

# Auswirkungen der Integration neuartiger Abwasserentsorgungskonzepte in bestehende Infrastruktursysteme

Inka Kaufmann Alves, Henning Knerr, Theo G. Schmitt (Kaiserslautern) und Heidrun Steinmetz (Stuttgart)

## Zusammenfassung

Aufbauend auf dem Prinzip des Stoffstrommanagements werden weltweit sogenannte „Neuartige Sanitärsysteme“ (NASS) entwickelt, deren Anwendbarkeit in Deutschland zunehmend diskutiert wird. In Regionen mit bestehender konventioneller Infrastruktur stellt sich allerdings das Problem, dass ein kurzfristiger Umstieg auf alternative, nachhaltige Konzepte mit Stoffstromtrennung nicht ohne weiteres flächendeckend umsetzbar ist und die Funktionalität der vorhandenen Systeme auch während einer sukzessiven Integration von NASS stets gewährleistet bleiben muss. Der vorliegende Artikel beschreibt anhand eines Beispiels (bestehend aus Entwässerungssystem und Kläranlage), wie sich verschiedene Szenarien der NASS auf bestehende Anlagen der Siedlungsentwässerung und Abwasserbehandlung auswirken, und soll Anreize geben, NASS in konkrete Planungsaufgaben mit einzubeziehen.

**Schlagwörter:** Abwasserreinigung, kommunal, dezentral, Infrastruktur, Integration, Schmutzfracht, Simulation, Mischwasserentlastung, Bemessung, Kläranlage

DOI: 10.3242/kae2008.10.001

## Abstract

### Effects of the Integration of Non-Conventional Wastewater Disposal Concepts into Existing Infrastructures

Based on the principle of material flow management, non-conventional sanitary systems are developed all over the world, and their use is currently under discussion in Germany. In regions with existing, conventional infrastructures, the problem is that a short-term switchover to alternative sustainable concepts with material flow separation is not that easy to implement across the board; furthermore, the functionality of existing systems must be guaranteed also during the gradual integration of non-conventional sanitary systems. On the basis of a concrete example (consisting of a drainage system and a wastewater treatment plant), the article describes the effects of different scenarios of non-conventional sanitary systems on existing sanitary engineering and wastewater treatment structures and is meant as an incentive to incorporate non-conventional sanitary systems into concrete planning exercises.

**Key words:** wastewater treatment, municipal, drainage systems, decentralized, infrastructure, integration, pollution load, simulation, storm-water overflow discharge, dimensioning, wastewater treatment plant

## 1 Hintergrund

Während konventionelle Abwasserentsorgungskonzepte durch die gemeinsame Ableitung und Behandlung von Abwasser unterschiedlicher Qualitäten charakterisiert sind, basieren „Neuartige Sanitärsysteme“ (NASS) auf der getrennten Erfassung und Behandlung der Abwasserströme und streben die Wiederverwertung von Wasser sowie die Nutzung weiterer im Abwasser enthaltener Ressourcen (zum Beispiel Nährstoffe, Energie) an. Vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen und im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft wird auch die Eignung von NASS für Deutschland zunehmend diskutiert. Hier kommt jedoch der Integration in bestehende Infrastrukturen eine besondere Bedeutung zu, da die Funktionsfähigkeit der vorhandenen Systeme auch während einer sukzessiven Integration von NASS stets gewährleistet bleiben muss. Daher ist es bedeutsam, frühzeitig mögliche Auswirkungen der Integration neuartiger Abwasserentsorgungskonzepte auf vorhandenen Infrastrukturen zu untersuchen, um einerseits die Leistungsfähigkeit bestehender Systeme infolge sich ändernder Randbedingungen bewerten zu können und andererseits Po-

tenziale bei anstehenden Neubauten oder Sanierungen erkennen zu können.

Wie sich die Integration von NASS auf bestehende Infrastrukturen auswirkt, hängt von der Art, aber auch vom Umfang des Einsatzes von NASS und damit der Verminderung bestimmter Abwasserteilströme (Fracht, Menge) im bestehenden System ab, sowie von der Charakteristik der bestehenden Infrastruktur (Art und Auslastung der Kanalisation, Gefälle, Rohrleitungsmaterial, Art der Abwasserreinigung etc.).

Im Rahmen des vorliegenden Artikels wird anhand von Schmutzfrachtsimulationen an einem fiktiven Beispielgebiet (Mischsystem) gezeigt, wie sich die flächendeckende Umsetzung unterschiedlicher Varianten dezentraler NASS (Gelbwasserseparation, Grauwasserseparation etc.) auf das Entlastungsverhalten und die Dimensionierung von Mischwasserbehandlungsanlagen auswirken kann. Mittels statischer Bemessung werden des Weiteren mögliche Auswirkungen auf den Betrieb der zugehörigen Kläranlage und auf die Dimensionierung einer Kläranlage bei anstehendem Neubau dargestellt. Weitere mög-

liche Auswirkungen, wie zum Beispiel auf den Betrieb der Kanalisation (Ablagerungen, Geruch etc.), ebenso wie Kosten zur Realisierung der Maßnahmen sind nicht Gegenstand des Artikels.

Die dargestellten Ergebnisse sollen mögliche Auswirkungen zeigen und Anregungen für weitere Untersuchungen an realen Einzugsgebieten geben, da die Auswirkungen der Integration von NASS im konkreten Fall stets einer eigenen planerischen Betrachtung bedürfen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Einzugsgebiet und Kläranlage

Ausgangspunkt der Betrachtung ist ein repräsentatives Entwässerungssystem, das für die Erarbeitung des Arbeitsblattes ATV-A 128 [1] verwendet wurde. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 197 ha mit einem mittleren Befestigungsgrad von 50 % und wird bis auf ein Trenngebiet im Mischverfahren entwässert. Die Lage der Mischwasserentlastungsbauwerke ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Einwohnerzahl beträgt 10 250 EZ. Gewerbe und Industrie bringen weitere 3 450 EGW. Der Trockenwetterabfluss setzt sich aus den Komponenten häusliches Schmutzwasser aus den einzelnen Teilgebieten (17,2 l/s), dem Gewerbegebiet (6 l/s), dem Industriebetrieb (2 l/s) und dem Fremdwasser (9,9 l/s) zusammen. Der mittlere tägliche Trockenwetterabfluss ( $Q_{T,am}$ ) beträgt 35,1 l/s. Es wird von einer einheitlichen Verschmutzung des betrieblichen und häuslichen Schmutzwassers ausgegangen, das Fremdwasser wird als unverschmutzt angenommen.

