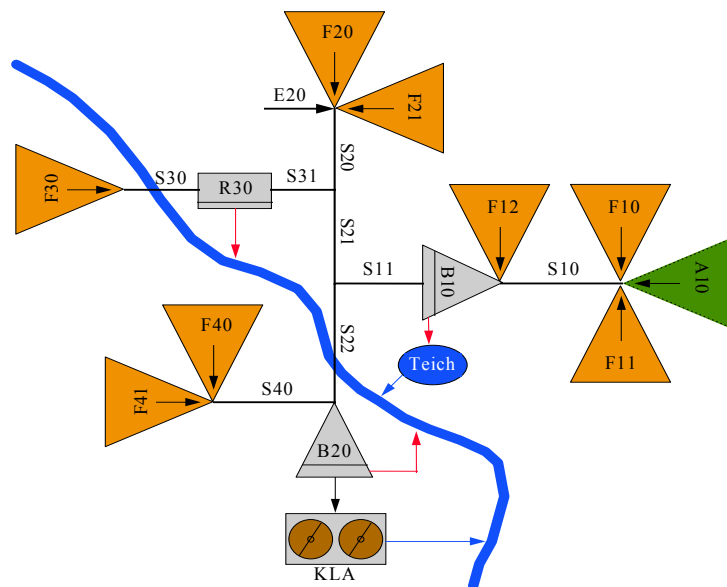


## Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI

### Anlage 3 – Hinweise zur Optimierung



# **Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI**

## **Anlage 3 – Hinweise zur Optimierung**

**Darmstadt, August 2004**

**Wissenschaftliche Leitung:**

Prof. Dr.-Ing. M. Ostrowski

**Bearbeitung:**

Dipl.-Ing. Dirk Muschalla

**Auftraggeber:**

**Hessisches Ministerium  
für Umwelt, ländlichen Raum  
und Verbraucherschutz**

## INHALT

<b>1</b>	<b>VORBEMERKUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>GLOSSAR</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ERREICHBARE EMISSIONSREDUKTION DURCH OPTIMALE ABSTIMMUNG DER DROSSELLEISTUNGEN</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>DROSSELEINRICHTUNGEN</b> .....	<b>4</b>
4.1	ALLGEMEIN .....	4
4.2	DEFINITION.....	5
4.3	KLASSIFIKATION.....	5
4.4	STEUERUNG UND REGELUNG.....	6
4.4.1	<i>Steuerung</i> .....	6
4.4.2	<i>Regelung</i> .....	7
4.4.3	<i>Anmerkungen zum Steuern und Regeln</i> .....	7
4.5	AUFSTELLUNG DES DROSSELORGANS.....	7
<b>5</b>	<b>VARIATIONSBEREICH VON DROSSELABFLÜSSEN AN REGENÜBERLÄUFEN UND REGENÜBERLAUFBECKEN</b> .....	<b>8</b>
5.1	REGENÜBERLÄUFE.....	8
5.1.1	<i>Mindestdrosselabfluss</i> .....	8
5.1.2	<i>Maximaler Drosselabfluss</i> .....	9
5.1.3	<i>Diskussion und Zusammenfassung</i> .....	9
5.1.4	<i>Hinweise</i> .....	10
5.2	REGENÜBERLAUFBECKEN.....	11
5.2.1	<i>Mindestdrosselabfluss</i> .....	11
5.2.2	<i>Maximaler Drosselabfluss</i> .....	11
5.2.3	<i>Diskussion und Zusammenfassung</i> .....	13
<b>6</b>	<b>DROSSELOPTIMIERUNG VON MISCHSYSTEMEN</b> .....	<b>14</b>
6.1	REFERENZSYSTEM .....	14
6.2	HINWEISE ZU DEN OPTIMIERUNGSERGEBNISSEN.....	14
6.3	IN REIHE GESCHALTETE REGENÜBERLAUFBECKEN MIT HOMOGENER VOLUMENVERTEILUNG.....	16
6.4	IN REIHE GESCHALTETE REGENÜBERLAUFBECKEN MIT INHOMOGENER VOLUMENVERTEILUNG .....	17
6.5	PARALLELE REGENÜBERLAUFBECKEN MIT HOMOGENER VOLUMENVERTEILUNG .....	18
6.6	PARALLELE REGENÜBERLAUFBECKEN MIT INHOMOGENER VOLUMENVERTEILUNG.....	19
6.7	REGENÜBERLAUFBECKEN MIT VORGESCHALTETEM REGENÜBERLAUF .....	20
6.8	REGENÜBERLAUFBECKEN MIT VORGESCHALTETEM REGENRÜCKHALTEBECKEN.....	21
6.9	ZUSAMMENFASSUNG .....	22
6.9.1	<i>Parallel und/oder in Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit homogener Volumenverteilung..</i> .....	22
6.9.2	<i>Parallel und/oder in Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit inhomogener Volumenverteilung</i> .....	22
6.9.3	<i>Regenüberlaufbecken mit vorgeschaltetem Regenüberlauf oder Regenrückhaltebecken</i> .....	22
<b>7</b>	<b>REFERENZEN</b> .....	<b>23</b>

## 1 Vorbemerkung

Die Anlage 3 des Leitfadens zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI beinhaltet Hinweise und Regeln, wie Drosselleistung von Regenüberlaufbecken, Regenüberläufen und Regenrückhaltebecken optimal aufeinander abzustimmen sind.

Nach einer Darstellung des Optimierungspotentials durch Abstimmung der Drosselleistungen von Entlastungsbauwerken wird ein Überblick über Elemente zur Abflussbeeinflussung unter Druck (Drosseln) gegeben. Daran anschließend sind Hinweise zur Wahl eines sinnvollen Variationsbereiches dieser Einrichtungen zu finden, bevor die eigentlichen Hinweise zur Optimierung folgen.

## 2 Glossar

In Tabelle 1 sind alle im Folgenden benutzten Abkürzungen, Formelzeichen und Begriffe aufgeführt.

*Tabelle 1: Abkürzungen und Definitionen*

<b>Abkürzung</b>	<b>Einheiten</b>	<b>Erläuterung</b>
A	ha	Fläche Teil-, Direkt- u. Gesamteinzugsgebiet
$A_{red}$	ha	Reduzierte Fläche
$A_u$	ha	Undurchlässige Fläche (rechenwert) (A 128)
$c_{CSB}$	mg/l	Konzentration CSB
$c_g$	mg/l	Konzentration gewerblicher Trockenwetterabfluss (A 128)
$c_h$	mg/l	Konzentration häuslicher Trockenwetterabfluss (A 128)
$c_i$	mg/l	Konzentration industrieller Trockenwetterabfluss (A 128)
$c_t$	mg/l	Konzentration Trockenwetterabfluss (A 128)
E		Einwohneranzahl
eo	%	Entlastungsrate
mQf	l/s	Mittlerer Fremdwasserabfluss (SMUSI)
mQg	l/s	Mittlerer gewerblicher Abfluss (SMUSI)
mQh	l/s	Mittlerer häuslicher Abfluss (SMUSI)
$m_{RÜ}$		Mischungsverhältnis RÜ bei Entlastungsbeginn (A 128)
$Q_d$	l/s	Drosselabfluss
$Q_f$	l/s	Fremdwasserabfluss
$Q_g$	l/s	Gewerblicher Abfluss

Abkürzung	Einheiten	Erläuterung
$Q_{g24}$	l/s	Tagesmittel gewerblicher Abfluss (A128)
$Q_h$	l/s	Häuslicher Abfluss
$Q_{h24}$	l/s	Tagesmittel häuslicher Abfluss (A128)
$Q_{i24}$	l/s	Tagesmittel industrieller Abfluss (A128)
$Q_{krit}$	l/s	Kritischer Abfluss
$q_r$	l/(s*ha)	Regenabflussspende
$Q_{rkrit}$	l/s	Kritischer Regenabfluss
$Q_{t24}$	l/s	Trockenwetterabfluss im Tagesmittel
$Q_{ex}$	l/s	Tagesspitze des Trockenwetterabflusses
$Q_{voll}$	l/s	Vollfülleleistung Sammler
$r_{krit}$	l/(s*ha)	Regenspende
spez. CSB-Fracht	kg/(ha*A <sub>red</sub> )	Spezifische CSB-Fracht
$t_f$	min	Fließzeit

