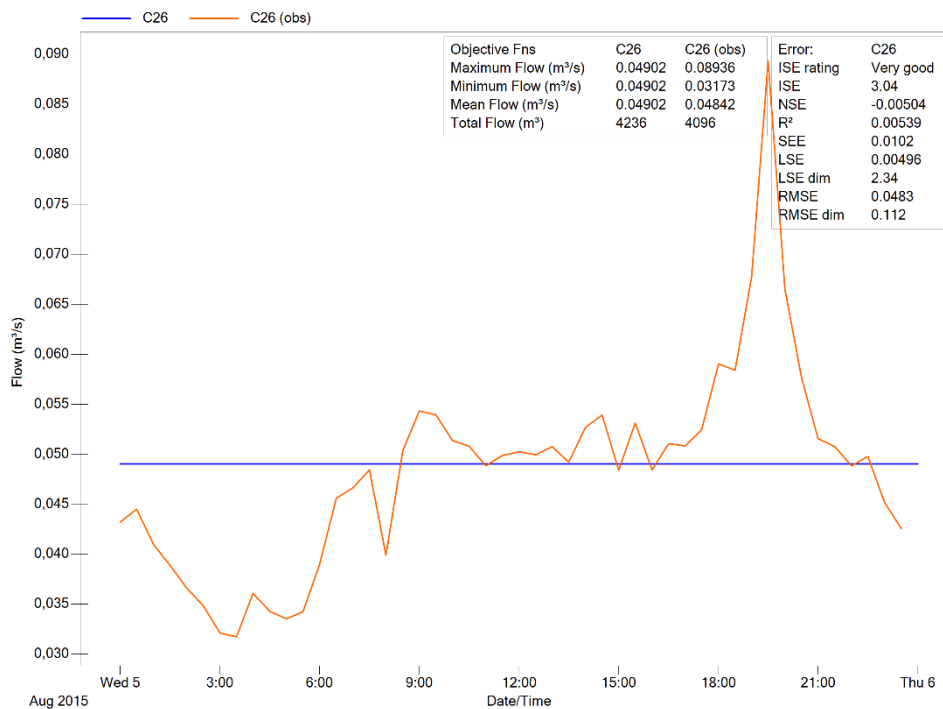


Abbildung 194: Berechnungsergebnis zweiter Simulationslauf Trockenwetter

Die Abflusskurve im Trockenwetterfall ist für viele Kläranlagen sehr ähnlich. Es kommt zu Spitzen zu Tageszeiten, an denen ein erhöhter Wasserverbrauch auftritt (morgens und abends). Um eine möglichst realitätsnahe Form der Kurve des Kläranlagenzuflusses im Modell nachbilden zu können, wurde aus den erhaltenen Messungen des Zuflusses der ARA von 6 regenfreien Tagen, der Mittelwert für 30-Minuten-Intervalle gebildet. Aus den dabei erhaltenen Zuflusswerten konnte, abhängig vom durchschnittlichen Gesamtzufluss pro Tag, ein stündlicher Faktor, der den konstanten Trockenwetterzufluss an die gewünschte Abflusskurve annähert, berechnet werden. PCSWMM bietet die Möglichkeit, solche Faktoren über ein „Timepattern“ einem oder mehreren Knoten zuzuweisen. Abbildung 195 zeigt eine Übersicht über die ermittelten stündlichen Faktoren.

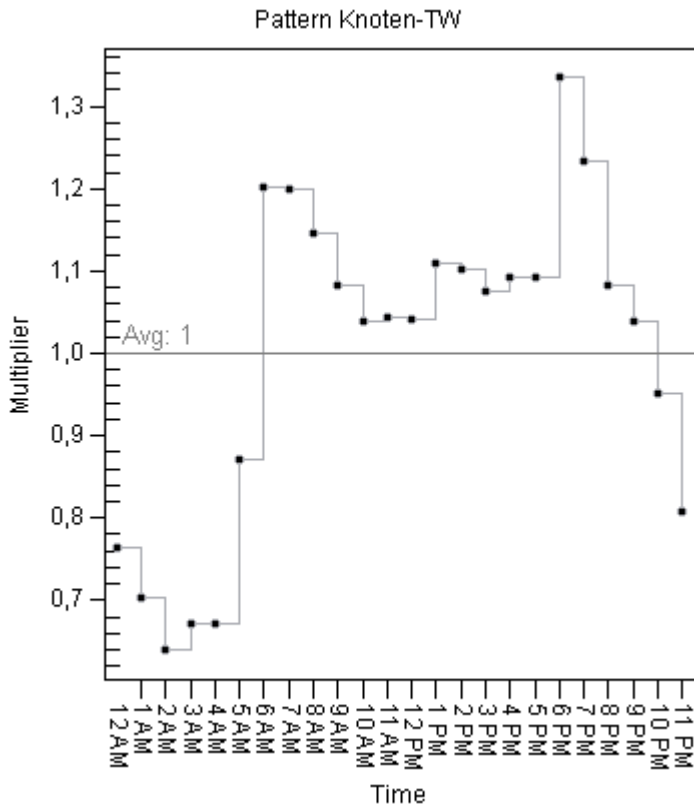


Abbildung 195: „Timepattern“ der stündlichen Faktoren für die Form der Abflusskurve Trockenwetter

Im letzten Schritt musste eine weitere Berechnung für den 5. August sowie ergänzende Simulationen an zusätzlichen Tagen durchgeführt werden. Dadurch konnte bestimmt werden, ob die angepasste Kurvenform des simulierten Trockenwetterabflusses der Kurvenform der Messergebnisse der unterschiedlichen Tage entspricht. In Abbildung 196 werden die Ergebnisse des dritten Simulationslaufs für den 5. August abgebildet. Die Zuflussmessung der Kläranlage wird wieder in orange („C26(obs)“) und das Simulationsergebnis („C26“) in blau dargestellt.

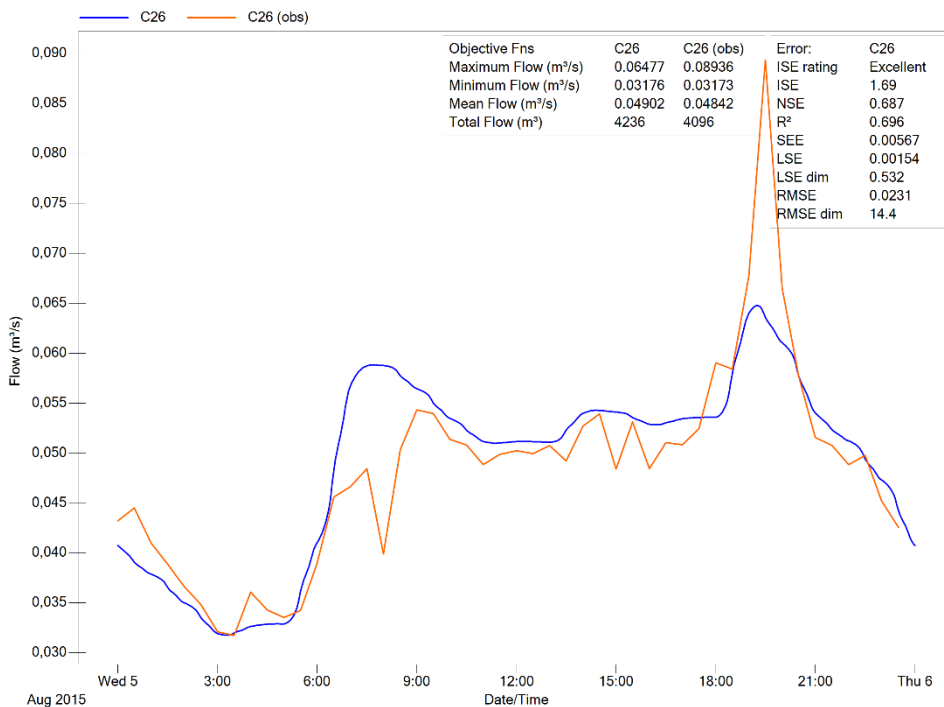


Abbildung 196: Berechnungsergebnis dritter Simulationslauf Trockenwetter

Die erzielten Ergebnisse dieses dritten Simulationslaufes und die der zur Kontrolle durchgeführten zusätzlichen Berechnungen an weiteren regenfreien Tagen ergaben ein zufriedenstellendes Resultat.

#### 9.3.4.2. KALIBRIERUNG REGENWETTER

Im Vergleich zur recht simplen Trockenwetterkalibrierung ist die Kalibrierung des Regenwetterfalls eine weitaus komplexere Aufgabe. Durch den zusätzlich auftretenden Oberflächenabfluss und durch seine Beeinflussung des Systems müssen viele weitere Parameter abgestimmt werden. Bei der Kalibrierung wurden die simulierten Ergebnisse mit zwei konkret gemessenen Werten verglichen. Einerseits konnte mit dem Zufluss zur Kläranlage die Abflusskurve angeglichen werden und andererseits wurde die Überlauffrequenz und -dauer an den Mischwasserüberläufen herangezogen. Auch bei Kalibrierung des Regenwetterfalls wurde versucht, die zwei Qualitätskriterien der Reihe nach zu erfüllen. Das heißt zuerst wurde versucht durch das Adaptieren von unterschiedlichen Parametern das Volumen des Abflusses anzugleichen und in weiter Folge die Kurvenformen der simulierten Abflusslinie an die des gemessenen Kläranlagenzuflusses anzugleichen.

Bevor mit der Kalibrierung begonnen werden konnte, mussten Tage ausgewählt werden an denen es laut der durchgeführten Messungen zu Niederschlägen mit einer ausreichenden Dauer und Intensität kam. Aufgrund des trockenen Sommers 2015 in der Region Weiz, boten sich nur zwei Niederschlagsereignisse im Zeitraum der durchgeführten Messkampagnen (Regenschreiber, Temperatursensoren, etc.) an. Die Auswahl der Tage richtete sich in diesem Fall an die Ergebnisse der Messungen zum Ansprungsverhalten der Mischwasserüberläufe. Aufgrund der zuvor genannten Umstände wurden der 8. Juli und der 17. August 2015 ausgewählt. Dies waren die einzigen zwei Tage im Messzeitraum an denen es nach Niederschlägen zu Überläufen in den Entlastungsbauwerken kam. Die Dauer dieser Überlaufereignisse sind in Tabelle 45 angeführt. Die Kalibrierung des Modells wurde mit Hilfe der Daten vom 17.08.2015 durchgeführt und das Ergebnis anhand der Daten vom 08.07.2015 nachkalibriert. Eine Validierung wurde aufgrund der unzureichenden Ereignisanzahl nicht durchgeführt.

In Abbildung 197 und Abbildung 198 sind die Regenmessungen für die zwei ausgewählten Tage abgebildet.