Für die Kläranlage (13 700  $EW_{60}$ ) wurde als für die Größenklasse 4 typisches Verfahren eine simultan aerobe Belebungsanlage mit simultaner Denitrifikation und simultaner P-Fällung als Beispielanlage ausgewählt.

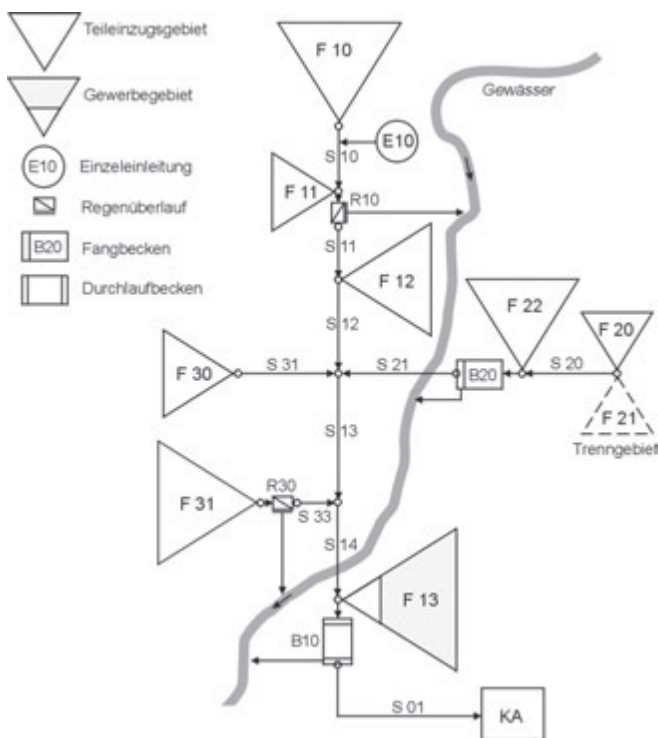


Abb. 1: Schematische Darstellung des Untersuchungsgebiets

Parameter	mittlere Konzentration im Trockenwetterabfluss $C_{T,aM}$	einwohnerspezifische Schmutzfracht				mittlere Konzentration im Oberflächenabfluss
		gesamt	Grauwasser	Braunwasser	Gelbwasser	
	[mg/l]	[g/(E·d)]	[%]	[%]	[%]	[mg/l]
CSB	543	120	41	47	12	104
BSB <sub>5</sub>	272	60	41	47	12	20
TKN	49,8	11	3	10	87	3
P	8,1	1,8	10	40	50	0,6
TS	341	70	32,7	65,8	1,5	250
AFS	201	41	32,7	67,3	1,5	163
Pb	0,035	0,0072	99,1	0,9	0,45	0,11
Diclofenac	0,0011	0,0002	0	0	100	0

Tabelle 1: Verschmutzungen im Trockenwetter- und Oberflächenabfluss im Ausgangszustand

Szenario	Umsetzungsgrad		$w_s$	Wassermengen <sup>2)</sup>			Frachten <sup>2)</sup>		
	Schmutzwasser [% bezogen auf EZ]	Regenwasserbewirtschaftung [% bezogen auf $A_{E,B}$ ]	Mittelwert Gesamtgebiet [l/E·d]	$Q_{T,aM}$ [m <sup>3</sup> /d]	$Q_{T,2h,max}$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_M$ [m <sup>3</sup> /h]	$B_{d,CSB}$ [kg/d]	$B_{d,TKN}$ [kg/d]	$B_{d,P}$ [kg/d]
Szenario 0 Ausgangszustand	0	0	145	3028	236	580	1645	151	25
Szenario 1 Wasserspartetechnologien	90	0	90	2465	193	439	1645	151	25
Szenario 2 Grauwasserseparation	85	0	86	2421	189	428	1184	148	23
Szenario 3 Gelbwasserseparation	80	0	120	2767	216	515	1519	67	17
Szenario 4 Schwarzwasserseparation	80	0	113	2695	211	497	1055	62	11
Szenario 5 Kombination <sup>1)</sup>	85	40	80	2360	184	413	1519	67	17

<sup>1)</sup> parallele Einführung wassersparender Techniken, Gelbwasserseparation und Regenwasserbewirtschaftung

<sup>2)</sup> Kurzzeichen entsprechend ATV-DVWK-A 131 [2] und ATV-DVWK-A 198 [6]

Tabelle 2: Zusammenstellung der untersuchten Szenarien und der resultierenden Wassermengen und Frachten im Zulauf zur Kläranlage

## 2.2 Abwasserzusammensetzung

Auf der Grundlage der in ATV-DVWK-A 131 [2] aufgeführten einwohnerspezifischen Frachten wurden für den Ausgangszustand die in Tabelle 1 Spalte 2 aufgeführten Schmutzwasserkonzentrationen angenommen. Zur Beurteilung der Auswirkungen der Abkopplung einzelner Teilströme aus dem häuslichen Abwasser erfolgte die prozentuale Aufteilung dieser Parameter sowie der Wassermengen in Anlehnung an Otterpohl und Oldenburg [3], Knerr et al. [4] sowie Welker [5], dies ist ebenfalls in Tabelle 1 angegeben. Neben den für die Bemessung von Kläranlagen erforderlichen Parametern CSB, BSB<sub>5</sub>, TKN, TS und P wurden in der Schmutzfrachtsimulation zusätz-

lich die abfiltrierbaren Stoffe (AFS), ein Schwermetall (Pb) und ein Humanarzneimittel (Diclofenac) untersucht.

## 2.3 Szenarienbetrachtung zur Integration neuartiger Sanitärsysteme

Um mögliche Auswirkungen neuartiger Sanitärkonzepte auf bestehende Anlagen der Abwasserableitung und Abwasserreinigung bewerten zu können, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die in der Tabelle 2 aufgelisteten Szenarien der Integration dezentraler NASS betrachtet. Das Szenario 0 dient als Referenzszenario des untersuchten Einzugsgebiets und stellt den Ausgangszustand des Systems dar.

