

Entwicklung von Auswerteroutinen für die Datenbanken zu Niederschlagswassereinleitungen in NRW und Methoden zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischsystemen

Teilbericht 2: Methoden zur Ermittlung punktueller Einleitung aus Mischsystemen

TEILBERICHT

gefördert durch das

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Im Rahmen des Förderprogramms

**Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW,
Förderbereich 6:
Forschungs- und Entwicklungsprojekte
zur Abwasserbeseitigung**

**Entwicklung von Auswerteroutinen für
die Datenbanken zu
Niederschlagswassereinleitungen in
NRW und Methoden zur Ermittlung
punktuelle Einleitungen aus
Mischsystemen**

**Teilbericht 2: Methoden zur Ermittlung
punktuelle Einleitung aus Mischsystemen**

Aachen, im September 2015
FiW an der RWTH Aachen



Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Projektbearbeitung

Institution

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
Kackertstraße 15-17
52056 Aachen

Hauptbearbeiter

Dr.-Ing. F.-W. Bolle
Dipl.-Ing. S. Hüben
Dipl.-Ing. T. Siekmann
Dr.-Ing. D. Weingärtner

Weitere Bearbeiter

Dipl.-Ing. (FH) B. Böttcher
H. Begas
Dr.-Ing. N. Palm
Dipl.-Ing. I. Rokotyanskaya
Dipl.-Ing. M. Siekmann

Inhaltsverzeichnis

1	Projektübersicht.....	1
2	Einleitung	2
3	Vorgehen und Grundlagen	5
3.1	Methodik	5
3.2	Hintergründe aus dem ATV-Arbeitsblatt A-128.....	6
3.3	Beschreibung der Untersuchungsgebiete	6
3.4	Indikatoren für die Bewertung der Ansätze	8
4	Entwicklung von Ansätzen zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen	12
4.1	Beschreibung der Ansätze	12
4.1.1	Ansatz 1: „Direkteinzugsgebietsbilanz“ (A 128, Anhang 3)	12
4.1.2	Ansatz 2: „Multizentralbeckenansatz“	14
4.1.3	Ansatz 3: Vergleich des spezifischen Speichervolumens	17
4.2	Ergebnisse der Ansätze	18
4.2.1	Ergebnisse Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1)	18
4.2.2	Ergebnisse Multizentralbeckenansatz (Ansatz 2)	22
5	Tiefergehende Betrachtung und Weiterentwicklung der Ansätze	25
5.1	Einfluss von Regenrückhaltebecken (RRB).....	25
5.2	Einfluss von Regenüberläufen (RÜ)	26
5.3	Einfluss von Gebietskenngößen – Jahresniederschlagshöhe h_{Na}	28
5.4	Einfluss von Gebietskenngößen – Fläche	31
5.5	Einfluss von Bauwerkskenngößen – Drosselabfluss	32
5.6	Einfluss von Gebietskenngößen – Fließzeit und Neigung	33
5.7	Zusammenfassung Kapitel 5 und Bewertung	39
6	Diskussion der Ansätze und Empfehlungen zur Einbindung in ELKA.....	41
6.1	Diskussion der Ansätze mit Hinblick auf die Einbindung in ELKA.....	41
6.1.1	Unvollständige Datensätzen	41
6.1.2	Unplausible Datensätze	41
6.1.3	Vergleich von Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) und Multi-Zentralbeckenansatz (Ansatz 2) – Empfehlung für Ansatz 1	42
6.2	Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen	43
6.3	Ausgabevorschlag der Ergebnisse in ELWAS.....	44
7	Zusammenfassung und Ausblick	46
8	Literatur	48

Anhang

Verzeichnis der Bilder

Bild 2-1:	Summarische (li.) und punktuelle (re.) Mischwasserentlastungen im Vergleich.....	3
Bild 3-1:	Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 1 (urban geprägt, mit 7 SBW und 5 RÜ)	7
Bild 3-2:	Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 2 (ländlich geprägt mit 21 SBW und ohne RÜ).....	7
Bild 3-3:	Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 3 (Vergleichsgebiet aus ATV-A 128)	8
Bild 4-1:	Betrachtungsräume in Ansatz 1 und Volumenbilanz	13
Bild 4-2:	Schematische Darstellung der Betrachtungsräume in Ansatz 2	17
Bild 5-1:	Netzplan Untersuchungsgebiet 1 mit fiktiven RRB (eingekreist)	25
Bild 5-2:	Systemskizzen – RÜ vorgelagert vor RÜB (links), rechnerische gemeinsame Betrachtung von RÜ mit nachfolgendem Sonderbauwerk in den Entwicklungsansätzen (rechts)	28
Bild 5-3:	Einfluss des Jahresniederschlages auf punktuelle Entlastungen, Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1).....	29
Bild 5-4:	Einfluss des Jahresniederschlages auf punktuelle Einleitungen, Multi-Zentralbeckenansatz (Ansatz 2).....	30
Bild 5-5:	Auswirkungen von Variationen der angeschlossenen Fläche und der auf Ergebnishüte der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1).....	31
Bild 5-6:	Abflussgeschehen in Regenüberlaufbecken (vereinfacht)	32
Bild 5-7:	Netzplan Untersuchungsgebiet 1 mit modifizierten Drosselabflüssen (eingekreist)	32
Bild 5-8:	Auswirkungen von Variationen des Drosselabflusses auf Ergebnishüte der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1).....	33
Bild 5-9:	Prinzipskizze Wellenverformung in einer Transportstrecke (ATV-DVWK-M 165, 2004).....	34
Bild 5-10:	Sensitivitätsanalyse Fließzeiten und Neigungsgruppen – betrachtete SBW (umrandet) in Untersuchungsgebiet 2	35
Bild 5-11:	Entlastungsvolumina ausgewählter Becken bei unterschiedlichen Fließzeiten	38
Bild 5-12:	Zusammenhang zwischen Einfluss der Fließzeit auf das Entlastungsvolumen und dem spez. Speichervolumen V_s	39
Bild 6-1:	Schematischer Vergleich zwischen den Berechnungsansätzen 1 und 2 für ein Entwässerungsnetz	43
Bild 6-2:	Fließschema empfohlene Einbindung der ermittelten Entlastungsraten e_0 in ELWAS	45

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 4-1:	Relation von $V_{S,ist}$ zu $V_{S,soll}$ und Entlastungsraten e_0 in Untersuchungsgebiet 1	17
Tabelle 4-2:	Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 1	18
Tabelle 4-3:	Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 2	20
Tabelle 4-4:	Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 3	21
Tabelle 4-5:	Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 1	22
Tabelle 4-6:	Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 2	23
Tabelle 4-7:	Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 3	24
Tabelle 5-1:	Untersuchte Varianten für den Einfluss von Regenrückhaltebecken	26
Tabelle 5-2:	Betrachtung von RÜ im TEZG von RÜB – Auszug der Bauwerkskenndaten und der ermittelten Entlastungsvolumina in Moment und Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für ausgewählte Jahresniederschläge	27
Tabelle 5-3:	Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf das Entlastungsverhalten von RÜB 10.....	36
Tabelle 5-4:	Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf die Entlastungsraten ausgewählter anfangsständiger RÜB.....	37
Tabelle 5-5:	Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf das Entlastungsvolumen ausgewählter anfangsständiger RÜB	37
Tabelle 5-6:	Mittlere relative Abweichung des Entlastungsvolumens pro 10-Minuten Fließzeit	38
Tabelle 5-7:	Überblick der untersuchten Faktoren und Empfehlung für die Einbindung in die Ansätze	40

Abkürzungsverzeichnis

Kürzel	Erläuterung	Einheit
A	an ein SBW anschließende Fläche	[ha]
$A_{E,b}$	Summe aller befestigten Flächen eines Einzugsgebietes	[ha]
$A_{E,k}$	Fläche des kanalisierten bzw. durch das Entwässerungssystem erfassten Einzugsgebietes	[ha]
A_u	undurchlässige Fläche, anwendungsbezogener Rechenwert, $A_u = A_{E,b} \cdot \psi$	[ha]
DWA (ehemals ATV)	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.	
e_0	Entlastungsrate	[%]
ELKA	Einleiterkataster	
ELWAS	Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem	
h_{Na}	Langjährige mittlere Niederschlagshöhe	[mm]
$h_{Na\ eff}$	Mittlerer effektiver Niederschlag (nach Abzug der Verluste), $h_{Na\ eff} = h_{Na} \cdot \psi_{a,A128}$	
I	Bewertungsindikator (s. Kapitel 3.4)	[%]
KA	Kläranlage	
k_{tF}	Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Fließzeit und dem spezifischen Speichervolumen (s. Kapitel 5.6)	[-]
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in NRW	
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz in NRW	

NG	Neigungsgruppe	[-]
Q_{Dr}	Drosselabfluss	[l/s]
$Q_{Dr, \text{Überlieger}}$	Drosselabfluss des Überliegers	[l/s]
Q_e	Im Jahresmittel entlastetes Mischwasservolumen	[m ³]
Q_F	Fremdwasserabfluss	[l/s]
q_R	Regenabflussspende	[l/(s*ha)]
$Q_{r,24, \text{spez}}$	spezifischer Regenabfluss (im Tagesmittel) aus Mischgebieten der direkt an das SBW angeschlossenen Fläche	[l/s]
$q_{R,Dr}$	Weitergeleitete Regenabflussspende in der Drossel	[l/(s*ha)]
$q_{R, \text{spez}}$	Regenabflussspende des an das SBW angeschlossenen Mischgebiets aus Drosselablauf des SBW	[l/(s*ha)]
Q_R	Regenabfluss	[l/s]
$Q_{R,Tr,24, \text{spez}}$	Regenabfluss (im Tagesmittel) aus direkt an das SBW anschließendes Trenngebiet ($Q_{R,Tr,dM, \text{spez}}$)	[l/s]
$Q_{S,24}$	Schmutzwasserabfluss im Tagesmittel ($Q_{S,dM}$)	[l/s]
Q_T	Trockenwetterabfluss	[l/s]
$Q_{T24, \text{spez}}$	Trockenwetterabfluss (im Tagesmittel) aus direkt an das SBW anschließendes Einzugsgebiet ($Q_{T,dM, \text{spez}}$)	[l/s]
$Q_{T,24}$	Trockenwetterabfluss im Tagesmittel ($Q_{T,dM}$)	[l/s]
$Q_{T, \text{max}}$	Maximaler Trockenwetterabfluss	[l/s]
REBEKA	Regenbeckenkataster	
RRB	Regenrückhaltebecken	

RÜ	Regenüberlauf	
RÜB	Regenüberlaufbecken	
SBW	Sonderbauwerk	
TEZG	Teileinzugsgebiet	
t_f	Fließzeit	[min]
V	Speichervolumen des SBW	[m ³]
V_s	Spezifisches Speichervolumen	[m ³ /ha]
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie	
γ	Befestigungsgrad des Einzugsgebiets	[-]
ψ	Anwendungs- und flächenspezifischer Abflussbeiwert	[-]
$\Psi_m (\psi_{a,A128})$	Mittlerer Abflussbeiwert (früher (nach ATV-A 128) Gesamtabflussbeiwert)($\Psi_m = 0,7$)	[-]

1 Projektübersicht

Das Projekt „Entwicklung von Auswerteroutinen für die Datenbanken zu Niederschlagswassereinleitungen in NRW und Methoden zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen“ besteht aus zwei Teilen. In Teil 1 wurden Auswerteroutinen entwickelt, die auf Basis des Zentralbeckenansatzes eine automatisierte Berechnung von Misch- und Trennwasseremissionen in Kläranlageneinzugsgebieten und in den im Lagebericht NRW definierten 293 Flussgebieten ermöglichen.

Der vorliegende Teilbericht stellt die Arbeiten und Ergebnisse des zweiten Projektteils „Methoden zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen“ dar. Auf Basis der in den Landesdatenbanken verfügbaren Informationen wurden vereinfachte, bauwerks-scharfe Berechnungen punktueller Mischwasserentlastungen ermöglicht. Die Ergebnis-genauigkeit und die Sensitivität der Berechnungen wurden exemplarisch untersucht. Empfehlungen zur Einbindung und Nutzung der Projektergebnisse zur Identifizierung von Defiziten und erforderlicher Maßnahmen wurden gegeben.

2 Einleitung

Niederschlagswassereinleitungen stellen einen wesentlichen Teil der Einleitungen in Gewässer und somit eine erhebliche hydraulische und stoffliche Belastung dar. Die Quantifizierung und Qualifizierung dieser Einträge ist zur Beurteilung der Gewässerbelastung im Sinne der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ein erforderlicher Schritt, auch in Nordrhein-Westfalen (NRW).

Messdaten stellen bisher keine Grundlage für die Berechnung bzw. Abschätzung von Schmutzfrachtemissionen aus Mischwassersystemen im gesamten Gebiet von NRW dar. Zum einen ist die Ausrüstung der Bauwerke nach SÜWVO Abw (2013) noch nicht abgeschlossen und zum anderen ist den bisher aufgenommenen Messwerten mit äußerster Vorsicht zu begegnen, da Datenprüfungen nur bedingt stattfinden. Hinzu kommt, dass die stoffliche Belastung von Abflüssen messtechnisch nur sehr schwer in hinreichender Qualität erfassbar ist. Aus diesem Grund kann die Erfassung der Misch- und Niederschlagswassereinleitungen bzw. der dadurch bedingten Emissionen in die Gewässer im gesamten Gebiet von NRW zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie derzeit nur durch Schätz- bzw. einfache Berechnungsverfahren erfolgen.

Gemäß Artikel 16 der Richtlinie des EU-Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) ist zweijährlich ein Bericht über die erfolgte Umsetzung dieser Richtlinie zu erstellen. Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) erfüllt diese Berichtspflicht durch die Erstellung der Broschüre „Stand und Entwicklung der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen“. Eine Grundlage für die Berechnungen, die Eingang in den Statusbericht finden, sind u. a. Daten der Regenbeckenkatastersysteme des Landes (derzeit noch REBEKA, NIEWA, künftig des Einleiterkatasters (**ELKA**)). Der bisher entwickelte und genutzte Berechnungsansatz zur Abschätzung der Mischwasseremissionen ist angelehnt an das ATV-Arbeitsblatt A 128 (ATV 1992). Im ersten Teil des Projektes wurden aus diesem Berechnungsansatz (Zentralbecken-Ansatz) Auswerteroutinen entwickelt, die künftig eine automatisierte Auswertung der Mischwasseremissionen ermöglichen. Der eingesetzte Berechnungsansatz liefert Schätzungen für größere Flusseinzugsgebiete und gesamte Kläranlageneinzugsgebiete (s. Bild 2-1, links).

Summarische Betrachtung der Mischwasserentlastungen

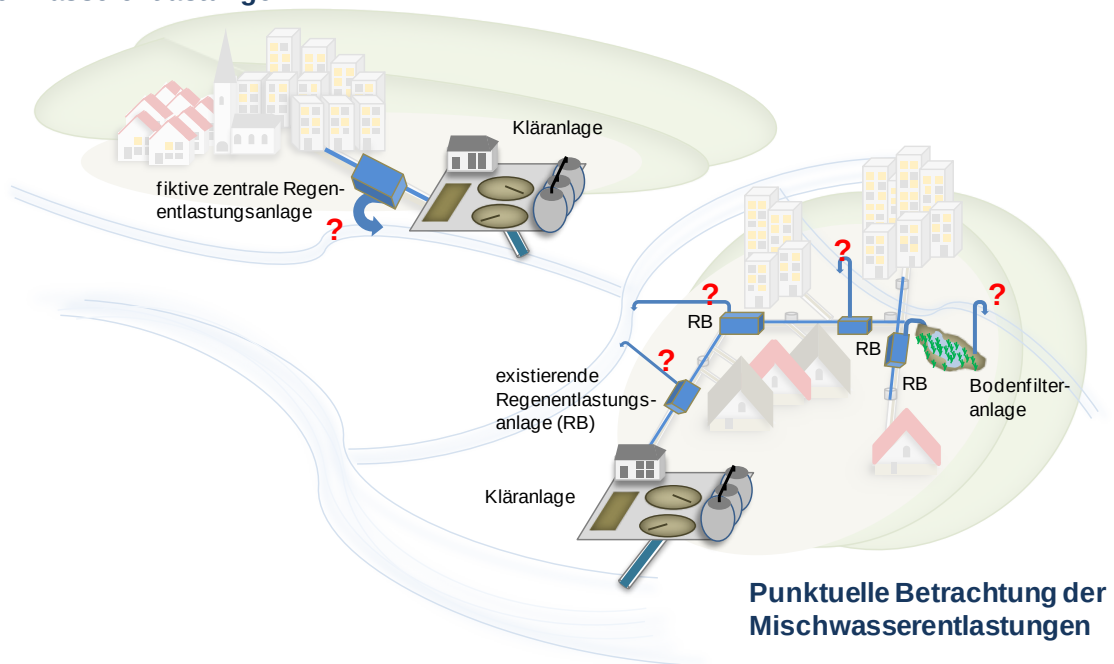


Bild 2-1: Summarische (li.) und punktueller (re.) Mischwasserentlastungen im Vergleich

Für kleinräumigere und detailliertere Betrachtungen, bei denen ggf. nur eine punktueller Einleitung vorliegt (s. Bild 2-1, rechts), ist dieser Ansatz nicht geeignet.

Deswegen ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, vereinfachte bauwerksscharfe Berechnungen zur Ermittlung von Mischwasseremissionen zu entwickeln. Mit solchen bauwerksscharfen Berechnungen bzw. den Ergebnissen der Berechnungen ist es möglich, Bauwerke in Mischwassersystemen in NRW zu ermitteln, die möglicherweise Defizite aufweisen. Die bauwerkspezifische Identifizierung möglicher Defizite unterstützt wiederum die Einleitung notwendiger Maßnahmen u. a. zur Umsetzung der EU-WRRRL. Die Berechnungen zur Ermittlung von punktuellen Mischwasseremissionen müssen außerdem so gestaltet sein, dass sie in die bestehenden Datenbank- (ELKA) bzw. Auswertungsstrukturen (ELWAS) der nordrhein-westfälischen Verwaltung integriert werden können. Entsprechende Ansätze wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes entworfen und in drei Untersuchungsgebieten geprüft. Die Ergebnissgüte der Ansätze wurde anhand fest definierter Indikatoren bewertet und es wurden Empfehlungen zur Einbindung in ELWAS-Web gegeben.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeiten sind als Ergänzung bereits vorhandener Werkzeuge zur quantitativen Erfassung von Mischwasserentlastungen in NRW zu sehen. Dazu zählt die Einpflege der bauwerksspezifischen Entlastungsraten in die Landesdatenbanken, die bisher jedoch nur lückenhaft erfolgt ist.

Darüber hinaus sei das GIS-gestützten Tool GISBREIN erwähnt: Mit diesem Werkzeug können hydraulische Belastungen von Fließgewässern durch Niederschlagswassereinleitungen

nach dem vereinfachten Nachweis gemäß den immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen des BWK-Merkblatts M 3 abgeschätzt und für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) genutzt werden. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Tool GISBREIN sind bereits über Karten des ELWAS-Web Systems des Landes abrufbar (<http://www.elwasweb.nrw.de>). Aber auch hiermit sind punktgenaue Abschätzungen von Einleitungen aus Misch- und Trennsystemen nicht möglich.

3 Vorgehen und Grundlagen

Im Rahmen des vierten Teils der Projektreihe „Niederschlagswassereinleitungen in NRW - Ermittlung der punktuellen Entlastungsvolumenströme aus Mischsystemen in Nordrhein-Westfalen“ (Pinnekamp et al. 2005) wurden bereits Ansätze aufgestellt, um punktuelle Einleitungen aus Mischwassersystemen zu bestimmen. Folgende Ansätze wurden innerhalb des Projekts betrachtet:

- Gewichtete Verteilung,
- Bilanzierung mit Hilfe von Starkregenereignissen und
- Formelansatz.

In diesen Ansätzen fehlen der Einbezug von Entlastungen vorgeschalteter Becken und die Abschätzung von Entlastungen aus Regenüberläufen. Erst durch die Einbeziehung der Vor-entlastungen und Regenüberläufe können ganzheitliche Ansätze zur großräumigen Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen entstehen.

Die bisher aufgestellten Ansätze weisen Ergebnisse auf, die z. T. erheblich gegenüber den gemessenen Entlastungsvolumenströmen abweichen. Es sind grundsätzlich nachstehende Ursachen als Fehlerquellen in Betracht zu ziehen:

- fehlerhafte Aufzeichnungen der Messgeräte im Entlastungsvolumenstrom,
- nicht bestimmbarer Fremdwasseranteil im Abwasser,
- nicht zutreffende Niederschlagsdaten sowie
- nicht zutreffende Flächenangaben.

Aus diesen Gründen liegt der Schwerpunkt dieses Vorhabens insbesondere in der Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes und einer plausiblen Prüfung dieses Ansatzes.

3.1 Methodik

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Ansatz, der an das ATV-Arbeitsblatt A 128 (ATV 1992) angelehnt ist, am vielversprechendsten ist. Daher wurden, basierend auf den Grundlagen des Arbeitsblatts A 128, drei Berechnungsansätze zur beckenspezifischen Ermittlung von Mischwasseremissionen als Arbeitshypothesen aufgestellt und in drei Untersuchungsgebieten angewendet und überprüft. Die Ansätze berücksichtigen die Entlastungen aus vorgeschalteten Becken und Regenüberläufen. Zur Überprüfung der Ansätze wurden deren Ergebnisse mit Ergebnissen einer hydrologischen Modellierung (Programm MOMENT, vgl. BGS Wasser 2008) verglichen. Auf einen Vergleich mit realen Messdaten wurde verzichtet, da die Unsicherheit von Messdaten derzeit noch recht hoch ist, hydrologische Modellierungen auch zum Nachweis und zur Planung von Netzen genutzt werden und somit Stand

der Technik sind. Die Ansätze spiegeln also nur soweit die Realität wider, wie auch die hydrologische Modellierung die Realität abbildet.

Zur hydrologischen Modellierung wurde das Programm MOMENT in Abstimmung mit dem LANUV ausgewählt. Neben den üblichen Nachweisen nach ATV-A 128 lassen sich mit MOMENT auch Bausteine der weitergehenden Regenwasserbehandlung abbilden, Kennlinien von Bauwerken berechnen und Bewertungen nach DWA-A 110 durchführen („Nachweismethode“) (N.N. 2014).

3.2 Hintergründe aus dem ATV-Arbeitsblatt A 128

Als Stand der Technik zur Auslegung von Mischwassersystemen gilt zurzeit noch das DWA Arbeitsblatt A-128. Die im vorliegenden Projekt entwickelten Ansätze orientieren sich am grundsätzlichen Vorgehen aus dem Arbeitsblatt A 128 (ATV 1992). Als ein Schlüsselparаметer fungieren die jeweils zulässigen Entlastungsraten e_0 , sowohl in Bezug auf das gesamte Einzugsgebiet als auch auf einzelne Entlastungsbecken.

Aus den zulässigen Entlastungsraten wird während der Auslegung das erforderliche Speichervolumen ermittelt, nicht nur das fiktive Gesamtvolumen im Einzugsgebiet einer Kläranlage (Zentralbecken-Ansatz) sondern auch das auf die Einzelbauwerke aufgeteilte Beckenvolumen. Der Zentralbecken-Ansatz basiert jedoch auf vielen Vereinfachungen, sodass weder Niederschlagsverteilungen noch alle Einflüsse der Abflussbildung berücksichtigt werden.