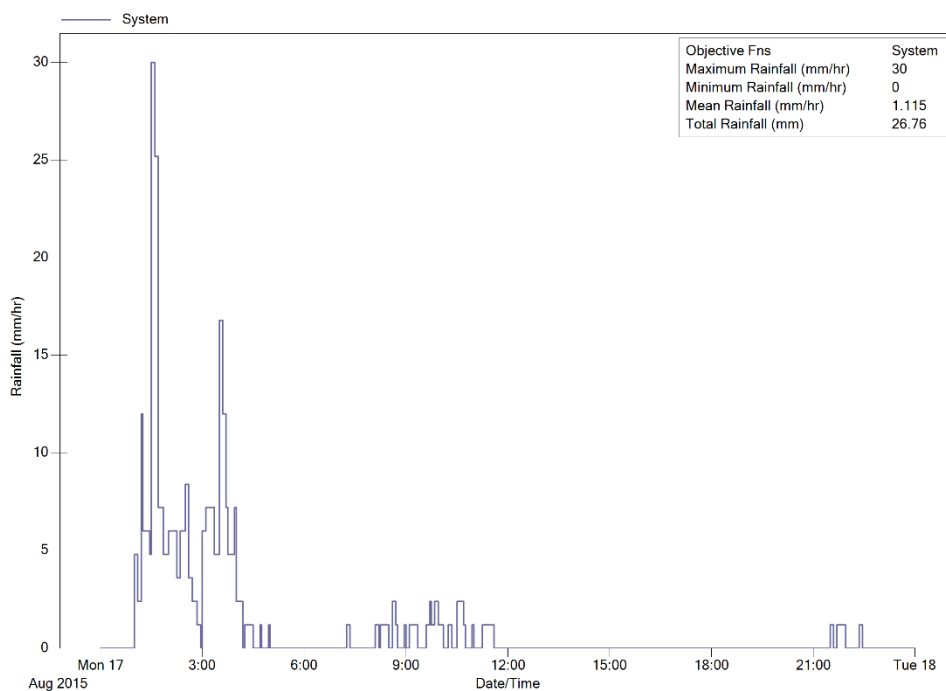


Abbildung 197: Gemessener Niederschlag in Weiz am 17.08.2015

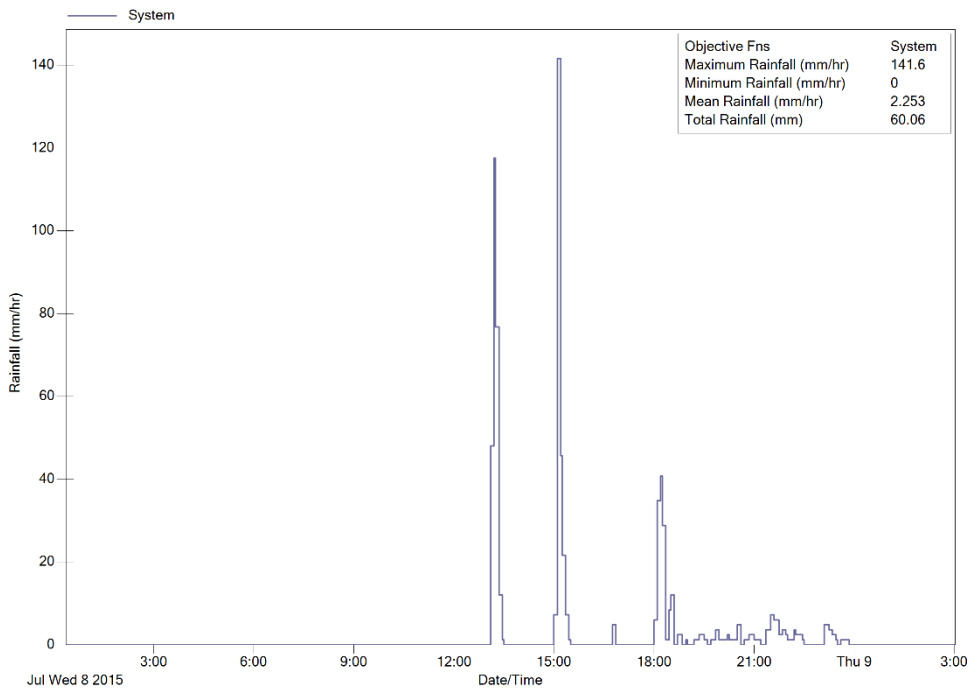


Abbildung 198: Gemessener Niederschlag in Weiz am 08.07.2015

In Tabelle 56 werden die für die Kalibrierung wichtigsten Parameter der Subcatchments aufgelistet und ihre Wirkung auf das System kurz zusammengefasst.

Tabelle 56: Parameter der Subcatchments und ihr Einfluss auf die Kalibrierung

| Kalibrierungsparamter der Subcatchments |                                                           |                        |                                                      |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------|
| Eigenschaft                             | Beschreibung                                              | Einfluss auf           | Effekt                                               |
| Width [m]                               | Wirksame Abflussbreite des Subcatchments                  | Abflussgeschwindigkeit | Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler         |
| Imperv. [%]                             | Versiegelungsgrad des Subcatchments                       | Volumen                | Erhöhen oder Verringern des Volumens                 |
| N Imperv                                | Manning Beiwert der versiegelten Flächenanteils           | Abflussgeschwindigkeit | Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler         |
| N Perv                                  | Manning Beiwert der unversiegelten Flächenanteils         | Abflussgeschwindigkeit | Erhöhen oder Abflachen der Spitzen und Täler         |
| Dstore Imperv [mm]                      | Muldenverluste auf den versiegelten Flächen               | Volumen                | Einfluss auf das Volumen bis sie gefüllt sind        |
| Dstore Perv [mm]                        | Muldenverluste auf den unversiegelten Flächen             | Volumen                | Einfluss auf das Volumen bis sie gefüllt sind        |
| Zero Imperv [%]                         | Flächenanteil der versiegelten Fläche ohne Muldenverluste | Volumen                | Einfluss auf das Volumen bis die Mulden gefüllt sind |

Der erste durchgeführte Simulationslauf für den 17. August, wurde mit den Parametern die zuvor in der Analyse der Oberfläche bestimmt wurden, ausgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass die simulierten Ergebnisse den gemessenen Ergebnissen in vielen Bereichen schon sehr nahe kamen. Um die Differenzen zwischen dem simulierten und gemessenen Systemverhalten weiter zu verringern, wurden folgende Schritte unternommen:

- Deutliche Verringerung des Grades der Versiegelung („Imperv“) der einzelnen Gruppen nach folgendem System:
  - Von 100% auf 60%
  - von 80% auf 55%
  - von 60% auf 45%
  - von 40% auf 35%
  - von 20% auf 10%
- Angleichen des Prozentanteils der Fläche ohne Muldenverluste für alle Oberflächentypen auf 40 %.
- Herabsetzen der der Muldenverluste für versiegelte und unversiegelte Flächen von 1,9 mm auf 1,5 mm bzw. 3,8 mm auf 2,0 mm.
- Leichte Adaptierungen bei nicht plausiblen Höhen bei den Mischwasserüberläufen (aufgrund Vor-Ort-Begehung)

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen wurde das Modell den Messungen ausreichend genau angenähert. Beispielhaft sind im Folgenden die Ergebnisse für den 17. August dargestellt. Das Anspringen der Mischwasserüberläufe, welches mit den Temperatursensoren detektiert wurde, stimmt mit den simulierten Überlaufereignissen sehr gut überein (Abbildung 200).

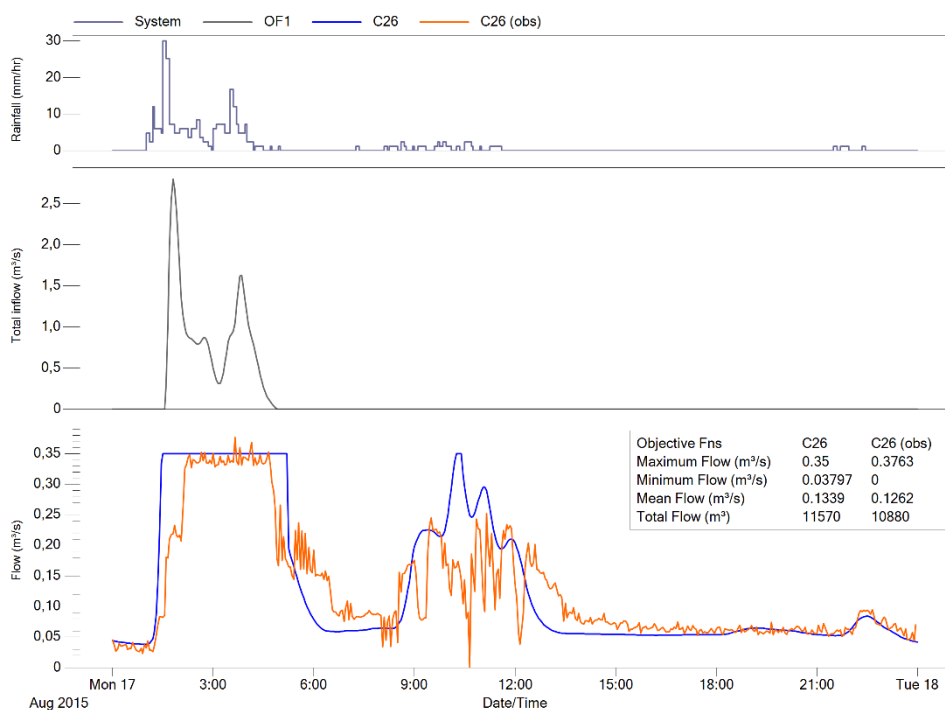


Abbildung 199: Ergebnisse ARA Regenwetterabfluss 17.08.2015

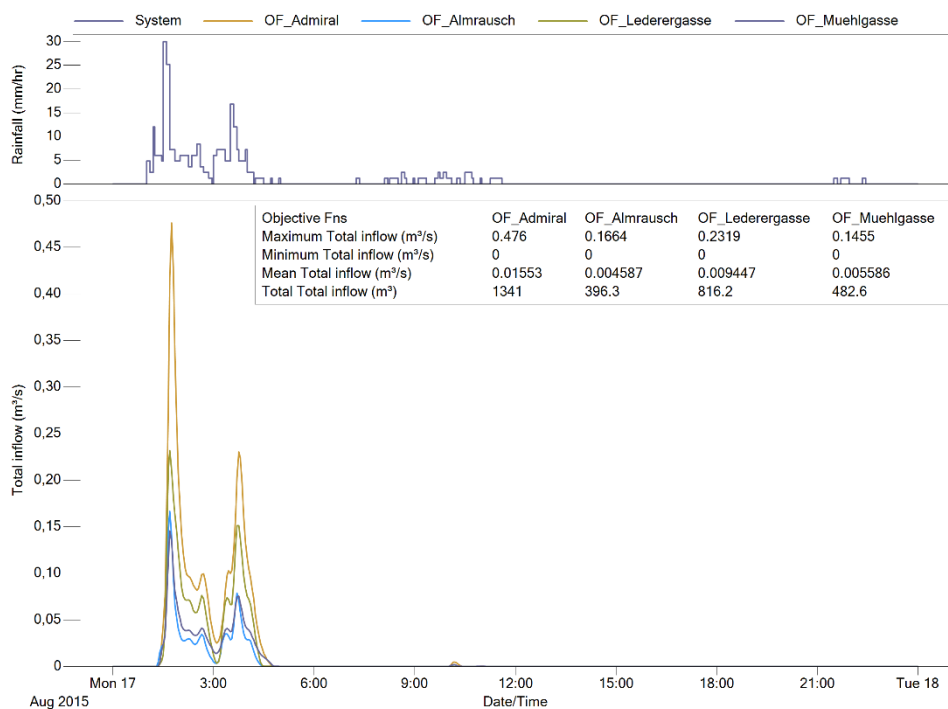


Abbildung 200: Ergebnisse MWÜ Regenwetterabfluss 17.08.2015

### 9.3.5. NACHWEISFÜHRUNG

Das Fallbeispiel Weiz wurde dazu herangezogen um schwerpunktmäßig die im Zuge des Projekts erarbeitete Methodik der kombinierten Nachweisführung anzuwenden. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf Kapitel 7.3 verwiesen.

#### 9.3.5.1. NACHWEIS DER HYDRAULISCHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Zunächst wurde der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11 durchgeführt. Hierbei wurde bewusst nicht auf einen bereits im Vorfeld statistisch ausgewerteten und aufbereiteten Modellregen, sondern auf tatsächlich gemessene Niederschlagsereignisse zurückgegriffen.

Um praktikable Berechnungszeiten zu erhalten sind hierbei Starkregenserien anzuwenden. Diese werden nach der in im ÖWAV Regelblatt 11 (OEWAV, 2009) bzw. auch in Verworn (1999) beschriebenen Vorgehensweise erstellt. Die Grundlage bildet ein 10-Jahres-Niederschlagskontinuum. Die erstellte Starkregenserie umfasst 15 Regenereignisse, welche in Tabelle 57 dargestellt sind.

Tabelle 57: Starkregenserie für Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11

| Ereignisbeginn      | Ereignisende        | Niederschlagssumme [mm] |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 2005-08-20 15:50:00 | 2005-08-21 20:20:00 | 124.6                   |
| 2004-06-19 23:25:00 | 2004-06-20 20:20:00 | 54.2                    |
| 1999-08-06 17:20:00 | 1999-08-07 01:05:00 | 53.5                    |
| 2002-08-21 11:15:00 | 2002-08-21 16:30:00 | 43.1                    |
| 2003-07-17 19:00:00 | 2003-07-17 20:25:00 | 42.8                    |
| 2003-10-03 19:50:00 | 2003-10-04 10:30:00 | 40.4                    |
| 1998-06-30 15:20:00 | 1998-07-01 00:50:00 | 37.6                    |
| 1998-07-28 00:35:00 | 1998-07-28 01:00:00 | 31.1                    |
| 2000-06-06 16:50:00 | 2000-06-06 21:35:00 | 27.9                    |
| 1996-05-16 12:05:00 | 1996-05-16 15:20:00 | 26.7                    |
| 2003-06-13 15:15:00 | 2003-06-13 22:20:00 | 25.4                    |
| 1999-06-30 20:50:00 | 1999-06-30 23:40:00 | 23.8                    |
| 2005-06-29 18:50:00 | 2005-06-29 21:10:00 | 23.3                    |
| 1998-07-19 17:20:00 | 1998-07-19 17:55:00 | 22.2                    |
| 2004-06-22 17:45:00 | 2004-06-23 04:40:00 | 22.1                    |

Die einzelnen Regenereignisse werden als Regenbelastung für das Weizer Kanalnetzmodell verwendet und simuliert. Dabei wird für jedes Ereignis ausgewertet, ob an einem Knoten ein Überstau auftritt oder nicht. Nachdem alle Ereignisse simuliert wurden, werden die Überstauereignisse je Knoten addiert, um so den Nachweis der Überstauhäufigkeit führen zu können.