In den Außenbereichen des betrachteten Beispielgebiets wurde für alle Szenarien aufgrund der günstigen Bebauungsstruktur und der hohen Flächenverfügbarkeit für die Einführung neuartiger Sanitärtechnik von einem Realisierungsgrad von 100 % ausgegangen. In den Kernbereichen wurde für Grauwasserrecycling der höchste Realisierungsgrad angenommen (65 %); bei der Gelbwasserseparation wurde von 40 % Umsetzungsrate und für Schwarzwasserseparation von 25 % Umsetzungsrate im Innenstadtbereich ausgegangen. Für den industriellen und gewerblichen Abfluss wurden keine Veränderungen in den Szenarien angenommen. Die Berechnung der maßgebenden Wassermengen erfolgt anhand ATV-DVWK-A 198 [6] (Tabelle 2).

## 2.4 Methodik

Für das Entwässerungssystem wurde mithilfe des Schmutzfrachtmodells KOSMO [7] die Abkopplung und separate Behandlung unterschiedlicher Teilströme untersucht. Hierfür wurde jeweils eine Langzeitsimulation für ein repräsentatives Niederschlagsjahr mit den geänderten Eingangsgrößen der Station Kaiserslautern durchgeführt. Die Berechnung des erforderlichen Belegungsvolumens für die unterschiedlich zusammengesetzten Abwasserteilströme erfolgt nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 [2].

Die Untersuchung erfolgt durch Betrachtung in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden die Auswirkungen auf die bestehende Mischwasserkanalisation und Kläranlage mit gleichbleibenden Bauwerksvolumina und Drosselabflüssen unter-

sucht. In einem zweiten Schritt wurde betrachtet, wie sich die geänderte Abflusssituation und Abwasserzusammensetzung auf die Dimensionierung von Bauwerken des Mischwassernetzes (nach [1] und [8]) wie auch der Kläranlage (nach [2] und [6]) auswirken würde. Hierbei werden für die Mischkanalisation einerseits die Auswirkungen bei der Beibehaltung des Bemessungszuflusses  $Q_M$  aus dem Ausgangszustand und andererseits bei einer Beibehaltung des Faktors  $f_{s,QM}$ , also einer Verringerung von  $Q_M$  bei Abkopplung von Teilströmen, untersucht.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Ergebnisse Entwässerungssystem – Mischwasserbehandlung

#### 3.1.1 Auswirkungen auf die Entlastungskenngrößen im Bestand

Tabelle 3 zeigt die Veränderung der Entlastungskenngrößen des Gesamtgebiets bei der separaten Behandlung verschiedener Abwasserteilströme. Bei hydraulischen Entlastungskenngrößen (Entlastungsvolumen  $V_{QE}$ , Überlaufdauer  $t_{ü}$ ) und Gesamtentlastungsfrachten ( $SF_E$ ) treten durch die Separation von Stoffströmen – vor allem auch wenn parallel die Regenwasserkomponente betrachtet wird (Szenario 5) – teils beachtliche Verbesserungen auf. Dagegen können sich Entlastungskonzentrationen, vor allem wenn gering verschmutzte Stoffströme dezentral behandelt werden, auch erhöhen. Bei diesem Beispielgebiet sind nur bei gleichzeitiger Regenwasserbewirtschaftung

deutliche Verschlechterungen bei Entlastungskonzentrationen zu sehen. Werden wie in ländlich strukturierten Gebieten höhere Realisierungsgrade erreicht oder ist der Anteil des Trockenwetterabflusses am Mischwasserabfluss höher, können durchaus je nach Parameter stark erhöhte Entlastungskonzentrationen resultieren.

Es ist offensichtlich, dass primär schmutzwasserbürtige Stoffe (TKN, P, Diclofenac) durch Maßnahmen der Stoffstromtrennung je nach separierten Strom von Mischwasserentlastungen fern gehalten werden können (Verringerung der Entlastungsfrachten- und Konzentration von rund 60 % bei Diclofenac im Szenario 3 und 4).

Da bei den Szenarien 1 bis 4 der Trockenwetterabfluss verringert wird, bessert sich das mittlere Mischverhältnis  $m$  im Entlastungsabfluss deutlich. Verringert sich auch der Niederschlagsanteil im Mischwasserabfluss (Szenario 5), kann allerdings eine Verschlechterung auftreten.

Insgesamt sind die entlastungsbedingten Auswirkungen auf die Gewässer bei Einführung alternativer Sanitärtechnik in die bestehende Mischkanalisation in dem betrachteten Einzugsgebiet

durchaus positiv. Eine Erhöhung von Entlastungskonzentration fällt hier sehr gering aus. Wird gleichzeitig zu NASS auch Regenwasserbewirtschaftung vorangetrieben (Szenario 5) können aufgrund des dann verschlechterten Mischverhältnisses im Mischwasserabfluss und der Tatsache, dass zunächst wenig verschmutzte Flächen vom Kanalnetz abgekoppelt werden, die Entlastungskonzentrationen steigen.

Bei unterschiedlichen Fragestellungen oder Problemen im Entwässerungssystem kann die Integration von NASS durchaus eine Lösung sein. Soll für Gewässer zum Beispiel eine Reduktion der eingetragenen Nährstoffe aus der Mischwasserentlastung erreicht werden, kann eine Separation von Gelb- oder Schwarzwasser im Einzugsgebiet sinnvoll sein.