### 3 Erreichbare Emissionsreduktion durch optimale Abstimmung der Drosselleistungen

Ein Überblick über das Optimierungspotential wurde anhand der Optimierung von 28 zufällig ausgewählten SMUSI-Datensätzen aus Hessen mittels evolutionärer Algorithmen ermittelt. Hierzu wurden nur die Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken bezüglich der Gesamtentlastungsfracht CSB optimiert, da die Variation der Drosselabflüsse von schwach gedrosselten Bauwerken (Regenüberläufe und Regenrückhaltebecken) keinen merklichen Einfluss auf das Optimierungsergebnis haben (Vergleiche Kapitel 6.7 und 6.8). Der Drosselabfluss des jeweils letzten Beckens im System wurde nicht variiert (Zufluss zur Kläranlage wurde als unveränderlich angenommen). In Abbildung 1 sind die erreichten

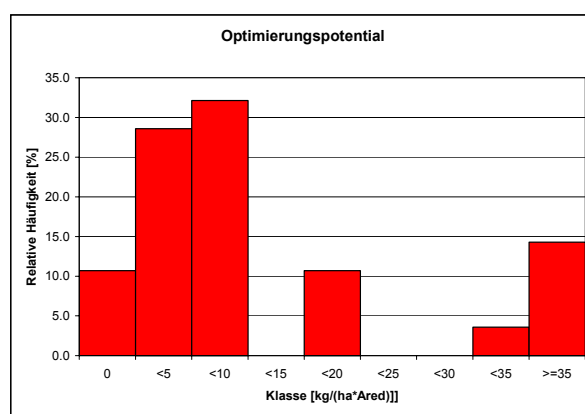
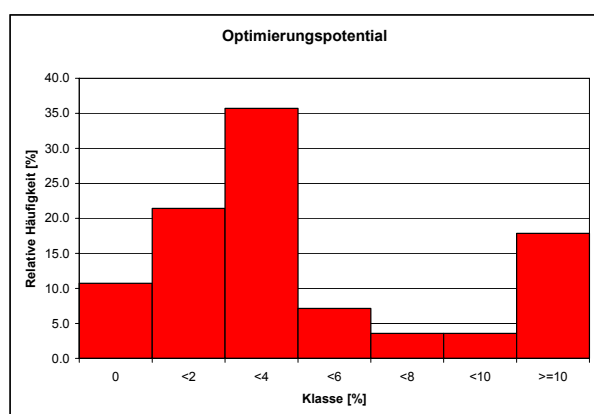


Abbildung 1: Reduktion der Gesamtentlastungsfracht in Prozent

Abbildung 2: Reduktion der spez. Entlastungsfracht CSB in kg/(ha\*Ared)

Reduktionen der Gesamtentlastungsfracht in Prozent bezogen auf die Ausgangswerte der nicht optimierten Systeme dargestellt. Abbildung 2 stellt die Reduktion der spez. CSB-Fracht in  $\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{Ared})$  dar. Die wichtigsten statistischen Kenngrößen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Statistische Kenngrößen des Optimierungspotentials

	[%]	Spez. CSB [ $\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{Ared}$ ]
Mittleres Optimierungspotential	5,4	13,8
Minimale Reduktion	0	0
Maximale Reduktion	30,1	81

Auffällig ist die große Spannbreite der möglichen Verbesserungen der Systeme. Eine nähere Betrachtung der Struktur der einzelnen Datensätze lässt erkennen, dass das Optimierungspotential von zwei wesentlichen Faktoren abhängt. Zum einen ist es die Netzstruktur selbst, die entscheidenden Einfluss auf die Optimierungsmöglichkeiten hat. Prinzipiell bieten Netze mit in Reihe geschalteten Bauwerken ein höheres Optimierungspotential als Netze mit mehreren parallelen Bauwerken. Zum anderen ist das Optimierungsergebnis stark davon abhängig, in wie weit die Drosselabflüsse bereits aufeinander abgestimmt sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die möglichst optimale Abstimmung der Drosselleistungen in den meistens Fällen nicht als alleinige Sanierungsmaßnahme ausreichen wird. Für Bauwerke, deren Drosselleistung jedoch ohne größeren finanziellen Aufwand variierbar ist, stellt die Drosseloptimierung eine sinnvolle und effektive Maßnahme dar.

## 4 Drosseleinrichtungen

### 4.1 Allgemein

Durch eine Begrenzung des Mischwasserabflusses in Richtung Kläranlage (Drosselung) kommt es innerhalb der Regenentlastungsanlage zu einem Rückstau in das Überlaufbauwerk. Übersteigt der Rückstau die Überlaufschwelle, so wird das überschüssige Mischwasser in den Vorfluter entlastet. Der nicht entlastete, eventuell zwischengespeicherte Anteil, wird als so genannter Drosselabfluss innerhalb der Kanalisation weiter Richtung Kläranlage geleitet (Pöpel, 2001).

Aus Gründen der Vollständigkeit werden an dieser Stelle auch jene Anlagenelemente behandelt, die hinsichtlich ihres abflussbeeinflussenden Verhaltens nicht einfach zu ändern sind und somit einer praktischen Umsetzung der Optimierungsergebnisse entziehen.

## 4.2 Definition

Nach Definition aus (ATV-DVWK 1994) dienen Drosseleinrichtungen der Beeinflussung von Abflussspitzen, indem sie den Abfluss begrenzen oder vermindern. Durch den Einbau von Drosseleinrichtungen wird eine Reduzierung der erforderlichen Kanalprofile angestrebt.

Bezüglich der Terminologie werden in diesem Leitfaden die in Tabelle 3 zusammengefassten Begriffe nach (Ostrowski/Koch 2002) verwendet.

*Tabelle 3: Klassifizierung von Drosselorganen*

Drosselorgan	Das Drosselorgan selbst ist das den Abfluss begrenzende Bauteil, inklusive seiner Mess-, Steuer- und Regeltechnik.
Drosselbauwerk	Das Bauwerk (z.B. Schacht), in dem das Drosselorgan eingebaut ist.
Drosselanlage	Die Drosselanlage beinhaltet das Drosselorgan und das Drosselbauwerk.
Drosseleinrichtung	Die Drosseleinrichtung umfasst das Drosselorgan, das Drosselbauwerk und die auf die Drossel einwirkende bauliche Umgebung.

## 4.3 Klassifikation

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Drosselorgane auf dem Markt, die nach den unterschiedlichsten Prinzipien arbeiten. Diese gehen von der einfachen Rohrdrossel über mechanische Abflusssteuerungen bis zu elektronischen Abflussregelungen. Unterschieden werden die Drosselorgane nach folgenden Kriterien:

- Passive – und aktive Drosselorgane
- Abflusssteuerungen und -regelungen
- Drosselorgane mit und ohne Fremdenergie
- Drosselorgane mit und ohne bewegliche Teile

Eine Übersicht der Drosselorgane hinsichtlich ihres Funktionsprinzips kann der folgenden tabellarischen Gliederung nach (ATV-DVWK 1999) entnommen werden.

Tabelle 4: Klassifikation nach (DVWK/ATV-DVWK 1999)

		Steuerungen	Regelungen	
Ohne Fremdenergie	Passiv	Drosselstrecke/Rohrdrossel	-	Ohne bewegte Teile
		Strömungsmechanisches Ventil	-	
Mit Fremdenergie	Aktiv	Oberwassergesteuertes Drosselorgan	Unterwassergesteuertes Drosselorgan	Mit bewegten Teilen
		Oberwassergesteuertes Drosselorgan mit Motorantrieb	Durchflussgeregeltes Drosselorgan mit Motorantrieb	

Passive Drosselorgane besitzen keine beweglichen Teile und haben eine konstante Auslassöffnung. Sie erreichen ihre Wirkung durch erhöhte Wandreibung, Querschnittseinschnürung oder Drehbeschleunigung. Als typische Vertreter dieser Drosselart sind die Drosselstrecke, feststehende Schieber und die klassische Wirbeldrossel zu nennen.

Bei aktiven Drosseln ändert sich mit wechselndem Oberwasserstand die Größe des Auslassquerschnitts oder der Fließwiderstand ändert sich mit Hilfe von Strömungseffekten. Gerade bei erhöhten Anforderungen an die Verstellbarkeit des Drosselabflusses oder der Steilheit der Kennlinie bieten aktive Drosselorgane mehr Vorteile als passive Drosselorgane.