Aus Tabelle 58 kann die maximal erlaubte Überstauhäufigkeit ermittelt werden indem das 10-Jahres-Niederschlagskontinuum als Grundlage herangezogen wird:

- Ländliche Gebiete: 5 in 10 Jahren
- Wohngebiete: 3,33 in 10 Jahren
- Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete: 2 in 10 Jahren

Unterirdische Verkehrsanlagen und Unterführungen spielen in Weiz keine Rolle.

Tabelle 58: Empfohlene Überstauhäufigkeiten (OEWAV, 2009)

| Ort                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Überstauhäufigkeiten<br>bei Neuplanungen bzw. nach Sanierungen |                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Wiederkehrzeit<br>(1 Mal in „n“ Jahren)                        | Wahrscheinlichkeit für eine<br>Überschreitung in 1 Jahr |
| Ländliche Gebiete                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1 in 2                                                         | 50 %                                                    |
| Wohngebiete                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1 in 3                                                         | 33 %                                                    |
| Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1 in 5                                                         | 20 %                                                    |
| Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 in 10 <sup>1)</sup>                                          | 10 %                                                    |
| <sup>1)</sup> Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände i. d. R. unmittelbar eine Überflutung einhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen. Hier entsprechen sich Überstau- und Überflutungshäufigkeit mit dem in Tabelle 7–3 genannten Wert „1 in 50“! |                                                                |                                                         |

In Tabelle 59 findet sich die Auswertung der Starkregenseriensimulation und der daraus ermittelten Überstauhäufigkeit im Vergleich zur erlaubten Überstauhäufigkeit nach ÖWAV-Regelblatt 11.

Tabelle 59: Erlaubte und ermittelte Überstauhäufigkeit

| Ort                                         | Erlaubte Überstauhäufigkeit | Ermittelte Überstauhäufigkeit |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Ländliche Gebiete                           | 5 in 10 Jahren              | 9 in 10 Jahren                |
| Wohngebiete                                 | 3,33 in 10 Jahre            | 15 in 10 Jahren               |
| Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete | 2 in 10 Jahren              | 15 in 10 Jahren               |

Der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit kann somit nicht erfüllt werden.

Abbildung 201 stellt die hydraulischen Schwachpunkte des Netzes genauer dar, indem die Knoten mit der jeweiligen Überstauhäufigkeit farblich dargestellt sind.

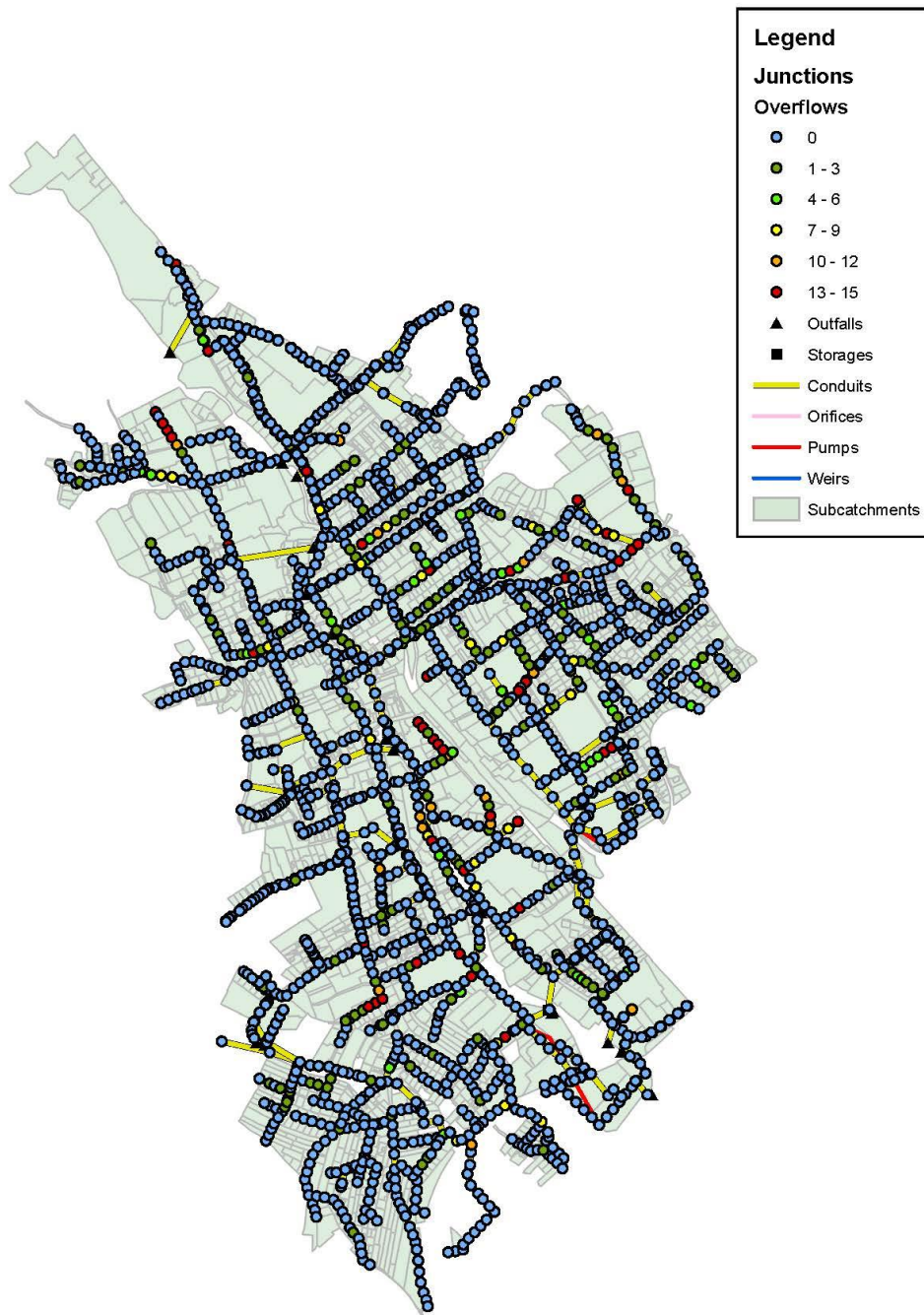


Abbildung 201: Überstauhäufigkeiten der einzelnen Knoten

### 9.3.5.2. NACHWEIS DER EINHALTUNG DER RICHTLINIEN FÜR MISCHWASSERENTLASTUNGEN

Der Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen (Ermittlung des Weiterleitungswirkungsgrades nach ÖWAV-Regelblatt 19) wird beim Fallbeispiel Weiz mit einem hydrodynamischen Modell und einer Serie von Regenereignissen geführt. Die hierzu im Zuge des Projekts DATMOD erarbeitete Methodik ist unter Kapitel 7 beschrieben.

In Tabelle 60 und Tabelle 61 sind die Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung für gelöste und abfiltrierbare Stoffe nochmals angeführt.

Tabelle 60: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung  $\eta$  gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007)

| Mindestwirkungsgrad [%]<br>für gelöste Stoffe | Bemessungsgröße der Kläranlage (EW),<br>zu der die Mischkanalisation entwässert |               |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| maßgeblicher Regen                            | $\leq 5.000$                                                                    | $\geq 50.000$ |
| $r_{720,1} \leq 30 \text{ mm/12h}$            | 50                                                                              | 60            |
| $r_{720,1} \geq 50 \text{ mm/12h}$            | 40                                                                              | 50            |
| Zwischenwerte sind linear zu interpolieren    |                                                                                 |               |

Tabelle 61: Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung  $\eta$  abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007)

| Mindestwirkungsgrad [%]<br>Abfiltrierbare Stoffe | Bemessungsgröße der Kläranlage (EW),<br>zu der die Mischkanalisation entwässert |               |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| maßgeblicher Regen                               | $\leq 5.000$                                                                    | $\geq 50.000$ |
| $r_{720,1} \leq 30 \text{ mm/12h}$               | 65                                                                              | 75            |
| $r_{720,1} \geq 50 \text{ mm/12h}$               | 55                                                                              | 65            |
| Zwischenwerte sind linear zu interpolieren       |                                                                                 |               |

Für das vorliegende Fallbeispiel gelten die folgenden Randbedingungen:

- Bemessungsgröße der Kläranlage (EW): 30.000
- $r_{720,1} = 41,9 \text{ mm}$

Durch Interpolation ergeben sich folgende Mindestwirkungsgrade:

- Mindestwirkungsgrad für gelöste Stoffe: 49,6 %
- Mindestwirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe: 64,6 %

In Abbildung 202 und Abbildung 203 zeigen die Berechnung der Wirkungsgrade. Da es im Weizer Kanalnetz keine Mischwasserüberlaufbecken mit Sedimentationswirkungen gibt, gilt:  $\eta_R = \eta_{AFS}$ .

$$\eta_R = \frac{VQ_R - VQ_e}{VQ_R} \cdot 100$$

$\eta_R$ .....Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)

$VQ_R$ .....Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

$VQ_e$ .....Summe der entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt ( $\text{m}^3/\text{a}$ )

Abbildung 202: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach (OEWAV 2007)

$$\eta_{\text{AFS}} = \eta_{\text{R}} + \frac{\sum_j VQ_{\text{e,MÜB},j} \cdot \eta_{\text{sed},j}}{VQ_{\text{R}}}$$

- $\eta_{\text{AFS}}$  ..... Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für AFS (%)  
 $\eta_{\text{R}}$  ..... Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)  
 $\eta_{\text{sed},j}$  ..... Sedimentationswirkungsgrad bei Mischwasserüberlaufbecken j (%)  
 $VQ_{\text{e,MÜB},j}$  ... Summe der beim Mischwasserüberlaufbecken j entlasteten Mischwassermengen im Jahresdurchschnitt (m³/a)  
 $VQ_{\text{R}}$  ..... Summe der Regenabflussmengen im Jahresdurchschnitt (m³/a)

Abbildung 203: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe - adaptiert nach (ÖEWAV 2007)

Der vorhandene Weiterleitungswirkungsgrad ermittelt sich zu:

$$\eta = \frac{6714898 \text{ m}^3 - 2881008 \text{ m}^3}{6714898 \text{ m}^3} \cdot 100 = 57,1 \%$$

In Tabelle 62 findet sich eine Gegenüberstellung der geforderten und ermittelten Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung.

Tabelle 62: Gegenüberstellung geforderte und ermittelte Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung

| Mindestwirkungsgrade für | gefordert | Ermittelt |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Gelöste Stoffe           | 49,6 %    | 57,1 %    |
| Abfiltrierbare Stoffe    | 64,6 %    | 57,1 %    |

Der Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen kann für abfiltrierbare Stoffe somit nicht erfüllt werden.

### 9.3.5.3. KOMBINIERTER NACHWEISFÜHRUNG - ZEITERSPARNIS

Beim Fallbeispiel Weiz wurde wie bereits erwähnt die im Zuge des Projekts DATMOD behandelte Möglichkeit einer kombinierten Nachweisführung getestet.

Hierfür wurde für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 ebenso wie für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 dasselbe hydrodynamische Modell verwendet.

Besonders interessant ist die Auswertung der Zeitersparnis durch die erarbeitete Methodik zur Generierung von Regenereignisseries für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19. Würde das Niederschlagskontinuum von 10 Jahren für die Simulation zur Ermittlung des Überlaufvolumens aus Mischwasserentlastungsbauwerken herangezogen, würde die Berechnungszeit ca. 35 Stunden betragen. Wird hingegen eine Serie von Regenereignissen verwendet, kann die Berechnungszeit auf ca. 1,5 h reduziert werden. Somit kann ca. eine 23-fache Beschleunigung festgestellt werden. Dies macht die kombinierte Nachweisführung neben weiteren bereits unter Kapitel 7.3. genannten Vorteilen für den Einsatz in der Praxis besonders attraktiv.

## 9.4. FAZIT DER FALLSTUDIEN

Bei der „Fallstudie“ Telfs wurden einige Szenarien betrachtet, um Unsicherheiten bei der Modellierung und deren Auswirkungen aufzuzeigen.

Anhand des Vergleichs an Modellergebnissen der Simulationen mit Niederschlagsdatensätzen zu den umliegenden Geländepunkten im Raum Telfs zeigen sich erhebliche Diskrepanzen zwischen den erzielten Beurteilungen der Verhältnisse innerhalb der untersuchten Siedlungsentwässerungsinfrastruktur. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von Unsicherheitsanalysen bei Simulationsmodellen der Siedlungsentwässerung. Die Untersuchungen im Zuge des Fallbeispiels zeigen die Relevanz einer regional hoch aufgelösten Niederschlagsdatenverfügbarkeit für Modellsimulationen zur Siedlungsentwässerung – insbesondere kleinerer und mittlerer Gemeinden, wie im Fall des Abwasserverbandes Telfs auf. und Umgebung – klar ersichtlich.

Grundsätzlich ist anhand der aufgezeigten Vergleiche die hohe Relevanz der Modellkalibrierung erkennbar. Es zeigt sich, dass für alle Simulationsvarianten mit Modellregen bezogen auf Geländepunkte in der umliegenden Region zu Telfs die erforderlichen Kapazitäten der Siedlungsentwässerung durch unkalibrierte Modellberechnungen wesentlich überschätzt werden.