### 3.1.2 Auswirkungen auf die Beckenbemessung und Nachweisführung

In einigen Bundesländern wird in regelmäßigen Abständen ein Nachweis der Mischwasserbehandlung gefordert. Haben sich hier die Eingangsgrößen durch die Abkopplung verschiedener Abwasserteilströme stark verändert, kann ein Nachweis auf Basis dieser Größen problematisch werden. Vor allem, wenn für

Parameter		Einheit	Szenario					
			0 Ausgangszustand	1 Wasserspартechnologien	2 Grauwasserseparation	3 Gelbwasserseparation	4 Schwarzwasserseparation	5 Kombination
Entlastungsvolumen	$V_{QE}$	[m <sup>3</sup> /a]	524 633	- 1,3%	1,4%	- 0,6 %	- 0,8 %	- 53,6 %
CSB	$SF_{E,CSB}$	[kg/a]	294 262	- 0,7 %	- 4,8 %	- 1,4 %	- 5,6 %	- 45,2 %
	$C_{E,CSB}$	[mg/l]	118	+ 0,6 %	- 3,4 %	- 0,8 %	- 4,9 %	+ 18,2 %
BSB <sub>5</sub>	$SF_{E,BSB5}$	[kg/a]	8172	- 0,8 %	- 9,4 %	- 2,7 %	- 11,5 %	- 46,3 %
	$C_{E,BSB5}$	[mg/l]	28	+ 0,5 %	- 8,1 %	- 2,1 %	- 10,8 %	+ 15,8 %
AFS	$SF_{E,AFS}$	[kg/a]	48 323	- 0,7 %	- 1,5 %	- 0,3 %	- 1,8 %	- 43,2 %
	$C_{E,AFS}$	[mg/l]	164	+ 0,6 %	- 0,1 %	+ 0,3 %	- 1,1 %	+ 22,4 %
TKN	$SF_{E,TKN}$	[kg/a]	1307	- 0,8 %	- 1,6 %	- 19,9 %	- 21,3 %	- 60,1 %
	$C_{E,TKN}$	[mg/l]	4,4	+ 0,5 %	- 0,2 %	- 19,4 %	- 20,6 %	- 14,0 %
P	$SF_{E,P}$	[kg/a]	252	- 3,6 %	- 5,6 %	- 12,7 %	- 19,3 %	- 55,7 %
	$C_{E,P}$	[mg/l]	0,9	- 2,3 %	- 4,3 %	- 12,2 %	- 18,6 %	- 4,4 %
Pb	$SF_{E,Pb}$	[g/a]	31 529	- 0,7 %	- 1,4 %	- 0,3 %	- 0,4 %	- 53,8 %
	$C_{E,Pb}$	[µg/l]	107	+ 0,6 %	0,0 %	+ 0,3 %	+ 0,4 %	- 0,3 %
Diclofenac	$SF_{E,Diclof.}$	[g/a]	9,7	- 2,1 %	- 2,1 %	- 58,8 %	- 58,8 %	- 74,2 %
	$C_{E,Diclof.}$	[µg/l]	0,03	- 0,8 %	- 0,7 %	- 58,5 %	- 58,4 %	- 44,4 %
Entlastungskennwerte B10 <sup>1)</sup>	$t_{iB10}$	[h/a]	85,6	- 2,0 %	- 2,0 %	- 0,8 %	- 1,3 %	- 28,3 %
	$n_{iB10}$	[d/a]	21	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	- 23,8 %
	$m_{B10}$	[-]	30	+ 21,3 %	+ 23,3 %	+ 8,9 %	+ 11,5 %	- 11,8 %

grau keine signifikante Änderung im Vergleich zum Ausgangszustand

fett Verschlechterung im Vergleich zum Ausgangszustand

<sup>1)</sup> netzabschließendes Becken

Tabelle 3: Entlastungskenngrößen im Ausgangszustand und deren prozentuale Veränderung bei Abkopplung von Abwasserteilströmen

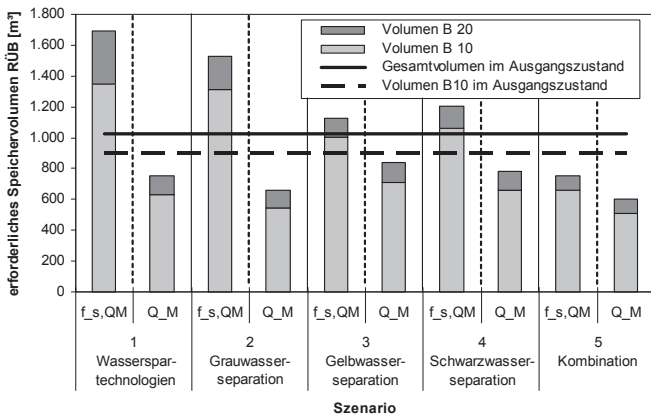


Abb. 2: Erforderliche Speichervolumina der Regenüberlaufbecken bei einer Neudimensionierung

die Kläranlage aufgrund der technischen Nutzungsdauer ein Neubau ansteht und für die Neudimensionierung der Bemessungszufluss  $Q_M$  dem geänderten Trockenwetterabfluss angepasst werden soll. Der Abfluss  $Q_M$  muss dann am netzabschließenden Becken gewährleistet werden.

Das erforderliche Gesamtspeichervolumen im Einzugsgebiet wurde mit dem Formblatt des derzeit gültigen Regelwerks ATV-A 128 [1] jeweils für die geänderten Abfluss- und Verschmutzungssituationen neu ermittelt und nach dem einfachen Aufteilungsverfahren auf die beiden vorhandenen Regenüberlaufbecken B 10 und B 20 verteilt [1]. In einer ersten Variante (Variante

$f_{s,QM}$ ) wurde bei gleichbleibendem  $f_{s,QM}$  der Drosselabfluss der Becken an die geänderte Abflusssituation angepasst. In einer zweiten Variante wurde angenommen, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Kläranlage beibehalten wird und  $Q_M$  des Ausgangszustands als Drosselabfluss angesetzt (Abbildung 2).

Es zeigt sich, dass sich bei einer Verringerung des Drosselabflusses an den Becken (Variante  $f_{s,QM}$ ) in allen betrachteten Szenarien (außer der Kombination mit Regenwasserbewirtschaftung) sehr viel größere erforderliche Speichervolumina ergeben würden, als im Ausgangszustand vorhanden sind. Der Einfluss des Drosselabflusses auf die Bemessung ist hierbei stärker als die verringerte Größe des Trockenwetterabflusses oder die geänderte Bemessungskonzentration.

Würde eine Neubemessung der Becken bei gleichbleibendem  $Q_M$  (Variante  $Q_M$ ) anstehen, könnte das erforderliche Speichervolumen zum Teil erheblich reduziert werden; zum Beispiel um 36 % bei Szenario 2 oder 42 % bei Szenario 5. In der Mehrheit der Fälle ist hier nach ATV-A 128 [1] nur die Anordnung des Mindestvolumens erforderlich. Da  $f_{s,QM}$  von 6 im Ausgangszustand auf bis zu 8,7 bei Szenario 5 steigen kann, ergeben sich die deutlich kleineren Volumina.