## 4.4 Steuerung und Regelung

Leider wird in der Abwassertechnik der Begriff Abflusssteuerung pauschal für mechanisch/elektronisch arbeitende Drosselorgane verwendet, was nicht korrekt ist. Die Begriffe Steuerung und Regelung sind in der DIN 19226 folgendermaßen definiert:

### 4.4.1 Steuerung

Das Steuern oder die Steuerung ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerkette.



#### **4.4.2 Regelung**

Das Regeln (die Regelung) ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße) fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe (Führungsgröße) verglichen und abhängig vom Ergebnis des Vergleichens im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis (Regelkreis) statt.

#### **4.4.3 Anmerkungen zum Steuern und Regeln**

Bei Abflusssteuerungen ist die Eingangsgröße in der Regel der Wasserstand und die Ausgangsgröße ist der Auslassquerschnitt an dem Drosselorgan. Der Durchfluss selbst wird von Abflusssteuerungen nicht gemessen, weshalb auch Verlegungen des Auslassquerschnitts systembedingt nicht erkannt werden können. Bei Abflussregelungen hingegen wird der aktuelle Durchfluss erfasst. Weicht der Ist- von dem Sollwert ab, tritt die Regelung ein. Der Durchfluss wird bei mechanischen Abflussreglern durch statische und dynamische Wirkungen wie Impuls und Gewichtskraft erfasst, die bei Abweichungen vom Sollwert das System wieder ins Gleichgewicht bringen. Bei anderen Systemen wird der Durchfluss direkt gemessen und dann über eine Regelung ein Elektroschieber so geregelt, dass eine bestimmte Abflusscharakteristik eingehalten wird.

Nach (ATV-DVWK 1994) sollen Abflussregelungen einen Mindestdurchfluss von  $Q= 10 \text{ l/s}$  und Abflusssteuerungen einen Mindestdurchfluss von  $Q= 25 \text{ l/s}$  einhalten.

#### **4.5 Aufstellung des Drosselorgans**

Die Aufstellung des Drosselorgans kann auf dreierlei Arten erfolgen. Man unterscheidet

- die nasse,
- die halbtrockene
- und die trockene Aufstellung des Drosselorgans.

Bei der nassen Aufstellung handelt es sich um Drosselorgane, die sich beim Einstau des Regenbeckens im Staubereich befinden. Es fehlt das Drosselbauwerk. Bei der halbtrockenen Aufstellung wird das Abwasser zunächst durch eine Rohrleitung geführt, passiert das Drosselorgan und tritt anschließend in ein offenes Gerinne im Drosselbauwerk. Bei der trockenen Aufstellung fließt das Abwasser in einem geschlossenen System durch das Drosselbauwerk.

## 5 Variationsbereich von Drosselabflüssen an Regenüberläufen und Regenüberlaufbecken

Im Folgenden werden auf Basis einschlägiger Dimensionierungsgrundlagen sinnvolle Variationsbereiche für die zu optimierenden Drosselabflüsse bestimmt. Obwohl die herangezogenen Dimensionierungsrichtlinien in Hessen nicht bindend sind, können aus ihnen wichtige Hinweise für Grenzwerte abgeleitet werden. Für die Betrachtung wurden nur Vorschriften herangezogen, die eine sinnvolle und praktikable a priori Bestimmung der Grenzwerte zulassen.

### 5.1 Regenüberläufe

#### 5.1.1 Mindestdrosselabfluss

Nach (ATV-DVWK 1992) sind Entlastungen in Gewässer, die zeitweise keinen oder nur geringen Abfluss führen, möglichst zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, ist eine Regenspende von mindestens  $r_{krit} = 15 \text{ l/(s*ha)}$  zur Berechnung des kritischen Abflusses  $Q_{krit}$  anzusetzen. Im Regelfall ist eine Regenspende zwischen  $r_{krit} = 7,5$  und  $15 \text{ l/(s*ha)}$  vorzusehen, diese wird in Abhängigkeit von der längsten Fließzeit bis zum Regenüberlauf bestimmt:

$$r_{krit} = 15 \cdot 120 / (t_f + 120) \quad [l/(s \cdot ha)] \quad (1)$$

für  $t_f \leq 120 \text{ min}$

bzw.

$$r_{krit} = 7,5 \quad [l/(s \cdot ha)] \quad (2)$$

für  $t_f > 120 \text{ min}$

Damit ergibt sich als Bestimmungsgleichung für  $Q_{krit}$

$$Q_{krit} = Q_{t24} + Q_{rkrit} + \sum Q_{d,i} \quad [l/s] \quad (3)$$

mit

$$Q_{rkrit} = r_{krit} \cdot A_u \quad [l/s] \quad (4)$$

In (ATV-DVWK 1992) ist als zweites Kriterium der Mindestdrosselabfluss in Abhängigkeit vom Mindestmischungsverhältnis definiert:

$$m_{R\ddot{u}} = (Q_d - Q_{t24}) / Q_{t24} \quad (5)$$

$$m_{R\ddot{u}} \geq 7 \quad \text{für } c_t \leq 600 \text{ mg/l} \quad (6)$$

$$m_{R\ddot{u}} \geq (c_t - 180) / 60 \quad \text{für } c_t > 600 \text{ mg/l} \quad (7)$$

Aus Gleichung 5 errechnet sich der Mindestdrosselabfluss zu

$$Q_d = (m_{R\ddot{u}} + 1) \cdot Q_{t24} \quad [l/s] \quad (8)$$

Dieser Wert wird maßgebend, wenn er den Wert nach Gleichung 3 übersteigt.

Darüber hinaus gibt (ATV-DVWK 1992) den Hinweis, dass, um Regenüberläufe hydraulisch einwandfrei gestalten zu können, der verbleibende Abfluss im Kanal mindestens 50 l/s betragen sollte.

$$Q_d \geq 50 \quad [l/s] \quad (9)$$

### 5.1.2 Maximaler Drosselabfluss

Eine Begrenzung des Drosselabflusses nach oben ist in den einschlägigen Richtlinien nicht zu finden. Jedoch muss darauf geachtet werden, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der anschließenden Sammler nicht überschritten wird.

### 5.1.3 Diskussion und Zusammenfassung

Der Term  $\sum Q_{d,i}$  in Gleichung 3 ist dann problematisch, wenn nicht nur der Drosselabfluss eines einzelnen Bauwerkes optimiert wird. Für die Bestimmung des Mindestdrosselabfluss nach Gleichung 8 können die Gleichungen 5 bis 7 zusammengefasst werden. Dann ergibt sich für den Mindestdrosselabfluss:

$$Q_d = 8 \cdot Q_{t24} \quad [l/s] \quad \text{für } c_t \leq 600 \text{ mg/l} \quad (10)$$

$$Q_d = \left( \frac{c_t - 180}{60} + 1 \right) \cdot Q_{t24} \quad [l/s] \quad \text{für } c_t > 600 \text{ mg/l} \quad (11)$$

Der Mindestdrosselabfluss nach Gleichung (9) stellt ein einfach anzuwendendes Kriterium dar.

<b>Mindestdrosselabfluss Regenüberlauf</b>		
$Q_d = 8 \cdot Q_{t24}$	$[l/s]$	für $c_t \leq 600 \text{ mg/l}$
$Q_d = \left( \frac{c_t - 180}{60} + 1 \right) \cdot Q_{t24}$	$[l/s]$	für $c_t > 600 \text{ mg/l}$
bzw.		
$Q_d \geq 50$	$[l/s]$	<b>Maximaler Wert wird maßgebend</b>

Die Erfassung der hydraulischen Überlastung eines Sammlers als Obergrenze für den Drosselabfluss ist mit einem hydrologisch-konzeptionellen Modell wie SMUSI nicht exakt möglich. Ein Hinweis kann die Vollfülleistung  $Q_{voll}$  der an das Bauwerk anschließenden Sammler sein (wird in SMUSI im Datenblatt Sammler ausgegeben). Die in SMUSI-Datensätzen eingegebenen Sammler müssen jedoch nicht den realen Sammlern entsprechen (aggregiertes System). In jedem Fall sollte der gewählte maximale Abfluss hinsichtlich der hydraulischen Verträglichkeit überprüft werden.