3.3 Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Als Untersuchungsgebiete dienen zwei anonymisierte Mischwassernetze und das Beispielgebiet aus dem ATV-Arbeitsblatt A 128 (ATV 1992). Die Gebiete und ihre Kenndaten sind in Bild 3-1 bis Bild 3-3 dargestellt.

Bei Untersuchungsgebiet 1 (Bild 3-1) handelt es sich um ein urban geprägtes Gebiet, während Untersuchungsgebiet 2 (Bild 3-2) eher ländlich geprägt ist. Untersuchungsgebiet 2 hat eine größere Fläche und mehr Mischwasserbehandlungsanlagen als Untersuchungsgebiet 1. Das Beispielgebiet aus dem ATV-Arbeitsblatt A 128, Untersuchungsgebiet 3 (Bild 3-3), hat nur zwei Sonderbauwerke (SBW) mit Entlastungstätigkeit und dient im vorliegenden Projekt als weiteres Anwendungsbeispiel.

Zu den anonymisierten Untersuchungsgebieten liegen umfangreiche Gebiets- und Niederschlagsdaten vor, auf deren Basis Wassermengensimulationen mit Hilfe des Programmes MOMENT durchgeführt wurden. In Anhang 4 sind die bauwerksspezifischen Kenndaten aufgeführt.

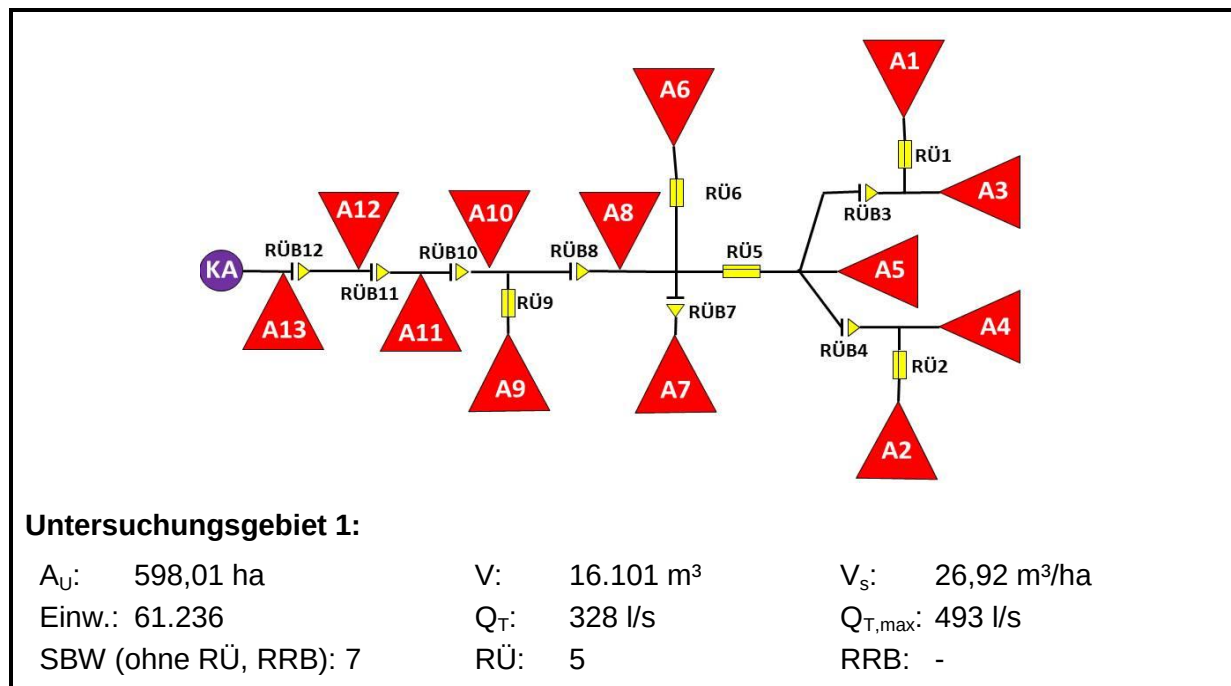


Bild 3-1: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 1 (urban geprägt, mit 7 SBW und 5 RÜ)

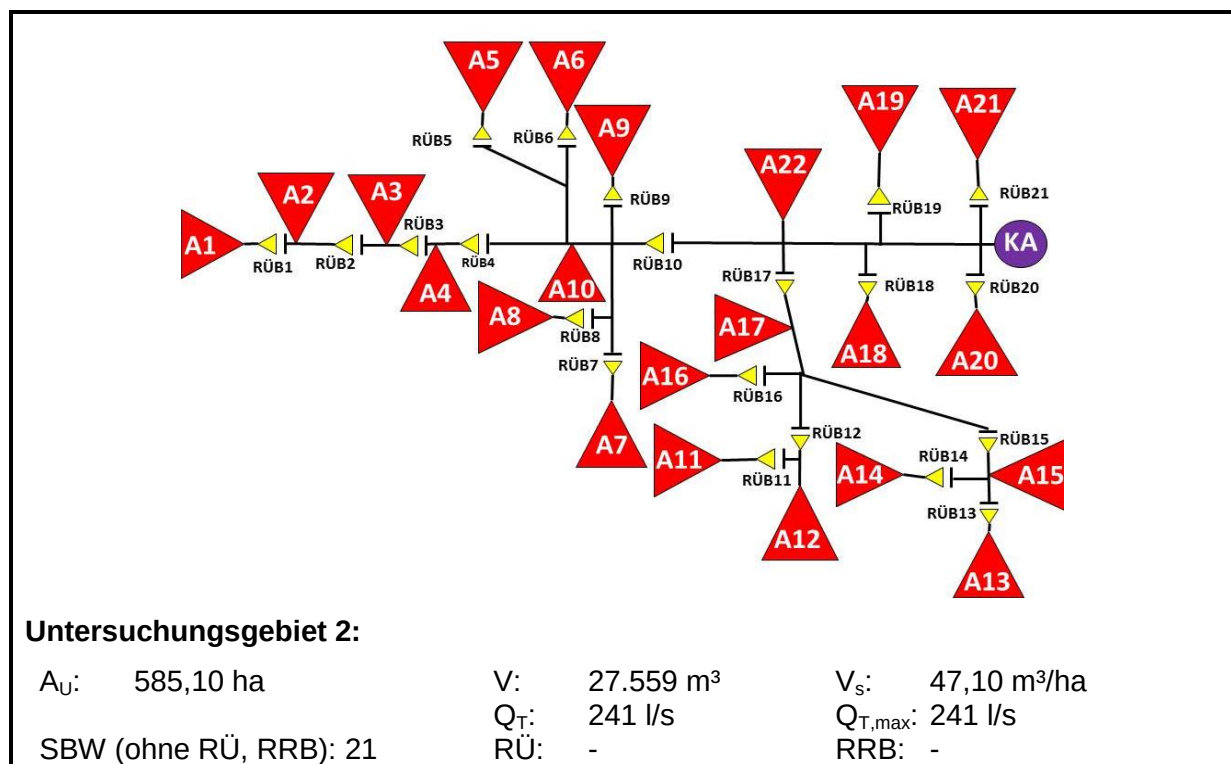


Bild 3-2: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 2 (ländlich geprägt mit 21 SBW und ohne RÜ)

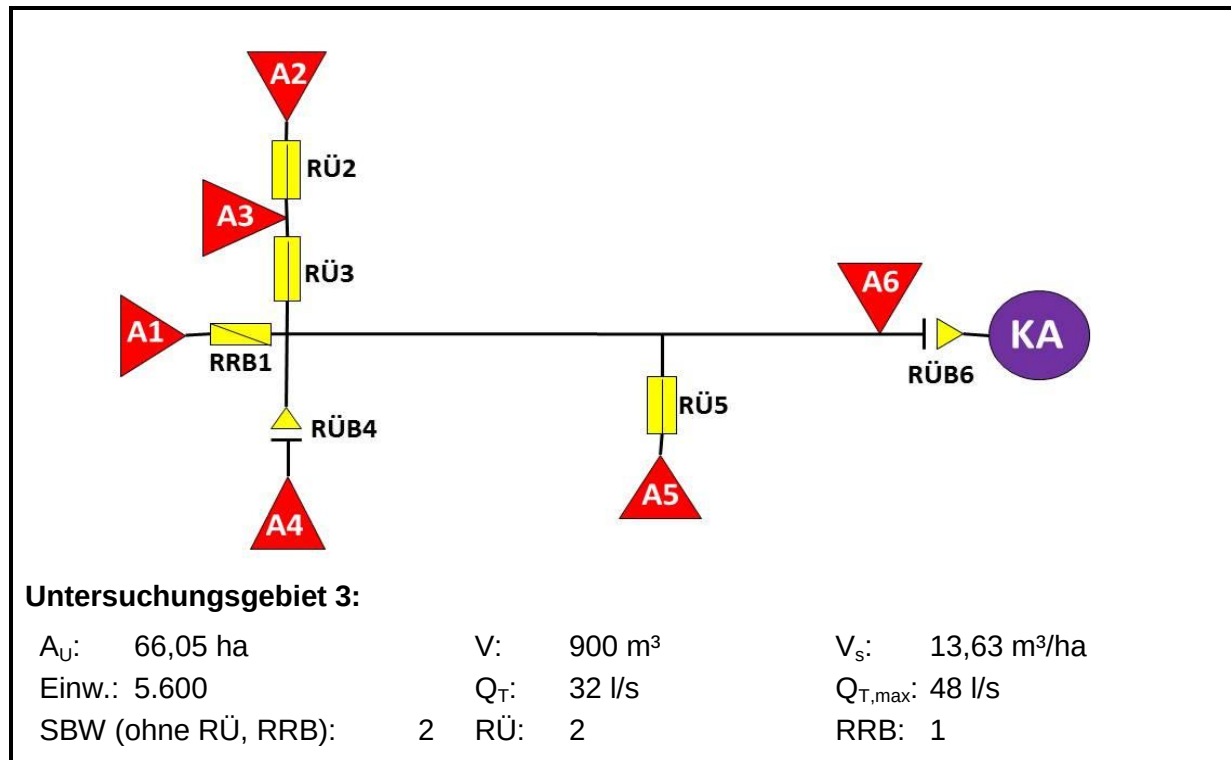


Bild 3-3: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 3 (Vergleichsgebiet aus DWA-A 128 mit 3 SBW und 3 RÜ)

3.4 Indikatoren für die Bewertung der Ansätze

Die Basis zur Bewertung der Berechnungsansätze im Vergleich zur Modellierung bilden die beiden Abflussgrößen Entlastungsrate e_0 und Entlastungsmenge Q_e .

In einem ersten Schritt wurde die prozentuale Abweichung der beiden jeweiligen Größen (berechnet im Ansatz und modelliert) ermittelt.

Zum Beispiel:

e_{0_Ansatz} : 35 %

$e_{0_Modellierung}$: 30 % → Abweichung = $(35-30)/35 = 14$ %

e_{0_Ansatz} : 12 %

$e_{0_Modellierung}$: 8 % → Abweichung = $(12-8)/12 = 33$ %

Die beiden Beispiele zeigen im Vergleich, dass, insbesondere bei niedrigen Entlastungsraten, ein schlechteres Ergebnis der Berechnungen vermittelt wird, als tatsächlich vorhanden ist. Dieses liegt daran, dass diese Bewertungsform nur auf Verhältnissen beruht. Eine Abweichung von 8 % auf 12 % Entlastungsrate beträgt beispielsweise 33 %. Bezogen auf die Entlastungsgröße e_0 liegen 8 % und 12 % jedoch in der gleichen Größenordnung (um 10 %). Hier wird deutlich, dass eine Darstellung der prozentualen Abweichungen ein schlechteres Ergebnis vermittelt, als eigentlich vorliegt.

Eine solche Bewertung ist folglich zur Beurteilung der entwickelten Ansätze nicht geeignet.

Aus diesem Grund wurden drei Bewertungsindikatoren eingeführt, die wie folgt definiert sind:

- Indikator I1 = $\sum Q_{e_Ansatz} / \sum Q_{e_Modellierung}$ [%] (bauwerksübergreifend)

Dieser Indikator ist das Verhältnis des gesamten Entlastungsvolumens eines Einzugsgebiets aus dem Ansatz zum gesamten Entlastungsvolumen des Einzugsgebiets aus der Modellierung. Er gewährleistet die grundsätzliche Vergleichbarkeit der Ansätze. Das gesamte Entlastungsvolumen des Ansatzes wird mit dem gesamten Entlastungsvolumen der Modellierung verglichen, um zu zeigen, ob die bauwerksübergreifende Entlastungssituation durch die Ansätze realistisch abgebildet wird. Nur wenn die gesamte Entlastungsmenge aus dem Ansatz eine annähernd gleiche Größenordnung aufweist wie aus der Modellierung, können auch die Entlastungsvolumen der einzelnen Bauwerke ähnliche Größenordnungen aufweisen. Die Verhältnisse werden, wie in Tabelle 3-1 dargestellt, bewertet.

Tabelle 3-1: Bewertung des Indikators I1

Verhältnis	Bewertung
$\geq 95 \% \text{ und } \leq 105 \%$	sehr gut
$\geq 90 \% \text{ und } < 95 \%, > 105 \% \text{ und } \leq 110 \%$	gut
$\geq 85 \% \text{ und } < 90 \%, > 110 \% \text{ und } \leq 115 \%$	befriedigend
$\geq 80 \% \text{ und } < 85 \%, > 115 \% \text{ und } \leq 120 \%$	ausreichend
$< 80 \% \text{ und } > 120 \%$	keine ausreichende Genauigkeit gegeben

- Indikator I2 = $e_{0_Ansatz} - e_{0_Modellierung}$ [%]

Dieser Indikator stellt die absolute Abweichung der bauwerksspezifischen Entlastungsraten (Einheit ist %) dar. An jedem Bauwerk im Einzugsgebiet wird die Differenz zwischen der Entlastungsrate des Ansatzes und der Entlastungsrate der Modellierung ermittelt, um zu zeigen, ob die bauwerksspezifische Entlastungsrate durch die Ansätze realistisch abgebildet wird. Die Abweichungen werden, wie in Tabelle 3-2 dargestellt, bewertet.

Tabelle 3-2: Bewertung des Indikators I2

Abweichung	Bewertung
+/- 2,0 %	sehr gut
+/- 4,0 %	gut
+/- 6,0 %	befriedigend
+/- 8,0 %	ausreichend
> 8 %	keine ausreichende Genauigkeit gegeben

- Indikator I3 = Anteil Q_{e_Ansatz} [%] – Anteil $Q_{e_Modellierung}$ [%]

Dieser Indikator bildet die absolute Differenz zwischen dem Anteil des bauwerksspezifischen Entlastungsvolumens am Gesamtentlastungsvolumen des berechneten Ansatzes und dem Anteil des bauwerksspezifischen Entlastungsvolumens am Gesamtentlastungsvolumen der Modellierung. Es wird also zunächst für jedes Bauwerk berechnet, wie hoch der Anteil der Entlastungsmenge in Bezug auf die Gesamtentlastungsmenge des Systems ist (sowohl für den berechneten Ansatz als auch für die Ergebnisse der Modellierung). Anschließend wird die Differenz gebildet vom Wert des berechneten Ansatzes und vom Wert aus der Modellierung. Durch diesen Indikator wird gezeigt, ob das Verhältnis der Entlastungstätigkeit zwischen den verschiedenen RÜB durch die Ansätze realistisch abgebildet wird. Zusammen mit Indikator I1 zeigt dieser Wert, wie gut die Entlastungsmenge pro Bauwerk durch einen Ansatz im Vergleich zur Modellierung abgebildet wird.

Die Abweichungen werden, wie in Tabelle 3-2 dargestellt, bewertet.

Tabelle 3-3: Bewertung des Indikators I2

Abweichung	Bewertung
+/- 2,5 %	sehr gut
+/- 5,0 %	gut
+/- 7,5 %	befriedigend
+/- 10,0 %	ausreichend
> 10 %	keine ausreichende Genauigkeit gegeben

Zur weiteren Überprüfung wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Parameter bewerten und entsprechend berücksichtigen zu können (siehe Kapitel 5).

4 Entwicklung von Ansätzen zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen

4.1 Beschreibung der Ansätze

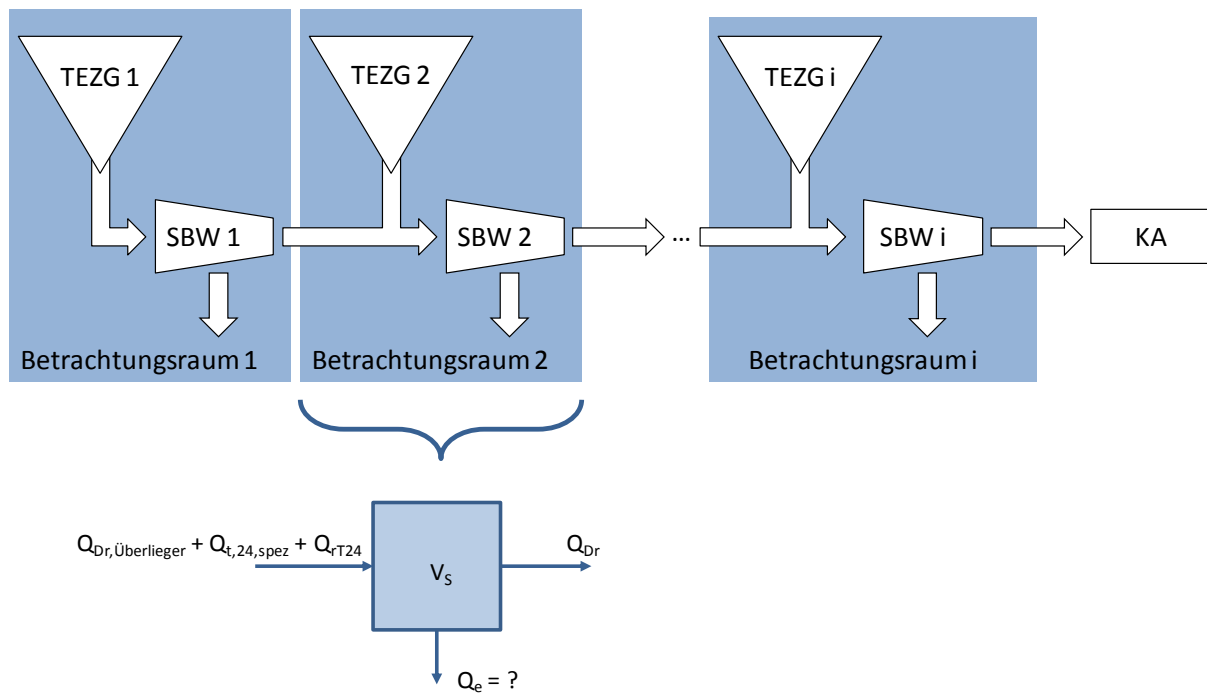
Bei der Entwicklung von Ansätzen zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischwassersystemen wurde an die Untersuchungen in dem Projekt „Niederschlagswassereinleitungen in NRW – Ermittlung der punktuellen Entlastungsvolumenströme aus Mischsystemen in NRW“ (Pinnekamp et al., 2005) angeknüpft. Dabei wurde ein Formelansatz entwickelt, der die Entlastungsraten für unterschiedliche Kläranlageneinzugsgebiete und ihre Niederschlagsregime in Abhängigkeit von dem spezifischen Speichervolumen (V_S) und der Regenabflussspende im Drosselabfluss ($q_{R,Dr}$) darstellt. Die hinter diesem Ansatz steckenden Überlegungen und die Grundlagen des ATV-Arbeitsblatts A 128 wurden genutzt, um die hier vorgestellten Ansätze zu entwickeln.

Die Eingangsdaten für die Ansätze können aus den Landesdatenbanken (REBEKA bzw. ELKA) entnommen werden (s. Anhang 1). Für den Jahresniederschlag wird jedoch empfohlen, die „spezifische langjährige mittlere Niederschlagshöhe“ des jeweiligen Teileinzugsgebiets (entsprechend der 293 Teileinzugsgebiete der zweijährlichen Broschüre „Stand und Entwicklung der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen“) zu verwenden. Die Werte für den spezifischen langjährigen mittleren Niederschlag liegen dem LANUV geprüft vor (MKULNV, Stand 2012).

Im Folgenden werden drei Ansätze vorgestellt, die vertieft untersucht wurden.

4.1.1 Ansatz 1: „Direkteinzugsgebietsbilanz“ (A 128, Anhang 3)

Ansatz 1 für die Ermittlung punktueller Mischwassereinleitungen basiert auf dem vereinfachten Aufteilungsverfahren nach Anhang 3 des Arbeitsblatts ATV-A 128. Bei diesem Bemessungs- bzw. Nachweisverfahren wird aus den Abflusskennwerten des jeweiligen Teileinzugsgebietes und der zulässigen Jahresentlastungsrate e_0 einer Regenentlastungsanlage das spezifische Speichervolumen V_S ermittelt. Im Gegensatz dazu erfolgt im Ansatz 1 in einem bereits vorhandenen Mischwassernetz bzw. seinen Einzelbauwerken die Bilanzierung von Q_e bzw. der Entlastungsrate e_0 durch das vorgegebene V_S (Bild 4-1).

**Bild 4-1: Betrachtungsräume in Ansatz 1 und Volumenbilanz**

Zur Nutzung des Ansatzes wird wie folgt vorgegangen (s. Zentralbeckenansatz ATV-A 128):

Entlastungsrate des Sonderbauwerks: $e_0 = H_1 / (V_S + H_2) - 6$ Gl.(4-1)

Entlastungsmenge des Sonderbauwerks: $Q_e = e_0 \cdot h_{N,a,eff} \cdot A_u$

mit:

$H_1 = (4000 + 25 \times q_{R,spez}) / (0,551 + q_{R,spez})$	Rechenwert aus ATV-A 128, Anhang 4
$H_2 = (36,8 + 13,5 \times q_{R,spez}) / (0,5 + q_{R,spez})$	Rechenwert aus ATV-A 128, Anhang 4
$q_{R,spez} = Q_{R,24,spez} / A_u$	Regenabflussspende des an das SBW angeschlossenen Mischgebietes aus dem Drosselablauf des SBW
$Q_{R,24,spez} = Q_{Dr} - Q_{T,24,spez} - Q_{Dr, \text{überlieger}} - Q_{R,T,spez}$	spezifischer Regenabfluss (im Tagesmittel) aus Mischgebieten der direkt an das SBW angeschlossenen Fläche
$A_u = A_{u,RÜB} + A_{u,RÜ} + A_{u,RRB}$ (falls RÜ, RRB im betrachteten Gebiet vorhanden)	undurchlässige Fläche des direkten an das SBW angeschlossenen Ein-

	zugsgebiets
Q_{Dr}	Drosselabfluss des betrachteten SBW
$Q_{T,24, spez}$	Trockenwetterabfluss (im Tagesmittel) aus dem direkt an das SBW angeschlossenen Einzugsgebiet
$Q_{Dr, Überlieger}$	Drosselabfluss des überliegenden SBW
$Q_{R, Tr, spez}$	Regenabfluss (im Tagesmittel) aus dem direkt an das SBW angeschlossenen Trenngebiet
$h_{Na, eff} = h_{Na} \times \psi_m$	abflusswirksame Niederschlagshöhe
h_{Na}	langjährige mittlere Niederschlagshöhe
ψ_m	mittlerer Abflussbeiwert (früher (nach ATV-A 128) Gesamtabflussbeiwert) ($\psi_m = 0,7$)
V_S	spezifisches Speichervolumen des SBW

Alle Eingabeparameter beziehen sich jeweils auf das Direkteinzugsgebiet des betrachteten Beckens (vgl. Bild 4-1). In ELKA wird zur Berechnung der undurchlässigen Fläche gemäß ATV-A 128 $A_U = A_{E,b}$, wenn keine Angabe zum Abflussbeiwert vorhanden sind. Damit wird der Abfluss i. d. R. überschätzt. Auf Basis der vorliegenden Arbeit wird, sofern A_U nicht bekannt ist, ein Abflussbeiwert von $\psi = 0,85$ für die befestigte Flächen $A_{E,b}$ zur Ermittlung der abflusswirksamen Fläche empfohlen.