In Anbetracht der außerordentlichen Tragweite der Modellkalibrierung treten die zur Kalibrierung vorhandenen Messdaten in den Vordergrund. Sind die generierten Messdaten beispielsweise örtlich oder zeitlich stark eingeschränkt und somit nicht in der Lage die vorhandenen Begebenheiten gut abzubilden, wirkt sich das gravierend auf die entsprechenden Modellergebnisse aus, wie anhand der gezeigten Kalibrierungsvarianten ersichtlich.

Besondere Bedeutung für eine adäquate Modellkalibrierung hat die Abflussmessung, aufgrund ihrer ausschlaggebenden Funktion bei der Abstimmung der Niederschlagsdatenerhebungen auf die Abläufe innerhalb der Kanalisation. Dies spiegelt sich in den Modellergebnissen mit Modellkalibrierung unter der Annahme von Messfehlern bei der Wasserstandshöhenmessung im RAT deutlich wider.

Der Schwerpunkt der „Fallstudie Ostösterreich“ liegt auf Untersuchungen zu den Flächendetaillierungsgraden. Betrachtet wurden die folgenden 4 Ebenen:

- Einzugsgebietsebene
- Teileinzugsgebietsebene
- Grundstücks-/Haltungsebene
- Teilflächendifferenzierung

Dabei wird auf den Zeitaufwand für die Flächenermittlung und die Größe der erhaltenen befestigten Fläche eingegangen. Hierbei zeigt sich, dass mit steigendem Grad der Flächendifferenzierung die ermittelte Gesamtgröße der befestigten Fläche sinkt. Gleichzeitig sinkt auch die Fehlermöglichkeit bei der Flächenermittlung, während der zeitliche Aufwand steigt. Im konkreten Fall eines Einzugsgebietes von knapp 2.000 EW und einer Kanalnetzlänge von etwa 12 km, liegt in Bezug auf den Zeitaufwand zwischen der Ebene 2 und 4 ein Faktor 3, zwischen den Ebenen 3 und 4 ein Faktor von 2. Dies klingt im ersten Moment viel, in absoluten Zahlen sind das aber nur 45 bzw. knapp 30 Arbeitsstunden an Mehraufwand. Bei einem angenommenen Ingenieurssatz von 100,- EUR/Stunde bedeutet das im konkreten Fall Mehrkosten von 3.000,- bzw. 4.500,- EUR. Durch diesen Mehraufwand kann der potenzielle Fehler bei der Flächenermittlung stark gesenkt werden, darüber hinaus können Daten in einer derartigen Auflösung auch noch für andere Anwendungen (Regenwassermanagement, Schadstofftransport, Gebührensplitting, etc.) herangezogen werden. Bewegt man sich auf der Ebene der Teilflächendifferenzierung ist auch das Datenmanagement und hierbei insbesondere Aktualisierungen bei sich ändernden Gegebenheiten durch die nicht erforderliche Aggregation von Flächen einfacher und effizienter. Sind Flächendaten in einer hohen Detailliertheit bereits vorhanden sollten diese ohnehin nicht auf eine gröbere Ebene zusammengefasst werden.

Die „Fallstudie Weiz“ beschäftigte sich in erster Linie mit der Nachweisführung nach ÖWAV-Regelblatt 11 und ÖWAV-Regelblatt 19. Dabei wurde die im Zuge des Projekts DATMOD erarbeitete Methodik einer kombinierten Nachweisführung zur Anwendung gebracht. Die beiden Nachweise können somit mit nur einem hydrodynamischen Modell durchgeführt werden. Dies bringt einige Vorteile wie die Vermeidung einer doppelten Modellerstellung sowie doppelten Daten- und Modellpflege mit sich.

Für kleinere und mittlere Kanalnetze ist eine Langzeitsimulation für den Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 19 auch mit dem vollständigen Niederschlagskontinuum denkbar, da dies je nach Randbedingungen noch zu akzeptablen Berechnungszeiten führen kann. Bei der Fallstudie Weiz wurde jedoch auch die im Zuge des Projekts erarbeitete Methodik zur Generierung einer Serie von Regenereignissen verwendet. Damit kann eine deutliche Reduktion der Berechnungszeiten der Simulationen erzielt werden. Im konkreten Fall konnte die Berechnungszeit von 35 Stunden für die Kontinuumsimulation auf etwa 1.5 Stunden für die Seriensimulation reduziert werden.

Als Monitoringdaten für die Kalibrierung des hydrodynamischen Modells wurden bei der Fallstudie Weiz zudem innovative und kostengünstige Temperatursensoren verwendet. Diese wurden in den Mischwasserüberläufen situiert, um das Überlaufverhalten aufzuzeichnen und um in weiterer Folge diese Informationen für die Kalibrierung zu nutzen.

Bei allen drei Fallstudien konnte die im Zuge des Projektes erarbeitete und im Leitfaden festgehaltene Vorgehensweise von den Daten zum Modell zur Nachweisführung angewandt werden. Damit war es möglich, etwaige Schwachpunkte zu identifizieren und den Leitfaden dahingehend anzupassen.

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|               |                                                                                                                                           |    |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1:  | Ganzheitliches Datenmanagement in der Kanalnetzmodellierung .....                                                                         | 11 |
| Abbildung 2:  | links: Echtfarbenbild (RGB), rechts Falschfarbenbild (CIR); Datenquelle: Land Tirol - data.tirol.gv.at.....                               | 17 |
| Abbildung 3:  | Prinzip des Airborne Laserscanning (de LANGE, 2013).....                                                                                  | 19 |
| Abbildung 4:  | links: Digitales Oberflächenmodell (DOM), rechts Digitales Geländemodell (DGM), Datenquelle: Land Steiermark - data.steiermark.gv.at..... | 19 |
| Abbildung 5:  | Qualitative Darstellung der Abflussbildung während eines Regenereignisses mit konstanter Intensität (GUJER, 2007) .....                   | 23 |
| Abbildung 6:  | Änderung des Oberflächenabflusses in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad (DVWK, 2000) .....                                                | 24 |
| Abbildung 7:  | LIS bezogenes Datenmodell (ÖWAV, 2010).....                                                                                               | 28 |
| Abbildung 8:  | Darstellung der Bandbreite des Bemessungsniederschlags (BMLFUW, 2013) .....                                                               | 31 |
| Abbildung 9:  | Empfehlungen für die Neubemessung von Entwässerungssystemen (DWA, 2006a) .....                                                            | 31 |
| Abbildung 10: | Empfehlungen für die Nachrechnung bestehender Systeme (DWA, 2006a).....                                                                   | 32 |
| Abbildung 11: | Empfehlungen für den Nachweis der Überstauhäufigkeit (DWA, 2006a) .....                                                                   | 32 |
| Abbildung 12: | Auswahl eines Gitterpunktes für den Download der Bemessungsniederschläge (Quelle: eHYD.gv.at).....                                        | 33 |
| Abbildung 13: | Auszug aus der Tabelle der Bemessungsniederschläge für den gewählten Gitterpunkt (Quelle: eHYD.gv.at).....                                | 33 |
| Abbildung 14: | Übersicht der Methoden zur Durchflussmessung (DWA, 2011, modifiziert) .....                                                               | 35 |
| Abbildung 15: | Arten der diskontinuierlichen Probenahme nach ÖNORM M 5891 (2003) (Pfund, 2005) .....                                                     | 39 |
| Abbildung 16: | Funktionsprinzip eines Peristaltiksystems (steinle-pumpen.de, Stand 2012-02-07).....                                                      | 39 |
| Abbildung 17: | Probenahmeablauf eines Peristaltiksystems (Pfund, 2005) .....                                                                             | 40 |
| Abbildung 18: | Dosiersystem eines Vakuumsystems (www.at.endress.com, Stand 2012-02-09) .....                                                             | 40 |
| Abbildung 19: | Probenahmeablauf eines Vakuumsystems (www.at.endress.com, Stand 2012-02-09).....                                                          | 41 |
| Abbildung 20: | Schematische Darstellung von Regenhöhenlinien (links) und Regenspendenlinien (rechts); adaptiert nach (DWA, 2012) .....                   | 44 |
| Abbildung 21: | Beispiel für Einzelmodellregen nach Euler (Typ II) .....                                                                                  | 45 |
| Abbildung 22: | Abflussbildungsansätze.....                                                                                                               | 48 |
| Abbildung 23: | Ermittlung der Abflussbeiwerte .....                                                                                                      | 49 |
| Abbildung 24: | Prinzipieller Verlauf der Abflussbildung .....                                                                                            | 50 |
| Abbildung 25: | Abflussbildung – Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags.....                                                                       | 50 |
| Abbildung 26: | Prinzip der Muldenverluste .....                                                                                                          | 52 |
| Abbildung 27: | Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate .....                                                                                            | 53 |
| Abbildung 28: | Standard-Jahresgang der potenziellen täglichen Verdunstungshöhe; adaptiert nach (Verworn, 1999) .....                                     | 54 |
| Abbildung 29: | Versickerungsleistung und Regeneration.....                                                                                               | 55 |
| Abbildung 30: | Prinzip der Abflusskonzentration.....                                                                                                     | 56 |
| Abbildung 31: | Prinzip der Einheitsganglinie .....                                                                                                       | 56 |
| Abbildung 32: | Bestimmen der Parameter der Einheitsganglinie .....                                                                                       | 57 |

|               |                                                                                                                                                          |    |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 33: | Grundlagen linearer Modelle – links: Zeitinvarianz; rechts: Linearität.....                                                                              | 58 |
| Abbildung 34: | Überlagerung von Teilwellen aus einzelnen Niederschlagsintervallen zur Ermittlung der Abflussganglinie .....                                             | 58 |
| Abbildung 35: | Ansätze zur Einheitsganglinie.....                                                                                                                       | 59 |
| Abbildung 36: | Prinzip der linearen Speicherkaskade .....                                                                                                               | 60 |
| Abbildung 37: | Schematische Darstellung der Linearspeicherkaskade .....                                                                                                 | 60 |
| Abbildung 38: | links: Schema der Parallel-Speicherkaskaden bei kanalisierten Flächen; rechts: Aufteilung des abflusswirksamen Niederschlags .....                       | 61 |
| Abbildung 39: | Prinzipskizze der Abflussbildung und Abflusskonzentration.....                                                                                           | 61 |
| Abbildung 40: | Darstellung der Abflusstransformation in einer Transportstrecke.....                                                                                     | 62 |
| Abbildung 41: | Instationäre Strömung in einer infinitesimal kleinen Strecke dx; adaptiert nach (Maniak, 2005).....                                                      | 64 |
| Abbildung 42: | Abflusstransport - Ansatz bei hydrodynamischen Modellen.....                                                                                             | 65 |
| Abbildung 43: | Abflussaufteilung bei einem stark rückgestauten Mischwasserüberlauf bei hydrologischer und hydrodynamischer Simulation; adaptiert nach (ATV, 2004) ..... | 69 |
| Abbildung 44: | Abflussaufteilung nach Schwellenwertkonzept; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006).....                                                                | 70 |
| Abbildung 45: | Definition der Trennschärfe; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006) .....                                                                               | 70 |
| Abbildung 46: | Schema der Näherungsberechnung eines Durchlaufbeckens; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006) .....                                                     | 71 |
| Abbildung 47: | "Exakte" Berechnung eines Durchlaufbeckens; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006) .....                                                                | 71 |
| Abbildung 48: | Kennlinien eines Durchlaufbeckens mit Ermittlung der Abflussgrößen zum Zeitpunkt t; adaptiert nach (Muschalla et al., 2006).....                         | 72 |
| Abbildung 49: | Vereinfachte Darstellung der Systemzustände in rückgestauten Sammlern mit Kreisquerschnitt (Muschalla et al., 2006).....                                 | 73 |
| Abbildung 50: | Mischwasserüberlauf – Schematische Darstellung .....                                                                                                     | 74 |
| Abbildung 51: | Durchlaufbecken im Hauptschluss – Schematische Darstellung.....                                                                                          | 74 |
| Abbildung 52: | Durchlaufbecken im Nebenschluss – Schematische Darstellung .....                                                                                         | 75 |
| Abbildung 53: | Fangbecken im Hauptschluss – Schematische Darstellung.....                                                                                               | 75 |
| Abbildung 54: | Fangbecken im Nebenschluss .....                                                                                                                         | 76 |
| Abbildung 55: | Gebietsunterteilungen und Berechnungsweisen bei der Kanalnetzberechnung; adaptiert nach (ATV, 2004).....                                                 | 78 |
| Abbildung 56: | Niederschlag in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung.....                                                                                              | 82 |
| Abbildung 57: | Abfluss in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung .....                                                                                                  | 83 |
| Abbildung 58: | Schematische Übersicht zur Flächendefinition; adaptiert nach (OEWAV 2009).....                                                                           | 86 |
| Abbildung 59: | Beispiel zur Abstraktion aufgrund des Entwässerungspunktes (das blaue Kreuz symbolisiert einen Entwässerungspunkt).....                                  | 88 |
| Abbildung 60: | Gebietsunterteilung aufgrund der Gesamtließzeit (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt) .....                                                    | 89 |
| Abbildung 61: | Gebietsunterteilung aufgrund von Fließzeitunterschieden - Beispiel 1 und 2 (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt) .....                         | 90 |
| Abbildung 62: | Gebietsunterteilung aufgrund von Fließzeitunterschieden - Beispiel 3 (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt).....                                | 90 |
| Abbildung 63: | Gebietsunterteilung aufgrund unterschiedlicher Neigungsgruppen (das Kreuz symbolisiert den                                                               |    |