<b>Maximaler Drosselabfluss Regenüberlauf</b>		
$Q_d \leq Q_{voll}$	$[l/s]$	<b>Falls aus Datensatz sinnvoll ermittelbar</b>

#### 5.1.4 Hinweise

1. Der rechnerische Trockenwetterabfluss  $Q_{t24}$  nach (ATV-DVWK 1992) setzt sich aus dem Schmutzwasserabflüssen aus Wohngebieten einschließlich des kleingewerblichen Anteils  $Q_{h24}$ , dem gewerblichen Anteil  $Q_{g24}$ , dem industriellen Anteil  $Q_{i24}$  und dem Fremdwasser  $Q_{f24}$  zusammen. Diese Größe entspricht in SMUSI der Summe aus mQh, mQg und mQf (Ergebnisdatei Summenwerte, Datenblatt Gebiets- und Systemkenngrößen).
2. Die Trockenwetterkonzentration  $c_t$  kann nach (ATV-DVWK 1992) aus folgender Gleichung bestimmt werden:

$$c_t = \frac{Q_h \cdot c_h + Q_g \cdot c_g + Q_i \cdot c_i}{Q_h + Q_g + Q_i + Q_{f24}} \quad [mg/l] \quad (12)$$

Dieser Wert errechnet sich aus den SMUSI-Eingabegrößen für jedes Teileinzugsgebiet folgendermaßen:

$$c_t = \frac{\frac{Q_h \cdot E}{86400} + Q_g \cdot A}{\frac{Q_h \cdot E}{86400} + (Q_g + Q_f) \cdot A} \cdot c_{CSB} \quad [mg/l] \quad (13)$$

Die Trockenwetterkonzentration  $c_t$  kann für das Gesamteinzugsgebiet und die Direkteinzugsgebiete der einzelnen Bauwerke direkt der Ergebnisdatei Summenwerte, Datenblatt Kenngrößen A 128 entnommen werden.

## 5.2 Regenüberlaufbecken

### 5.2.1 Mindestdrosselabfluss

Ein Mindestdrosselabfluss, wie er nach (ATV-DVWK 1992) für Regenüberläufe definiert ist, gibt es in dieser Form für Regenüberlaufbecken nicht. Allerdings werden in (ATV-DVWK 1999) und (ATV-DVWK 1994) klare Grenzwerte definiert.

Nach (ATV 1999) müssen Drosseln mindestens 1,2 Q<sub>tx</sub> rückstaufrei abführen können, bei Drosseln mit Abflüssen kleiner als 25 l/s ist besonders auf die Gefahr von Ablagerungen im Rückstaubereich zu achten.

$$Q_d = 1,2 \cdot Q_{tx} \quad [l/s] \quad (14)$$

Nach (ATV-DVWK 1994) darf bei Abflusssteuerungen ein Mindestabfluss von 25 l/s und bei Abflussregelungen ein Mindestabfluss von 10 l/s nicht unterschritten werden.

### 5.2.2 Maximaler Drosselabfluss

Eine Begrenzung des Drosselabflusses nach oben ist in den einschlägigen Richtlinien nicht zu finden. Nichtsdestotrotz muss auch für Regenüberlaufbecken darauf geachtet werden, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der anschließenden Sammler nicht überschritten wird.

Eine sinnvolle Begrenzung des maximalen Wertes für den Drosselabfluss kann aus einer Analyse bestehender Smusi-Datensätze abgeleitet werden. In Abbildung 3 sind die Regenspenden  $q_r$  von 157 zufällig ausgewählten hessischen Regenüberlaufbecken dargestellt. Aus der Auswertung dieser Stichprobe kann als sinnvolle obere Begrenzung eine Regenspende von  $5 \text{ l/(s*ha)}$  bzw.  $10 \text{ l/(s*ha)}$  angesehen werden. In Abbildung 4 ist die aufwärts sortierte Stichprobe dargestellt. Demnach haben ca. 32% aller Bauwerke eine Regenspende kleiner als  $1 \text{ l/(s*ha)}$ , ca. 92 % eine Regenspende kleiner als  $5 \text{ l/(s*ha)}$  und kein Bauwerk überschreitet eine Regenspende von  $10 \text{ l/(s*ha)}$ .

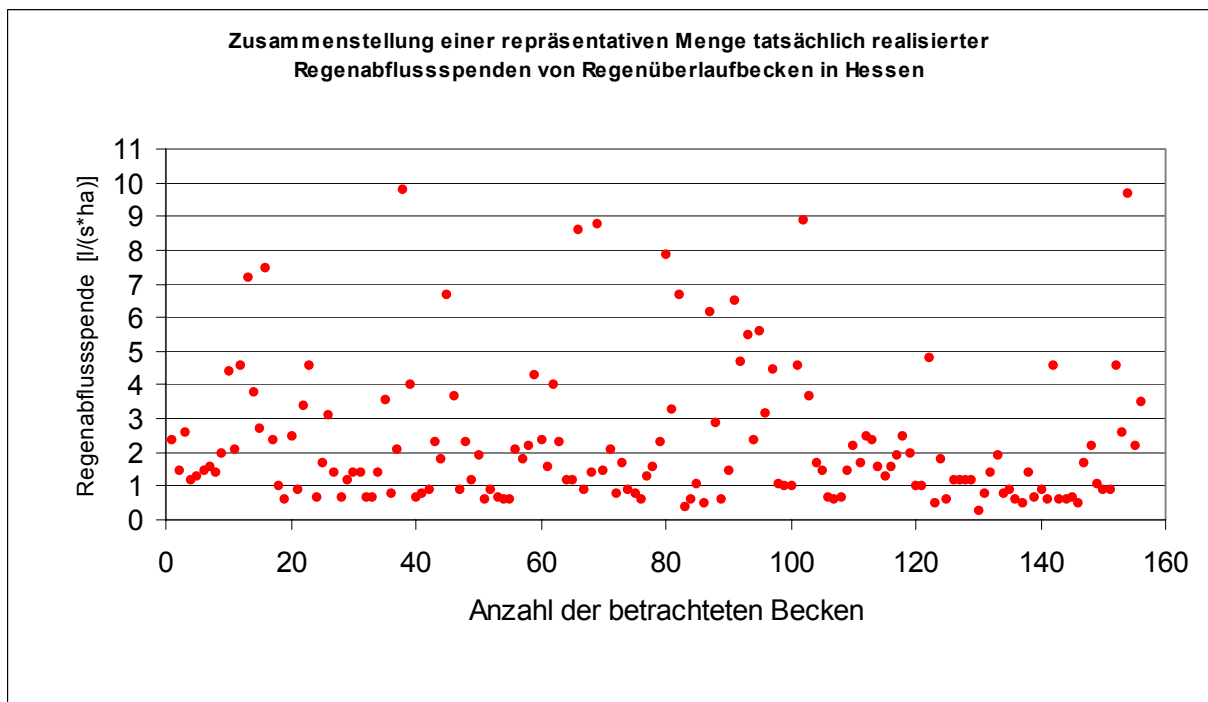


Abbildung 3: Realisierte Regenabflussspenden von Regenüberlaufbecken in Hessen

Mit Hilfe der festgelegten maximalen Regenspende lässt sich der maximale Drosselabfluss folgendermaßen ermitteln:

$$Q_d = q_r \cdot A_u + Q_{t24} \quad [l/s] \quad (15)$$

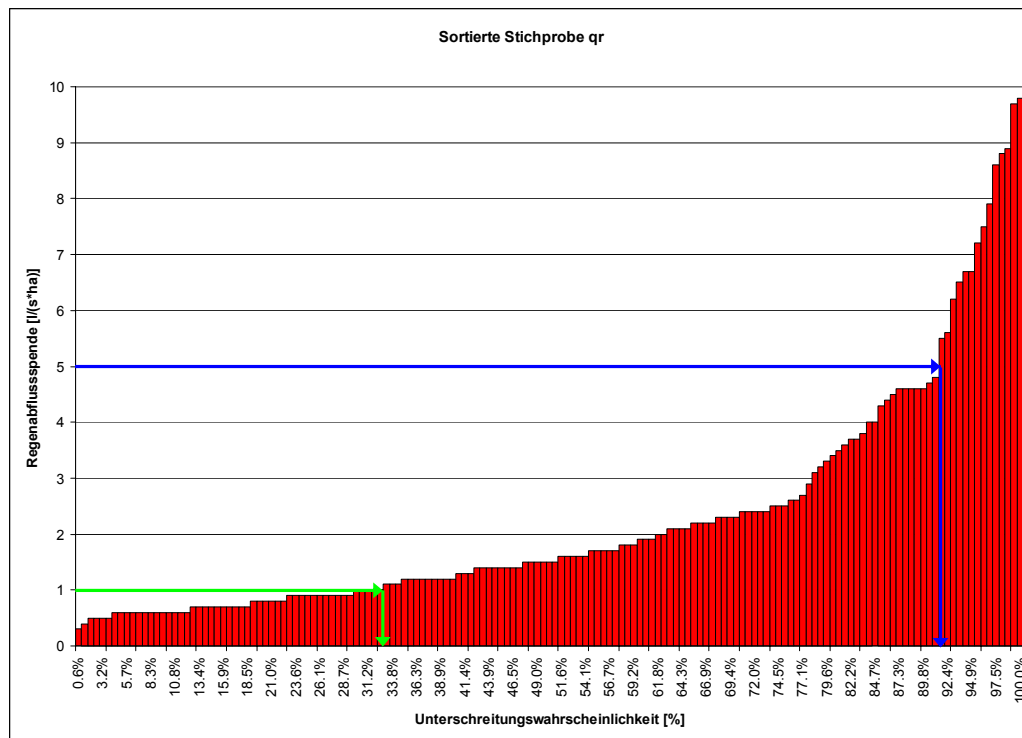


Abbildung 4: Sortierte Stichprobe der Regenspenden

### 5.2.3 Diskussion und Zusammenfassung

Um einfach aber dennoch sinnvoll den Variationsbereich für eine Optimierung von Drosselabflüssen an Regenüberlaufbecken festlegen zu können, bietet sich als unterer Grenzwert Gleichung 14 an. Damit ist gewährleistet, dass das Speicherbauwerk nicht schon durch Trockenwetterabfluss eingestaut wird.

#### Mindestdrosselabfluss Regenüberlaufbecken

$$Q_d = 1,2 \cdot Q_{tx} \quad [l/s]$$

Für den oberen Grenzwert kann Gleichung 15 noch vereinfacht werden, indem der Term für den mittleren Trockenwetterabfluss  $Q_{124}$  vernachlässigt wird. Für Regenspenden größer/gleich 5 l/(s\*ha) ist dies legitim, da der Anteil des Trockenwetters am maximalen Drosselabfluss normalerweise kleiner 5 % ist.

#### Maximaler Drosselabfluss Regenüberlaufbecken

$$Q_d \leq Q_{voll} \quad [l/s]$$

Falls aus Datensatz  
sinnvoll ermittelbar

bzw.

$$Q_d \leq 5 \cdot A_u \quad (Q_d \leq 10 \cdot A_u) \quad [l/s]$$

## 6 Drosseloptimierung von Mischsystemen

### 6.1 Referenzsystem

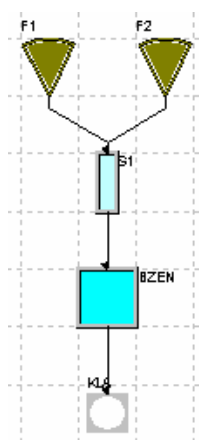


Abbildung 5: Referenzsystem

Als Referenzsystem dient ein einzelnes, zentral angeordnetes Durchlaufbecken im Hauptschluss (siehe Abbildung 5), an das zwei identische Einzugsgebiete angeschlossen sind. Um Hinweise zur Optimierung unterschiedlicher Systemkonstellationen herauszuarbeiten, wird in den folgenden Abschnitten jeweils das Referenzsystem modifiziert.

Alle Simulationen wurden über den in Hessen üblichen Zeitraum (3/4 a) und mit dem repräsentativen Regen „Regen725“ durchgeführt. Die wichtigsten Parameter der beiden Teileinzugsgebiete sind in Tabelle 5 zusammengestellt, die Eigenschaften des Zentralbeckens sind in Tabelle 6 aufgeführt und die Simulationsergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 5: Parameter der Teileinzugsgebiete

A [ha]	VG [-]	Einw. [-]	$Q_h$ [l/(E d)]	$Q_f$ [l/(s ha)]
15	0,45	800	135	0,04

Tabelle 6: Parameter des Zentralbeckens

Beckentyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Drosselabfluss [l/s]	Absetz-Klasse [- / %]
DLB-H	200	18	Gut / 25

Tabelle 7: Simulationsergebnisse

$q_r$ [l/(s ha)]	Fracht [kg]	Spez. Fracht [kg/ha]	$E_o$ [%]
1,1	3290	244	53

### 6.2 Hinweise zu den Optimierungsergebnissen

Für die untersuchten Systemkonstellationen werden neben der schematischen Darstellung der Systemstruktur die im optimalen Fall erreichbaren Ergebnisse in Tabellenform und die Ergebnisse der weiteren Variationen, die mit Hilfe einer Monte Carlo Simulation ermittelt wurden, in einem Diagramm dargestellt.

Bei der Übertragung der Hinweise auf reale Systeme muss beachtet werden, dass sich die optimalen Systemkonfigurationen je nach Beckentypen und vorhandenen Fließzeiten



geringfügig von den in den folgenden Abschnitten vorgestellten Ergebnissen unterscheiden können. Dieser Sachverhalt ist am Beispiel zweier in Reihe geschalteter Becken mit homogener Volumenverteilung in Abbildung 6: dargestellt.

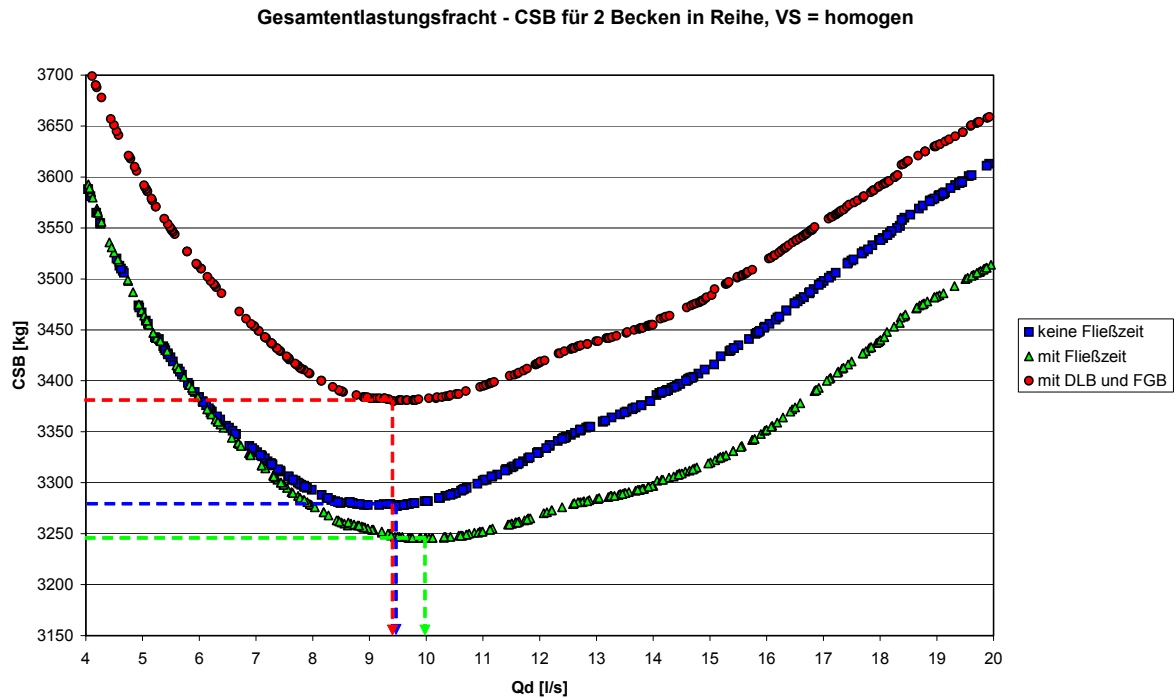


Abbildung 6: Gesamtlastungsfracht für unterschiedliche Fließzeit und Beckentyp

### 6.3 In Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit homogener Volumenverteilung

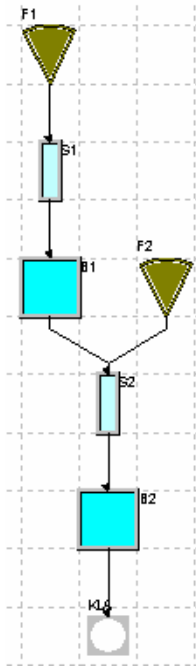


Abbildung 7: Homogenes System - 2 Becken in Reihe

Im betrachteten System (siehe Abbildung 7) haben beide Becken ein homogenes spezifisches Speichervolumen  $V_s$ , die Drossel des Beckens B2 wird als nicht veränderbar angenommen (letztes Bauwerk vor der Kläranlage). Die wichtigsten Kenngrößen der beiden Becken sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Die minimal mögliche Entlastungsfracht von Systemen mit homogener Volumenverteilung ( $V_s = \text{const.}$ ) wird erreicht, wenn beide Bauwerke die gleiche Regenspende  $q_r$  haben ( $q_r = \text{const.}$ ).