4.1.2 Ansatz 2: „Multizentralbeckenansatz“

In Ansatz 2 werden die Sonderbauwerke im Verbund mit jeweils allen überliegenden Teileinzugsgebieten betrachtet. Dazu wird der Zentralbeckenansatz (ATV-A 128) auf das anfangsständige Bauwerk (vgl. Bild 4-2, Betrachtungsraum 1) mit dem direkt angeschlossenen Einzugsgebiet (TEZG 1) angewendet und die Entlastungsrate e_0 sowie das Entlastungsvolumen Q_e werden errechnet. Anschließend wird der Zentralbeckenansatz im Betrachtungsraum 2

durchgeführt, um das summarische Entlastungsvolumen des zweiten und ersten SBW zu ermitteln. Das Entlastungsvolumen für das SBW 2 ergibt sich aus der Differenz zu dem Entlastungsvolumen aus dem ersten Betrachtungsraum. Das Verfahren wird fortlaufend bis zur Kläranlage durchgeführt. Der letzte Betrachtungsraum i entspricht letztendlich dem herkömmlichen Zentralbeckenansatz. Als Formel kann die Ermittlung von Q_e des Sonderbauwerks i folgendermaßen beschrieben werden:

$$\text{Entlastungsmenge des Sonderbauwerks: } Q_{e,SBWi} = Q_{e,i} - Q_{e,i-1} \quad \text{Gl.(4-2)}$$

mit:

$Q_{e,SBWi}$	Entlastungsmenge des direkten am Sonderbauwerk i angeschlossenen Einzugsgebiets
$Q_{e,i} = e_{0,i} * h_{Na,eff} * A_{u,i}$	Entlastungsmenge des gesamten am Sonderbauwerk i angeschlossenen Einzugsgebiets
$e_{0i} = H_1 / (V_{s,i} + H_2) - 6$	Entlastungsrate des gesamten am Sonderbauwerk i angeschlossenen Einzugsgebiets
$H_1 = (4000 + 25 \times q_{R,i}) / (0,551 + q_{R,i})$	Rechenwert aus ATV-A 128, Anhang 4 (für das gesamte am SBW i angeschlossene Einzugsgebiet)
$H_2 = (36,8 + 13,5 \times q_{R,i}) / (0,5 + q_{R,i})$	Rechenwert aus ATV-A 128, Anhang 4 (für das gesamte am SBW i angeschlossene Einzugsgebiet)
$q_{R,i} = Q_{R,24,i} / A_{u,i}$	Regenabflussspende aus dem Drosselablauf des SBW i (für das gesamte am SBW i angeschlossene Einzugsgebiet)
$Q_{R,24,i} = Q_{Dr,i} - Q_{t,24,i} - Q_{R,Tr,i}$	spezifischer Regenabfluss (im Tagesmittel) aus Mischgebieten aller an das SBW angeschlossenen Flächen
$A_{u,i} = A_{u,RÜB,i} + A_{u,RÜ,i} + A_{u,RRB,i}$ (falls RÜ,	undurchlässige Fläche (für das ge-

RRB im betrachteten Gebiet vorhanden)	samte am SBW i angeschlossene Einzugsgebiet)
$A_{u,SBWi}$	Undurchlässige Fläche des Direktinzugsgebiets des SBW
$Q_{Dr,i}$	Drosselabfluss des betrachteten SBW
$Q_{T,24,i}$	Trockenwetterabfluss (im Tagesmittel) aus dem an das SBW anschließenden gesamten Einzugsgebiet
$Q_{R,Tr,i}$	Regenabfluss (im Tagesmittel) aus dem an das SBW anschließenden gesamten Trenngebiet
$h_{Na,eff} = h_N \times \psi_m$	abflusswirksame Niederschlagshöhe
h_{Na}	langjährige mittlere Niederschlagshöhe
ψ_m	mittlerer Abflussbeiwert (früher (nach ATV-A 128) Gesamtabflussbeiwert) ($\psi_m = 0,7$)
$V_{S,i}$	spezifisches Speichervolumen des SBW (für das gesamte am SBW i angeschlossene Einzugsgebiet)

In Bild 4-2 ist das Vorgehen nochmal schematisch dargestellt. Vereinfacht ausgedrückt wird vom Betrachtungsraum i immer der Betrachtungsraum i-1 abgezogen.

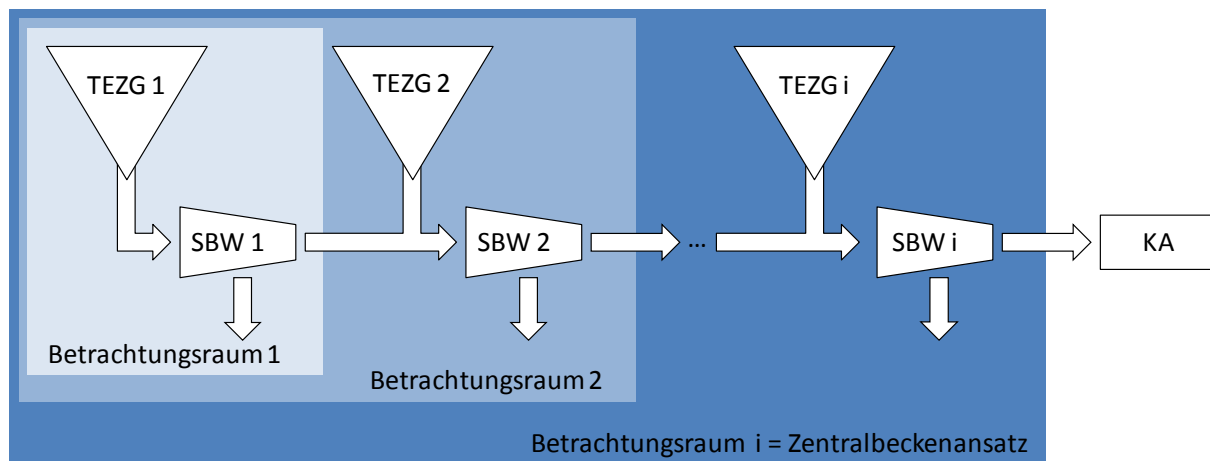


Bild 4-2: Schematische Darstellung der Betrachtungsräume in Ansatz 2

4.1.3 Ansatz 3: Vergleich des spezifischen Speichervolumens

In Ansatz 3 wird das vorhandene spezifische Speichervolumen $V_{S,ist}$ mit dem Soll-Volumen $V_{S,soll}$ in Relation gesetzt. $V_{S,soll}$ wird wiederum mit dem Ansatz aus Anhang 3 des ATV-Arbeitsblattes A 128 für jedes TEZG ermittelt. Die Relation von $V_{S,ist}$ zu $V_{S,soll}$ zeigt, ob und wie gut die Anforderungen nach ATV-A 128 erfüllt sind. Tabelle 4-1 zeigt beispielhafte Ergebnisse für den Vergleich der spezifischen Speichervolumina (dargestellt als Relation $V_{S,ist}/V_{S,soll}$) mit den dazugehörigen Entlastungsraten aus MOMENT.

Tabelle 4-1: Relation von $V_{S,ist}$ zu $V_{S,soll}$ und Entlastungsraten e_0 in Untersuchungsgebiet 1

Faktor	Relation $V_{S,ist} / V_{S,soll}$ [%]	e_0 (aus MOMENT)
RÜB 3	-20,40	38
RÜB 4	995,65	21
RÜB 7	*	12
RÜB 8	-40,63	40
RÜB 10	-35,94	39
RÜB 11	-34,50	38
RÜB 12	-26,68	37
* aufgrund des hohen Drosselabflusses ist kein Speichervolumen erforderlich		

Die lineare Regression zwischen der Relation $V_{S,ist}/V_{S,soll}$ und e_0 zeigt ein Bestimmtheitsmaß von nur $R^2=0,55$ (ohne die „Extrembecken“ RÜB 4 und RÜB 7).

Aufgrund des niedrigen Bestimmtheitsmaßes und der Tatsache, dass mit diesem Ansatz die jeweiligen Becken nur qualitativ bewertet werden können und keine Abschätzung der Emissionen möglich ist, wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Ansätze 1 und 2 ausführlich beschrieben.

4.2 Ergebnisse der Ansätze

Die Ansätze wurden zunächst an einem mittelgroßen Einzugsgebiet geprüft, Untersuchungsgebiet 1 (vgl. Kapitel 3.3). Anschließend wurden die Ansätze an Untersuchungsgebiet 2 und Untersuchungsgebiet 3 angewendet und abschließend im Zuge einer Sensitivitätsanalyse weitere Einflüsse untersucht (vgl. Kapitel 5). Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete 1, 2 und 3 dargestellt. Hierbei wurde für alle drei Untersuchungsgebiete mit einer mittleren Jahresniederschlagshöhe von 812 mm gerechnet. Dieser Wert wurde aus den langjährigen Aufzeichnungen der Niederschläge aus Untersuchungsgebiet 1 übernommen, da er in derselben Größenordnung wie der mittlere jährliche Niederschlag (789 mm) in Deutschland liegt (DWD, 2011) und damit als repräsentativ angesehen werden kann. In NRW liegt die langjährige mittlere Jahressumme des Gebietsniederschlags der Jahre 1980 bis 2011 bei knapp ca. 890 mm/a (siehe Lagebericht Abwasser, 16. Auflage, 2014).

4.2.1 Ergebnisse Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1)

Die Ergebnisse von Ansatz 1 für das Untersuchungsgebiet 1 sind in Tabelle 4-2 aufgeführt. Neben den Ergebnissen des Ansatzes sind die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung mit dem Programm MOMENT und die Bewertungsindikatoren dargestellt.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 1

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	MOMENT			Ansatz 1			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\frac{\sum Q_{e,Ansatz1}}{\sum Q_{e,Moment}}$	$\frac{e_{0,Ansatz1}}{e_{0,Moment}}$ (Betrag)	$\frac{Q_{e,Ansatz1}}{Q_{e,Moment}}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m³	(%)	(%)	m³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB4	38,0	36.840	3,2	40,8	40.408	3,6		2,8	0,5
RÜB3	21,0	25.043	2,2	21,4	23.145	2,1		0,4	0,1
RÜB7	12,0	17.050	1,5	8,1	10.192	0,9		3,9	0,6
RÜB8	40,0	294.976	25,4	40,4	273.044	24,5		0,4	0,9
RÜB10	39,0	302.133	26,0	38,1	288.824	25,9		0,9	0,1
RÜB11	38,0	186.570	16,0	43,7	193.960	17,4		5,7	1,3
RÜB12	37,0	300.127	25,8	35,4	285.492	25,6		1,6	0,2
Summe		1.162.739			1.115.066		95,9		
Mittelwert								2,2	0,5

Aus der Tabelle wird durch die Bewertungsindikatoren (rechte Spalten) schnell ersichtlich, dass die Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz sehr gut bis gut die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung für das Untersuchungsgebiet 1 widerspiegeln (siehe Bewertungsskala aus Kapitel 3.4). Die Gesamtentlastungsmenge stimmt zu 95,9 % überein. Für die Bewertungsindikatoren I2 und I3 liegen die Abweichungen ebenfalls im einstelligen Prozentbereich.

In Tabelle 4-3 sind die Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet 2 dargestellt. Betrachtet man die Ergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet 2 vor dem Hintergrund der Plausibilität, fällt auf, dass negative Werte für Entlastungsraten bzw. -volumina ausgegeben werden, die so in der Realität nicht vorkommen können (RÜB 3 und RÜB 21). Bei der genaueren Analyse der Eingangsdaten wird ersichtlich, dass beide Becken auffällige Eingangsdaten haben, die durch sehr niedrige Werte für die undurchlässige Fläche A_u im Verhältnis zum Drosselabfluss Q_{Dr} und zum Beckenvolumen V gekennzeichnet sind. Ein weiterer Sonderfall tritt auf, wenn die Summe der Drosselabflüsse aus den überliegenden Bauwerken ($Q_{Dr,Überlieger}$) größer als der Drosselabfluss Q_{Dr} des betrachteten SBW ist.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 2

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	MOMENT			Ansatz 1			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\frac{\sum Q_{e,Ansatz1}}{\sum Q_{e,Moment}}$	$e_{0,Ansatz1} - e_{0,Moment}$ (Betrag)	$Q_{e,Ansatz1} - Q_{e,Moment}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m ³	(%)	(%)	m ³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB1	27,0	25.133	2,7	25,9	22.969	2,8		1,1	0,1
RÜB2	27,0	30.420	3,3	24,7	27.217	3,3		2,3	0,0
RÜB3	22,0	4.548	0,5	-3,9	-2.278	-0,3		25,9	0,8
RÜB4	27,0	68.570	7,4	18,2	35.244	4,3		8,8	3,1
RÜB5	46,0	134.097	14,4	47,5	131.955	16,0		1,5	1,6
RÜB6	27,0	33.213	3,6	26,0	30.266	3,7		1,0	0,1
RÜB8	27,0	25.056	2,7	25,1	22.286	2,7		1,9	0,0
RÜB7	20,0	33.511	3,6	17,8	28.362	3,4		2,2	0,2
RÜB9	28,0	29.200	3,1	25,6	26.037	3,2		2,4	0,0
RÜB10	29,0	75.276	8,1	26,4	84.493	10,2		2,6	2,2
RÜB11	28,0	9.534	1,0	25,6	8.448	1,0		2,4	0,0
RÜB16	27,0	38.633	4,2	25,8	35.757	4,3		1,2	0,2
RÜB12	28,0	42.306	4,5	26,5	38.907	4,7		1,5	0,2
RÜB14	28,0	16.570	1,8	26,2	14.871	1,8		1,8	0,0
RÜB13	26,0	9.708	1,0	24,5	8.778	1,1		1,5	0,0
RÜB15	25,0	23.578	2,5	3,9	3.964	0,5		21,1	2,1
RÜB17	27,0	223.645	24,0	28,4	223.166	27,1		1,4	3,0
RÜB18	28,0	22.457	2,4	25,7	20.009	2,4		2,3	0,0
RÜB19	27,0	26.159	2,8	25,4	23.385	2,8		1,6	0,0
RÜB20	18,0	56.762	6,1	14,4	42.592	5,2		3,6	0,9
RÜB21	5,0	1.978	0,2	-4,5	-1.623	-0,2		9,5	0,4
Summe		930.354			824.804		88,7		
Mittelwert								4,6	0,7

Diese Eingangsdaten führen zu unplausiblen Werten für die Regenabflussspenden q_R und die spezifischen Speichervolumina V_s . Aus V_s und q_R ergibt sich wiederum e_0 , das rechnerisch dann negativ wird. Es wird also deutlich, dass Ansatz 1 außerhalb des Anwendungsbe-

reichs des ATV-A 128 (Anhang 4) nicht anwendbar ist. Entsprechende Anwendungsgrenzen müssen bei einer möglichen Einbindung in ELWAS berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 6.1.2).

Untersuchungsgebiet 2 ist größer als Untersuchungsgebiet 1 und umfasst mehr Mischwasserbehandlungsanlagen und längere Fließwege. Es wird deutlich, dass die Abweichungen vom Ansatz zur hydrologischen Modellierung etwas größer sind als bei Untersuchungsgebiet 1. Dies weist darauf hin, dass größere Einzugsgebiete höhere Abweichungen zur hydrologischen Modellierung zeigen. Tendenziell nehmen die Abweichungen Richtung Kläranlage zu und das erklärt auch, warum bei einem größeren Gebiet die Abweichungen höher sind.

Um das Ziel zu erreichen, mit einem relativ einfachen Berechnungsansatz eine bauwerks-scharfe Abschätzung der Entlastungstätigkeit vorzunehmen, ist die hier erreichte Genauigkeit jedoch als gut bis befriedigend zu bezeichnen. Die Herangehensweise soll nicht die hydrologische Modellierung ersetzen, sondern lediglich Hinweise geben, welche Mischwasserbehandlungsanlagen ggf. vertieft zu betrachten sind, um die Entlastungstätigkeit zu vermindern und Maßnahmen zu ergreifen.

Für Untersuchungsgebiet 3, welches als eher klein zu bezeichnen ist, ist das Ergebnis bzgl. des Bewertungsindikators I1 als gerade noch als ausreichend zu bezeichnen. Die Bewertungsindikatoren I2 und I3 sind jedoch gut (vgl. Tabelle 4-4), so dass insgesamt ein befriedigendes Ergebnis vorliegt. Die Ungenauigkeit bzgl. der Entlastungsmenge liegt in der im Verhältnis relativ hohen Anzahl an RÜ und RRB bezogen auf die RÜB begründet.

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für das Untersuchungsgebiet 3

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	Moment			Ansatz 1			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\frac{\sum Q_{e,Ansatz1}}{\sum Q_{e,Moment}}$	$e_{0,Ansatz1} - e_{0,Moment}$ (Betrag)	Anteil $Q_{e,Ansatz1} -$ Anteil $Q_{e,Moment}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m ³	(%)	(%)	m ³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB4	43,0	25.489,0	14,4	44,2	25.143,1	11,9		1,2	2,6
RÜB6	54,0	151022,0	85,6	58,7	186.877,3	88,1		4,7	2,6
Summe		176.511			212.020		120,1		
Mittelwert								3,0	2,6

Insgesamt können die Ergebnisse von Ansatz 1 als gut bezeichnet werden, da sie im Mittel die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung gut widerspiegeln.

4.2.2 Ergebnisse Multizentralbeckenansatz (Ansatz 2)

Die Ergebnisse von Ansatz 2 für Untersuchungsgebiet 1 sind in Tabelle 4-5 aufgeführt. Neben den Ergebnissen des Ansatzes sind hier, wie bei Ansatz 1 auch, die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung mit dem Programm MOMENT und die Bewertungsindikatoren dargestellt.

Tabelle 4-5: Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 1

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	MOMENT			Ansatz 2			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\Sigma Q_{e,Ansatz2} / \Sigma Q_{e,Moment}$	$e_{0,Ansatz2} - e_{0,Moment}$ (Betrag)	Anteil $Q_{e,Ansatz2} -$ Anteil $Q_{e,Moment}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m ³	(%)	(%)	m ³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB4	38,0	36.840	3,2	40,8	40.408	3,5		2,8	0,3
RÜB3	21,0	25.043	2,2	21,6	23.324	2,0		0,6	0,2
RÜB7	12,0	17.050	1,5	8,1	10.192	0,9		3,9	0,6
RÜB8	40,0	294.976	25,4	40,4	283.171	24,2		0,4	1,2
RÜB10	39,0	302.133	26,0	40,6	308.826	26,4		1,6	0,4
RÜB11	38,0	186.570	16,0	41,9	207.361	17,7		3,9	1,7
RÜB12	37,0	300.127	25,8	40,4	296.405	25,3			
Summe		1.162.739			1.169.688		100,6		
Mittelwert								2,2	0,7

Auch die Ergebnisse des Ansatzes 2 spiegeln die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung gut wider (siehe Bewertungsskalen aus Kapitel 3.4). Das Verhältnis der Gesamtentlastungsmengen aus Ansatz und Modellierung bei Untersuchungsgebiet 1 beträgt 100,6 %. Die Gesamtentlastungsmengen weichen also lediglich um 0,6 % voneinander ab und die Abweichungen der Bewertungsindikatoren I2 und I3 liegen im einstelligen Bereich, so dass ein gutes bis sehr gutes Ergebnis vorliegt.

Im Untersuchungsgebiet 2 weichen die Ergebnisse aufgrund der Größe des Untersuchungsgebiets etwas mehr ab (vgl. Tabelle 4-6). Die Ergebnisse sind auf den ersten Blick als nicht ausreichend zu bezeichnen bzgl. der Bewertungsindikatoren I1 und I2. Lässt man aber die Ausreißer (RÜB 3, RÜB 10 und RÜB 12) außen vor, sind die Ergebnisse als gut zu bezeichnen. Die Ergebnisse sind etwas schlechter als die von Ansatz 1. Es gibt zudem mehr negative (unplausible) Ergebnisse für e_0 als bei Ansatz 1 (s. Seite 19). Die rechnerischen Zusammenhänge sind analog zu Ansatz 1, die Auswirkungen betreffen jedoch mehr SBW. Dies folgt aus der Tatsache, dass Unplausibilitäten aus oberliegenden Gebieten im Berechnungs-

gang kumuliert und mitgeführt werden. Die Berechnungsgüte des Entlastungsverhaltens eines bestimmten Beckens ist somit immer auch von der Berechnungsgüte aller überliegenden Gebiete abhängig (vgl. Kapitel 6.1.3).