|               |                                                                                                                           |     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|               | Entwässerungspunkt).....                                                                                                  | 91  |
| Abbildung 64: | Gebietsunterteilung aufgrund unterschiedlicher Gebietsstrukturen (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt).....     | 92  |
| Abbildung 65: | Gebietsunterteilung allein aufgrund der Gebietsgröße nicht notwendig (das Kreuz symbolisiert den Entwässerungspunkt)..... | 92  |
| Abbildung 66: | Trenngebiet ohne Fehlschlüsse .....                                                                                       | 93  |
| Abbildung 67: | Trenngebiet mit Fehlschlüssen – Beispiel 1 .....                                                                          | 94  |
| Abbildung 68: | Trenngebiet mit Fehlschlüssen – Beispiel 2 .....                                                                          | 95  |
| Abbildung 69: | Aufteilung der Abflüsse bei fiktiver Verzweigung zur Berücksichtigung von Fehlschlüssen bei Trenngebieten .....           | 95  |
| Abbildung 70: | Wahl des repräsentativen Sammlers bei zwei Teilflächen .....                                                              | 97  |
| Abbildung 71: | Wahl der repräsentativen Sammler bei drei Teilflächen .....                                                               | 98  |
| Abbildung 72: | Simulation von Verzweigungen.....                                                                                         | 99  |
| Abbildung 73: | Vergleich der Abstrahierung bei hydrodynamischem und hydrologischem Modell .....                                          | 100 |
| Abbildung 74: | Vergleich hydrodynamisches Modell - hydrologisches Modell.....                                                            | 100 |
| Abbildung 75: | links: Prinzipskizze des Kanalnetzes, rechts: Abbildung des Kanalnetzes als Feinnetz; adaptiert nach (ATV, 2004) .....    | 101 |
| Abbildung 76: | links: Prinzipskizze des Kanalnetzes, rechts: Abbildung des Kanalnetzes als Grobnetz; adaptiert nach (ATV, 2004) .....    | 101 |
| Abbildung 77: | Vergleich Feinnetz (links) und Grobnetz (rechts).....                                                                     | 101 |
| Abbildung 78: | Legende für Modellierbeispiele von Sonderbauwerken in der hydrodynamischen Modellierung .....                             | 102 |
| Abbildung 79: | Mischwasserüberlauf - Hydrodynamische Modellierung.....                                                                   | 103 |
| Abbildung 80: | Durchlaufbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                        | 103 |
| Abbildung 81: | Durchlaufbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich).....                           | 104 |
| Abbildung 82: | Durchlaufbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                        | 104 |
| Abbildung 83: | Durchlaufbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) .....                          | 105 |
| Abbildung 84: | Fangbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                             | 105 |
| Abbildung 85: | Fangbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) .....                               | 106 |
| Abbildung 86: | Fangbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                             | 106 |
| Abbildung 87: | Fangbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) .....                               | 107 |
| Abbildung 88: | Verbundbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                          | 107 |
| Abbildung 89: | Verbundbecken im Hauptschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) .....                            | 108 |
| Abbildung 90: | Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                                          | 108 |
| Abbildung 91: | Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) .....                            | 109 |
| Abbildung 92: | Verbundbecken im Nebenschluss - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich) - Variante 2.....                | 109 |
| Abbildung 93: | Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich).....              | 110 |
| Abbildung 94: | Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch) .....                            | 110 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 95:  | Staurationkanal mit oben liegender Entlastung - Hydrodynamische Modellierung (hydraulisch und stofflich).....                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 110 |
| Abbildung 96:  | Begriffsdefinitionen für die Flächenermittlung.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 113 |
| Abbildung 97:  | Referenzflächenauswahl in den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Ebene 2; Quelle: Eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel).....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 115 |
| Abbildung 98:  | Alternative Referenzflächenauswahl mittels Vierecken (Ebene 2; Quelle: Eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 115 |
| Abbildung 99:  | Referenzflächenauswahl: Grundstücksscharfe Detailauswertung der ausgewählten Referenzflächen (Abbildung mit bzw. ohne Orthofoto im Hintergrund; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                                                    | 116 |
| Abbildung 100: | Alternative Referenzflächenauswahl: Flächenverschnitt mit rechteckiger (oder zufälliger) Stichprobenfläche zur Detailauswertung (Abbildung mit bzw. ohne Orthofoto im Hintergrund; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                 | 116 |
| Abbildung 101: | Flächenzuordnung auf Grundstücksebene (nach Bebauung bzw. Befestigungsanteil z. B. Verkehrsflächen (weiß), Gewerbegrundstück extensiv (rötlich), Ortskern (orange), Einfamilienhaus dicht (gelb), Einfamilienhaus extensiv (gelb-grün), Grünflächen und unbebaute Gst. (blau-grün); Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel ..... | 117 |
| Abbildung 102: | Ausschnitt der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel mit und ohne hinterlegtem Orthofoto; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel .....                                                                                                                                                                                      | 118 |
| Abbildung 103: | Fehlerhafte Teilflächendigitalisierung; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel.....                                                                                                                                                                                                                                              | 120 |
| Abbildung 104: | Korrektur Teilflächendigitalisierung: Dachfläche und Straße korrekte Fläche aufgenommen (links) bzw. Projektion der Dachfläche auf Straßenniveau (rechts); Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel.....                                                                                                                           | 121 |
| Abbildung 105: | Zusammenfassung des Methodenvergleichs bei der Flächenermittlung .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 124 |
| Abbildung 106: | Zusammenfassung der Methoden bei der Flächenermittlung.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 125 |
| Abbildung 107: | Darstellung von Niederschlagsereignissen: Messdaten (links), Modellregen Typ Euler II (Mitte), Blockregen (rechts).....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 126 |
| Abbildung 108: | eHYD Portal ( <a href="http://ehyd.gv.at/">http://ehyd.gv.at/</a> ) mit eingeblendeten Rasterpunkten mit verfügbaren Bemessungsniederschlägen.....                                                                                                                                                                                                                                             | 126 |
| Abbildung 109: | eHYD Portal ( <a href="http://ehyd.gv.at/">http://ehyd.gv.at/</a> ) mit eingeblendeten Niederschlagsmessstellen .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 127 |
| Abbildung 110: | Meteorologisches Messnetz in Österreich (© ZAMG) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 127 |
| Abbildung 111: | Vorgehensweise bei Lastfallprinzip und Langzeit-Simulation (Verworn 1999).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 134 |
| Abbildung 112: | Definition des Mindestwirkungsgrads der Weiterleitung $\eta$ - adaptiert nach (OEWAV 2007).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 135 |
| Abbildung 113: | Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach (OEWAV 2007) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 136 |
| Abbildung 114: | Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe - adaptiert nach (OEWAV 2007).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 136 |
| Abbildung 115: | Berechnung der Niederschlagssumme für threshold-time.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 138 |
| Abbildung 116: | Anwendung des Niederschlagsmengen-Grenzwertes und Ausschluss von Regenperioden aus der Regenereignisserie .....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 138 |
| Abbildung 117: | Kontrolle des Ereignisabstandes .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 139 |
| Abbildung 118: | Verlängerung der Regenereignisse für die Simulationen .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 139 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 119: | Testmodell (adaptiert nach DWA-M 180) .....                                                                                                                                                                                                                    | 140 |
| Abbildung 120: | Ergebnisse der vier betrachteten Fälle .....                                                                                                                                                                                                                   | 141 |
| Abbildung 121: | Ablauf des Optimierungsverfahrens.....                                                                                                                                                                                                                         | 142 |
| Abbildung 122: | Niederschlagskontinuum und Regenereignisserie.....                                                                                                                                                                                                             | 142 |
| Abbildung 123: | Ergebnis des Morris Screenings für gesamtes Überlaufvolumen aus Mischwasserentlastungsbauwerken .....                                                                                                                                                          | 143 |
| Abbildung 124: | Resultat des Optimierungsverfahrens.....                                                                                                                                                                                                                       | 143 |
| Abbildung 125: | Vergrößerter Bereich (blau) aus Abbildung 124 .....                                                                                                                                                                                                            | 144 |
| Abbildung 126: | Vereinfachung der Realität zum modellierten System und die dabei auftreten-den Unsicherheiten adaptiert von Kreikenbaum <i>et al.</i> (2004).....                                                                                                              | 146 |
| Abbildung 127: | Kumulative Niederschlagsmenge von drei Regenmesseinrichtungen (eine Regenwaage und 2 Wippen) in einem alpinen Einzugsgebiet für 10 Regenereignisse .....                                                                                                       | 149 |
| Abbildung 128: | Niederschlagswerte (5 min Intervalle) von drei Regenmesseinrichtungen (eine Regenwaage und 2 Wippen) in einem alpinen Einzugsgebiet für 10 Regenereignisse .....                                                                                               | 149 |
| Abbildung 129: | Unterschiede durch verschiedene Erfassung und Aufteilung von Regendaten: Interpolation von 4 Regenschreibern (links), Interpolation der 4 Regenschreibern mithilfe des INCA-rasters (Mitte) und Regenradar-daten (Rechts) (Mikovits <i>et al.</i> 2015b) ..... | 150 |
| Abbildung 130: | Ermitteltes Überstauvolumen für ein kalibriertes Kanalnetz in Abhängigkeit von den gewählten Rasterpunkten zur Ermittlung des Euler-Typ II Regens für Jährlichkeiten von 1 -10.....                                                                            | 151 |
| Abbildung 131: | Detailgrad der betrachteten Modelle und die Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss eines Regenevents (Zeisl <i>et al.</i> 2015).....                                                                                                                          | 152 |
| Abbildung 132: | Auswirkung von Messfehlern auf den Überstaunachweis.....                                                                                                                                                                                                       | 153 |
| Abbildung 133: | Auswirkung der Kalibrierung mittels unterschiedlicher Regenereignisse auf den Überstaunachweis .....                                                                                                                                                           | 154 |
| Abbildung 134: | Einfluss unterschiedlicher Parameter auf den Abfluss in einer Szenarienanalyse.....                                                                                                                                                                            | 158 |
| Abbildung 135: | Vergleich von simulierten und gemessenen Wasserständen im städtischen Kanal vor einer Kalibrierung (links) und danach (rechts).....                                                                                                                            | 159 |
| Abbildung 136: | Lage der Niederschlags- und Abflussmessungen im Untersuchungsgebiet .....                                                                                                                                                                                      | 162 |
| Abbildung 137: | Vergleich der Summenlinien der Niederschlagsmessungen Herbst 2013 .....                                                                                                                                                                                        | 162 |
| Abbildung 138: | Querschnitt des Mischwasserüberlaufbauwerks RAT.....                                                                                                                                                                                                           | 163 |
| Abbildung 139: | Füllstandhöhen aus Messung 2014 .....                                                                                                                                                                                                                          | 164 |
| Abbildung 140: | Trockenwetterabfluss.....                                                                                                                                                                                                                                      | 165 |
| Abbildung 141: | Geschwindigkeiten aus Messung 2014 im Vergleich zu Berechnungen mittels Manning-Strickler-Formel .....                                                                                                                                                         | 165 |
| Abbildung 142: | Ganglinienvergleich 1993.....                                                                                                                                                                                                                                  | 166 |
| Abbildung 143: | Ganglinienvergleich 1999 .....                                                                                                                                                                                                                                 | 167 |
| Abbildung 144: | Ganglinienvergleich 2005 .....                                                                                                                                                                                                                                 | 167 |
| Abbildung 145: | Regenserie aus den 10 stärksten gemessenen Regenereignissen 2014 sowie Vergleich der gemessenen Wasserstandshöhen am RAT mit den modellierten aus dem unkalibrierten Modell.....                                                                               | 168 |
| Abbildung 146: | Vergleich gemessener und simulierter Wasserstände .....                                                                                                                                                                                                        | 171 |
| Abbildung 147: | Genutzte Gitterpunkte zur Berechnung des Euler Typ II Regens .....                                                                                                                                                                                             | 172 |
| Abbildung 148: | Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4518, GP4519, GP4521).....                                                                                                                                                                                | 173 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 149: | Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4626, GP4627, GP4733).....                                                                                                                                                                                                                           | 174 |
| Abbildung 150: | Modellergebnisse – Überstauvolumen für Eulerregen (GP4839, GP4840, GP4841).....                                                                                                                                                                                                                           | 175 |
| Abbildung 151: | Ergebnisse kalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 1<br>- 3.....                                                                                                                                                                                        | 176 |
| Abbildung 152: | Ergebnisse kalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit 5<br>- 100.....                                                                                                                                                                                      | 177 |
| Abbildung 153: | Ergebnisse unkalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit<br>1 - 3.....                                                                                                                                                                                      | 178 |
| Abbildung 154: | Ergebnisse unkalibriertes Modell – Überstauvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte für Jährlichkeit<br>5 - 100.....                                                                                                                                                                                    | 178 |
| Abbildung 155: | Modellergebnisse – Anzahl der Modellpunkte mit Überstau für alle untersuchten Gitterpunkte.....                                                                                                                                                                                                           | 179 |
| Abbildung 156: | Modellergebnisse – Mischwasserentlastungsvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit<br>1 - 10.....                                                                                                                                                                                       | 180 |
| Abbildung 157: | Modellergebnisse – Mischwasserentlastungsvolumen für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit<br>10 - 100.....                                                                                                                                                                                     | 180 |
| Abbildung 158: | Modellergebnisse – Zulaufvolumen zur ARA für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 1 - 10.....                                                                                                                                                                                                  | 181 |
| Abbildung 159: | Modellergebnisse – Zulaufvolumen zur ARA für alle untersuchten Gitterpunkte mit Jährlichkeit 10 – 100<br>.....                                                                                                                                                                                            | 181 |
| Abbildung 160: | Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Oberflächenabfluss für<br>die einzelnen Gitterpunkte .....                                                                                                                                                                        | 182 |
| Abbildung 161: | Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Oberflächenabfluss für<br>die einzelnen Kalibrierungsszenarien.....                                                                                                                                                               | 182 |
| Abbildung 162: | Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Überstauvolumen für<br>die einzelnen Gitterpunkte .....                                                                                                                                                                           | 183 |
| Abbildung 163: | Modellergebnisse – Zusammenhang zwischen Mischwasserüberlaufvolumen und Überstauvolumen für<br>die einzelnen Kalibrierungsszenarien.....                                                                                                                                                                  | 183 |
| Abbildung 164: | Genutzte Messstellen der ZAMG für die Langzeitsimulation.....                                                                                                                                                                                                                                             | 184 |
| Abbildung 165: | Modellergebnisse Langzeitsimulation – Überstauvolumen über 10 Jahre .....                                                                                                                                                                                                                                 | 185 |
| Abbildung 166: | Modellergebnisse Langzeitsimulation – Zulaufvolumen zur ARA über 10 Jahre.....                                                                                                                                                                                                                            | 186 |
| Abbildung 167: | Modellergebnisse Langzeitsimulation – maximaler Durchfluss im RAT .....                                                                                                                                                                                                                                   | 187 |
| Abbildung 168: | Modellergebnisse Langzeitsimulation – Durchflussvolumen im RAT über 10 Jahre .....                                                                                                                                                                                                                        | 188 |
| Abbildung 169: | Vorgangsweise bei der Ermittlung der abflusswirksamen Fläche.....                                                                                                                                                                                                                                         | 190 |
| Abbildung 170: | Ebene 1 - Einzugsgebiet.....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 191 |
| Abbildung 171: | Ebene 2 - Teileinzugsgebiete .....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 194 |
| Abbildung 172: | Teilflächendifferenzierung für drei Referenzgrundstücke der Grundstücksart „Verkehrsflächen,<br>Parkplätze“; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus<br>dem Fallbeispiel.....                                                                                 | 194 |
| Abbildung 173: | Teilflächendifferenzierung für Referenzgrundstücke der Grundstücksarten „Ortskern“ (links),<br>„Einfamilienhaus dichte Bebauung“ (mitte), „Einfamilienhaus extensive Bebauung“ (rechts);<br>Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel<br>..... | 195 |
| Abbildung 174: | Teilflächendifferenzierung für Referenzgrundstücke der Grundstücksarten „Gewerbegrundstück intensiv                                                                                                                                                                                                       |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| (links)“, „Gewerbegrundstück extensiv (rechts)“; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel .....                                                                                                                                              | 195 |
| Abbildung 175: Ebene 3 - Grundstücke .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 197 |
| Abbildung 176: Ausschnitt der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel mit und ohne hinterlegtem Orthofoto; Datenquelle: GeoDaten Burgenland - geodaten.bgld.gv.at sowie eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel .....                                                                                 | 198 |
| Abbildung 177: Flächenanteile im Projektgebiet des Fallbeispiels (Quelle: eigene Darstellung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                                                                                                 | 198 |
| Abbildung 178: Ebene 4 - Teilflächendifferenzierung .....                                                                                                                                                                                                                                                | 199 |
| Abbildung 179: Hydrodynamisches Modell der Fallstudie Ostösterreich .....                                                                                                                                                                                                                                | 200 |
| Abbildung 180: Überstaue im Szenario „Ebene 2 – Vor Ort“ .....                                                                                                                                                                                                                                           | 202 |
| Abbildung 181: Überstaue im Szenario „Ebene 2 – Orthofoto“ .....                                                                                                                                                                                                                                         | 203 |
| Abbildung 182: Lage der dargestellten Haltungen .....                                                                                                                                                                                                                                                    | 204 |
| Abbildung 183: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in der Mischwasserentlastung .....                                                                                                                                                                                                         | 205 |
| Abbildung 184: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in Haltung 22 .....                                                                                                                                                                                                                        | 205 |
| Abbildung 185: Abflusskurven der Szenarien der Ebenen 3 und 4 in Haltung 54 .....                                                                                                                                                                                                                        | 206 |
| Abbildung 186: Darstellung des Ablaufschemas für das Fallbeispiel Weiz .....                                                                                                                                                                                                                             | 207 |
| Abbildung 187: Lage der Stadt Weiz in der Steiermark (GIS Steiermark) .....                                                                                                                                                                                                                              | 207 |
| Abbildung 188: Übersichtslageplan von Weiz mit dem Einzugsgebiet der Abwasserreinigungsanlage .....                                                                                                                                                                                                      | 208 |
| Abbildung 189: Mittlere Monatssummen des Niederschlags von 1971-2000 in Weiz ( <a href="http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm">http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm</a> , Stand 07.12.2015) ..... | 212 |
| Abbildung 190: Eingebaute Temperatursensoren in einem Weizer MWÜ .....                                                                                                                                                                                                                                   | 213 |
| Abbildung 191: Übersicht Mischwasserüberläufe, ARA, Regenschreiber .....                                                                                                                                                                                                                                 | 214 |
| Abbildung 192: Darstellung der einzelnen Formen der Subcatchments zur Bestimmung der „Width“ .....                                                                                                                                                                                                       | 218 |
| Abbildung 193: Berechnungsergebnis erster Simulationslauf Trockenwetter .....                                                                                                                                                                                                                            | 225 |
| Abbildung 194: Berechnungsergebnis zweiter Simulationslauf Trockenwetter .....                                                                                                                                                                                                                           | 226 |
| Abbildung 195: „Timepattern“ der stündlichen Faktoren für die Form der Abflusskurve Trockenwetter .....                                                                                                                                                                                                  | 227 |
| Abbildung 196: Berechnungsergebnis dritter Simulationslauf Trockenwetter .....                                                                                                                                                                                                                           | 227 |
| Abbildung 197: Gemessener Niederschlag in Weiz am 17.08.2015 .....                                                                                                                                                                                                                                       | 228 |
| Abbildung 198: Gemessener Niederschlag in Weiz am 08.07.2015 .....                                                                                                                                                                                                                                       | 229 |
| Abbildung 199: Ergebnisse ARA Regenwetterabfluss 17.08.2015 .....                                                                                                                                                                                                                                        | 230 |
| Abbildung 200: Ergebnisse MWÜ Regenwetterabfluss 17.08.2015 .....                                                                                                                                                                                                                                        | 231 |
| Abbildung 201: Überstauhäufigkeiten der einzelnen Knoten .....                                                                                                                                                                                                                                           | 233 |
| Abbildung 202: Wirkungsgrad für gelöste Stoffe - adaptiert nach (OEWAV 2007) .....                                                                                                                                                                                                                       | 234 |
| Abbildung 203: Wirkungsgrad für abfiltrierbare Stoffe - adaptiert nach (OEWAV 2007) .....                                                                                                                                                                                                                | 235 |