Im betrachteten Beispiel entspricht dies einer Drosselleistung von 9 l/s (entspricht einer Regenabflussspende von 1,1 l/(s ha)) am Bauwerk B1 (siehe Abbildung 8).

Das Speichervolumen kann beliebig im Netz verteilt werden, wenn das spezifische Speichervolumen  $V_s$  und die Regenabflussspende  $q_r$  an allen Bauwerken gleich ist.

Tabelle 8: Kenngrößen homogenes System – 2 Becken in Reihe

	B1	B2
V [m <sup>3</sup> ]	100	100
$V_s$ [m <sup>3</sup> /ha]	14,8	14,8
Qd [l/s]	9	18
$q_r$ [l/(s ha)]	1,1	1,1
Fracht [kg]	1645	1633
Spez. Fracht [kg/ha]	-	243
Eo [%]	53	53

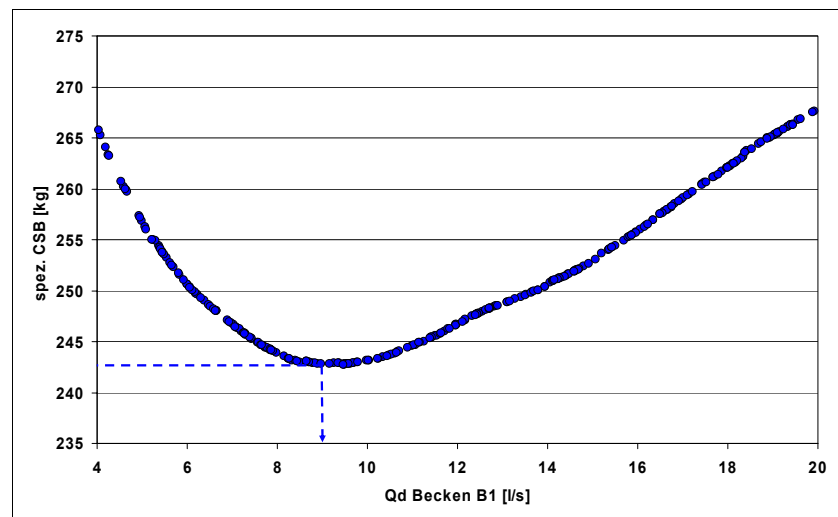


Abbildung 8: Spez.-CSB-Fracht für variierte Drosselabflüsse am Becken B1

## 6.4 In Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit inhomogener Volumenverteilung

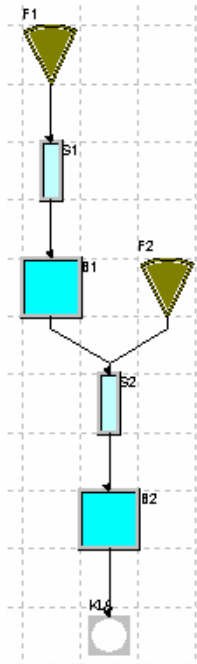


Abbildung 9: Inhomogenes System - 2 Becken in Reihe

Im betrachteten System (siehe Abbildung 9) haben beide Becken ein inhomogenes spezifisches Speichervolumen  $V_s$ , die Drossel des Beckens B2 wird als nicht veränderbar angenommen (letztes Bauwerk vor der Kläranlage). Es werden insgesamt drei unterschiedliche Volumenverteilungen betrachtet, die wichtigsten Kenngrößen der beiden Becken sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Um die minimal mögliche Entlastungsfracht von Systemen mit inhomogener Volumenverteilung ( $V_s \neq \text{const.}$ ) zu erreichen, müssen beide Bauwerke unterschiedliche Regenspende  $q_r$  haben ( $q_r \neq \text{const.}$ ). Je inhomogener die Volumenverteilung ist, desto inhomogener müssen auch die Regenspenden sein. Dem Bauwerk mit dem geringeren spezifischen Speichervolumen  $V_s$  muss dabei die größere Regenspende  $q_r$  zugeordnet werden.

Im betrachteten Beispiel entspricht dies Drosselleistungen von 13, 9 und 8 l/s bzw. Regenspenden von 1,6, 1,1, 1,0 l/(s ha) am Bauwerk B1 (siehe Abbildung 10).

Tabelle 9: Kenngrößen inhomogenes System – 2 Becken in Reihe

	B1	B2
V [m³]	50/ 100/ 150	150/ 100/ 50
$V_s$ [m³/ha]	7,4/ 14,8/ 22,2	14,8
Qd [l/s]	13/ 9/ 8	18
$q_r$ [l/(s ha)]	1,6/ 1,1/ 1,0	1,1
Fracht [kg]	1709/ 1645/ 1471	1640/ 1633/ 1887
Spez. Fracht [kg/ha]	-	248/ 243/ 249
$E_o$ [%]	55/ 53/ 47	54/ 53/ 54

Je inhomogener das Speichervolumen im Netz verteilt ist, desto höher ist die minimale Entlastungsfracht.

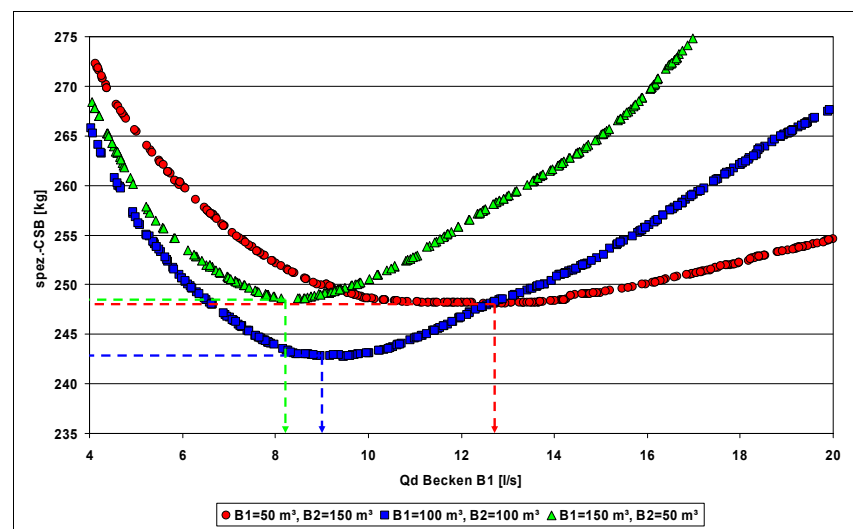


Abbildung 10: Spez.-CSB Fracht für variierte Drosselabflüsse am Becken B1

## 6.5 Parallele Regenüberlaufbecken mit homogener Volumenverteilung

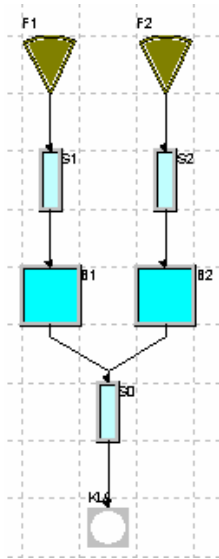


Abbildung 11: Homogenes System - 2 Becken parallel

Im betrachteten System (siehe Abbildung 11) haben beide Becken ein homogenes spezifisches Speichervolumen  $V_s$ , der Gesamtdrosselabfluss (18 l/s) der Becken B1 und B2 wird als nicht veränderbar angenommen (letzte Bauwerke vor der Kläranlage). Die wichtigsten Kenngrößen der beiden Becken sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Die minimal mögliche Entlastungsfracht von Systemen mit homogener Volumenverteilung ( $V_s = \text{const.}$ ) wird erreicht, wenn alle Bauwerke die gleiche Regenabflussspende  $q_r$  haben ( $q_r = \text{const.}$ ).

Im betrachteten Beispiel entspricht dies einer Drosselleistung von 9 l/s (entspricht einer Regenabflussspende von 1,1 l/(s ha)) an den Bauwerken B1 und B2 (siehe Abbildung 12).