Tabelle 4-6: Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 2

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	MOMENT			Ansatz 2			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\frac{\sum Q_{e,Ansatz2}}{\sum Q_{e,Moment}}$	$e_{0,Ansatz2} - e_{0,Moment}$ (Betrag)	Anteil $Q_{e,Ansatz2} -$ Anteil $Q_{e,Moment}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m ³	(%)	(%)	m ³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB1	27,0	25.133	2,7	31,76	28.160	4,1		4,8	1,4
RÜB2	27,0	30.420	3,3	16,71	18.425	2,7		10,3	0,6
RÜB3	22,0	4.548	0,5	-77,64	-45.454	-6,7		99,6	7,2
RÜB4	27,0	68.570	7,4	45,98	88.861	13,1		19,0	5,7
RÜB5	46,0	134.097	14,4	47,47	131.955	19,4		1,5	5,0
RÜB6	27,0	33.213	3,6	25,97	30.266	4,5		1,0	0,9
RÜB9	28,0	29.200	3,1	25,59	26.037	3,8		2,4	0,7
RÜB8	27,0	25.056	2,7	25,13	22.286	3,3		5,1	0,3
RÜB7	20,0	33.511	3,6	17,82	28.362	4,2		10,2	1,0
RÜB10	29,0	75.276	8,1	-24,27	-77.675	-11,4		53,3	19,5
RÜB11	28,0	9.534	1,0	25,62	8.448	1,2		2,4	0,2
RÜB12	28,0	42.306	4,5	76,59	112.311	16,5		49,6	12,4
RÜB16	27,0	38.633	4,2	25,78	35.757	5,3		2,2	0,7
RÜB14	28,0	16.570	1,8	26,16	14.871	2,2		1,8	0,4
RÜB13	26,0	9.708	1,0	24,51	8.778	1,3		1,5	0,2
RÜB15	25,0	23.578	2,5	-4,38	-4.432	-0,7		29,4	3,2
RÜB17	27,0	223.645	24,0	21,47	168.536	24,8		5,5	0,8
RÜB18	28,0	22.457	2,4	25,69	20.009	2,9		2,3	0,5
RÜB19	27,0	26.159	2,8	25,40	23.385	3,4		1,6	0,6
RÜB20	18,0	56.762	6,1	14,38	42.592	6,3		3,6	0,2
RÜB21	5,0	1.978	0,2	-4,46	-1.623	-0,2		9,5	0,5
Summe		930.354			679.853		73,1		
Mittelwert								15,1	3,0

Für Untersuchungsgebiet 3 sind die Ergebnisse als sehr gut bis gut zu bezeichnen und sind somit etwas besser als die Ergebnisse von Ansatz 1, insbesondere bzgl. des Bewertungsindikators I1 (vgl. Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Ergebnisse des Multi-Zentralbeckenansatzes (Ansatz 2) für das Untersuchungsgebiet 3

	Ergebnisse						Bewertungsindikatoren		
	Moment			Ansatz 2			I1	I2	I3
	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	e_0	Q_e	Anteil Q_e an $Q_{e,ges}$	$\frac{\sum Q_{e,Ansatz2}}{\sum Q_{e,Moment}}$	$e_{0,Ansatz2} - e_{0,Moment}$ (Betrag)	Anteil $Q_{e,Ansatz2} -$ Anteil $Q_{e,Moment}$ (Betrag)
Bauwerk	(%)	m ³	(%)	(%)	m ³	(%)	(%)	(%)	(%)
RÜB4	43,0	25.489,0	14,4	44,2	25.143,1	13,3		1,2	1,2
RÜB6	54,0	151022,0	85,6	50,5	164.394,1	86,7		3,5	1,2
Summe		176.511			189.537		107,4		
Mittelwert								2,4	1,2

Insgesamt können somit auch die Ergebnisse des Ansatzes 2 als gut bezeichnet werden. Für das kleinere Gebiet sind die Ergebnisse etwas besser als die von Ansatz 1, für das größere Gebiet etwas schlechter.

Im folgenden Kapitel wird der Einfluss verschiedener Parameter auf die Ansätze 1 und 2 mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen geprüft.

5 Tiefergehende Betrachtung und Weiterentwicklung der Ansätze

Die oben eingeführten Berechnungsansätze (Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1), vgl. Kapitel 4.1.1 und Multizentralbeckenansatz (Ansatz 2), vgl. Kapitel 4.1.2) sollen im Weiteren auf ihre Sensitivität gegenüber unterschiedlichen Parametern und weiterer Sonderbauwerke untersucht werden. Sofern bestimmte Eingangsparameter bzw. weitere Sonderbauwerke die Berechnungsergebnisse beeinflussen, werden Korrekturfaktoren zur Abminderung bzw. Erhöhung der jeweils berechneten punktuellen Entlastungsmengen eingeführt.

Die Berechnungen zu dem Einfluss unterschiedlicher Eingangsparameter bzw. Sonderbauwerke erfolgt zunächst an Untersuchungsgebiet 1. Da Untersuchungsgebiet 2 ausgeprägtere Fließzeiten als Untersuchungsgebiet 1 aufweist, werden die zusammenhängenden Gebietsparameter Fließzeit und Neigungsgruppe in Untersuchungsgebiet 2 untersucht.

Im Folgenden werden die untersuchten Einflussfaktoren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Ergebnishüte der Entwicklungsansätze erläutert.

5.1 Einfluss von Regenrückhaltebecken (RRB)

Zur Untersuchung des Einflusses von RRB auf die Entlastungsraten wurden in Untersuchungsgebiet 1 zwei fiktive RRB eingesetzt: Bild 5-1 zeigt die relativen Positionen von RRB a und RRB b.

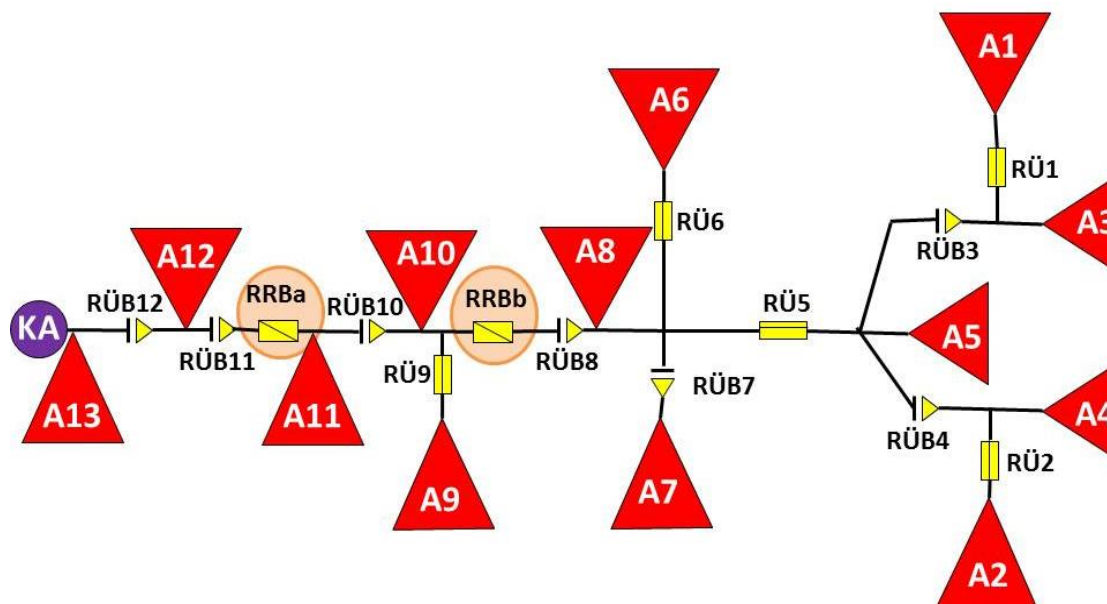


Bild 5-1: Netzplan Untersuchungsgebiet 1 mit fiktiven RRB (eingekreist)

Die Kombination der Regenrückhaltebecken, sowie ihre Speichervolumina und Drosselabflüsse wurden für drei unterschiedliche Niederschlagshöhen variiert. Tabelle 5-1 fasst die untersuchten Varianten zusammen.

Die Entlastungsraten und -volumina der unterschiedlichen Varianten wurden mit MOMENT berechnet und mit den Ergebnissen der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) anhand der drei Bewertungsindikatoren verglichen und in Anhang 3 ausführlich dargestellt.

Tabelle 5-1: Untersuchte Varianten für den Einfluss von Regenrückhaltebecken

Variante		RRB a	RRB b
Referenz		ohne	ohne
Nur RRB a	i	$V_{\text{bek}} = 20.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 600 \text{ l/s}$	ohne
	ii	$V_{\text{bek}} = 50.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 540 \text{ l/s}$	ohne
Kombination RRB a und RRB b	iii	$V_{\text{bek}} = 20.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 600 \text{ l/s}$	$V_{\text{bek}} = 20.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 250 \text{ l/s}$
	iv	$V_{\text{bek}} = 20.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 600 \text{ l/s}$	$V_{\text{bek}} = 10.000 \text{ m}^3$ $Q_d = 200 \text{ l/s}$
Einfluss Q_d	v	$V_{\text{bek}} = 99.999 \text{ m}^3$ $Q_d = \text{variabel}$	ohne

Jede Variante wurde jeweils für $h_{\text{Na}} = 812 \text{ mm}$, $h_{\text{Na}} = 670 \text{ mm}$ und $h_{\text{Na}} = 903 \text{ mm}$ untersucht.

Die Abweichungen zwischen den MOMENT-Ergebnissen und den Ergebnissen aus Ansatz 1 sind größer als beim Vergleich ohne zusätzliche RRB, da in Ansatz 1 RRB nicht gesondert berücksichtigt werden (wie auch in Ansatz 2). Die Indikatoren I1 und I2 bleiben weitestgehend unter 10 % (s. Tabellen Anhang 3-1 bis 3-3), bei der ungünstigsten Fallbetrachtung mit großem Beckenvolumen und kleiner Drossel steigt I1 auf 13 %, I2 auf 17,4 % an (Variante ii). Wie auch die grafischen Auswertungen in Anhang 3 zeigen, haben nur RRB mit kleinen Drosselabflüssen einen Einfluss: das ATV-A 128 geht davon aus, dass RRB mit Regenabflussspenden q_R von über 5 l/(s*ha) keinen wesentlichen Einfluss auf nachfolgende Entlastungen haben und das gesamte Direkteinzugsgebiet einschließlich der Gebiete oberhalb des RRB für die Bemessung maßgeblich sind. die hier untersuchten Varianten zeigen für q_R ab etwa 2 l/(s*ha) keine Einflüsse auf das Nachfolgebauwerk (Bild Anhang 3-1 bis 3-3). Zudem relativiert sich die Wirkung eines RRB auf die Abflussspitze, und damit auf das Entlastungsverhalten, mit zunehmender Entfernung zum Folgebauwerk.

Insgesamt wirken sich RRB i.d.R. also nur bedingt auf das Entlastungsverhalten aus und werden in den entwickelten Ansätzen nicht weiter beachtet.

5.2 Einfluss von Regenüberläufen (RÜ)

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, ob der Einfluss von RÜ auf das Entlastungsverhalten des Folgebauwerks (vgl. Bild 5-2, links) auf Basis der Daten aus den Datenbanken des Landes NRW ermittelt werden kann.

Tabelle 5-2 zeigt einen Ausschnitt der untersuchten Daten für drei ausgewählte Jahresniederschläge. Bei den Untersuchungen wurde nach Zusammenhängen zwischen den Bau-

werkskennndaten (A_U , Q_{Dr} und V) und den Entlastungsvolumina der Bauwerke in den jeweiligen Teileinzugsgebieten von RÜB gesucht: Untersucht wurde, ob Zusammenhänge zwischen den Flächenanteilen eines RÜ bzw. RÜB und dem Verhältnis ihrer Entlastungsvolumina bestehen. Zudem wurde der Einfluss der Drosselabflussspenden untersucht. Lineare Regressionen konnten mit Bestimmtheitsmaßen von $R^2 = 0,02$ bis $0,67$ keine Zusammenhänge zeigen (s. Anhang 2).

Tabelle 5-2: Betrachtung von RÜ im TEZG von RÜB – Auszug der Bauwerkskennndaten und der ermittelten Entlastungsvolumina in Moment und Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) für ausgewählte Jahresniederschläge

	Bauwerkskennndaten			$h_{Na} = 670 \text{ mm}$		$h_{Na} = 812 \text{ mm}$		$h_{Na} = 903 \text{ mm}$	
	A_U	Q_{Dr}	V	Q_e in m^3	Q_e in m^3	Q_e in m^3	Q_e in m^3	Q_e in m^3	Q_e in m^3
Bauwerk	ha	l/s	m^3	Moment	Ansatz1	Moment	Ansatz1	Moment	Ansatz1
RÜ2	5,4	78		2.379		4.669		2.545	
RÜB4	12,02	30	415	36.117	33.342	34.844	40.408	41.741	44.937
Summe				38.496	33.342	39.513	40.408	44.286	44.937
RÜ1	1,21	29		316		875		337	
RÜB3	17,83	64	480	22.941	19.098	24.193	23.145	20.393	25.739
Summe				23.257	19.098	25.068	23.145	20.730	25.739
RÜ5	22,93	1044		932		10.412		737	
RÜ6	5,96	71		3.733		6.579		4.337	
RÜB8	68,02	270	2496	281.450	225.295	278.253	273.044	350.314	303.644
Summe				286.115	225.295	295.244	273.044	355.388	303.644
RÜ9	10,4	250		1.759		6.215		1.464	
RÜB10	123	435	4586	283.280	238.315	286.272	288.824	338.280	321.192
Summe				285.039	238.315	292.487	288.824	339.744	321.192

Die Entlastungsvolumina der Regenüberläufe machen von der Summe der Entlastungsvolumina im jeweiligen TEZG (in Tabelle 5-2 fett gedruckt) i.d.R. $< 10\%$ aus. Auf eine differenziertere Untersuchung der Entlastungen aus RÜ und dem nachfolgenden RÜB (bzw. SK) ist im Rahmen dieser Untersuchungen in Rücksprache mit dem Auftraggeber verzichtet worden. Ansätze für tiefergehende Untersuchungen könnten auf einer Multivariaten-Analyse basieren.

Im Rahmen der hier verfolgten Entwicklungsansätze werden die Direkteinzugsgebiete von RÜ dem nachfolgenden SBW zugeordnet, sodass sich die Entlastungsraten bzw. -volumina auf den gesamten Betrachtungsraum i beziehen (vgl. Bild 5-2, rechts).

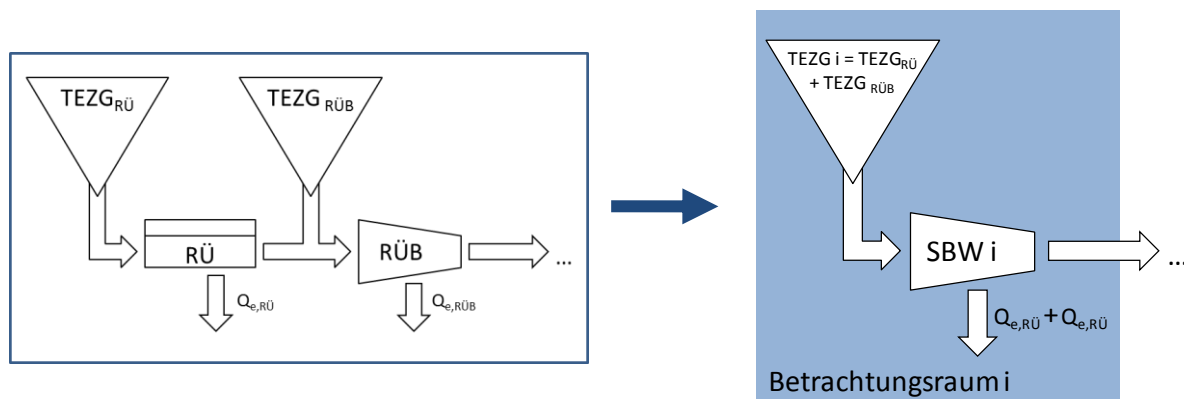


Bild 5-2: Systemskizzen – RÜ vorgelagert vor RÜB (links), rechnerische gemeinsame Betrachtung von RÜ mit nachfolgendem Sonderbauwerk in den Entwicklungsansätzen (rechts)

Für die Ausgabe der Entlastungsraten in ELWAS-Web ist unbedingt anzugeben, wenn der Wert auf ein SBW im Verbund mit einem RÜ bezogen ist (vgl. Kapitel 6.3).

5.3 Einfluss von Gebietskenngrößen – Jahresniederschlagshöhe h_{Na}

Die Berechnungsansätze 1 und 2 basieren in ihren Annahmen und Berechnungsweisen grundlegend auf dem Berechnungsansatz des ATV-Arbeitsblattes A 128. Zur Bestimmung der zulässigen Jahresentlastungsrate und aufbauend hierauf der Jahresentlastungsmenge sowie dem erforderlichen Speicherraum zur Zwischenspeicherung der Mischwasserabflüsse geht zur Berücksichtigung der Größe Niederschlag die jeweilige Jahresniederschlagsmenge in die Berechnungen ein. Somit beeinflusst der Jahresniederschlag h_{Na} maßgeblich die Berechnungsergebnisse. (Info: Die langjährig gemittelten Jahresgebietsniederschlagshöhen der Jahre 1980 bis 2011 liegen in NRW zwischen ca. 610 und 1450 mm/a und im Mittel bei 890 mm/a, hier wurden die tatsächlich in den untersuchten Gebieten vorliegenden Spannweiten der Jahresniederschläge angesetzt.)

Im Folgenden wird deshalb der Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf das in den Ansätzen ermittelte Entlastungsverhalten untersucht und dargestellt. Dazu werden die jahresbezogenen Entlastungsraten mit Hilfe des hydrologischen Simulationsmodells ermittelt und den Jahressniederschlagsmengen des jeweiligen Jahres gegenübergestellt (vgl. Kapitel 3.3). Diese Entlastungsraten werden anschließend den Entlastungsraten gegenübergestellt, die mit Hilfe des Ansatzes 1 bzw. 2 ermittelt wurden. Systematische Abweichung der mit Hilfe des vereinfachten Ansatzes ermittelten Jahresentlastungsraten gegenüber den Referenzwerten, die mit Hilfe des Modells ermittelt wurden, zeigen dann den Einfluss der Jahresnieder-

schlagsmenge auf die Güte der Berechnungsergebnisse der vereinfachten Berechnungsansätze.

Für Ansatz 1 zeigt Bild 5-3 die relativen Abweichungen der Entlastungsraten für unterschiedliche Jahresniederschlagsmengen.

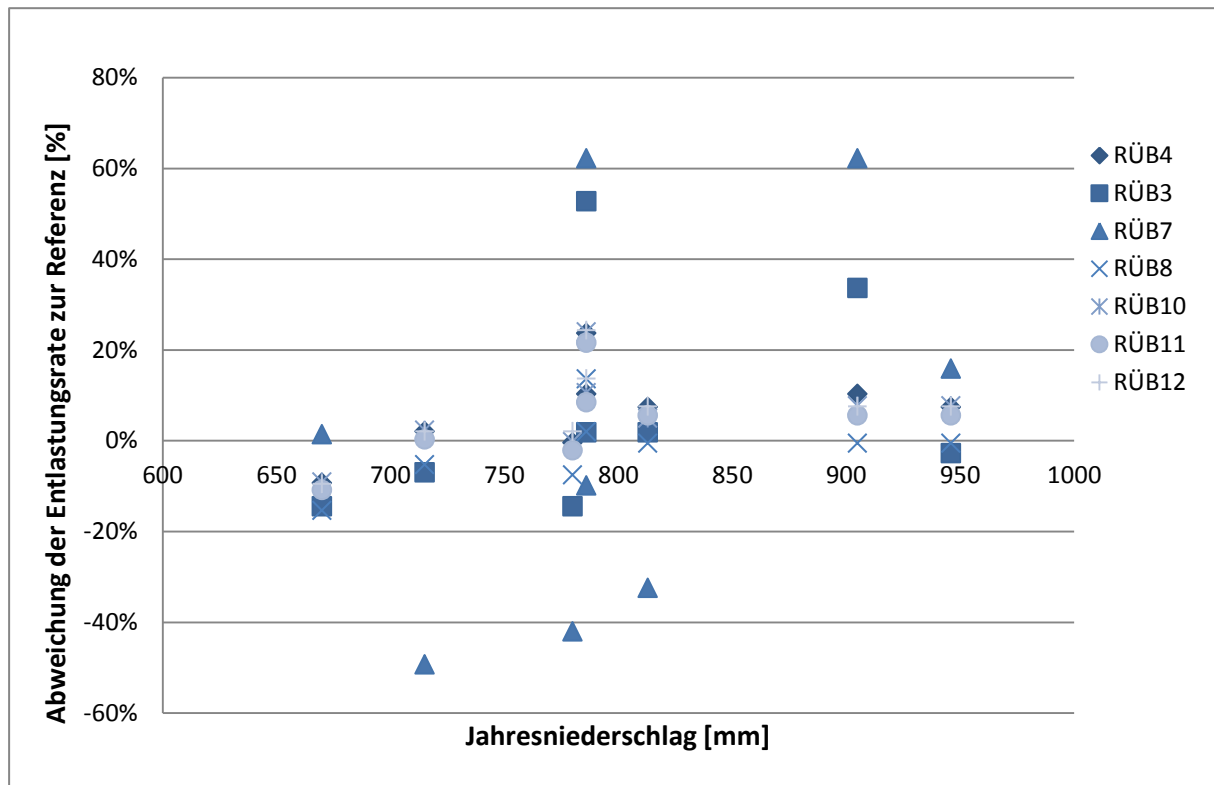


Bild 5-3: Einfluss des Jahresniederschlages auf punktuelle Entlastungen, Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1)

Bis auf RÜB 4 und RÜB 7 liegen die Abweichungen vorwiegend im Bereich von +/- 20 %. Dabei wird die Entlastungsrate in Ansatz 1 bei niedrigen Jahresniederschlagsmengen tendenziell unter- und bei hohen Jahresniederschlagsmengen überschätzt.

Die Ergebnisse des gleichen Auswerteverfahrens angewendet auf den 2. Ansatz sind in Bild 5-4 dargestellt. Die Abweichungen der Entlastungsrate zur Referenzrechnung mit Moment sind vergleichbar mit denen aus Ansatz 1.

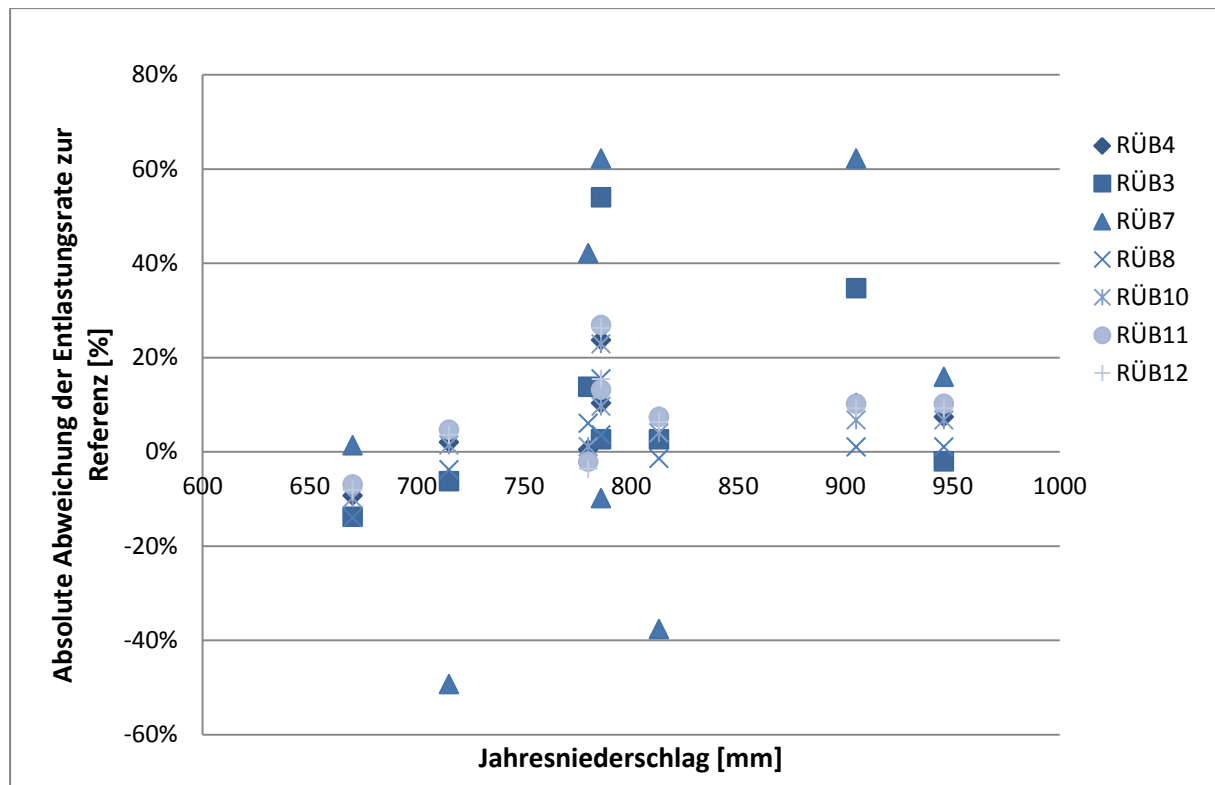


Bild 5-4: Einfluss des Jahresniederschlages auf punktuelle Einleitungen, Multi-Zentralbeckenansatz (Ansatz 2)

Bei der Interpretation der Abweichungen der Entlastungsraten zwischen der hydrologischen Simulation und den vereinfachten Ansätzen ist zu beachten, dass die hydrologische Simulation die zeitliche Verteilung der Niederschlagsintensität berücksichtigt und nicht nur die Jahresniederschlagsmenge. Besonders deutlich wird dies bei den Ergebnissen der Jahre mit etwa 800 mm Jahresniederschlagsmenge, bei denen es Jahre mit sehr geringen, aber auch höheren Abweichungen gibt.