### 3.1.3 Auswirkungen der Neudimensionierung auf Kenngrößen der Mischwasserbehandlung

Obwohl bei einer Neubemessung mit verändertem Drosselabfluss (Variante  $f_{s,QM}$ ) die Regenüberlaufbecken wesentlich größer dimensioniert werden müssten als bei einer Beibehaltung

Parameter		Einheit	Szenario									
			1 Wasserspar- technologie		2 Grauwasser- separation		3 Gelbwasser- separation		4 Schwarzwas- serseparation		5 Kombination	
			$f_{s,QM}$	$Q_M$	$f_{s,QM}$	$Q_M$	$f_{s,QM}$	$Q_M$	$f_{s,QM}$	$Q_M$	$f_{s,QM}$	$Q_M$
Entlastungs- volumen	$V_{QE}$	[m <sup>3</sup> /a]	-	-	-	-	-	-	-	o	++	++
CSB	$SF_{E,CSB}$	[kg/a]	-	-	o	o	o	o	+	+	++	++
	$C_{E,CSB}$	[mg/l]	-	-	o	o	o	o	+	+	--	--
AFS	$SF_{E,AFS}$	[kg/a]	-	-	-	-	-	-	o	o	++	++
	$C_{E,AFS}$	[mg/l]	o	o	o	o	o	o	o	o	++	++
TKN	$SF_{E,TKN}$	[kg/a]	-	o	-	-	+	+	++	++	++	++
	$C_{E,TKN}$	[mg/l]	o	o	o	o	++	++	++	++	+	+
Diclofenac	$SF_{E,Diclofenac}$	[g/a]	-	-	-	-	++	++	++	++	++	++
	$C_{E,Diclofenac}$	[µg/l]	-	o	-	-	++	++	++	++	++	++
Entlastungs- kennwerte B10	$t_{ü} B10$	[h/a]	-	o	-	o	-	o	-	o	++	++
	$n_{ü} B10$	[d/a]	++	--	+	--	-	-	o	--	++	--
	$m B10$	[-]	++	++	++	++	+	-	+	+	--	--

++ deutliche Verbesserung im Vergleich zum Ausgangszustand, + Verbesserung im Vergleich zum Ausgangszustand, o keine deutliche Veränderung, - Verschlechterung im Vergleich zum Ausgangszustand, -- deutliche Verschlechterung im Vergleich zum Ausgangszustand

Tabelle 4: Veränderung der Entlastungskenngrößen bei einer Neubemessung der Regenüberlaufbecken im Vergleich zum Ausgangszustand (Auszug)

Parameter <sup>2)</sup>	Einheit	Szenario					
		0 Ausgangs- zustand	1 Wasser- spartechno- logie	2 Grauwasser- separation	3 Gelbwasser- separation	4 Schwarz- wasser- separation	5 Kombi- nation
$BSB_5 : TKN : P$	[-]	100 : 18 : 3	100 : 18 : 3	100 : 25 : 4	100 : 9 : 2	100 : 12 : 2	100 : 9 : 2
$V_{BB}$	[m <sup>3</sup> ]	7081 <sup>1)</sup>					
$V_D/V_{BB}$	[-]	0,32	0,34	0,5	0,2	0,2	0,2
$TS_{BB}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	3,15	3,15	2,48	2,90	1,77	2,92
$t_{TS}$	[d]	25					
$B_{TS}$	[kg/(kg·d)]	0,037	0,037	0,034	0,037	0,042	0,037
$ÜS_d$	[kg/d]	892	898	701	821	501	827
Fällmittelbedarf	[kg Fe <sup>3+</sup> /d]	32,7	35,1	33,8	13,9	4,7	15,9
$OV_d$	[kg/d]	1241	1228	967	979	1020	980
$S_{NO_3,AB}$	[mg/l]	8,1	8,2	10	0	0	0
$S_{NH_4,AB}$	[mg/l]	0					
$C_{RAB}$	[mg/l]	1,4					
$A_{NB}$	[m <sup>2</sup> ]	439 <sup>1)</sup>					
RV	[-]	0,75	0,75	0,51	0,65	0,32	0,66

<sup>1)</sup> vorhandener Anlagenbestand

<sup>2)</sup> Kurzzeichen entsprechend ATV-DVWK-A 131 [2] bzw. ATV-DVWK-A 198 [6]

Tabelle 5: Zusammenstellung relevanter Ergebnisse der Nachrechnung des Bestands für die unterschiedlichen Szenarien

des Drosselabflusses (Variante  $Q_M$ ), unterscheiden sich die Auswirkungen auf die Entlastungskenngrößen nur bei den Überlaufdauern und -häufigkeiten merklich (Tabelle 4).

Während bei den Auswirkungen im Bestand durch die Abkoppelung von Abwasserteilströmen stets eine Reduzierung der in die Gewässer entlasteten Mischwasservolumina und -frachten erreicht wird, könnten je nach Stoff und Szenario bei neudimensionierten Becken auch mehr Schmutzstoffe entlastet werden.

Durch die veränderte Beckendimensionierung verändern sich erwartungsgemäß auch die Entlastungsdauern und -häufigkeiten. Auffallend ist, dass sich die Entlastungsdauer ( $t_{\bar{q}}$ ) nur geringfügig ändert, während die Anzahl der Entlastungsereignisse ( $n_{\bar{q}}$ ) sich sehr deutlich verbessert (Variante  $f_{s,QM}$ ) oder verschlechtert (Variante  $Q_M$ ).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass eine Beibehaltung von  $Q_M$  bei veränderter Trockenwetterabflusssituation bei Neudimensionierung von Regenüberlaufbecken vorteilhaft wäre, da Volumen eingespart werden kann. Allerdings ergeben sich dann negative Einflüsse auf Dauer und Häufigkeit der Entlastungen, und für die Kläranlage würde die höhere Belastung im Regenwetterfall bestehen bleiben. Andererseits wird aber auch mehr Mischwasser auf der Kläranlage mitbehandelt, was dem Gewässerschutz zugute kommen kann. Wird der Bemessungszufluss zur Kläranlage unter Beibehaltung von  $f_{s,QM}$  angepasst, ergeben sich Einsparungen auf der Kläranlage, da Nachklärbecken und Leitungen oder Pumpen kleiner dimensioniert wer-

den können (siehe unten). Regenüberlaufbecken müssten dann allerdings größer als im Ausgangszustand dimensioniert werden bzw. der Nachweis des vorhandenen Speichervolumens könnte problematisch werden.