Das Speichervolumen kann beliebig im Netz verteilt werden, wenn das spezifische Speichervolumen  $V_s$  und die Regenabflussspende  $q_r$  an allen Bauwerken gleich ist.

Tabelle 10: Kenngrößen homogenes System – 2 Becken parallel

	B1	B2
V [m <sup>3</sup> ]	100	100
$V_s$ [m <sup>3</sup> /ha]	14,8	14,8
Qd [l/s]	9	9
$q_r$ [l/(s ha)]	1,1	1,1
Fracht [kg]	1645	1645
Spez. Fracht [kg/ha]	244	244
$E_o$ [%]	53	53

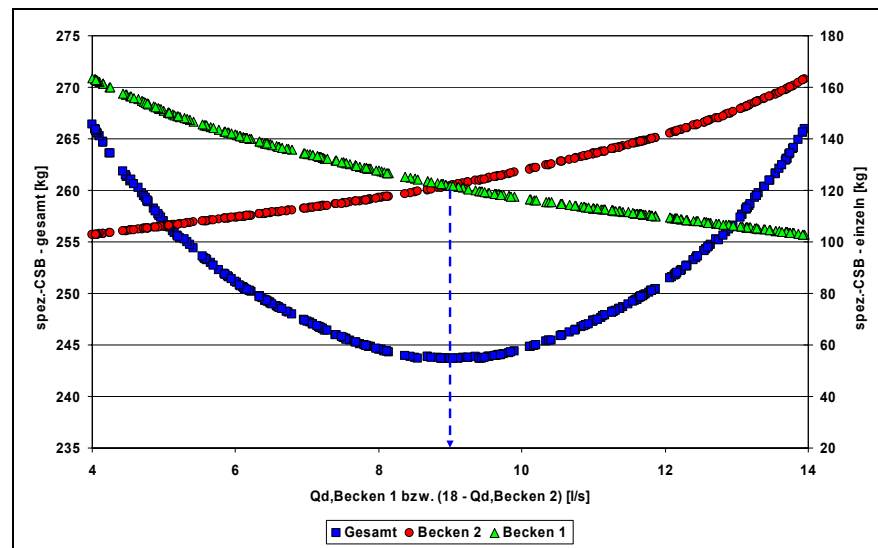


Abbildung 12: Spez.-CSB-Fracht für variierte Drosselabflüsse am Becken B1

## 6.6 Parallele Regenüberlaufbecken mit inhomogener Volumenverteilung

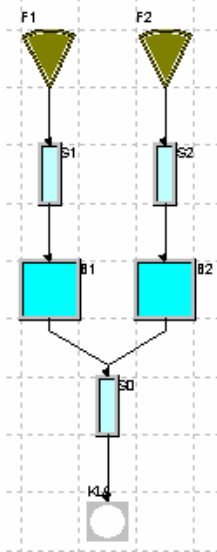


Abbildung 13: Homogenes System - 2 Becken parallel

Im betrachteten System (siehe Abbildung 13) haben beide Becken ein inhomogenes spezifisches Speichervolumen  $V_s$ , der Gesamtdrosselabfluss (18 l/s) der Becken B1 und B2 wird als nicht veränderbar angenommen (letzte Bauwerke vor der Kläranlage). Die wichtigsten Kenngrößen der beiden Becken sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Um die minimal mögliche Entlastungsfracht von Systemen mit inhomogener Volumenverteilung ( $V_s \neq \text{const.}$ ) zu erreichen, müssen beide Bauwerke unterschiedliche Regenspende  $q_r$  haben ( $q_r \neq \text{const.}$ ). Je inhomogener die Volumenverteilung ist, desto inhomogener müssen auch die Regenspenden sein. Dem Bauwerk mit dem geringeren spezifischen Speichervolumen  $V_s$  muss dabei die größere Regenspende  $q_r$  zugeordnet werden. Im betrachteten Beispiel entspricht dies einer Drosselleistung von 10 l/s am Bauwerk B1 und 8 l/s am Bauwerk B2 (siehe Abbildung 14).

Je inhomogener das Speichervolumen im Netz verteilt ist, desto höher ist die minimale Entlastungsfracht.

Tabelle 11: Kenngrößen homogenes System – 2 Becken parallel

l	B1	B2
V [m <sup>3</sup> ]	50	150
V <sub>s</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	7,4	22,2
Qd [l/s]	10	8
q <sub>r</sub> [l/(s ha)]	1,2	1,0
Fracht [kg]	1893	1477
Spez. Fracht [kg/ha]	250*	250*
Eo [%]	60	47

\* Spez.-CSB Fracht für das Gesamtsystem

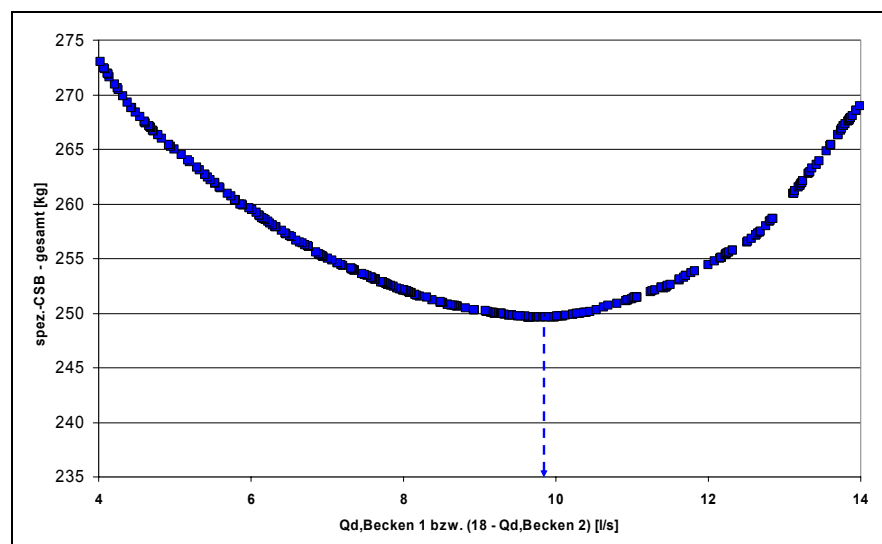


Abbildung 14: Spez.-CSB-Fracht für variierte Drosselabflüsse am Becken B1

## 6.7 Regenüberlaufbecken mit vorgeschaltetem Regenüberlauf

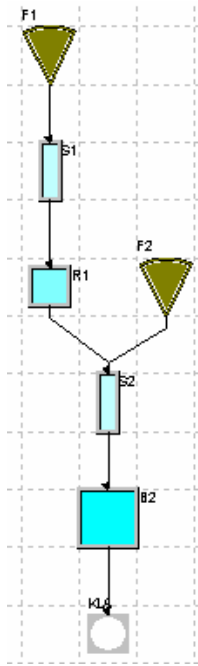


Abbildung 15: Becken mit vorgeschaltetem Regenüberlauf

Im betrachteten System (Siehe Abbildung 15) ist Becken 2 ein Regenüberlauf vorgeschaltet. Es wurde nur der Drosselabfluss des Regenüberlaufs variiert.

Regenüberläufe sind im Regelfall schwach gedrosselte Bauwerke. Wie aus Abbildung 16 hervorgeht, haben schwach gedrosselte Bauwerke nur einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtentlastungsfracht.

Der geringe Einfluss von Regenüberläufen auf die Gesamtentlastungsfracht erlaubt die separate Optimierung von Regenüberläufen und Regenüberlaufbecken. Dies kann vor allem bei komplexen System als Vorteil ausgenutzt werden.