Somit kann die Niederschlagssumme selbst nicht maßgeblich für die Qualität der Berechnungsergebnisse sein. Vielmehr beeinflusst die zeitliche Verteilung und die Niederschlagsintensität in den jeweils betrachteten Jahren das Entlastungsverhalten. Dieser Effekt kann bei einer ausschließlichen Betrachtung der Jahresniederschlagssummen, wie es im Berechnungsverfahren des ATV-Arbeitsblattes A 28 erfolgt, nicht berücksichtigt werden.

Zusammenfassend ergeben sowohl die Auswertungen von Ansatz 1 wie auch von Ansatz 2, dass nicht die Jahresniederschlagssumme das Berechnungsergebnis beeinflusst, sondern vielmehr die Niederschlagsverteilung innerhalb der einzelnen Jahre für Abweichungen verantwortlich ist. Da im Mittel zwischen den vereinfachten Ansätzen und dem detaillierten Modell nur geringe Abweichungen ermittelt werden, wird empfohlen, die Jahresniederschlagssumme im Berechnungsverfahren nicht weiter durch separate Korrekturverfahren zu berücksichtigen.

Um eine systematische Über- bzw. Unterschätzung der Entlastungen in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe zu verifizieren, müssen detailliertere Analysen mit umfangreicheren Daten vorgenommen werden. Dies erscheint im Rahmen der Entwicklung eines vereinfachten Ansatzes nicht sinnvoll.

5.4 Einfluss von Gebietskenngrößen – Fläche

Die an eine SBW angeschlossene, undurchlässige Fläche leitet den anfallenden Niederschlag in das Kanalnetz. In der hydrologischen Simulation werden die unversiegelte und versiegelte Fläche sowie die Neigungsgruppe berücksichtigt, um Einflüsse der Abflusskonzentration auf das Entlastungsverhalten abzubilden (BGS Wasser, 2008). In den Ansätzen wird jedoch nur die angeschlossene, undurchlässige Fläche A_U als Eingangsparameter berücksichtigt.

Zur Untersuchung des Einflusses der angeschlossenen Fläche auf die Ergebnislage der Ansätze wurde in MOMENT die versiegelte Fläche, in den Ansätzen die angeschlossene, undurchlässige Fläche A_U , um 20 % reduziert. Bild 5-5 zeigt den Einfluss der Flächenmodifikation für drei Referenzjahre, zur Beurteilung der flächenbedingten Abweichungen ist der Einfluss des Niederschlags (vgl. Kapitel 5.3) ebenfalls gezeigt. Die Variation der Fläche beeinflusst die Ergebnislage im Vergleich zum Niederschlagsgeschehen nicht wesentlich. Ein Einfluss der Fläche ist also vernachlässigbar.

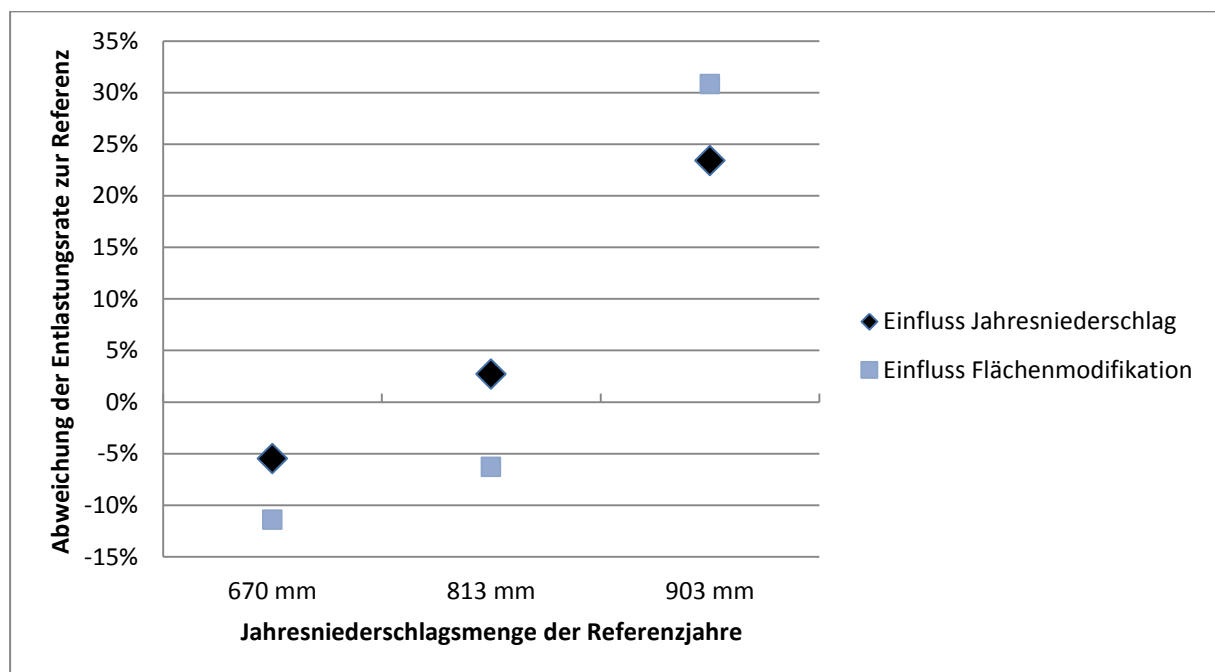


Bild 5-5: Auswirkungen von Variationen der angeschlossenen Fläche und der auf Ergebnislage der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1)

5.5 Einfluss von Bauwerkskenngößen – Drosselabfluss

Der Drosselabfluss Q_{Dr} bestimmt, wie viel Mischwasser im Regenwetterfall maximal aus einem SBW weitergeleitet werden kann. Bild 5-6 stellt vereinfacht die Abflussaufteilung (Schnittprinzip) über die Zeit während eines Entlastungsereignisses in einem RÜB dar: für die Verteilung der Abflüsse (Q_e und $Q_{A, (Abfluss)}$) ist neben der Ausprägung der Zulaufwelle (Q_Z), die Speichergöße (V) des SBW und der Drosselabfluss Q_{Dr} maßgebend.

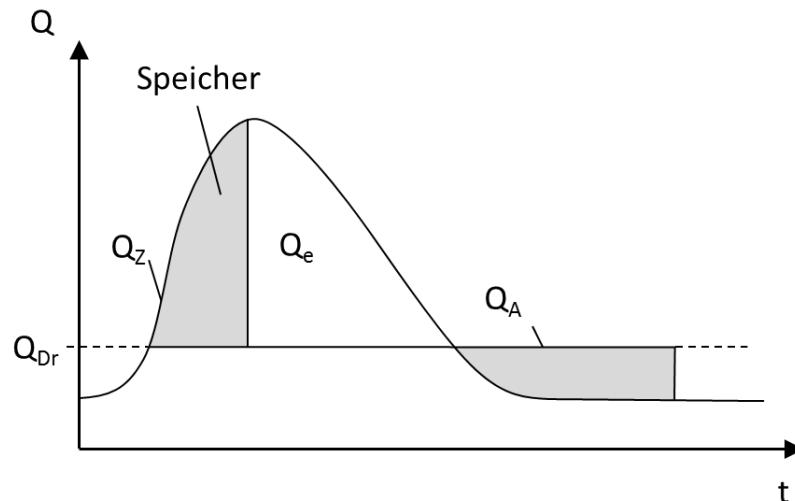


Bild 5-6: Abflussgeschehen in Regenüberlaufbecken (vereinfacht)

In einer hydraulischen Simulation werden dynamische Abflussvorgänge berücksichtigt, in den beiden hier untersuchten Ansätzen nicht.

Zur Untersuchung des Einflusses der Drosselabflüsse auf die Ergebnishüte der Ansätze wurde bei drei der untersuchten SBW der Drosselabfluss verändert (Bild 5-7).

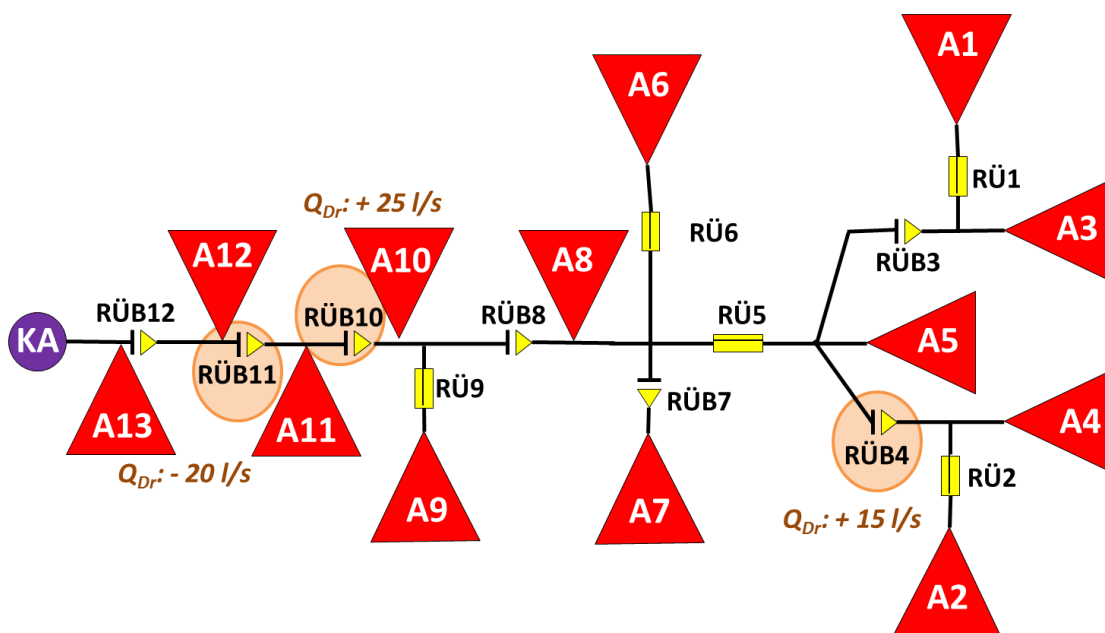


Bild 5-7: Netzplan Untersuchungsgebiet 1 mit modifizierten Drosselabflüssen (eingekreist)

Bild 5-8 zeigt den Einfluss der veränderten Drosselabflüsse für drei Referenzjahre, zur Beurteilung der flächenbedingten Abweichungen ist der Einfluss des Niederschlags (vgl. Kapitel 5.3) ebenfalls gezeigt. Die Variation der Drosselabflüsse beeinflusst die Ergebnislage im Vergleich zum Niederschlagsgeschehen nicht wesentlich. Ein Einfluss der Drosselabflüsse ist also vernachlässigbar.

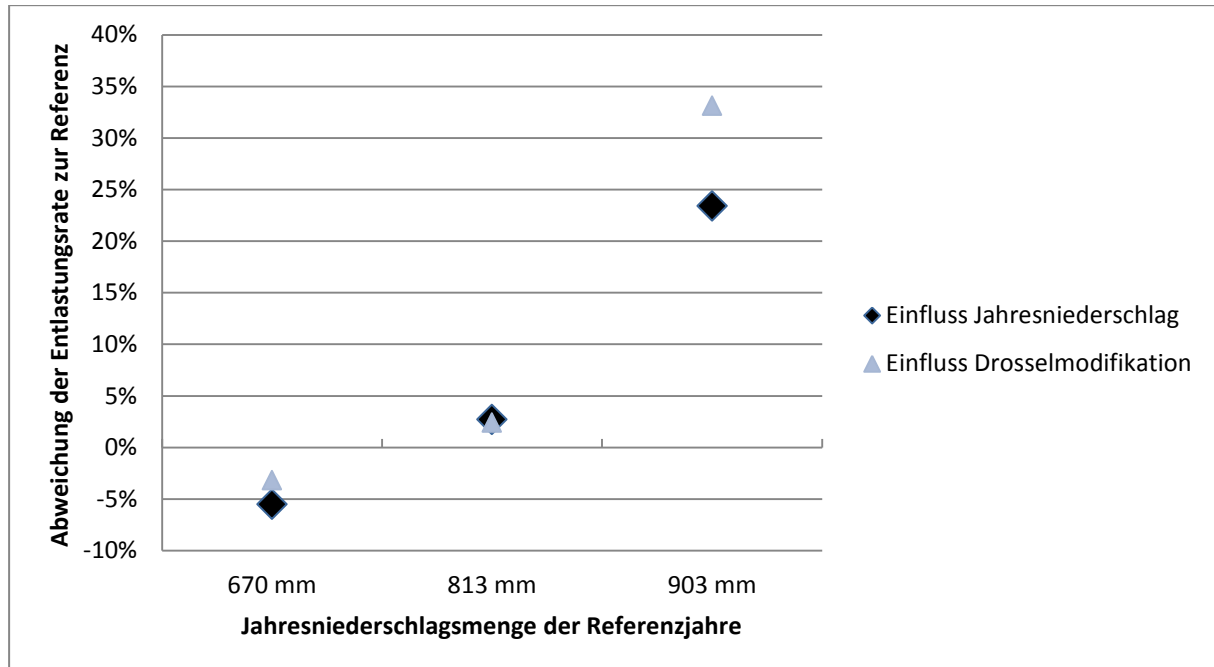


Bild 5-8: Auswirkungen von Variationen des Drosselabflusses auf Ergebnislage der Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1)

5.6 Einfluss von Gebietskenngrößen – Fließzeit und Neigung

Während des Transports einer Abflusswelle durch die Kanalstrecke verändert sich nicht nur die Lage der Welle (Wellenverschiebung/Translation), sondern sie flacht ab und zieht sich in die Länge (Wellendämpfung/Retention). Bild 5-9 stellt diese Wellenverformung über die Transportzeit schematisch dar.

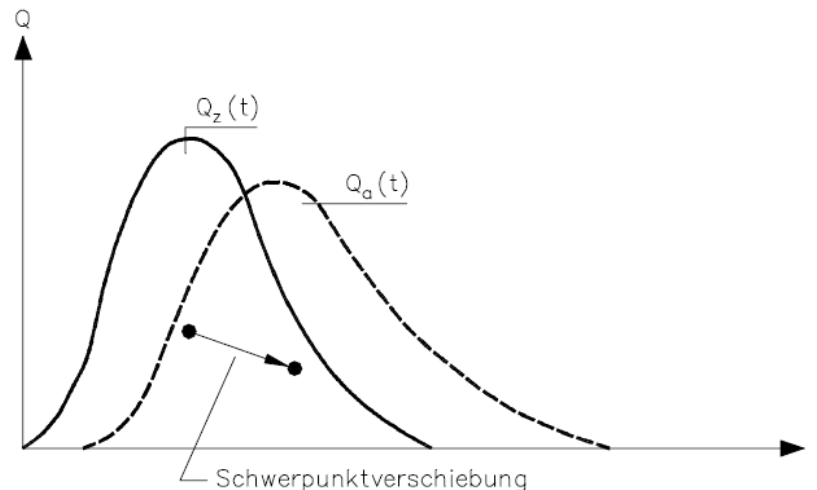


Bild 5-9: Prinzipskizze Wellenverformung in einer Transportstrecke (ATV-DVWK-M 165, 2004)

Die Fließzeit t_f hängt unter anderem von der Länge und der Neigung (Gefälle) des Kanalnetzes ab. Die Neigung des Geländes beeinflusst zudem die Abflussbildung (DWA-A 118, 2006) auf der Oberfläche:

- in flachem Gelände kommt es zu höheren Muldenverlusten, der effektive Niederschlag, der überhaupt zum Abfluss kommt, wird also kleiner,
- in steilem Gelände ist das Verhältnis zwischen Regenspende und der resultierenden maximalen Abflussspende höher (größerer Spitzenabflussbeiwert).

Zusammengefasst ist also bei kurzen Fließzeiten t_f und steiler Geländeneigung von höheren bzw. steileren Abflusswellen im Kanal auszugehen, sodass mit größeren Entlastungsraten und -mengen zu rechnen ist.

In Ansatz 1 und Ansatz 2 finden zunächst weder die Parameter Fließzeit (t_f) noch Neigungsgruppe (NG) Eingang. Die folgenden Darstellungen erfassen also nur die Veränderungen der Simulationsergebnisse und dienen anschließend der Herleitung eines Korrekturfaktors für die Ansätze.

Um die Einflüsse der Gebietskenngrößen Fließzeit und Neigung zu untersuchen, wurde Untersuchungsgebiet 2 verwendet, da dieses ausgeprägtere Fließzeiten als Untersuchungsgebiet 1 aufweist (s. Anhang 4).

In Untersuchungsgebiet 2 wurden in einem ersten Schritt die Fließzeiten und Neigungsgruppen eines zentralen (RÜB 10) und im zweiten Schritt mehrerer anfangsständiger SBW (RÜB 1, 6, 7 und 8; s. Bild 5-10) modifiziert und das Entlastungsverhalten mit MOMENT simuliert.

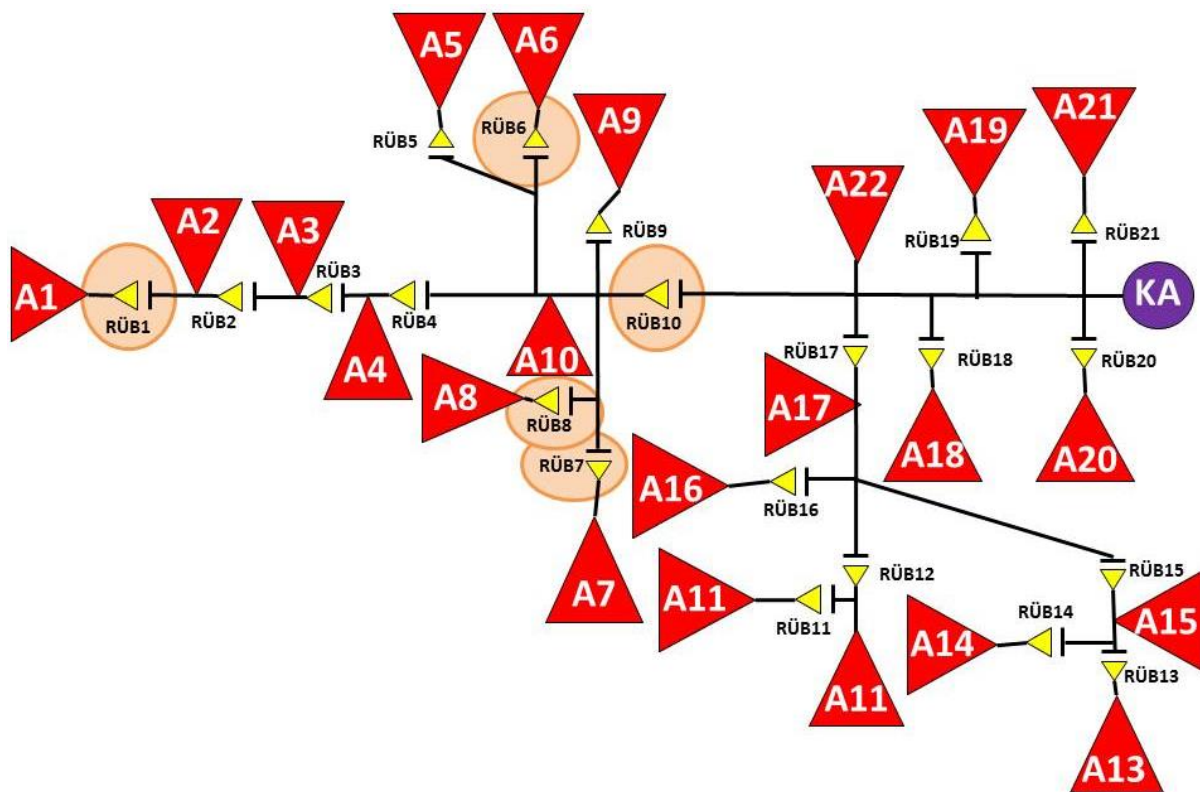


Bild 5-10: Sensitivitätsanalyse Fließzeiten und Neigungsgruppen – betrachtete SBW (umrandet) in Untersuchungsgebiet 2

Tabelle 5-3 fasst die Details und die Ergebnisse der Untersuchungen für das zentral gelegene Becken RÜB 10 zusammen. Der Einfluss veränderter Fließzeiten und Neigungsgruppen wird in unterschiedlichen Varianten untersucht und über die relativen Abweichungen der Entlastungsraten (Δe_0) bzw. -mengen (ΔQ_e) im Vergleich zum IST-Zustand (Referenz) dargestellt.

Tabelle 5-3: Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf das Entlastungsverhalten von RÜB 10

Variante	Bemerkung	e_0 (%)	Q_e (m ³)	Δe_0 im Vergleich zur Referenz (%)	ΔQ_e im Vergleich zur Referenz (%)
Referenz	IST-Zustand	29	75.276	-	-
t_f hoch	alle t_f der Haltungen +30 min, maximal jedoch 60min	29	68.941	0 %	-8 %
t_f niedrig	alle t_f der Haltungen auf 1min gesetzt	29	79.118	0 %	5 %
NG hoch	alle NG in EZG auf vier (steil) gesetzt (in Referenz alle 2)	28	76.165	-3 %	1 %
NG niedrig	alle NG in EZG auf 1 (flach) gesetzt (in Referenz alle 2)	30	74.282	3 %	-1 %
NG niedrig & t_f hoch	alle NG in EZG auf 1 (flach) und t_f (auch in EZG) auf 60 min	27	65.189	-7 %	-13 %

In dieser beispielhaften Betrachtung beeinflusst die Neigungsgruppe eher die Entlastungsrate, die Fließzeit eher das Entlastungsvolumen. Bei dem Vergleich der Auswirkungen auf Entlastungsrate und Entlastungsvolumen sind teilweise gegenläufige Trends zu beobachten (erhöhte Entlastungsrate aber verringertes Entlastungsvolumen). Dies ist vor allem auf die Auswirkungen veränderter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf die Abflussbildung (Muldenverluste), Abflusskonzentration und -transformation im Gesamteinzugsgebiet zurückzuführen¹.

Tabelle 5-4 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen ausgewählter anfangsständiger Becken (vgl. Bild 5-10), allerdings nur bezüglich der Entlastungsraten. Der Einfluss veränderter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf die Entlastungsrate beträgt maximal 15 %. Deutlicher und genauer ist die Betrachtung der Entlastungsvolumina in Tabelle 5-5.