# TABELLENVERZEICHNIS

|              |                                                                                                                                                                                                           |     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 1:   | Vergleich der erforderlichen Daten nach den ÖWAV-Regelblättern 11 und 19 mit den verfügbaren Daten nach Regelblatt 40.....                                                                                | 13  |
| Tabelle 2:   | Beispiel eines eindimensionalen Klassifizierungssystems (NEUNTEUFEL et al., 2006, ergänzt).....                                                                                                           | 14  |
| Tabelle 3:   | Beispiel eines zweidimensionalen Klassifizierungssystems (MATOS et al., 2003).....                                                                                                                        | 15  |
| Tabelle 4:   | Zusammenfassung der verfügbaren Genauigkeiten (maximale Abweichungen) .....                                                                                                                               | 20  |
| Tabelle 5:   | Zusammenfassung wichtiger Geodatenportale auf EU, Bundes- und Länderebene.....                                                                                                                            | 22  |
| Tabelle 6:   | Abflussbeiwerte für Flächen nach (AGW, 1982).....                                                                                                                                                         | 25  |
| Tabelle 7:   | Abflussbeiwerte für Flächen nach KACZMARCZYK et al. (2009) .....                                                                                                                                          | 25  |
| Tabelle 8:   | Abflussbeiwerte für Flächen nach (ATV-DVWK, 2001).....                                                                                                                                                    | 26  |
| Tabelle 9:   | Abflussbeiwerte für Siedlungsflächen nach (AGW, 1982) .....                                                                                                                                               | 26  |
| Tabelle 10:  | Abflussbeiwerte für Flächenaggregationen nach KACZMARCZYK et al. (2009).....                                                                                                                              | 27  |
| Tabelle 11:  | Gesamtabflussbeiwerte verschiedener Flächenaggregationen eines Fallbeispiels.....                                                                                                                         | 27  |
| Tabelle 12:  | Empfohlene Richtwerte zur Mindestdauer von Niederschlagsregistrierungen, adaptiert nach (DWA, 2006b).....                                                                                                 | 46  |
| Tabelle 13:  | Niederschlagsbelastung und mögliche Berechnungsaussagen .....                                                                                                                                             | 47  |
| Tabelle 14:  | Vor- und Nachteile der hydrologischen und hydrodynamischen Transportmodelle .....                                                                                                                         | 77  |
| Tabelle 15:  | Modellansatz und mögliche Berechnungsaussagen .....                                                                                                                                                       | 77  |
| Tabelle 16:  | Räumliche Auflösung der Oberfläche .....                                                                                                                                                                  | 79  |
| Tabelle 17:  | Räumliche Auflösung der Oberfläche und des Kanalnetzes und deren Anwendungsgebiete .....                                                                                                                  | 81  |
| Tabelle 18:  | Einsatzbereiche von Tageswerten .....                                                                                                                                                                     | 81  |
| Tabelle 19:  | Einsatzbereiche von Stundenwerten.....                                                                                                                                                                    | 81  |
| Tabelle 20:  | Einsatzbereiche von Minutenwerten .....                                                                                                                                                                   | 82  |
| Tabelle 21:  | Teileinzugsgebiete und typische Befestigungsgrade (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                  | 115 |
| Tabelle 22:  | Grundstücksarten und typische Befestigungsgrade (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel) .....                                                                                                    | 117 |
| Tabelle 23:  | Teilflächendifferenzierung (Quelle: Eigene Festlegung aus dem Fallbeispiel).....                                                                                                                          | 118 |
| Tabelle 24:  | Methodenvergleich der Ermittlung der befestigten Flächen .....                                                                                                                                            | 119 |
| Tabelle 25:  | Ermittlung der angeschlossenen befestigten Fläche - Ergebnisse der verschiedenen Methoden.....                                                                                                            | 122 |
| Tabelle 26 : | Ermittlung der abflusswirksamen Fläche - Ergebnisse der verschiedenen Methoden.....                                                                                                                       | 123 |
| Tabelle 27:  | Mindestanforderungen für die Kalibrierung (OEWAV, 2007b) .....                                                                                                                                            | 130 |
| Tabelle 28:  | Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (OEWAV 2009), nach (DWA 2006).....                                                                    | 133 |
| Tabelle 29:  | Anwendungsempfehlungen für den Nachweis der Überstauhäufigkeit (DWA 2006).....                                                                                                                            | 133 |
| Tabelle 30:  | Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung $\eta$ gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007) .....        | 135 |
| Tabelle 31:  | Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung $\eta$ abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007) ..... | 135 |