Gesamtentlastungsfracht - CSB für Rü und Becken in Reihe

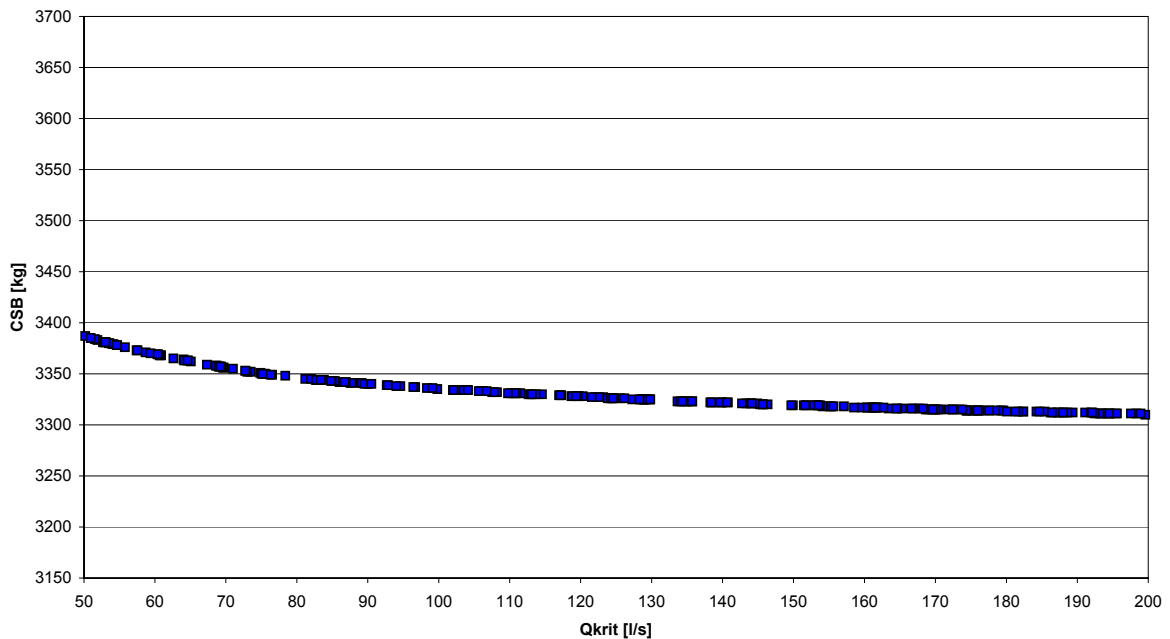


Abbildung 16: Gesamtfracht CSB für variierten Drosselabfluss Regenüberlauf

## 6.8 Regenüberlaufbecken mit vorgeschaltetem Regenrückhaltebecken

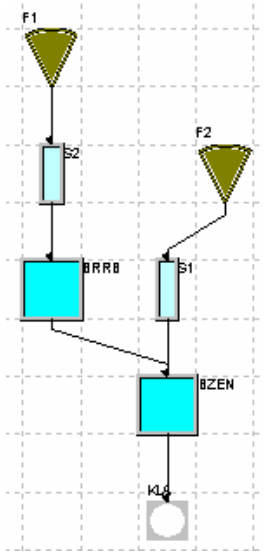


Abbildung 17: Becken mit vorgeschaltetem Regenrückhaltebecken

Im betrachteten System (Siehe Abbildung 17) ist Becken 2 ein Regenrückhaltebecken vorgeschaltet. Es wurde nur der Drosselabfluss des Regenrückhaltebeckens variiert.

Regenrückhaltebecken sind im Regelfall schwach gedrosselte Bauwerke. Wie aus Abbildung 18 hervorgeht, haben schwach gedrosselte Bauwerke nur einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtentlastungsfracht.

Der geringe Einfluss von Regenrückhaltebecken auf die Gesamtentlastungsfracht erlaubt die separate Optimierung von Regenrückhaltebecken und Regenüberlaufbecken. Dies kann vor allem bei komplexen System als Vorteil ausgenutzt werden.

Gesamtentlastungsfracht - CSB für RRB und Becken in Reihe

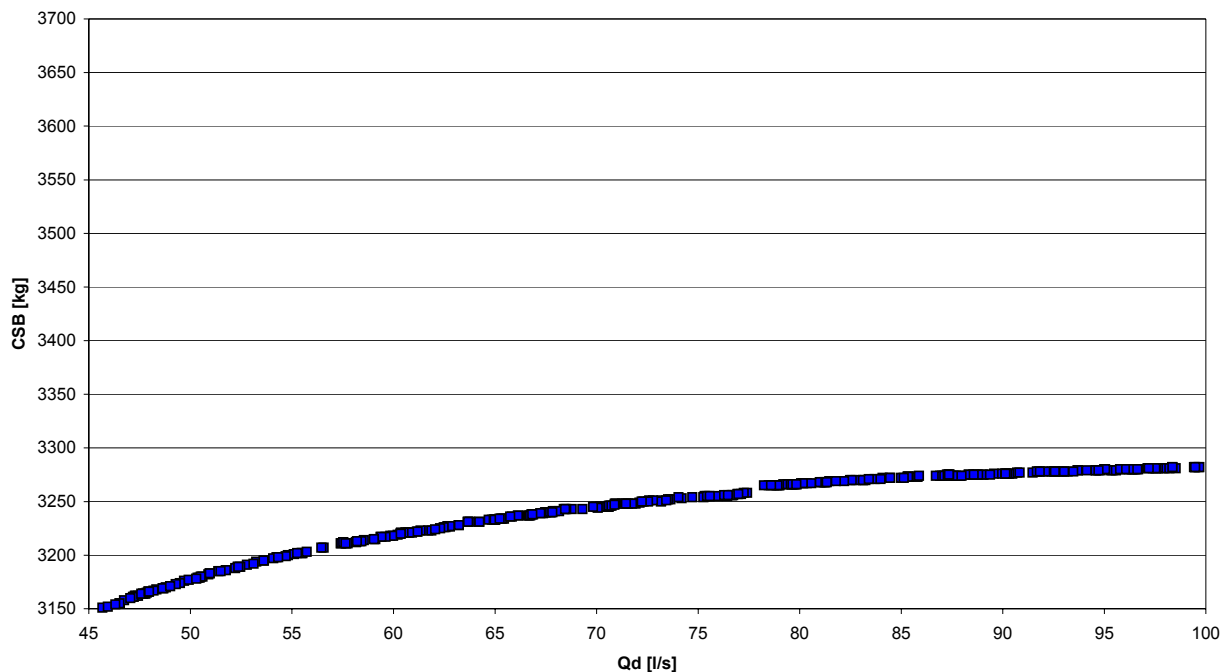


Abbildung 18: Gesamtfracht CSB für variierten Drosselabfluss Regenrückhaltebecken

## **6.9 Zusammenfassung**

Im Folgendem sind noch einmal die wichtigsten Aussagen zusammengefasst.

### **6.9.1 Parallel und/oder in Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit homogener Volumenverteilung**

1. Die minimale Entlastungsfracht von Systemen mit homogener Volumenverteilung wird erreicht, wenn alle Bauwerke die gleiche Regenabflussspende haben.
2. Das Speichervolumen kann beliebig im Netz verteilt werden, wenn das spezifische

### **6.9.2 Parallel und/oder in Reihe geschaltete Regenüberlaufbecken mit inhomogener Volumenverteilung**

1. Die minimale Entlastungsfracht von Systemen mit inhomogener Volumenverteilung wird erreicht, wenn alle Bauwerke unterschiedliche Regenabflussspenden haben.
2. Je inhomogener die Volumenverteilung ist, desto inhomogener müssen auch die Regenspenden sein.
3. Je inhomogener das Speichervolumen im Netz verteilt ist, desto schlechter ist die

### **6.9.3 Regenüberlaufbecken mit vorgeschaltetem Regenüberlauf oder Regenrückhaltebecken**

1. Schwach gedrosselte Bauwerke wie Regenüberläufe oder Regenrückhaltebecken haben nur einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtentlastungsfracht.
2. Eine separate Optimierung von Regenüberläufen/Regenrückhaltebecken und Regenüberlaufbecken ist möglich.



## 7 Referenzen

- ATV-DVWK. Arbeitsblatt ATV-A 128. Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Regelwerk Abwasser - Abfall. St. Augustin: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, 1992.
- ATV-DVWK. Arbeitsblatt ATV -A 111. Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen in Abwasserkanälen und -leitungen. Regelwerk Abwasser - Abfall. St. Augustin: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, 1994
- ATV-DVWK. Arbeitsblatt ATV -A 166. Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung: Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. Regelwerk Abwasser - Abfall. St. Augustin: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, 1999
- DIN 19226. Leittechnik, Regeltechnik und Steuerungstechnik, Teil 1, Allgemeine Grundbegriffe. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, 1997.
- Koch, Jan und Ostrowski, Manfred. Abschlussbericht zum Merkblatt: Hydraulische Kalibrierung von Drosseleinrichtungen, Teil 2. Bericht 675/02 Darmstadt: TU Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Fachgebiet für Ingenieurhydrologie Wasserbewirtschaftung, 2002
- Pöpel, Johannes. Skript zur Vorlesung Abwassertechnik 1. Darmstadt: TU Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut WAR, Fachgebiet Abwassertechnik, 2001.