¹ Zudem ist die Darstellungsgenauigkeit der relativen Abweichung der Entlastungsraten (Δe_0 in %) durch die ganzzahlige Ausgabe von e_0 sehr unscharf.

Tabelle 5-4: Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf die Entlastungsraten ausgewählter anfangsständiger RÜB

Variante	RÜB 1 Referenz: NG = 2, $t_f = 15$ min		RÜB 6 Referenz: NG = 2, $t_f = 11,1$ min		RÜB 7 Referenz: NG = 2, $t_f = 6,2$ min		RÜB 8 Referenz: NG = 2, $t_f = 6,2$ min	
	e_0 (%)	Δe_0 (%)	e_0 (%)	Δe_0 (%)	e_0 (%)	Δe_0 (%)	e_0 (%)	Δe_0 (%)
Referenz	27	-	27	-	20	-	27	-
NG = 1 $t_f = 60$ min	26	-4 %	24	-11 %	17	-15 %	25	-7 %
NG = 4 $t_f = 1$ min	27	0 %	28	4 %	21	5 %	27	0 %
NG = Referenz $t_f = 60$ min	25	-7 %	24	-11 %	17	-15 %	24	-11 %
NG = Referenz $t_f = 1$ min	28	4 %	28	4 %	21	5 %	27	0 %
NG = 1 $t_f =$ Referenz	28	4 %	28	4 %	21	5 %	28	4 %
NG = 4 $t_f =$ Referenz	27	0 %	27	0 %	20	0 %	27	0 %

Der Einfluss veränderter Fließzeiten und Neigungsgruppe auf das Entlastungsvolumen ist deutlich größer als auf die Entlastungsrate. Wie Tabelle 5-5 zeigt, führen insbesondere verlängerte Fließzeiten zu Reduzierungen des Entlastungsvolumens.

Tabelle 5-5: Einfluss modifizierter Fließzeiten und Neigungsgruppen auf das Entlastungsvolumen ausgewählter anfangsständiger RÜB

Variante	RÜB 1 Referenz: NG = 2, $t_f = 15$ min		RÜB 6 Referenz: NG = 2, $t_f = 11,1$ min		RÜB 7 Referenz: NG = 2, $t_f = 6,2$ min		RÜB 8 Referenz: NG = 2, $t_f = 6,2$ min	
	Q_e (m ³)	ΔQ_e (%)	Q_e (m ³)	ΔQ_e (%)	Q_e (m ³)	ΔQ_e (%)	Q_e (m ³)	ΔQ_e (%)
Referenz	25133	-	33213	-	33511	-	25056	-
NG = 1 $t_f = 60$ min	22757	-9 %	28507	-14 %	27013	-19 %	22231	-11 %
NG = 4 $t_f = 1$ min	26628	6 %	35479	7 %	35754	7 %	26052	4 %
NG = Referenz $t_f = 60$ min	23114	-8 %	29020	-13 %	27366	-18 %	22575	-10 %
NG = Referenz $t_f = 1$ min	25906	3 %	34330	3 %	34501	3 %	25340	1 %
NG = 1 $t_f =$ Referenz	24643	-2 %	32395	-2 %	32823	-2 %	24520	-2 %
NG = 4 $t_f =$ Referenz	25760	2 %	34238	3 %	34592	3 %	25730	3 %

Veränderungen der Neigungsgruppe haben einen geringeren Einfluss auf das Entlastungsverhalten als veränderte Fließzeiten. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Kenngrößen

Neigungsgruppe und Fließzeit in der Realität nicht völlig voneinander unabhängig sind, da eine geringere Neigung im Kanalnetz die Fließzeit erhöht. Der Einfluss der Neigung wird also im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Zur Quantifizierung des Einflusses der Fließzeit werden in sechs Becken des Untersuchungsgebiets 2 die Fließzeiten in 10-Minuten-Schritten variiert und die Veränderung der Entlastungsvolumina bestimmt.

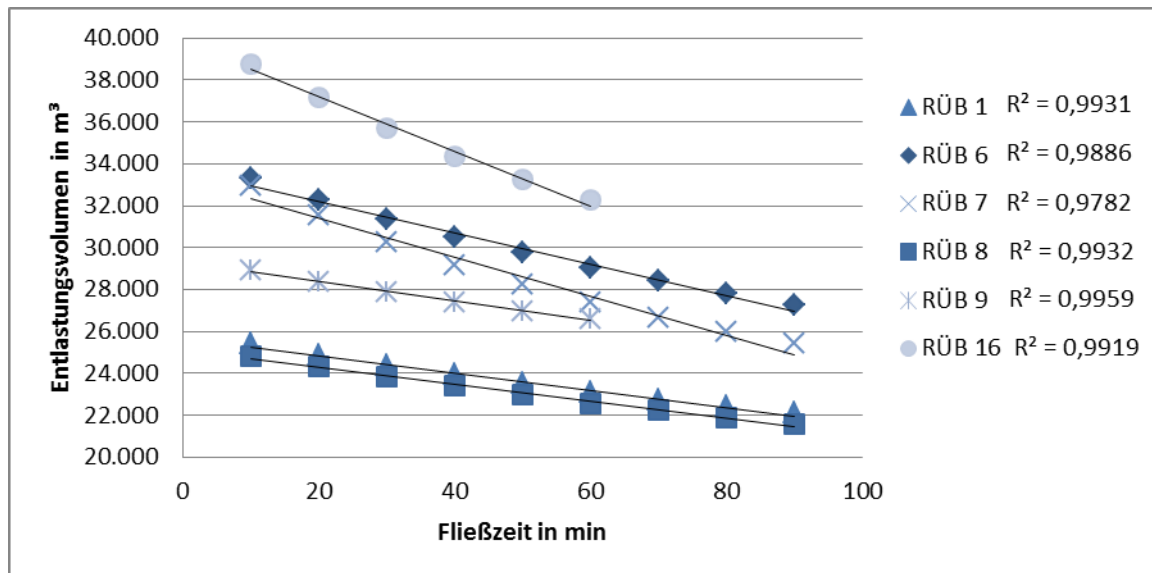


Bild 5-11: Entlastungsvolumina ausgewählter Becken bei unterschiedlichen Fließzeiten

Bild 5-11 zeigt, dass die Entlastungsvolumina jeweils annähernd linear von der Fließzeit abhängen.

Der Einfluss der Fließzeit ist jedoch nicht bei jedem Becken gleich groß. Eine genauere Analyse zeigt, dass das Entlastungsvolumen zwischen 1,7 und 3,7 % pro 10-Minuten Fließzeitverlängerung abnimmt (vgl. Tabelle 5-6).

Tabelle 5-6: Mittlere relative Abweichung des Entlastungsvolumens pro 10-Minuten Fließzeit

Becken	Mittlere relative Abweichung von e_0 pro 10 min. Fließzeitverlängerung
RÜB 16	3,7 %
RÜB 7	3,1 %
RÜB 6	2,5 %
RÜB 8	1,8 %
RÜB 1	1,8 %
RÜB 9	1,7 %

In einem nächsten Schritt wurde untersucht, welche Bauwerks- oder Gebietsparameter mit der Veränderung des Entlastungsvolumens korrelieren: das spez. Speichervolumen zeigte sich dabei als geeignet, wie in Bild 5-12 zeigt.

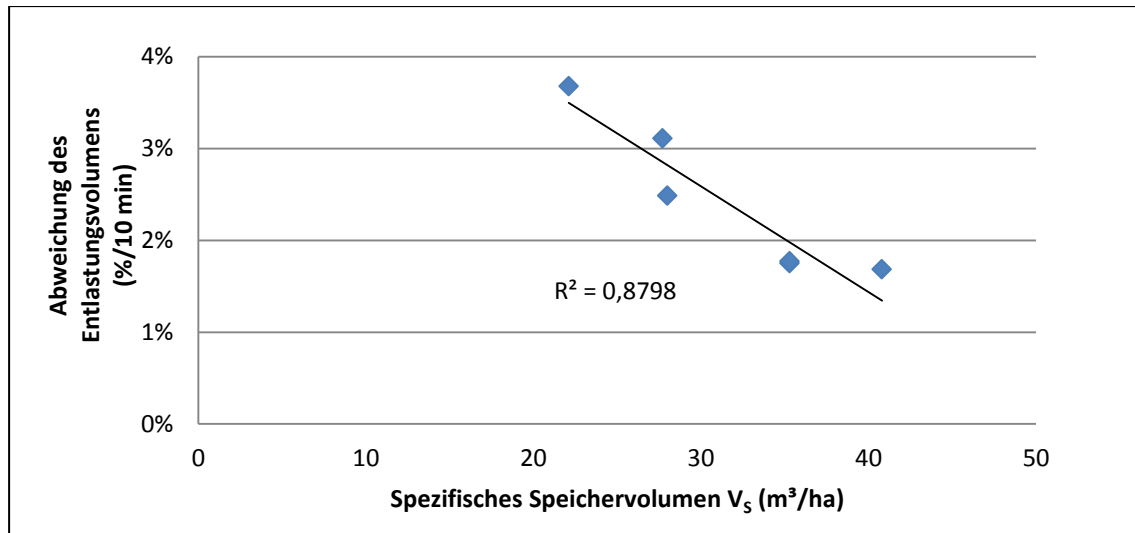


Bild 5-12: Zusammenhang zwischen Einfluss der Fließzeit auf das Entlastungsvolumen und dem spez. Speichervolumen V_s

Im untersuchten Wertebereich des spez. Speichervolumens von etwa 20 bis 40 m³/ha wird ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen der mittleren Abweichung der Entlastungsvolumina und dem spez. Speichervolumen beobachtet.

Der Zusammenhang zwischen der Fließzeit t_f , dem spez. Speichervolumen V_s und dem Entlastungsverhalten kann insgesamt über den in Gl. (5-1) dargestellten Korrekturfaktor k_{tf} rechnerisch beschrieben werden, der empirisch aus den Werten der Tabelle 5-6 und dem in Bild 5-12 dargestellten Einfluss von V_s ermittelt wurde.

$$\text{für } t_f \leq 10 \text{ min: } k_{tf} = 1 \quad \text{Gl. (5-1)}$$

$$\text{für } t_f > 10 \text{ min: } k_{tf}(V_s) = 1 - \frac{(1,7 + 0,115 \times (40 - V_s)) \times (t_f - 10 \text{ min})}{10 \text{ min} \times 100}$$

mit

V_s in m³/ha

t_f in min

5.7 Zusammenfassung Kapitel 5 und Bewertung

Die Einflüsse unterschiedlicher Faktoren – RÜ, RRB, Gebiets- und Bauwerkskenngrößen – sind nur teilweise mit einfachen rechnerischen Methoden abzuschätzen. Tabelle 5-7 zeigt einen Überblick der untersuchten Faktoren, fasst die Auswirkungen zusammen und gibt Empfehlungen bezüglich der Einbindung in die Ansätze.

Tabelle 5-7: Überblick der untersuchten Faktoren und Empfehlung für die Einbindung in die Ansätze

Faktor	Auswirkung	Empfehlung
Vorgelagertes RRB	Nur bedingt bei sehr kleinen Drosselabflüssen des RRB und kurzen Abständen zum Folge SBW.	Fläche im Verbund mit Folge-SBW. Ergebnisausgabe mit Hinweis auf vorgelagertes RRB versehen.
Vorgelagertes RÜ	Entlastungsvolumen verteilt sich auf RÜ und Folge-SBW. Einfache Abschätzung der Verteilung nicht möglich.	Rechnerisch im Verbund mit Folge-SBW. Ergebnis mit Hinweis auf vorgelagertes RÜ versehen.
Jahresniederschlagsmenge	Kein systematischer Einfluss auf Ergebnsgüte nachweisbar, da Niederschlagsverteilung ausschlaggebend.	Kein Korrekturfaktor.
Fläche	Kein systematischer Einfluss auf Ergebnsgüte nachweisbar.	Kein Korrekturfaktor.
Drossel	Kein systematischer Einfluss auf Ergebnsgüte nachweisbar.	Kein Korrekturfaktor.
Neigungsgruppe	Geringer systematischer Einfluss auf Entlastungsverhalten, jedoch indirekt über Fließzeit erfasst.	Kein Korrekturfaktor.
Fließzeit	Systematischer Einfluss auf Entlastungsverhalten in Abhängigkeit von V_s des SBW.	Korrekturfaktor s. Gleichung (5-1).

6 Diskussion der Ansätze und Empfehlungen zur Einbindung in ELKA

Nur teilweise sind die Entlastungsraten e_0 der Mischwasserentlastungsbauwerke in NRW bekannt bzw. in der D-E-A-Datenbank abgelegt. Die Ansätze können dazu genutzt werden, einen Näherungswert für e_0 und Q_e zu ermitteln und anzugeben, sofern kein Wert aus einer Langzeitsimulation oder dem vereinfachten Nachweis abgelegt wurde (vgl. MUNLV, 2008).

Des Weiteren könnten die Ansätze dazu genutzt werden, die eingegebenen Werte auf Plausibilität (Eingabefehler) zu prüfen.

6.1 Diskussion der Ansätze mit Hinblick auf die Einbindung in ELKA

Direkteinzugsgebietsbilanz und Multi-Zentralbeckenansatz liefern ähnlich gute Ergebnisse (Kapitel 4.2) im Vergleich zur hydrologischen Simulation, sofern alle Eingabeparameter vollständig und korrekt vorhanden sind. Vorhergehende Defizitanalysen haben jedoch gezeigt, dass bei der Datenlage in REBEKA bzw. ELKA nicht immer von vollständig und korrekt ausgefüllten Datensätzen ausgegangen werden kann (Wienert und Bolle, 2008). Die Auswirkungen auf die Ergebnislage der Ansätze werden im Folgenden erläutert.

6.1.1 Unvollständige Datensätzen

Unvollständige Datensätze führen zu falschen bzw. unplausiblen Ergebnissen für e_0 und Q_e . Für Becken mit unvollständigen Datensätzen sollte das berechnete e_0 nicht angezeigt werden. Im Anhang ist eine Liste der benötigten Eingabedaten zur Berechnung von e_0 enthalten.

Die Angabe der Fließzeit t_f stellt einen Sonderfall dar. Die Fließzeit geht nur als Korrekturfaktor ein. Im Rahmen der Ergebnisgenauigkeit der Ansätze wird die Ausgabe von e_0 ohne Korrekturfaktor als vertretbar angesehen. Darüber hinaus wäre es vorstellbar, aus den vorhandenen Positionsdaten der Becken in Kombination mit Oberflächeninformationen Fließzeiten abzuleiten. Dazu bedarf es jedoch weitergehender Untersuchungen.

6.1.2 Unplausible Datensätze

Fehlerhaft eingegebene Daten bzw. unplausible Datensätze haben teilweise erhebliche Auswirkungen auf die Ergebnislage der Ansätze (vgl. Kapitel 4.2, Untersuchungsgebiet 2). Deswegen wird empfohlen, einfache Plausibilitätskontrollen anzuwenden und entsprechend unplausible Datensätze von der Auswertung auszuschließen.

Bisher angewandte Plausibilitätskontrollen (vgl. Teilbericht 1 des Projektes: Bolle et al., 2014) orientieren sich am Anwendungsbereich des ATV-A 128 (1992) und sollen weiterhin angewandt werden, sodass folgende Akzeptanzbereiche vorgeschlagen werden:

- $10 \text{ m}^3/\text{ha} \leq V_s \leq 80 \text{ m}^3/\text{ha}$

- $0,1 \text{ l/(s*ha)} \leq q_{R, \text{spez}} \leq 6 \text{ l/(s*ha)}$

Zudem sollten nur e_0 zwischen 0 und 100 % ausgegeben werden. Werte außerhalb dieses Bereichs weisen auf unplausible Eingangsdaten hin (Kapitel 4.2) und können in der Realität nicht vorkommen. Es gilt:

- $0 \leq e_0 \leq 100 \%$

Ein Sonderfall tritt auf, wenn die Summe der Drosselabflüsse aus den überliegenden Bauwerken ($Q_{Dr, \text{Überlieger}}$) größer als der Drosselabfluss Q_{Dr} des betrachteten SBW ist. In Ansatz 1 verursacht dies rechnerisch ein $Q_{r, 24, \text{spez}}$ mit negativem Vorzeichen und damit negative Entlastungen (Gleichung (4-1)). In Ansatz 2 kann es zu negativen Werten kommen, wenn $Q_{e, i} < Q_{e, i-1}$ ist (Gleichung (4-2)). Auch wenn es in der Realität vorkommen kann, dass die Summe der Drosselabflüsse aus den überliegenden Bauwerken ($Q_{Dr, \text{Überlieger}}$) größer als der Drosselabfluss Q_{Dr} des betrachteten SBW ist, kann das Entlastungsverhalten nicht mit den vorliegenden Ansätzen abgeschätzt werden. Als Kriterium gilt also:

- $Q_{Dr, \text{Überlieger}} < Q_{Dr}$

6.1.3 Vergleich von Direkteinzugsgebietsbilanz (Ansatz 1) und Multi-Zentralbeckenansatz (Ansatz 2) – Empfehlung für Ansatz 1

Bei einer tieferen Betrachtung der Berechnungshintergründe von Ansatz 1 und 2 ist zu beachten, dass die Ergebnisse in Ansatz 2 auch immer von der Berechnungsgüte aller oberliegenden Betrachtungsräume abhängt (Bild 6-1, unten). Ergebnisse aus Ansatz 1 hängen nur von den Eingangsparametern im jeweiligen Direkteinzugsgebiet und dem Drosselabfluss der direkten Überlieger ab (Bild 6-1, oben).

Ansatz 2 spiegelt zwar über die Nutzung des Zentralbeckenansatzes den Bemessungsvorgang von Entlastungsanlagen im Mischsystem wider (ATV-A 128, 1992), fehlerhafte Berechnungsergebnisse eines Betrachtungsraums setzen sich jedoch in den Ergebnissen aller nachfolgenden Betrachtungsräume fort (vgl. Kapitel 4.1.2).

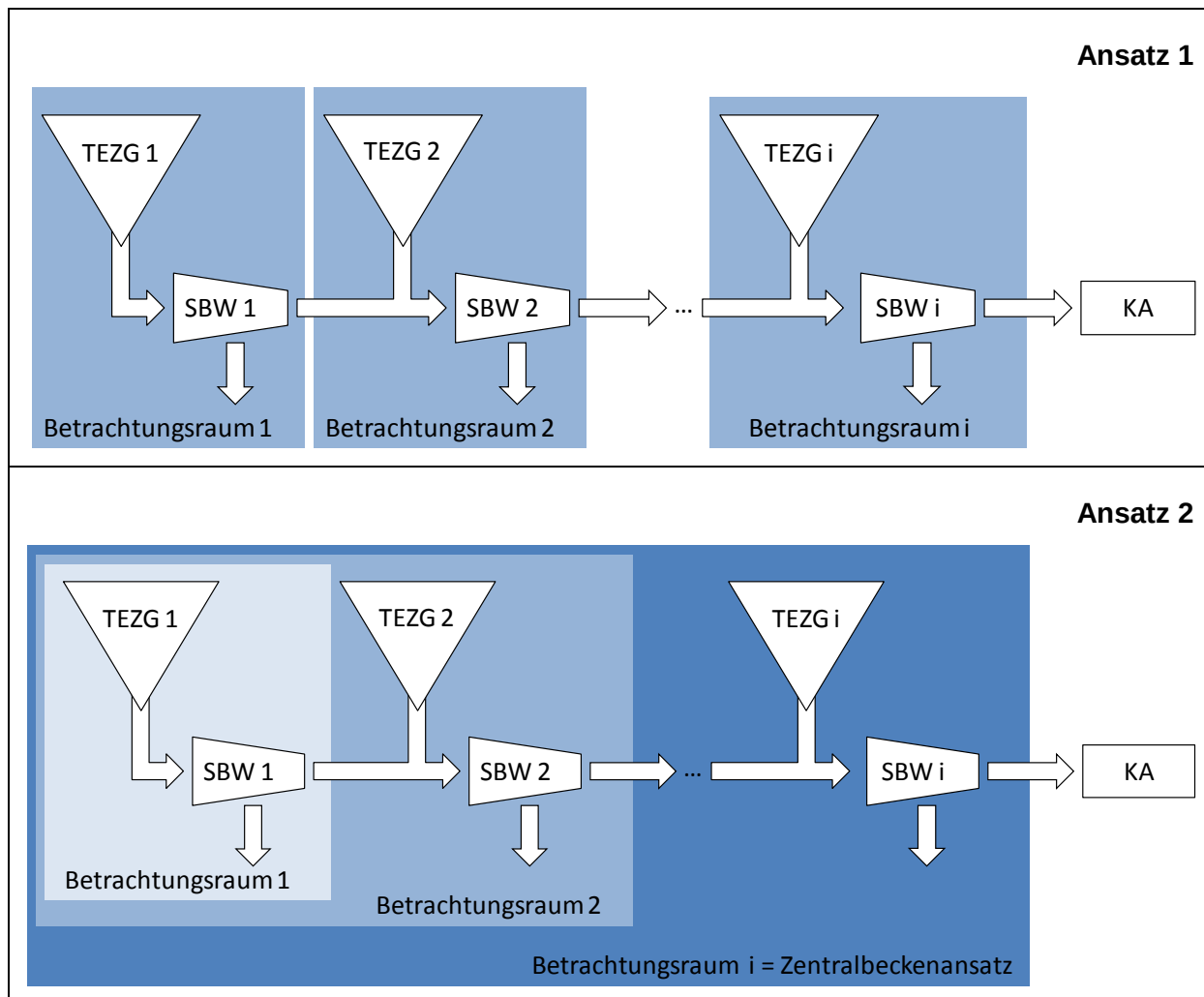


Bild 6-1: Schematischer Vergleich zwischen den Berechnungsansätzen 1 und 2 für ein Entwässerungsnetz

Da die Ergebnislüte aus Ansatz 2 jeweils von der Datenvollständigkeit und -plausibilität des gesamten Einzugsgebiets eines SBW abhängt und einen vergleichsweise höheren Rechenaufwand hat, wird die Anwendung von Ansatz 1 in ELWAS empfohlen.

6.2 Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen

Unter der Voraussetzung, dass die entsprechenden Eingangsdaten vollständig und plausibel vorliegen (Kapitel 6.1), liefern die Ansätze gute Abschätzungen zum Entlastungsverhalten von Mischwasserentlastungsanlagen (Kapitel 4.2).

Ergebnisse beziehen sich jedoch grundsätzlich auf ein durchschnittliches Verhalten. Jahresdiskrete Angaben zu Entlastungsraten und -mengen können nicht gemacht werden, da Niederschlagsverteilungen nicht berücksichtigt werden können (vgl. Kapitel 5.3).

Regenüberläufe und ihr Entlastungsverhalten sind mit den Ansätzen nicht gesondert darstellbar, können aber im Verbund mit dem Folgebauwerk betrachtet werden (Kapitel 5.2).

Die Ansätze ersetzen keine hydrologische oder hydrodynamische Simulation, sind aber zur schnellen und einfachen Erst-Beurteilung der IST-Lage geeignet. Bei schlechten Ergebnissen für e_0 und Q_e sollte jedoch auch immer geprüft werden, ob der zugrunde liegende Datensatz plausibel ist oder Eingabefehler enthält.