## 3.2 Ergebnisse Kläranlage

### 3.2.1 Auswirkungen auf die bestehende Klärtechnik

Anhand der Vorgaben der Tabellen 1 und 2 wurden für die in den Szenarien unterschiedlich zusammengesetzten Abwasserteilströme mittels statischer Bemessung nach ATV-DVWK-A 131 [2] die Auswirkungen auf wesentliche Betriebsparameter (Abwasserzusammensetzung,  $TS_{BB}$ ,  $OV_d$ , Fällmittelbedarf, etc.) ermittelt (Tabelle 5). Da es sich bei dem gewählten Beispiel um eine für die Größenklasse typische Anlage mit simultan aerober Schlammstabilisierung handelt, wurde das Schlammalter konstant mit  $t_{TS} = 25$  d angesetzt.

Die in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die alleinige Umsetzung wassersparender Maßnahmen (Szenario 1) zu keinen signifikanten Auswirkungen auf die Betriebsparameter führt, da die zu reinigende Fracht gleichbleibt.

Wird Grauwasser in den Haushalten getrennt aufbereitet und wiederverwendet (Szenario 2), dann wird nur das Schwarzwasser zusammen mit dem Abwasser des Gewerbegebiets, des Industriebetriebs und dem Fremdwasser zur bestehenden zentralen Kläranlage abgeleitet. Dadurch kommt es zu einer Ver-

Parameter <sup>3)</sup>	Einheit	Szenario					
		0 Ausgangs- zustand	1 Wasser- spartechno- logie	2 Grau- wasser- separation	3 Gelbwasser- separation	4 Schwarz- wasser- separation	5 Kombi- nation
Anschlussgröße	[EW <sub>60</sub> ]	13 706	13 706	9869	12 660	8789	12 660
Größenklasse <sup>1)</sup>	[-]	4	4	3	4	3	4
Reinigungsziel <sup>1)</sup>	[-]	C, N, P	C, N, P	C, Nitrifika- tion	C, N, P	C, Nitrifi- kation	C, N, P
Reinigungsziel <sup>2)</sup>	[-]	C, N, P	C, N, P	C, N, P	C, Nitrifika- tion, P	C, N, P	C, N, P
V <sub>BB</sub>	[m <sup>3</sup> ]	7081	7124	5562	5331	3982	6561
V <sub>D</sub> /V <sub>BB</sub>	[-]	0,32	0,34	0,5	0	0,2	0,2
TS <sub>BB</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	3,15					
t <sub>TS</sub>	[d]	25	25	25	20	25	25
ÜS <sub>d</sub>	[kg/d]	892	898	701	840	502	827
Fällmittelbedarf	[kg Fe <sup>3+</sup> /d]	32,7	35,1	33,8	13,9	4,7	15,9
OV <sub>d</sub>	[kg/d]	1241	1229	967	1017	699	980
S <sub>NO3,AB</sub>	[mg/l]	8,1	8,2	10	8,3	0	0
S <sub>NH4,AB</sub>	[mg/l]	0					
C <sub>PAB</sub>	[mg/l]	1,4					
A <sub>NB</sub>	[m <sup>2</sup> ]	439	332	324	389	376	312

<sup>1)</sup> nach AbwV [11]

<sup>2)</sup> angepasst an Abwasserzusammensetzung

<sup>3)</sup> Kurzzeichen entsprechend ATV-DVWK-A 131 [2] und ATV-DVWK-A 198 [6]

Tabelle 6: Zusammenstellung relevanter Ergebnisse der Bemessung bei Neubau für die unterschiedlichen Szenarien

schiebung des Verhältnisses von Kohlenstoff zu Stickstoff und Phosphor zugunsten der Nährstoffe (Tabelle 3), so dass zu wenig Kohlenstoff für eine vollständige Denitrifikation vorhanden ist. Somit besteht die Gefahr, dass höhere Stickstofffrachten ins Gewässer gelangen. Um dies zu vermeiden, müsste eine Dosierung von externem Kohlenstoff zur Steigerung der Denitrifikation vorgesehen werden. Zusätzlich sollte eine pH-Wert-Regelung integriert werden, da durch die Separation des Teilstroms Grauwasser, im verbleibenden Abwasser, selbst bei üblicherweise ausreichend gepufferten Abwässern, im Verhältnis zum Ammoniumgehalt eine zu geringe Pufferkapazität vorliegen kann. Dies hat zur Folge, dass die Stoffwechsellätigkeit der Nitrifikanten zu einer starken Absenkung des pH-Werts in der biologischen Behandlungsstufe führt, die durch die Denitrifikation nicht mehr ausgeglichen werden kann [9], so dass es zum kompletten Zusammenbruch der biologischen Stickstoffelimination kommen kann.

Bei den Varianten 3 und 5 (Gelbwasserseparation) wird insbesondere die Nährstofffracht erheblich verringert, so dass der verbleibende Stickstoff theoretisch bereits durch Einbau in die Biomasse entfernt wird. Eine gezielte Stickstoffelimination wäre demnach nicht mehr erforderlich, so dass mit einer Gewässerentlastung bezüglich der Stickstoffeinleitungen zu rechnen

ist. Da bei der Urinseparation auch die Phosphorfracht verringert wird, sinkt der Fällmittelbedarf.

Bei der Variante 4 (Schwarzwasserseparation) werden die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor zwar in noch größerem Maße von der zentralen Anlage ferngehalten, jedoch wird zusätzlich auch die Kohlenstofffracht verringert, so dass ein geringerer Anteil an Stickstoff in die Biomasse eingebaut wird. Demnach muss ein Denitrifikationsvolumen (V<sub>D</sub>) vorgehalten werden. Zur Reinigung des verbleibenden Abwasserstroms (im Wesentlichen Grauwasser der Haushalte und gewerblich-industrielles Abwasser) könnte der TS<sub>BB</sub>-Gehalt in diesem Szenario am deutlichsten von 3,15 kg/m<sup>3</sup> auf 1,77 kg/m<sup>3</sup> gesenkt werden. Entsprechend verringern sich der Überschussschlammanteil ÜS<sub>d</sub> sowie der erforderliche Fällmittelbedarf.