|             |                                                                                                                                                                                                              |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 32: | Sedimentationswirkungsgrad $\eta_{\text{sed}}$ für abfiltrierbare Stoffe (AFS) in Abhängigkeit vom Speichervolumen (Zwischenwerte sind zu interpolieren) (OEWAV 2007).....                                   | 136 |
| Tabelle 33: | Ergebnisabweichungen bei der Erhebung des Befestigungsgrads zufolge Erhebungsmethoden nach Krejci (1994).....                                                                                                | 152 |
| Tabelle 34: | Betrachtete Szenarien bei der Kalibrierung.....                                                                                                                                                              | 169 |
| Tabelle 35: | Nash-Sutcliffe Efficiency der einzelnen Modelle für die verschiedenen Regenereignisse sowie die Regenserie.....                                                                                              | 170 |
| Tabelle 36: | Abstand zum Modell mit der besten Nash-Sutcliffe Efficiency für die verschiedenen Regenereignisse .....                                                                                                      | 170 |
| Tabelle 37: | Nash Sutcliffe Effizienz für unterschiedliche Modellstufen und Ereignisse .....                                                                                                                              | 171 |
| Tabelle 38: | Teilflächenanteile der Referenzflächen mittels grundstücksscharfer Detailauswertung für die Zuordnung zu den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Quelle: Berechnung aus dem Fallbeispiel).....                   | 192 |
| Tabelle 39: | Teilflächenanteile der Referenzflächen mittels Flächenverschnitt mit (rechteckiger) Stichprobenfläche für die Zuordnung zu den jeweiligen Teileinzugsgebieten (Quelle: Berechnung aus dem Fallbeispiel)..... | 193 |
| Tabelle 40: | Grundstücksarten und deren Flächenanteile gemäß der Teilflächendifferenzierung im Fallbeispiel .....                                                                                                         | 196 |
| Tabelle 41: | Methodenvergleich der Ermittlung der befestigten Flächen .....                                                                                                                                               | 201 |
| Tabelle 42: | Ergebnisse der Vermessung der Sonderbauwerke.....                                                                                                                                                            | 210 |
| Tabelle 43: | Angeschlossene Einwohner an die ARA Weiz .....                                                                                                                                                               | 211 |
| Tabelle 44: | Jährlicher Wasserverbrauch der größten Wasserabnehmer in Weiz.....                                                                                                                                           | 211 |
| Tabelle 45: | Messergebnisse der Temperatursensoren und daraus abgeleitete Überlaufereignisse.....                                                                                                                         | 215 |
| Tabelle 46: | Beschreibung der Eigenschaften einer Teilfläche (Subcatchments).....                                                                                                                                         | 216 |
| Tabelle 47: | Kategorisierung der Subcatchments nach Form.....                                                                                                                                                             | 217 |
| Tabelle 48: | Formeln der jeweiligen Gruppen zur Ermittlung der „Width“ .....                                                                                                                                              | 219 |
| Tabelle 49: | Aufteilung der Flächen nach Oberflächentypen.....                                                                                                                                                            | 220 |
| Tabelle 50: | Manningbeiwerte der Subcatchments .....                                                                                                                                                                      | 221 |
| Tabelle 51: | Beschreibung der Eigenschaften eines Knoten (Junction) .....                                                                                                                                                 | 222 |
| Tabelle 52: | Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch häuslichen Wasserverbrauch .....                                                                                                                                 | 223 |
| Tabelle 53: | Ermittlung des Trockenwetterzuflusses durch die Betriebe .....                                                                                                                                               | 223 |
| Tabelle 54: | Beschreibung der Eigenschaften einer Leitung (Conduit).....                                                                                                                                                  | 224 |
| Tabelle 55: | Ermittlungen des Trockenwetterzuflusses inkl. Fremdwasser der Gemeinden .....                                                                                                                                | 226 |
| Tabelle 56: | Parameter der Subcatchments und ihr Einfluss auf die Kalibrierung .....                                                                                                                                      | 229 |
| Tabelle 57: | Starkregenserie für Nachweis nach ÖWAV-Regelblatt 11 .....                                                                                                                                                   | 232 |
| Tabelle 58: | Empfohlene Überstauhäufigkeiten (OEWAV, 2009).....                                                                                                                                                           | 232 |
| Tabelle 59: | Erlaubte und ermittelte Überstauhäufigkeit .....                                                                                                                                                             | 233 |
| Tabelle 60: | Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung $\eta$ gelöster Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007) .....           | 234 |
| Tabelle 61: | Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung $\eta$ abfiltrierbarer Stoffe in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation im Regenwetterfall im Kanal abfließenden Schmutzfrachten (OEWAV 2007).....     | 234 |
| Tabelle 62: | Gegenüberstellung geforderte und ermittelte Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung .....                                                                                                                     | 235 |

# LITERATURVERZEICHNIS

- AGW (1982) Der Spitzenabflussbeiwert von Siedlungsgebieten.
- Ahnert, M., Kuehn, V., and Krebs, P. (2005) Identification of overall degradation in sewer systems from long-term measurements and consequences for WWTP simulations. *Water Science & Technology*, 52(3), 153–161.
- Almeida, M. C., Butler, D., and Davies, J. W. (1999) Modelling in-sewer changes in wastewater quality under aerobic conditions. *Water science and technology*, 39(9), 63–71.
- ATV (1992) Arbeitsblatt ATV-A 128 - Richtlinien zur Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef, Germany.
- ATV (2004) Merkblatt ATV-DVWK-M 165 - Anforderungen an Niederschlags-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungs-entwässerung, ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- ATV-DVWK, D. V. für W. A. und A. (2001) ATV-DVWK-Regelwerk / Arbeitsblatt. 117, 117, Ges. zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef.
- ATV-DVWK-M 153 (2000): Merkblatt ATV-DVWK-M 153, Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., GFA, Hennef.
- Baumann, P. 2009. MSR-Technik in abwassertechnischen Anlagen: Mit 19 Tabellen, Kontakt & Studium, Bd. 664. Expert-Verl., Renningen.
- BEV (2013): Fernerkundung-BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, online im Internet: [http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV\\_PORTAL\\_CONTENT\\_ALLGEMEIN/0200\\_PRODUKTE/PDF-DOKU/FERNERKUNDUNG-FOLDER.PDF](http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0200_PRODUKTE/PDF-DOKU/FERNERKUNDUNG-FOLDER.PDF), Abruf am 20.2.2014
- BEV (2014): Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, online im Internet: <http://www.bev.gv.at>, Abruf am 3.12.2014
- BEV (2015) Über das BEV. [online] [http://www.bev.gv.at/portal/page?\\_pageid=713,1605147&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,1605147&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Accessed April 13, 2015).
- BEV (2015): Kataster Stichtagsdaten - Qualität. Online im Internet: URL: [http://www.bev.gv.at/portal/page?\\_pageid=713,1930452&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,1930452&_dad=portal&_schema=PORTAL) [Abruf 25.01.2015]
- Beven, K. 2009. Environmental modelling: An uncertain future? : an introduction to techniques for uncertainty estimation in environmental prediction. Routledge, London, New York.
- Beven, K. und Binley, A. (1992). The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol. Process.*, 6 (3), 279–298.
- BMLFUW (2011) eHYD – das Portal für hydrographische Daten Österreichs im Internet (Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt, ed.), Vienna, Austria. [online] [http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische\\_daten/eHyd2008.html](http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/eHyd2008.html).
- BMLFUW (2013) eHYD-Fachkarte Bemessungsniederschlag. [online] <http://ehyd.gv.at/assets/eHYD/pdf/Bemessungsniederschlag.pdf> (Accessed February 20, 2015).
- Burger, G., Sitzenfrei, R., Kleidorfer, M. und Rauch, W. (2014). Parallel flow routing in SWMM 5. *Environmental Modelling & Software*, 53 (0), 27–34.

- Campolongo, F., Cariboni, J., and Saltelli, A. (2007) An effective screening design for sensitivity analysis of large models. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1509–1518.
- Carpenter, T. M. und Georgakakos, K. P. (2004). Impacts of parametric and radar rainfall uncertainty on the ensemble streamflow simulations of a distributed hydrologic model. *Journal of Hydrology*, 298 (1-4), 202–221.
- CEN (2008). Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Brussels, Belgium, Europäisches Komitee für Normung CEN. EN 752.
- de LANGE, N. (2013) Geoinformatik in Theorie und Praxis, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- de Vries, J. M. (1992) Verschmutzung des abfließenden Niederschlagswassers am Beispiel des städtischen Trenngebietes Braunschweig-Weststadt, TU Braunschweig, Braunschweig, Germany.
- Deletic, A., Dotto, C. B. S., McCarthy, D. T., Kleidorfer, M., Freni, G., Mannina, G., Uhl, M., Henrichs, M., Fletcher, T. D., Rauch, W., Bertrand-Krajewski, J. L. und Tait, S. (2012). Assessing uncertainties in urban drainage models. Estimating and representing uncertainty in applied hydrology, hydraulics and water quality studies, 42–44 (0), 3–10.
- Deletic, A., Dotto, C. B., Fletcher, T. D., McCarthy, D. T., Bertrand-Krajewski, J. L., Rauch, W., Kleidorfer, M., Freni, G., Mannina, G. und Tait, S. (2009). Defining uncertainties in modelling of urban drainage systems. In: 8th International Conference on Urban Drainage Modelling, IWA (ed.), pp. 7–11.
- DIN V ENV 13005. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1999). Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen.
- Dittmer, U. (2006) Prozesse des Rückhaltes und Umsatzes von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Retentionsbodenfiltern zur Mischwasserbehandlung. [online] <https://kluedo.ub.uni-kl.de/rewrite/index/id/type/opus3-id/value/2050> (Accessed December 21, 2015).
- DVWK (2000) Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. - DVWK-Merkblatt 153.
- DVWK-Merkblatt 230 (1994). Niederschlag - Empfehlung für Betreiber von Niederschlagsstationen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
- DWA (2006). Arbeitsblatt DWA-A-118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef, Germany, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- DWA (2011) Merkblatt DWA-M 181 - Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- DWA (2012) Arbeitsblatt DWA-A 531 - Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Germany.
- DWA-A 531 (2012). Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA).
- DWA-M 181 (2011): Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- Einfalt, T., Arnbjerg-Nielsen, K., Golz, C., Jensen, N.-E., Quirmbach, M., Vaes, G. und Vieux, B. (2004). Towards a roadmap for use of radar rainfall data in urban drainage. *Journal of Hydrology*, 299 (3-4), 186–202.
- EN 752. European Committee for Standardization (2008). Drain and sewer systems outside buildings, ICS 93.030, 110 pp.
- Euler, G. (1983) Ein hydrologisches Näherungsverfahren für die Berechnung des Wellenablaufs in teilgefüllten Kreisrohren. *Wasser und Boden*, 2, 85–88.

- Fencl, M., Rieckermann, J., Schleiss, M., Stránský, D. und Bareš, V. (2013). Assessing the potential of using telecommunication microwave links in urban drainage modelling. *Water Sci. Technol.*, 68 (8), 1810–1818.
- Frey, W. (2004). Qualitätskontrolle von Durchflussmessungen. In: Datengewinnung, -verwaltung und -nutzung in der Wassergütwirtschaft. ÖWAV-Seminar - Wien 2004, TU Wien, 03. - 04. März 2004, H. Kroiss (ed.). Wiener Mitteilungen Bd. 187, IWAG, Wien, pp. 1–45.
- Gamerith, V. 2011. High resolution online data in sewer water quality modelling. PhD-Thesis, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Graz, Graz, Austria.
- Gironás, J., Roesner, L. A., Rossman, L. A. und Davis, J. (2010). A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM). *Environmental Modelling & Software*, 25 (6), 813–814.
- Gränicher, H. 1996. Messung beendet - was nun?: Einführung und Nachschlagewerk für die Planung und Auswertung von Messungen, 2., überarb. Aufl. Vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH Zürich; Teubner, Zürich, Stuttgart.
- Gujer, W. (2007) Siedlungswasserwirtschaft, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Gujer, W. 2008. Systems Analysis for Water Technology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Hofer, T., Gruber, G., Gamerith, V., Montserrat, A., Corominas, L. und Muschalla, D. (2014). Using Temperature Sensors to Detect Occurrence and Duration of Combined Sewer Overflows. In: 13th International Conference on Urban Drainage, IWA (ed.).
- Hoppe, H. 2006. Unsicherheiten der Grundlagendaten im Rahmen integrierter Planungen urbaner Abwasserentsorgungssysteme, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft - SIWAWI, Bd. 51. Ges. zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Univ., Bochum.
- Hoppe, H. und Gruening, H. (2007). Significance of uncertainties in the input data used in the integrated design of wastewater systems. In: Proceedings of Novatech 2007, GRAIE (ed.), GRAIE, Lyon, France, pp. 1607–1614.
- Huisman, J. L. (2001) Transport and transformation processes in combined sewers. [online] <http://e-collection.eth-bib.ethz.ch/diss/fulltext/eth13989.pdf>.
- Hvitved-Jacobsen, T. (2002) Sewer systems and processes. Sewer Processes–Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks. CRC Press, Boca Raton.
- ifak (2014) SIMBA# User Manual, ifak e.V., Magdeburg, Germany.
- ISO (2008). ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
- ISO/IEC Guide 98-3. International Organization for Standardization (2008). Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), 134 pp.
- KACZMARCZYK, C., KUHR, H., SCHMIDT, A., SCHMIDT, J., and STRUPP, P. (2009) Bautechnik Für Bauzeichner Zeichnen -- Rechnen -- Fachwissen, Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Wiesbaden.
- Kainz, H., Kauch, E.-P., Fuchs-Hanusch, D., and Gruber, G. (2012) Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft, MANZ Verlag Schulbuch GmbH, Vienna, Austria.
- Kleidorfer, M. 2009. Uncertain calibration of urban drainage models: A scientific approach to solve practical problems. PhD-Thesis, Arbeitsbereich Umwelttechnik, Leopold Franzens Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria.
- Kleidorfer, M., Leonhardt, G. und Rauch, W. (2012). Identifiability analysis in conceptual sewer modelling. *Water science*