6.3 Ausgabevorschlag der Ergebnisse in ELWAS

Zur Einbindung der Ergebnisse aus Ansatz 1 wird das in Bild 6-2 dargestellte vorgehen empfohlen. Wichtige Kriterien der Darstellung sind:

- Ist die Entlastungsrate eines Beckens aus Langzeitsimulationen oder dem vereinfachten Nachweis (ATV-DVWK, 2001) bekannt, so ist, wie bisher, dieser Wert aufgrund seiner höheren Genauigkeit darzustellen.
- Die Ausgabe der nach Ansatz 1 berechneten Entlastungsrate darf nur erfolgen, wenn die Eingangsdaten vollständig (Kapitel 6.1.1) vorliegen und alle Plausibilitätskriterien nach Kapitel 6.1.2 erfüllt sind.
- Die Entlastungsrate soll aufgrund des Abschätzungscharakters ohne Dezimalstellen angegeben werden.
- Soll die nach Ansatz 1 ermittelte Entlastungsrate ausgegeben werden, so ist direkt mit anzugeben, dass es sich bei dem Wert um einen Schätzwert handelt und ob e_0 auf einen Verbund mit RÜ und/oder RBB bezogen ist.

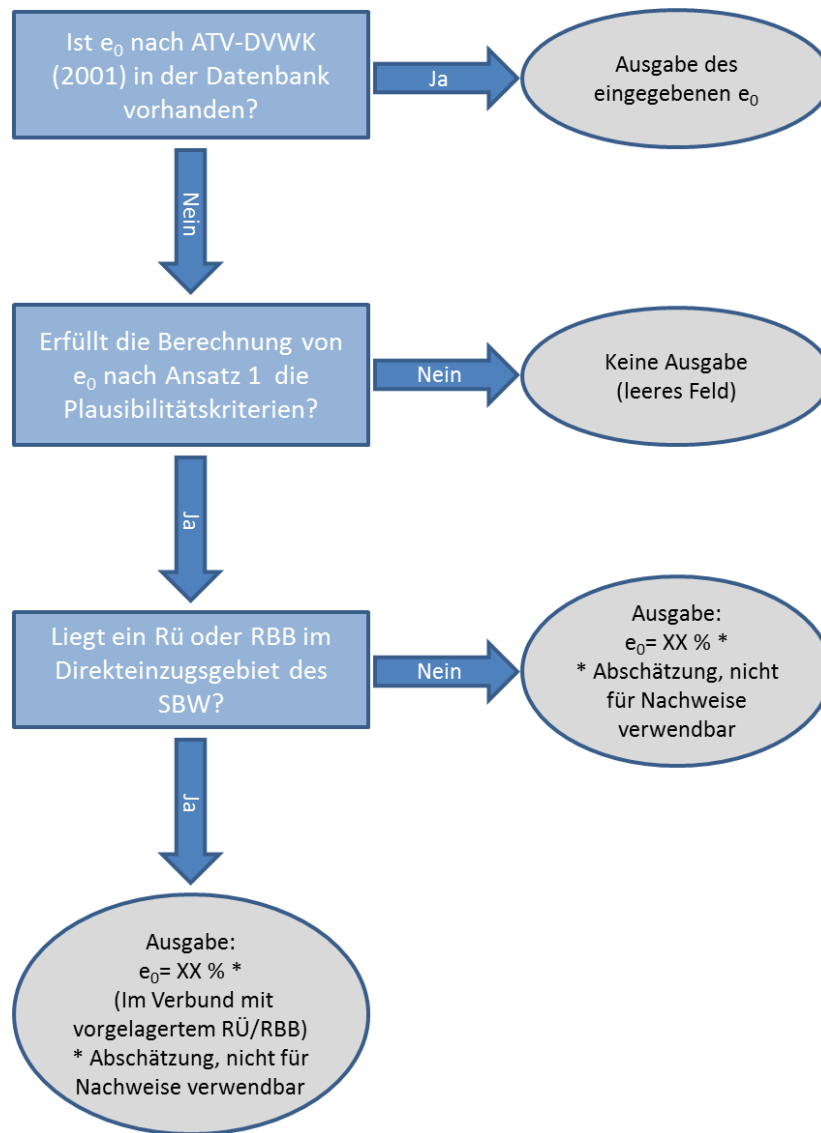


Bild 6-2: Fließschema empfohlene Einbindung der ermittelten Entlastungsraten e_0 in ELWAS

Soll auch die Entlastungsmenge Q_e in ELWAS dargestellt werden, so wird die Einbindung analog zu dem für e_0 in Bild 6-2 dargestellten Verfahren empfohlen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Mit den bisherigen Auswertungen bzw. Auswerteroutinen zu den Datenbanken zu Niederschlagswassereinleitungen des Landes NRW (REBEKA, NIKLAS-IGL, NIEWA) sind nur Aussagen über Belastungen von Mischwassereinleitungen in gesamten Kläranlagen- bzw. Gewässereinzugsgebieten im Vergleich zu anderen Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen oder Industrieanlagen möglich. Damit können keine Bewertungen der Belastung bestimmter einzelner Mischwasserentlastungsanlagen vorgenommen werden, um z.B. Rückschlüsse auf mögliche Defizite und demzufolge notwendige Maßnahmen u. a. zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu ziehen. Aus diesem Grund wurden Ansätze entwickelt und vertieft untersucht, die bauwerksscharfe Abschätzungen mit Hilfe der Daten aus den Landesdatenbanken ermöglichen.

Zwei entwickelte Ansätze (Ansatz „Direkteinzugsbilanz“ und Ansatz „Multizentralbeckenansatz“) liefern gute Ergebnisse im Vergleich mit einer hydrologischen Modellierung. Die Ansätze sind auf plausible Daten aus den Datenbanken des Landes angewiesen, da sie ansonsten nicht belastbare Ergebnisse liefern. Beim „Multizentralbeckenansatz“ wirken sich Fehler bzw. unplausible Daten aus oberliegenden Einzugsgebieten auch auf nachfolgende Einzugsgebiete aus. Er ist somit weniger „resistent“ gegen unplausible Daten. Daher wird empfohlen, den Ansatz „Direkteinzugsbilanz“ für die Auswertungen der Landesdatenbanken zu nutzen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Ansätze grundsätzlich keine hydrologische oder hydrodynamische Simulation ersetzen. Sie sind aber dazu geeignet, eine schnelle und einfache Erst-Beurteilung der IST-Lage zu bekommen.

Verschiedene Parameter (Gebietskenngrößen, Niederschlag) beeinflussen die Ergebnisse beider Ansätze. Den größten Einfluss hat hierbei der Niederschlag bzw. dessen Verteilung, da in den Ansätzen mit einer mittleren Jahresniederschlagshöhe gerechnet wird, in der hydrologischen Modellierung jedoch auch die Niederschlagsverteilung berücksichtigt wird. Die hier entwickelten Ansätze zielen darauf ab, ein mittleres Verhalten der Mischwasserentlastungsanlagen widerzuspiegeln, um die Beurteilung der Gewässerbelastung durch Mischwasserentlastungen zu unterstützen. Eine jahresweise Auswertung war nicht Gegenstand des Projekts. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieses Vorhabens kein Korrekturfaktor für den Parameter „Niederschlag“ entwickelt. Untersuchungen zu dem Einfluss jahresweiter Niederschläge bzw. ihren Verteilungen werden empfohlen, ebenso Untersuchungen zur Herleitung von Neigungsgruppen und Fließzeiten (t_f) aus Positions- und Oberflächeninformationen.

Darüber hinaus sei betont, dass die Ergebnisgüte der entwickelten Ansätze von der Güte und Vollständigkeit der Eingangsdaten in den Landesdatenbanken abhängt. Empfohlen wird eine entsprechend stetige Datenpflege seitens der zuständigen Behörden (Bezirksregierungen) in ELKA.

Mit den hier entwickelten Ansätzen bzw. dem empfohlenen Ansatz liegt dem Land NRW ein Instrument vor, Mischwasserbehandlungsanlagen in einer ersten Abschätzung mit Hilfe seiner Landesdatenbanken zu beurteilen. Eine weitere vertiefte Prüfung der entwickelten Ansätze an weiteren Untersuchungsgebieten wird empfohlen, um eine größere statistische Absicherung der Ergebnisse der Ansätze zu gewährleisten.

8 Literatur

DWA – A 118 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2006): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2006.

ATV (Abwassertechnische Vereinigung e. V.) (1992): Arbeitsblatt A 128 – Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, April 1992.

ATV – DVWK – M 165 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2004): Merkblatt M 165 – Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2004.

ATV – DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2001): Arbeitsblatt A 177 – Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Juni 2001.

ATV – DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2003): Arbeitsblatt A 198 – Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, April 2003.

BGS Wasser (2008): MOMENT 8 Modellierung von Mischwasserentlastung – Dokumentation. Brandt Gerdes Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH, 2008, Darmstadt.

Bolle, F., Hüben S., Siekmann M., Weingärtner, D., Wienert, B., Haußmann, R., Tondera, K., Gerth, U. (2014): Teilbericht 1: „Entwicklung von Auswerteroutinen für die Datenbanken zu Niederschlagswassereinleitungen in NRW“ zum Forschungsvorhaben: „Entwicklung von Auswerteroutinen für die Datenbanken zu Niederschlagswassereinleitungen in NRW und Methoden zur Ermittlung punktueller Einleitungen aus Mischsystemen“ . FiW e.V. a.d. RWTH Aachen im Auftrag des MKUNLV NRW, (unveröffentlicht)

DWD (2011): Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland; Klima-Pressekonferenz des DWD am 26.06.2011, Deutscher Wetterdienst, Berlin.

MUNLV (2008): Benutzerhandbuch für die DV-Anwendung REBEKA, Version 12.1, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2008, Düsseldorf.

MKULNV (Stand 2012): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Stand 2012, 16. Auflage, Düsseldorf.

N.N. (2014): Download der Informationen im Juli 2014 unter: <http://www.bgswasser.de/stadtentwaesserung/schmutzfrachtberechnung.html>.

Pinnekamp, J., Haußmann R., Höhn, P., Wienert, B., Tiedemann, K., Keck, I., Köstlin, S. (2005): Niederschlagswassereinleitungen in NRW – Ermittlung der punktuellen Entlastungsvolumenströme aus Mischsystemen in Nordrhein-Westfalen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AZ IV-9-042 251 im Auftrag des MUNLV NRW.

Wienert, B., Bolle, F.-W. (2008): Plausibilitäts- und Defizitanalyse der wesentlichen Kenndaten aus dem Regenbeckenkataster (REBEKA) NRW; FiW e.V. a.d. RWTH Aachen im Auftrag des MUNLV NRW.

Anhang 1: Benötigte Eingabedaten aus REBEKA

Zuordnung der Daten aus REBEKA zu den Rechenparametern aus den entwickelten Ansätzen (nach stichtagbezogener Filterung)

Daten bzw. Eingabe (ohne Angaben zu Bodenfilter)	Feld	Tabelle aus D-E-A	Plausibilitätskriterium
$A_{E,k}$ Entwässerungsgebiet (kanalisiert)	entw_opt entw_zu1 o. entw_zu2	t71_einzug	
$A_{E,b}$ Summe aller befestigten Flächen im direkten Einzugsgebiet (früher A_{red})	ared_opt ared_zu1 o. ared_zu2	t71_einzug	
ϕ Abflussbeiwert zur Berechnung des abflusswirksamen Niederschlagsanteiles	abfluss_opt abfluss_zu1 o. abfluss_zu2	t71_einzug	≤ 1
V Volumen der Speicher- bzw Sedimentationskammer	rueb_speicher_opt rueb_speicher_zu1 o. rueb_speicher_zu1	t71_rueb_ew_all e	
$Q_{S,dM}$ Schmutzwasserabfluss 24 h-Mittel (früher Q_{s24})	rueb_schmutz_opt rueb_schmutz_zu1 o. rueb_schmutz_zu2	t71_rueb_ew_all e	
$Q_{F,dM}$ Fremdwasserabfluss 24 h-Mittel (früher Q_{f24})	rueb_fremd_opt rueb_fremd_zu1 o. rueb_fremd_zu2	t71_rueb_ew_all e	
$Q_{R,Tr,dM}$ unvermeidbarer Regenabfluss im SW-Kanal von Trennsystemen (früher Q_{rT24})	rueb_regen_opt rueb_regen_zu1 o. rueb_regen_zu2	t71_rueb_ew_all e	
Q_{Dr} Drosselabfluss	rueb_drossel_opt rueb_drossel_zu1 o. reub_drossel_zu2	t71_rueb_ew_all e	
Nachfolgendes SBW	schl_sbw	t71_entlastung	
Bauwerksnummer	st_nr		

Daten bzw. Eingabe (ohne Angaben zu Bodenfilter)	Feld	Tabelle aus D-E-A	Plausibilitätskriterium
γ Befestigungsgrad des Einzugsgebiets ("Gamma")	rw_besfestigung	t71_einzug	≤ 1
A_u Undurchlässige Fläche im direkten Einzugsgebiet	rw_flaeche	t71_einzug	
$Q_{T,dM}$ Trockenwetterabfluss 24 h-Mittel (früher Q_{t24})	rueb_rw_trocken	t71_rueb_ew_all e	
$q_{R,Dr}$ Weitergeleitete Regenabflussspende in der Drossel	rueb_rw_regenspende Berechnen bzw. aus alter REBEKA Version (vgl Bericht 1)		$0,1 \text{ L/(s*ha)} \leq q_{R,Ka} \leq 6 \text{ L/(s*ha)}$ $\leq 2 \text{ L/(s*ha)}$
V_s Spezifisches Speichervolumen	rueb_rw_spezi_speicher	t71_rueb_ew_all e	$10 \text{ m}^3/\text{ha} \leq V_S \leq 80 \text{ m}^3/\text{ha}$ $\leq 40 \text{ m}^3/\text{ha}$

Anhang 2: Einfluss von Regenüberläufen – grafische Darstellung

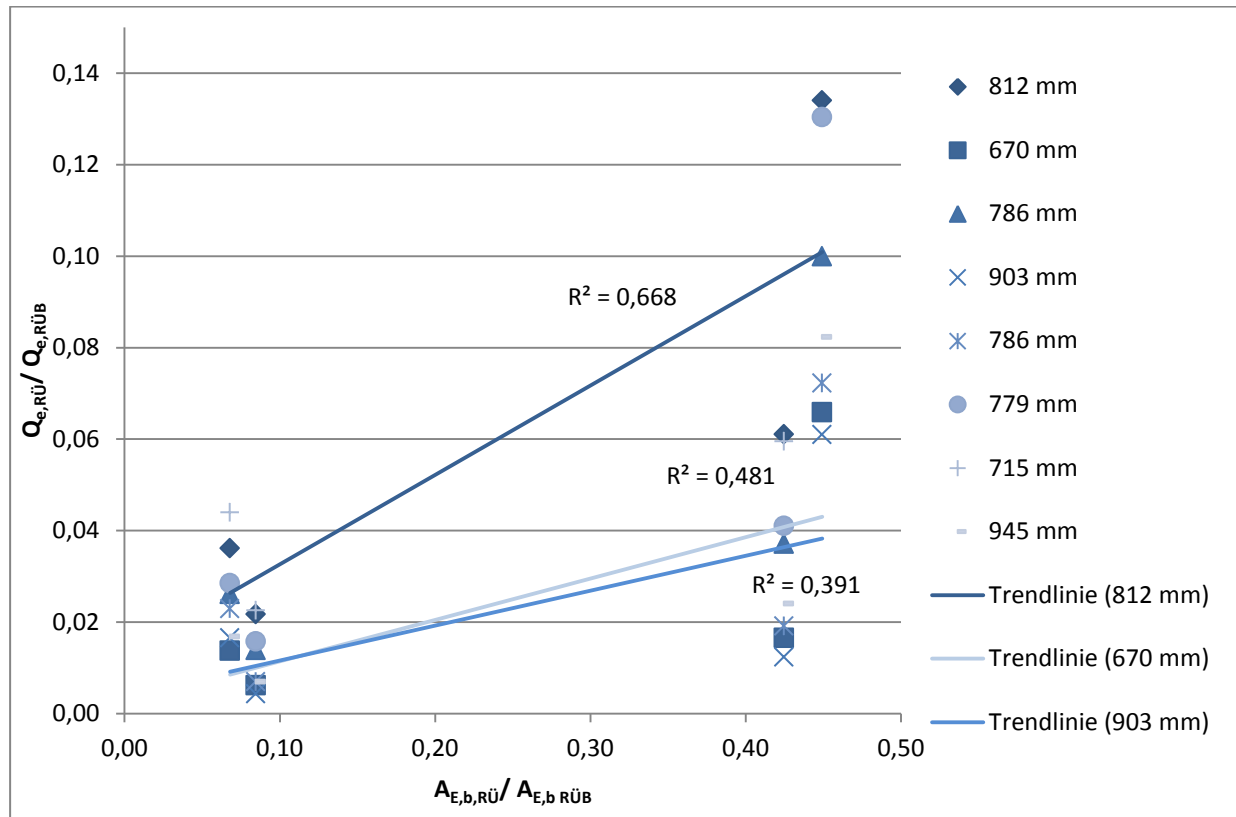


Bild Anhang 2-1: Vergleich der Verhältnisse von Entlastungsvolumen und angeschlossener Flächen der Regenüberläufe und deren Folgebauwerke

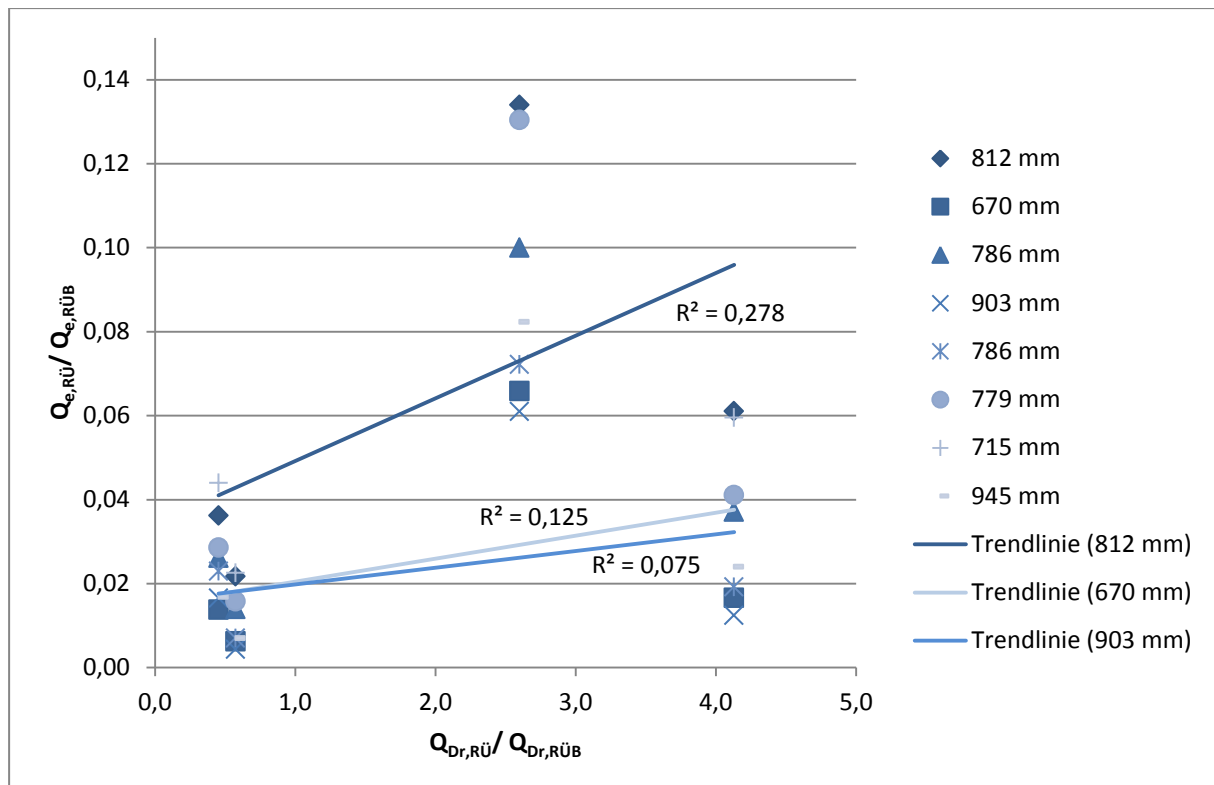


Bild Anhang 2-2: Vergleich der Verhältnisse von Entlastungsvolumen und Drosselabfluss der Regenüberläufe und deren Folgebauwerke

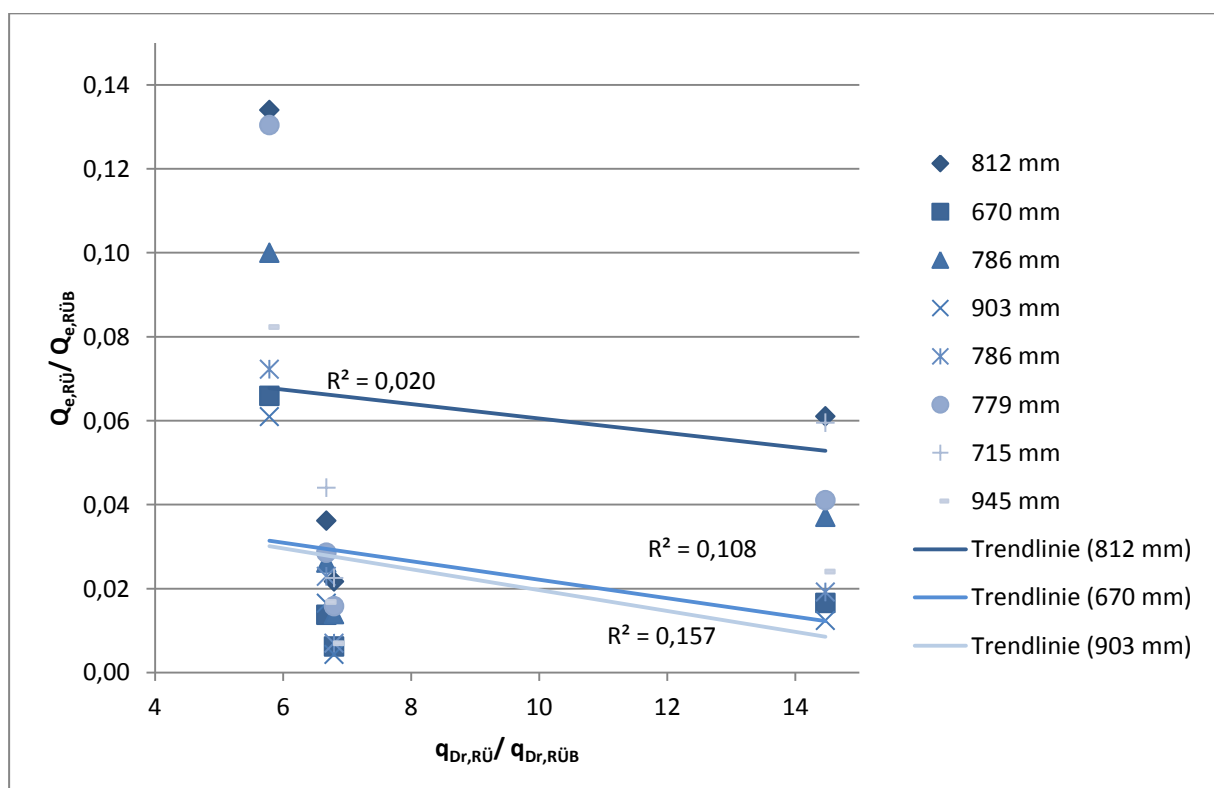


Bild Anhang 2-3: Vergleich der Verhältnisse von Entlastungsvolumen und Drosselabflussspende der Regenüberläufe und deren Folgebauwerke