### 3.2.2 Auswirkungen bei Neubau der Klärtechnik

Die Ergebnisse für solche Fälle, in denen es möglich ist, eine angepasste Klärtechnik neu zu errichten, sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass infolge der durch Stoffstromtrennung veränderten Abwasserzusammensetzung bzw. -volumina und damit einhergehenden veränderten Reinigungszielen kleinere Belebungsbecken und Nachklärbecken möglich

werden, wodurch die Aufwendungen für die Anlagentechnik erheblich reduziert werden können. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Dockhorn [10].

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Separation von Teilströmen in bestimmten Fällen (Szenario 2 und 4) Auswirkungen auf die Einordnung der Größenklasse nach Abwasserverordnung (AbwV) [11] und somit auf die geforderten Ablaufkonzentrationen haben kann. Betrachtet man beispielsweise das Szenario 2, in dem Grauwasser in den Haushalten teilweise separiert und das verbleibende Schmutz- bzw. Schwarzwasser zusammen mit dem Abwasser des Gewerbegebiets, des Industriebetriebs und dem Fremdwasser zur zentralen Kläranlage abgeleitet wird, ergibt sich eine Anschlussgröße von 9 869 EW<sub>60</sub>. Eine vollständige Phosphor- bzw. Stickstoffelimination ist somit in Anlehnung an die AbwV [11] nicht erforderlich, wohingegen die Einhaltung eines Überwachungswerts für Ammoniumstickstoff nach wie vor gefordert wäre.

Im betrachteten Szenario 3 (Urinseparation) kann auf eine Denitrifikation vollständig verzichtet werden, da der Urin fast die gesamte Stickstofffraktion (ca. 87 %) des häuslichen Abwassers enthält. Entsprechend kann das erforderliche Schlammalter zur simultanen aeroben Stabilisierung entsprechend ATV-DVWK-A 131 [2] auf 20 d reduziert und das Belegungsvolumen  $V_{BB}$  um etwa 25 % verkleinert werden. Ein noch größeres Einsparpotenzial an Belebungsbeckenvolumen würde sich bei Wahl einer anderen Verfahrenstechnik, zum Beispiel getrennt anaerobe Schlammstabilisierung, ergeben.

In solchen Fällen, in denen es möglich ist, Schwarzwasser oder Gelb- und Braunwasser am Anfallort zu separieren und zu behandeln (Szenario 4), würden sich die Aufwendungen für die zentrale Anlage weiter reduzieren. Allerdings müssen Praxiserfahrungen zeigen, ob Stickstoff, bedingt durch Fehlnutzungen, nicht doch in größerem Umfang zur Kläranlage geleitet wird, als theoretisch angenommen [12].

#### 4 Folgerungen für die Bemessung – Chancen und Hemmnisse für die Integration von NASS in Bestandsgebiete

In Mischwasserkanalisationen wirkt sich die Integration von NASS auf das Entlastungsverhalten überwiegend positiv aus. Soll auf Grundlage der sich veränderten Randbedingungen das vorhandene Speichervolumen nach derzeitigem Regelwerk [1] nachgewiesen werden, können allerdings größere Volumina resultieren. Berechnung mit an die Randbedingungen angepassten Bauwerksvolumina zeigen allerdings, dass sich im Vergleich zum Ausgangszustand ohne Integration von NASS und bestehenden Becken durchaus negative Einflüsse für die Gewässer ergeben können. Der Bezugslastfall nach ATV-A 128 [1] bildet solche veränderten Randbedingungen nicht mehr treffend ab.

Derzeit werden statt des Bezugsparameters CSB und des Vergleichs mit einem Trenngebiet [1] andere Nachweisgrößen für Mischwassereinleitungen in der Fachwelt diskutiert. Vor allem die Feststoffe sollen als Belastungsparameter herangezogen werden [13]. Für Abwasser aus Niederschlägen sollen Anforderungen im Rahmen eines neuen Anhangs zur Abwasserverordnung verabschiedet werden, die für neue Einleitungen gelten. Im geplanten Anhang zur AbwV [11] soll vor allem ein Er-

halt des örtlichen Wasserhaushalts erfolgen und verhindert werden, dass sich gering oder mäßig belastetes Niederschlagswasser mit hoch belastetem Niederschlagswasser (Trennsystem) oder anderem behandlungsbedürftigem Abwasser (Mischsystem) vermischen. Für bestehende Mischsysteme steht in diesem Anhang der Nachweis einer Überlaufhäufigkeit und -dauer in der Diskussion.

Werden gezielt mit Feststoff belastete Abwasserteilströme getrennt behandelt, können diese Anforderungen in Zukunft leichter erfüllt werden. Da durch die Integration von NASS meist nur ein geringer volumenmäßiger Anteil des Mischwasserabflusses separiert wird, ist der Einfluss auf Entlastungshäufigkeit und -dauer gering. Hier stellt die Regenwasserbewirtschaftung ein wichtiges Ziel dar. Insgesamt wird dann fraglich, inwieweit eine Mischkanalisation aufrechterhalten werden sollte. Weiterhin zum Abfluss kommendes Regenwasser könnte auch oberirdisch über Rinnen und Mulden dem Gewässer zugeführt werden, sofern es nicht behandlungsbedürftig ist. Werden die verschiedenen Stoffströme nicht im kompletten Einzugsgebiet separiert, muss immer ein „Restsystem“ zur zentralen Entsorgung aufrechterhalten werden.

Angelehnt an die Ansprüche könnte auch in Zukunft im Bereich des häuslichen Schmutzwassers ein an natürlichen Kreisläufen orientierter Umgang oder ein Vermischungsverbot unterschiedlicher Qualitätsstufen gefordert werden.

Im Bereich der Abwasserreinigung führt die Umsetzung der oben beschriebenen Szenarien in allen Fällen zu einer Verrin-

gerung des Abwasseranfalls. Wird Grauwasser, wie in Szenario 2 betrachtet, aufbereitet und als Betriebswasser genutzt, verringert sich der tägliche Schmutzwasseranfall sehr deutlich. Dies wirkt sich im Falle eines möglichen Neubaus insbesondere auf die hydraulisch zu bemessenden Anlagenteile, wie zum Beispiel auf die Nachklärung, aus, die wesentlich kleiner ausgelegt werden kann.