- and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research, 66 (7), 1467–1474.
- Kleidorfer, M., Möderl, M., Sitzenfrei, R., Urlich, C. und Rauch, W. (2009). A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance. *Water Sci. Technol.*, 60 (6), 1555.
- Kleidorfer, M., Tschiesche, U., Tscheikner-Gratl, F., Sitzenfrei, R., Kretschmer, F., Muschalla, D., Ertl, T. und Rauch, W. (2014). Von den Daten zum Modell: Anforderungen an hydraulische Entwässerungsmodelle in kleinen und mittleren Gemeinden. In: *Kanalmanagement 2014. ÖWAV-Informationsveranstaltung - Wien 2014*, TU Wien, 24. April 2014, T. Ertl (ed.). Wiener Mitteilungen 231, Inst. für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wien.
- Kleidorfer, M., Urlich, C., Mair, M. und Rauch, W. (2011). Unsichere Kalibrierung von Modellen der Siedlungsentwässerung. In: *Niederschlags- und Mischwasserbewirtschaftung im urbanen Bereich*, TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau (ed.). Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft 61, Verlag der TU, pp. L1-L14.
- Krebs, P., Holzer, P., Huisman, J. L., and Rauch, W. (1999) First flush of dissolved compounds. *Water Science and Technology*, 39(9), 55–62.
- Kreikenbaum, S., Krejci, V., Fankhauser, R. und Rauch, W. (2004). Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Planung. *gwa* (8), 587–594.
- Krejci, V. 1994. Integrierte Siedlungsentwässerung: Fallstudie Fehraltorf, Schriftenreihe der EAWAG, Nr. 8. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG, Dübendorf-Zürich (Schweiz).
- Kuczera, G., Kavetski, D., Franks, S. und Thyer, M. (2006). Towards a Bayesian total error analysis of conceptual rainfall-runoff models: Characterising model error using storm-dependent parameters. *Water Resources in Regional Development: The Okavango River*, 331 (1–2), 161–177.
- La Barbera, P., Lanza, L. und Stagi, L. (2002). Tipping bucket mechanical errors and their influence on rainfall statistics and extremes. *Water Science & Technology*, 45 (2), 1–9.
- LAND BURGENLAND (2012) Kooperationsvertrag LAD-GS-P909-10000-12. [online] [http://geodaten.bgld.gv.at/fileadmin/gis\\_downloads/inspire/FAQ\\_Kooperationsvertrag.pdf](http://geodaten.bgld.gv.at/fileadmin/gis_downloads/inspire/FAQ_Kooperationsvertrag.pdf) (Accessed February 20, 2015).
- Leonhardt, G. 2014. Development and application of software sensors and reverse models for urban drainage systems: Model-based approaches for gaining more information from measurement data, Institut für Infrastruktur, AB Umwelttechnik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria.
- Machac, D., Reichert, P. und Albert, C. (2014). Reducing Computational Time of Urban Drainage Simulators by Means of Emulation. In: *13th International Conference on Urban Drainage, IWA* (ed.).
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., Schulz, A. (2003): *Performance Indicators for Wastewater Services*, IWA-Publishing, ISBN 1-900222-90-6,
- Mikovits, C., Jasper-Tönnies, A., Einfalt, T., Huttenlau, M., Rauch, W. und Kleidorfer, M. (2015a). Klimawandel, Stadtentwicklung und urbane Wasserinfrastrukturplanung – Risiken und Möglichkeiten. *Österr Wasser- und Abfallw*, 67 (5-6), 214–221.
- Mikovits, C., Jasper-Tönnies, A., Einfalt, T., Huttenlau, M., Rauch, W. und Kleidorfer, M. (2015b). Risiken und Chancen der Siedlungswasserinfrastruktur durch Stadtentwicklung und Klimawandel. In: *Tagungsband 16. Klimatag. Aktuelle Klimaforschung in Österreich*, Climate Change Centre Austria (ed.), pp. 86–87.
- Mikovits, C., Rauch, W. und Kleidorfer, M. (2013). Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. In: *Procedia Engineering. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI 2013 Committee* (ed.), Elsevier.

- Möderl, M., Butler, D., and Rauch, W. (2009) A stochastic approach for automatic generation of urban drainage systems. *Water Science & Technology*, 59(6), 1137.
- Muschalla, D. and Ostrowski, M. (2004) Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI.
- Muschalla, D., Ostrowski, M. W., Pereira, C., and Schneider, S. (2006) Dokumentation des Schmutzfrachtmodells SMUSI Version 5.0, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany.
- Muthusamy, M., Patania, A., Schellart, A. und Tait, S. (2015). Analysis of sub-kilometre variability of rainfall in the context of urban runoff modelling. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling*, T. Maere, S. Tik, S. Duchesne and P. A. Vanrolleghem (eds.), pp. 201–205.
- Neunteufel, R., H. Theuretzbacher-Fritz, J. Kölbl, R. Perfler, M. Unterwainig, R. Krendeslsberger und E. Mayer (2006): Individualbericht zum ÖVGW Benchmarking 2004/2005. Nicht zur Veröffentlichung freigegeben; Graz / Wien / Wr. Neustadt, Mai 2006
- OEWAV (2007). ÖWAV - Regelblatt 19 - Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. Vienna, Austria, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: 47.
- OEWAV (2007a) ÖWAV - Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2009) ÖWAV - Regelblatt 11 - Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- ON (2008) ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Österreichisches Normungsinstitut (ON).
- ON (2008) ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Österreichisches Normungsinstitut (ON).
- ÖNORM EN 752 (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Europäisches Komitee für Normung.
- ÖWAV (2010) ÖWAV-Regelblatt 40 Leitungsinformationssysteme-Wasser und Abwasser,
- ÖWAV-RB 38 (2007): Überprüfung stationärer Durchflussmessenrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- ÖWAV-Regelblatt 40. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2010). Leitungsinformationssystem - Wasser und Abwasser (Pipe information system - Water and wastewater), Vienna, Austria, 58 pp.
- Quirnbach, M. und Schultz, G. A. (2002). Comparison of rain gauge and radar data as input to an urban rainfall-runoff model. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 45 (2), 27–33.
- Rauch, W. und Kinzel, H. (2007) ÖKOSTRA – Eine Datenbank zur Ausgabe von hoch aufgelösten Niederschlagsreihen aus Österreich. *Wiener Mitteilungen*, 203, S. I1–I14.
- Rauch, W. und Toffol, S. de (2005). Vom Zeitbeiwertverfahren zur Hydrodynamischen Simulation – Einführung in die Methodik (From time coefficient method to hydrodynamic simulation - an introduction). In: *ÖWAV-Seminar: Entwässerungsverfahren - Anwendung und Berechnung*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ed.).
- Rauch, W., Kleidorfer, M. und Fach, S. (2010). Vom Bleistift zum Prozessor: Wandel der Modelle in der Siedlungsentwässerung. *Österr Wasser- und Abfallw*, 62 (3-4), 43–50.
- Refsgaard, J. C., van der Sluijs, Jeroen P., Højberg, A. L. und Vanrolleghem, P. A. (2007). Uncertainty in the environmental

- modelling process – A framework and guidance. *Environmental Modelling & Software*, 22 (11), 1543–1556.
- Reichert, P. 1994. Concepts underlying a computer program for the identification and simulation of aquatic systems, Schriftenreihe der EAWAG, Nr. 7. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Dübendorf.
- Rossmann, L. A. (2006) Storm Water Management Model Quality Assurance Report: Dynamic Wave Flow Routing, US EPA, Cincinnati, OH, USA.
- Rouault, P. (2009) Monitoring von Wassergüteparametern an Mischwasserüberläufen, KompetenzZentrum Wasser Berlin, Berlin, Germany.
- Sartor, J. (1988) Die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Abflussspitzen aus Kanalnetzen und Vorflutern. *Wasser und Boden*, 40(12), 687–689.
- Schaardt, V. (2012) Vergleich hydrologischer und hydrodynamischer Kanalnetzrechnungen und Konsequenzen für die praktische Anwendung.
- Sevruk, B. (2002). WMO questionnaire on recording precipitation gauges: state-of-the-art. *Water Science & Technology*, 45 (2), 139–145.
- Stadtvermessung Wien (2014): Produktinformation - Oberflächenmodell - Airborne Laserscanning (ALS), online im Internet: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/als/produkt.html>, Abruf am 3.12.2014
- Statistik Austria 2014. Gemeindegroßenklassen mit Einwohnerzahl. [http://www.statistik.at/web\\_de/klassifikationen/regionale\\_gliederungen/gemeinden/index.html](http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/gemeinden/index.html).
- SUREK, D. (2014): Pumpen für Abwasser- und Kläranlagenauslegung und Praxisbeispiele. Springer Verlag, Wiesbaden, Vieweg.
- Telegdy, T. und Stefan, M. (2014). Praktische Erfahrungen bei der gemeinsamen Untersuchung von Mischwasserbehandlung und hydraulischer Leistungsfähigkeit im hydrodynamischen Modell. In: *Aqua Urbanica 2014*, Universität Innsbruck (ed.).
- van der Keur, P., Henriksen, H. J., Refsgaard, J. C., Brugnach, M., Pahl-Wostl, C., Dewulf, A. und Buiteveld, H. (2008). Identification of Major Sources of Uncertainty in Current IWRM Practice. Illustrated for the Rhine Basin. *Water Resour Manage*, 22 (11), 1677–1708.
- Vanrolleghem, P. A., Bertrand-Krajewski, J. L., Brown, R., Croke, B. F., Kapelan, Z., Kleidorfer, M., Kuczera, G., McCarthy, D., Mikkelsen, P., Rauch, W., Refsgaard, J. und Deletic, A. (2011). Uncertainties in water system models – breaking down the water discipline silos. In: *Proceedings 8th International IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment in Water Management (WATERMATEX2011)*, IWA (ed.), pp. 81–84.
- Verworn, H. R. (1999) Die Anwendung von Kanalnetzmodellen in der Stadthydrologie, SuG-Verlagsgesellschaft, Hannover, Germany.
- Verworn, H. R. and Kenter, G. (1993) Abflussbildungsansätze für die Niederschlags-Abfluß-Modellierung. *Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz*, 24, 3–50.
- Vrugt, J. A. und Robinson, B. A. (2007). Improved evolutionary optimization from genetically adaptive multimethod search. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (3), 708–711.
- Walker, W. E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijs, Jeroen P, van Asselt, Marjolein BA, Janssen, P. und Kreyer von Krauss, Martin P (2003). Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated assessment*, 4 (1), 5–17.

- Wani, O., Blumensaat, F., Scheidegger, A., Doppler, T. und Rieckermann, J. (2015). Parameter estimation of urban drainage models using binary observations from low-cost sensors. In: Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling, T. Maere, S. Tik, S. Duchesne and P. A. Vanrolleghem (eds.), pp. 5–11.
- Warner, T. A., Nellis, M. D., and Foody, G. M. (eds.) (2009) The Sage handbook of remote sensing, Sage, Thousand Oaks, CA.
- WARNER, T. A., NELLIS, M. D., FOODY, G. M. (2009): The Sage handbook of remote sensing. (1st ed). Thousand Oaks, CA: Sage
- WMO-No.8 (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation, World Meteoroglogical Organization, Geneva, Switzerland.
- Zeisl, P., Tscheikner-Gratl, F., Kleidorfer, M. und Rauch, W. (2015). How much detail is too much detail: A modelling perspective. In: Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling, T. Maere, S. Tik, S. Duchesne and P. A. Vanrolleghem (eds.), pp. 45–53.



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

[bmlfuw.gv.at](http://bmlfuw.gv.at)

## FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.

**UNSER ZIEL** ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln.

Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

**WIR ARBEITEN** für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

[bmlfuw.gv.at](http://bmlfuw.gv.at)