Anhang 3: Einfluss von RRB auf Entlastungsverhalten des Folge-SBW - Daten und grafische Darstellung (Erläuterungen s. S. 25)

Tabelle Anhang 3-1: Ergebnisse (Bewertungsindikatoren) Varianten i bis iv mit $h_{Na} = 812 \text{ mm}$, jeweilige Folgebecken der RRB farblich hinterlegt

Variante: Referenz (ohne zusätzliche RRB)			
I1	I2	I3	Becken
98,9%	2,81	0,5%	RÜB 4
	0,61	0,1%	RÜB 3
	4,97	0,6%	RÜB 7
	0,63	0,2%	RÜB 8
	0,91	0,5%	RÜB 10
	5,75	0,8%	RÜB 11
	1,61	1,0%	RÜB 12
Mittelwert:		Mittelwert:	
2,47		0,5%	

Variante i: nur RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
112,0%	2,81	0,1%	RÜB 4
	0,61	0,4%	RÜB 3
	4,97	0,8%	RÜB 7
	0,63	3,5%	RÜB 8
	0,91	2,8%	RÜB 10
	8,75	10,4%	RÜB 11
	0,39	3,1%	RÜB 12
Mittelwert:		Mittelwert:	
2,72		3,0%	

Variante ii: nur RRB a ($V_{RRB}=50.000 \text{ m}^3$, $Q_d=560 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
120,3%	2,81	0,1%	RÜB 4
	0,61	0,5%	RÜB 3
	4,97	0,9%	RÜB 7
	0,63	5,5%	RÜB 8
	0,91	5,0%	RÜB 10
	12,75	17,4%	RÜB 11
	3,39	5,3%	RÜB 12
Mittelwert:		Mittelwert:	
3,72		5,0%	

Variante iii: RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$) und RRB b ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=250 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
114,1%	2,81	0,1%	RÜB 4
	0,61	0,4%	RÜB 3
	4,97	0,8%	RÜB 7
	0,63	4,0%	RÜB 8
	0,09	1,3%	RÜB 10
	8,75	10,1%	RÜB 11
	1,39	3,6%	RÜB 12
Mittelwert:		Mittelwert:	
2,75		2,9%	

Variante iv: RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$) und RRB b ($V_{RRB}=10.000 \text{ m}^3$, $Q_d=200 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
112,9%	2,81	0,1%	RÜB 4
	0,61	0,4%	RÜB 3
	4,97	0,8%	RÜB 7
	0,63	3,7%	RÜB 8
	1,09	3,1%	RÜB 10
	9,75	10,8%	RÜB 11
	1,39	2,9%	RÜB 12
Mittelwert:		Mittelwert:	
3,04		3,1%	

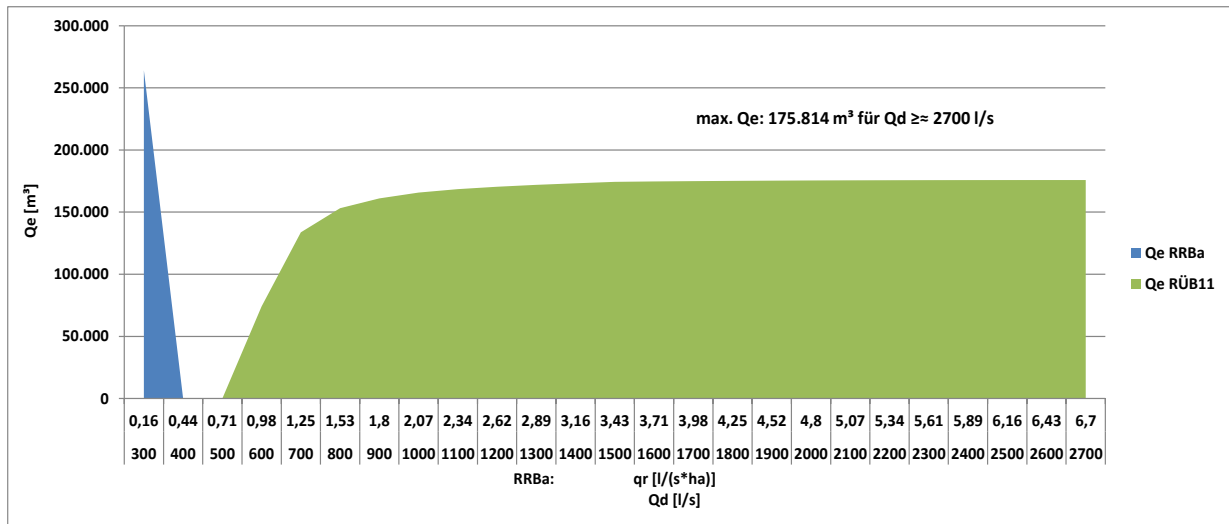


Bild Anhang 3-1: Ergebnisse für Variante v, $h_{Na} = 812$ mm, $V_{RRB} = 99.999$ m³: grafische Darstellung der Entlastungsvolumina von RRB a und dem nachfolgenden RÜB 11 in Abhängigkeit vom Drosselabfluss Q_d (bzw. Regenabflussspende q_R)

Tabelle Anhang 3-2: Ergebnisse (Bewertungsindikatoren) Varianten i bis iv mit $h_{Na} = 670$ mm, jeweilige Folgebecken der RRB farblich hinterlegt

Variante: Referenz (ohne zusätzliche RRB)			
I1	I2	I3	Becken
84,7%	4,19	0,3%	RÜB 4
	3,61	0,0%	RÜB 3
	0,11	0,1%	RÜB 7
	6,63	1,4%	RÜB 8
	6,91	0,1%	RÜB 10
	1,25	1,5%	RÜB 11
	8,63	0,4%	RÜB 12
	Mittelwert: 4,48	Mittelwert: 0,6%	

Variante i: nur RRB a ($V_{RRB}=20.000$ m ³ , $Q_d=600$ l/s)			
I1	I2	I3	Becken
92,3%	4,19	0,0%	RÜB 4
	3,61	0,2%	RÜB 3
	0,11	0,1%	RÜB 7
	6,63	3,8%	RÜB 8
	6,91	2,5%	RÜB 10
	2,75	9,6%	RÜB 11
	5,63	3,1%	RÜB 12
	Mittelwert: 4,26	Mittelwert: 2,8%	

Variante ii: nur RRB a ($V_{RRB}=50.000$ m ³ , $Q_d=560$ l/s)			
I1	I2	I3	Becken
100,1%	4,19	0,3%	RÜB 4
	3,61	0,4%	RÜB 3
	0,11	0,0%	RÜB 7
	6,63	6,1%	RÜB 8
	6,91	4,9%	RÜB 10
	7,75	17,4%	RÜB 11
	1,63	5,6%	RÜB 12
	Mittelwert: 4,40	Mittelwert: 5,0%	

Variante iii: RRB a ($V_{RRB}=20.000$ m ³ , $Q_d=600$ l/s) und RRB b ($V_{RRB}=20.000$ m ³ , $Q_d=250$ l/s)			
I1	I2	I3	Becken
93,7%	4,19	0,1%	RÜB 4
	3,61	0,3%	RÜB 3
	0,11	0,0%	RÜB 7
	6,63	4,2%	RÜB 8
	5,91	1,3%	RÜB 10
	3,75	9,3%	RÜB 11
	4,63	3,5%	RÜB 12
	Mittelwert: 4,12	Mittelwert: 2,7%	

Variante iv: RRB a ($V_{RRB}=20.000$ m ³ , $Q_d=600$ l/s) und RRB b ($V_{RRB}=10.000$ m ³ , $Q_d=200$ l/s)			
I1	I2	I3	Becken
98,7%	4,19	0,2%	RÜB 4
	3,61	0,4%	RÜB 3
	0,11	0,0%	RÜB 7
	6,63	5,7%	RÜB 8
	4,91	1,4%	RÜB 10
	5,75	9,8%	RÜB 11
	3,63	4,9%	RÜB 12
	Mittelwert: 4,12	Mittelwert: 3,2%	

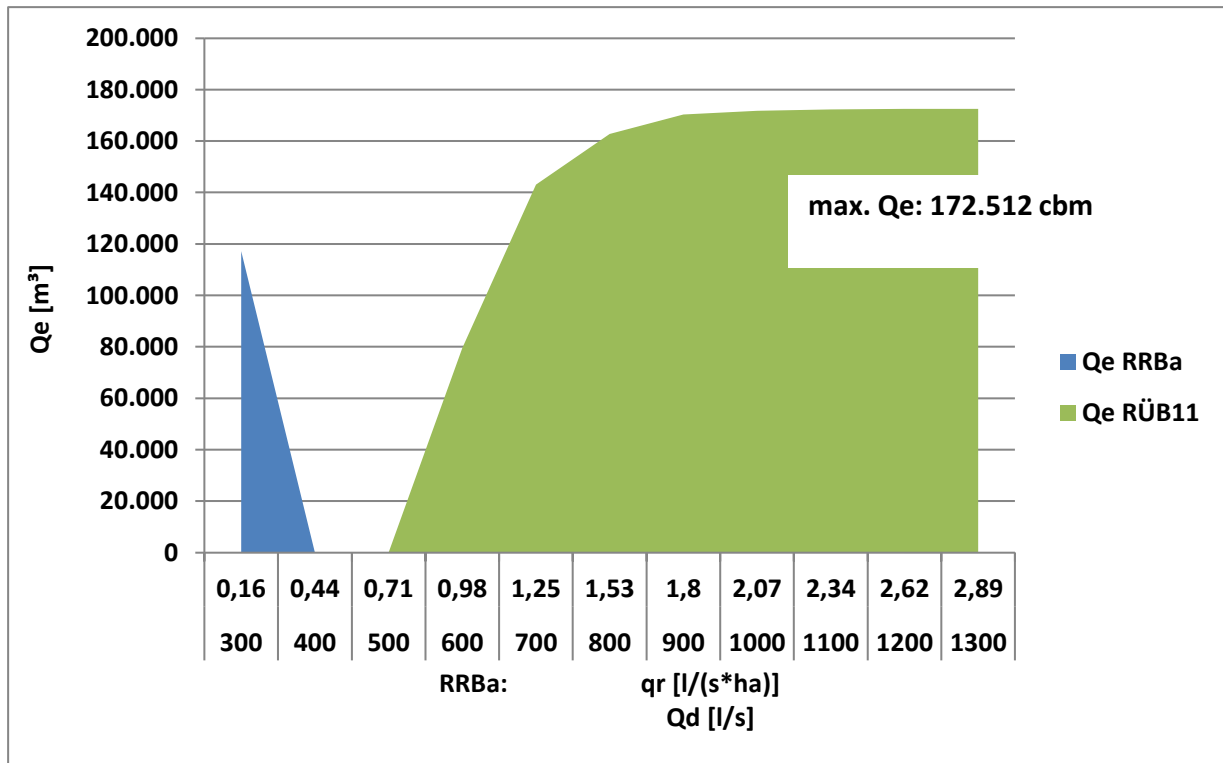


Bild Anhang 3-2: Ergebnisse für Variante v, $h_{Na} = 670$ mm, $V_{RRB} = 99.999$ m³: grafische Darstellung der Entlastungsvolumina von RRB a und dem nachfolgenden RÜB 11 in Abhängigkeit vom Drosselabfluss Q_d (bzw. Regenabflussspende q_R)

Tabelle Anhang 3-3: Ergebnisse (Bewertungsindikatoren) Varianten i bis iv mit $h_{Na} = 903 \text{ mm}$, jeweilige Folgebecken der RRB farblich hinterlegt

Variante: Referenz (ohne zusätzliche RRB)			
I1	I2	I3	Becken
95,6%	3,81	0,4%	RÜB 4
RÜB10 RÜB11	5,39	0,5%	RÜB 3
	3,11	0,3%	RÜB 7
	0,37	2,5%	RÜB 8
	0,09	0,2%	RÜB 10
	5,75	1,7%	RÜB 11
	1,63	0,2%	RÜB 12
	Mittelwert 2,88	Mittelwert 0,8%	

Variante i: nur RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
103,3%	3,81	0,1%	RÜB 4
	5,39	0,4%	RÜB 3
	3,11	0,3%	RÜB 7
	0,37	4,7%	RÜB 8
	0,09	2,3%	RÜB 10
	9,75	8,6%	RÜB 11
	1,37	2,4%	RÜB 12
	Mittelwert 3,41	Mittelwert 2,7%	

Variante ii: nur RRB a ($V_{RRB}=50.000 \text{ m}^3$, $Q_d=560 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
113,2%	3,81	0,2%	RÜB 4
	5,39	0,2%	RÜB 3
	3,11	0,2%	RÜB 7
	0,37	7,5%	RÜB 8
	0,09	5,0%	RÜB 10
	13,75	17,4%	RÜB 11
	4,37	5,2%	RÜB 12
	Mittelwert 4,41	Mittelwert 5,1%	

Variante iii: RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$) und RRB b ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=250 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
105,7%	3,81	0,1%	RÜB 4
	5,39	0,3%	RÜB 3
	3,11	0,3%	RÜB 7
	0,37	5,4%	RÜB 8
	1,09	0,3%	RÜB 10
	10,75	8,1%	RÜB 11
	1,37	3,1%	RÜB 12
	Mittelwert 3,70	Mittelwert 2,5%	

Variante iv: RRB a ($V_{RRB}=20.000 \text{ m}^3$, $Q_d=600 \text{ l/s}$) und RRB b ($V_{RRB}=10.000 \text{ m}^3$, $Q_d=200 \text{ l/s}$)			
I1	I2	I3	Becken
113,6%	3,81	0,2%	RÜB 4
	5,39	0,2%	RÜB 3
	3,11	0,2%	RÜB 7
	0,37	7,6%	RÜB 8
	3,09	4,4%	RÜB 10
	12,75	8,1%	RÜB 11
	3,37	5,1%	RÜB 12
	Mittelwert 4,56	Mittelwert 3,7%	

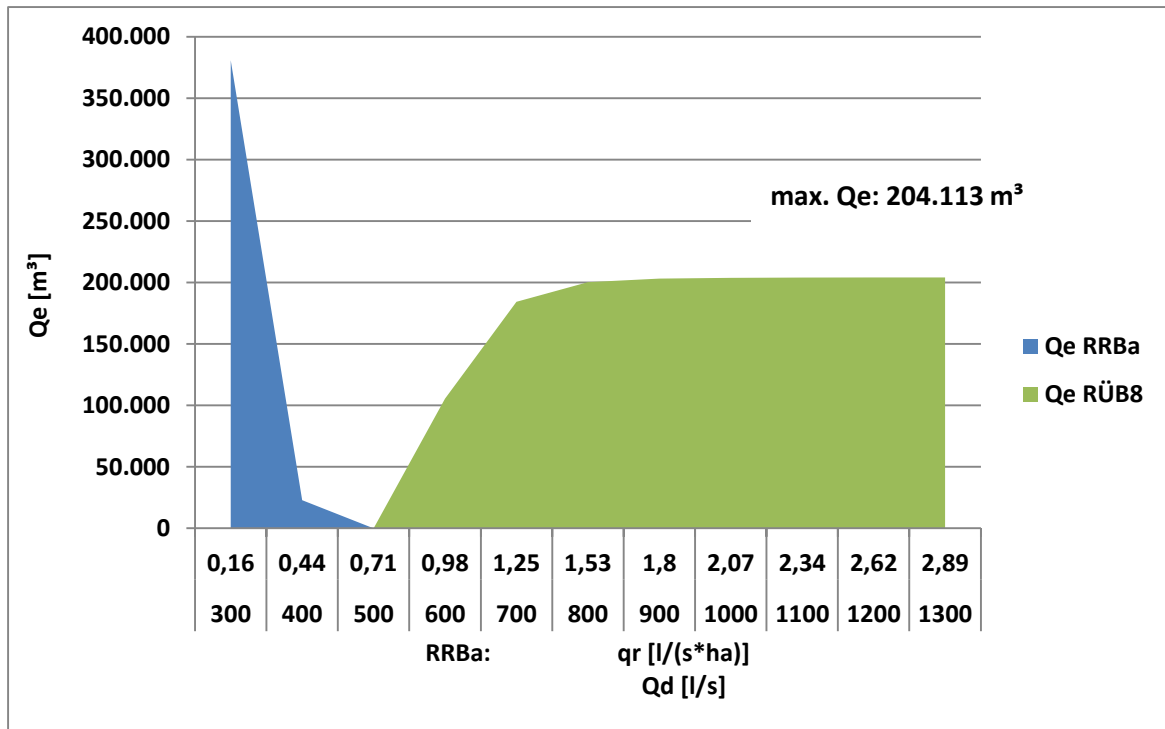


Bild Anhang 3-3: Ergebnisse für Variante v, $h_{Na} = 903$ mm, $V_{RRB} = 99.999$ m³: grafische Darstellung der Entlastungsvolumina von RRB a und dem nachfolgenden RÜB 11 in Abhängigkeit vom Drosselabfluss Q_d (bzw. Regenabflussspende q_R)

Anhang 4: Kenndaten der Untersuchungsgebiete

Tabelle Anhang 4-1: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 1 mit bauwerks-spezifischen Werten

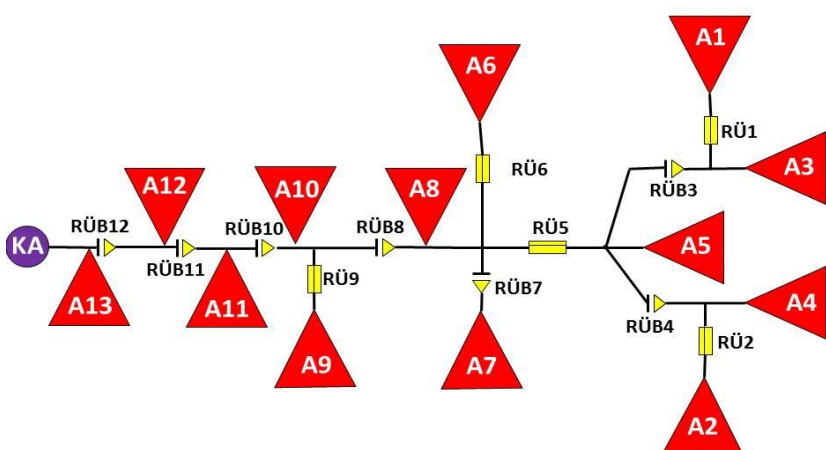
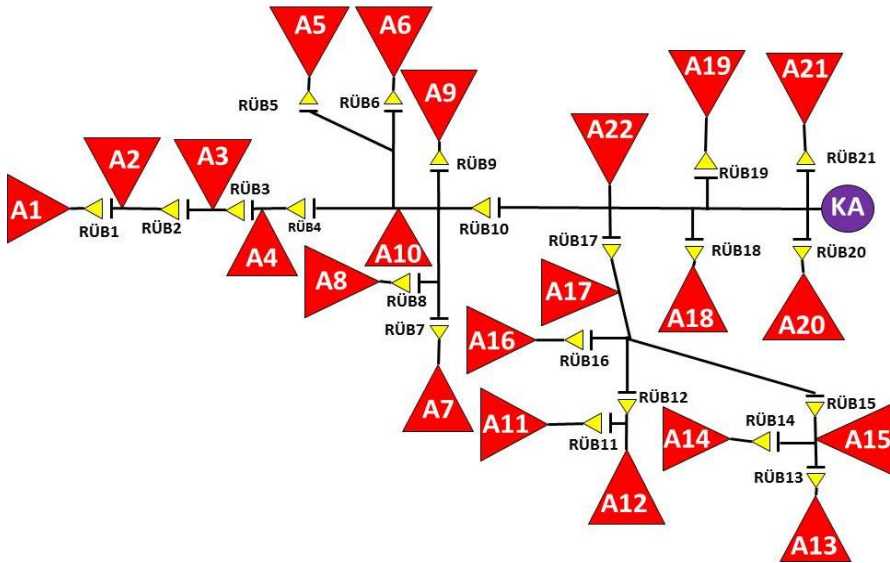
							
Bauwerk	A_u [ha]	Q_{Dr} [l/s]	Q_T [l/s]	NG_m	t_f [min]	V_s [m³/ha]	q_{Dr} [l/(s*ha)]
RÜ 1	1,21	29	0,9	-	-	-	-
RÜ 2	5,4	78	3,4	-	-	-	-
RÜB 3	17,83	64	15	2	16,0	25,20	2,49
RÜB 4	12,02	30	12	2	14,0	23,80	0,92
RÜ 5	22,93	1044	38	-	-	-	-
RÜ 6	5,96	71	4,7	-	-	-	-
RÜB 7	22,11	300	23	2	6,0	7,70	12,44
RÜB 8	68,02	270	68	2	23,0	25,50	0,87
RÜ 9	10,4	250	5,4	-	-	-	-
RÜB 10	123	435	70	2	40,0	34,40	0,70
RÜB 11	78,00	540	41	2	40,0	23,90	0,77
RÜB 12	142,00	710	67	2	30,0	39,10	0,70

Tabelle Anhang 4-2: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 2 mit bauwerks-spezifischen Werten

							
Bauwerk	A_u [ha]	Q_{Dr} [l/s]	Q_T [l/s]	NG_m	t_f [min]	V_s [m³/ha]	q_{Dr} [l/(s*ha)]
RÜB 1	15,60	26	4	2	15,0	35,30	1,41
RÜB 2	19,40	60	11	2	9,5	44,30	1,19
RÜB 3	10,30	300	2	2	6,6	76,99	23,10
RÜB 4	34,00	130	29	2	23,9	63,53	1,21
RÜB 5	48,90	50	17	2	17,3	22,20	0,67
RÜB 6	20,50	41	5	2	11,1	28,00	1,76
RÜB 7	28,00	87	7	2	6,2	27,70	2,86
RÜB 8	15,60	28	5	2	6,2	35,30	1,47
RÜB 9	17,90	27	5	2	5,0	40,80	1,23
RÜB 10	56,30	417	25	2	29,2	73,06	0,52
RÜB 11	5,80	10	2	2	3,2	36,60	1,38
RÜB 12	25,80	66	9	2	10,7	25,97	1,82
RÜB 13	6,30	27	2	2	5,0	9,50	3,97
RÜB 14	10,00	25	3	2	5,0	21,20	2,20
RÜB 15	17,80	35	13	2	7,5	196,63	1,24
RÜB 16	24,40	62	9	2	10,9	22,10	2,17

Bauwerk	A_u [ha]	Q_{Dr} [l/s]	Q_T [l/s]	NG_m	t_f [min]	V_s [m³/ha]	q_{Dr} [l/(s*ha)]
RÜB 17	138,10	370	61	2	34,1	39,92	1,06
RÜB 18	13,70	27	4	2	5,9	29,90	1,68
RÜB 19	16,20	28	4	2	7,3	34,60	1,48
RÜB 20	52,10	138	26	2	16,7	48,80	2,15
RÜB 21	6,40	92	3	2	37,0	179,90	13,91

Tabelle Anhang 4-3: Vereinfachte Darstellung Untersuchungsgebiet 3 mit bauwerks-spezifischen Werten