Werden gezielt die nährstoffhaltigen Teilströme wie zum Beispiel Gelbwasser separiert, können sehr niedrige Nährstoffemissionen erreicht werden, da aufgrund der veränderten Abwasserzusammensetzung Stickstoff weitgehend in die Biomasse eingebaut wird. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf das erforderliche Belegungsvolumen. Andererseits müssen aber in Folge der durch Stoffstromseparation veränderten Abwasserzusammensetzung die Anforderungen, die an Kläranlagen gestellt werden, angepasst werden. Die alleinige Definition der Ausbaugröße und damit der Reinigungsleistung über die organische Belastung ist hier nicht zielführend. Vielmehr sollte eine ganzheitliche Betrachtung, basierend auf der resultierenden Abwassermatrix, einhergehend mit einer angepassten Klärtechnik, erfolgen. Hier müssten die gängigen Bemessungsgrundlagen überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden.

Ebenso sind bei der Integration von NASS weitere Kriterien und Konsequenzen für Kanalnetz und Kläranlage, wie zum Beispiel hydraulische Belange (Ablagerungen, Geruch, Korrosion) zu beachten. Auch zusätzliche Investitionen im nichtöffentlichen Bereich, zum Beispiel Hausinstallationen und Aufbereitungstechnik, sowie Betrieb und Überwachung der dezentralen Anlagen sind zu berücksichtigen.

## 5 Ausblick

Neben Grenzwerten für die Einleitungen aus Abwasserbehandlungsanlagen (Abwasserverordnung [11]) rücken immissionsorientierte Anforderungen in den Vordergrund (z. B. BWK, 2004 [14]). Die europäische Wasserrahmenrichtlinie [15] steht für eine ganzheitliche Betrachtung der wasserwirtschaftlichen Systeme und fordert integrale Konzepte. Durch sie werden auch neue prioritäre Stoffe in die Diskussion gebracht, die vor allem zu einer Reduzierung der Stoffeinträge an der Quelle führen werden. Derzeit wird den steigenden Anforderungen an die Gewässerqualität noch durch einen Ausbau der zentralen End-of-pipe-Systeme nachgekommen. Durch neuartige Systeme, die das Prinzip der Stoffstromtrennung beinhalten oder auf neuartige Techniken zurückgreifen, können verschärfte Anforderungen gegebenenfalls effektiver und wirtschaftlicher eingehalten werden. Bei der sicheren Quantifizierung der Auswirkungen von NASS auf Ressourceneffizienz, Boden- und Grundwasserschutz besteht allerdings noch Forschungsbedarf.

Während bislang im Bereich NASS vorwiegend dezentrale Konzepte für die Teilstrombehandlung diskutiert werden, sind aber auch Konzepte mit zentraler Struktur denkbar. Von besonderem Interesse ist der mögliche zeitliche Verlauf der geänderten Randbedingungen während einer weitreichenden Umsetzung neuartiger Sanitärkonzepte. Vor allem aber sollten NASS in konkrete Planungen mit einbezogen und so auch Erfahrungen gesammelt werden.

Weitere Aspekte des Betriebs, der Überwachung und Kosten der dezentral behandelten Teilströme waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung und bedürfen der weiteren Betrachtung.

## Literatur

- [1] Arbeitsblatt ATV-A 128: *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*, St. Augustin, 1992
- [2] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131: *Bemessung von einstufigen Belegungsanlagen*, Hennef, 2000
- [3] R. Otterpohl, M. Oldenburg: Innovative Technologien zur dezentralen Abwasserbehandlung in urbanen Gebieten, *KA 49* (2002), Nr. 10, 1364–1371
- [4] H. Knerr, M. Engelhart, J. Hansen, H. Steinmetz: The project KOMPLETT – A new approach for closed loop urban water cycles, 2<sup>nd</sup> International Conference SmallWat07 on Wastewater Treatment in Small Communities, 11 bis 15 November 2007, Sevilla/Spanien
- [5] A. Welker: *Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf – Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen*, Habilitationsschrift, Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, Band 20, 2005
- [6] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198: *Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen*, Hennef, 2003
- [7] T. G. Schmitt: *KOSMO – Kontinuierliche Schmutzfrachtsimulation, Modellbeschreibung*, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2004
- [8] Merkblatt ATV-DVWK-M 177: *Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen – Erläuterungen und Beispiele*, Hennef, 2001
- [9] H. Knerr, M. Engelhart, J. Hansen, H. Steinmetz, J. Wölle: Blackwater of different origin – Characterization and biological treatment, 6<sup>th</sup> Conference on wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, 9 bis 12 Oktober 2007, Antwerpen/Belgien
- [10] T. Dockhorn: *Stoffstrommanagement und Ressourcenökonomie in der kommunalen Abwasserwirtschaft*, Habilitationsschrift, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig, Heft 74, 2007
- [11] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV), *BGBl. I*, 2004, Nr. 28, 1108–1184
- [12] H. Knerr, M. Engelhart, J. Hansen, D. Krystkiewicz, G. Sagawe, H. Steinmetz: Development, combination and implementation of innovative components of process engineering, information technology and sanitary equipment to a sustainable key technology for closed loop, Project “KOMPLETT”, Proceedings of the 3<sup>th</sup> Zero-M International Conference on Sustainable Water Management, 21 bis 24 März 2007, Tunis/Tunesien
- [13] V. Merzsch: Zukünftige Niederschlagswasserbehandlung – Brauchen wir einen Stand der Technik?, 7. DWA-Regenwassertage, 2./3. Juni 2008, Schleswig
- [14] BK-Merkblatt 3: *Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse*, 2. Aufl., 2004
- [15] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, 22. Dezember 2000, L 327, 1–72

## Autoren

Dipl.-Ing. Inka Kaufmann Alves, Dipl.-Ing. Henning Knerr

Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt

Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Technische Universität Kaiserslautern

Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern

E-Mail: [ikaufmann@rhrk.uni-kl.de](mailto:ikaufmann@rhrk.uni-kl.de)

Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte-

und Abfallwirtschaft

Universität Stuttgart

Bandtäle 2, 70569 Stuttgart



