



Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet

Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit

Vergabe-Nr. 08/058.2 – Einzelauftrag 10

gefördert durch

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

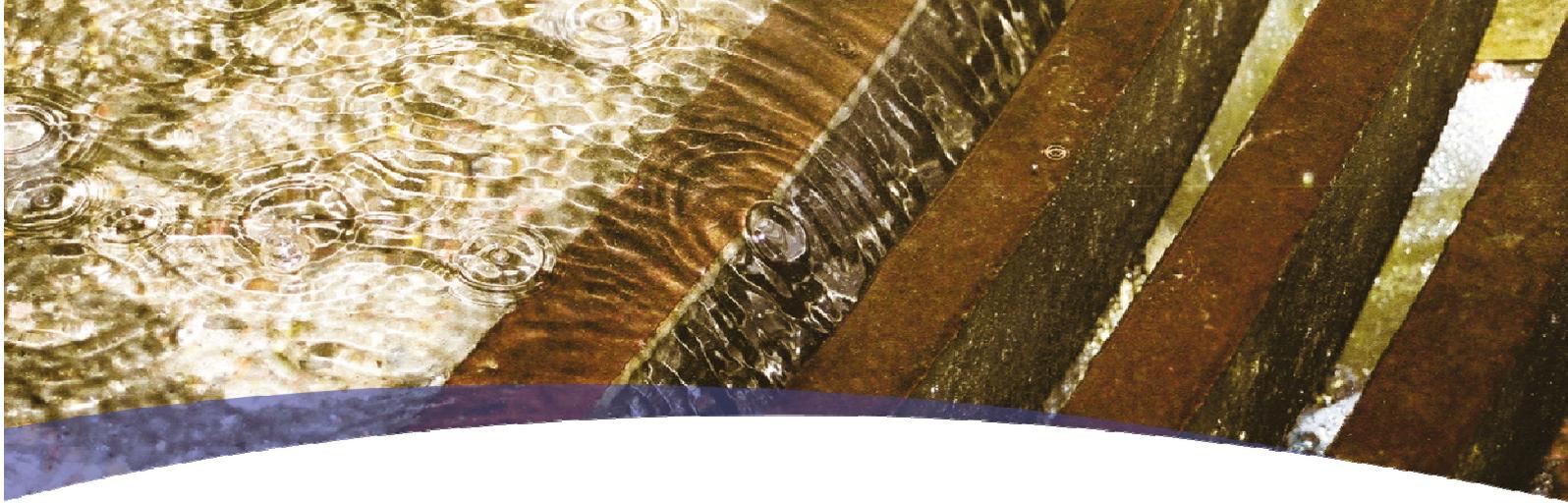


Partner



SIEMENS

KURZBERICHT



**Großtechnische Erprobung eines standardisierten
Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur
Online-Kanalnetzsteuerung
am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage
Kenten im Erftverbandsgebiet**

**Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt
der Wirtschaftlichkeit**

Aachen, Juni 2012
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Projektbearbeitung

	Institution	Bearbeiter
	<p>Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.</p> <p>Kackerstraße 15-17 52056 Aachen</p> <p>Tel.: 0241 80 26825 Fax: 0241 80 22825 Email: fiw@fiw.rwth-aachen.de</p>	<p>Maja Lange Thomas Siekmann Susanne Hüben</p>
	<p>Erftverband</p> <p>Bauassessor Norbert Engelhardt Am Erftverband 6 50126 Bergheim</p> <p>Tel.: 02271 88 0 Fax: 02271 80 12 10</p>	<p>Heinrich Dahmen Reinhold Kiesewski</p>
	<p>PFI Planungsgemeinschaft GbR</p> <p>Dr.-Ing. Richard Rohlfing Karl-Imhoff-Weg 4 30165 Hannover</p> <p>Tel.: 0511 35851-0 Fax: 0511 35851-43</p>	<p>Dr.-Ing. Richard Rohlfing Steffen Gerke</p>
	<p>Siemens AG</p> <p>Industry Sector Industry Automation Division Industrial Automation Systems Process Automation I IA AS PA W&WW</p> <p>Siemensallee 84 76187 Karlsruhe, Deutschland</p>	<p>Dr. Annelie Sohr CT T DE TC3 Otto-Hahn-Ring 6 81739 München, Deutschland Tel.: +49 89 636-50391 Fax: +49 89 636-45111 Mobil: +49 152 21859498 Email:annelie.sohr@siemens.com</p> <p>Holger Hanss I IA AS PA W&WW Siemensallee 84 76187 Karlsruhe, Deutschland Tel.: +49 721 595-6748 Mobil: +49 1522 2912019 Email:holger.hanss@siemens.com</p>

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Veranlassung und Ziel	2
3	Vorgehen	3
3.1	Abschätzung der Steuerwürdigkeit	3
3.2	Aufnahme Ist-Zustand	3
3.2.1	Gebiets- und Netzdaten.....	3
3.2.2	Niederschlagsdaten.....	6
3.3	Verwendete Modelle	6
3.3.1	Berechnungsmodell EXTRAN	7
3.3.2	SIWA SEWER ASSIST	8
3.4	Plausibilitätsprüfung und Kalibrierung	9
3.5	Modellvergleich EXTRAN – SIWA SEWER	10
3.6	Abflusssteuerung im EZG Kenten	12
3.6.1	Steuerziele und Randbedingungen	12
3.6.2	Optimierungshorizont	13
3.6.3	Ergebnisse ungesteuerter / gesteuerter Zustand	14
3.6.4	Wirtschaftliche Aspekte	15
4	Ergebnisse und Ausblick	16
5	Quellen	17
6	Anlagen	A-1

Verzeichnis der Bilder

Bild 3-1:	Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten (Ertfverband 2011)	4
Bild 3-2:	Verwendete Modelle und ihre Verknüpfung	6
Bild 3-3:	Übersicht Kanalnetzmodell nach IsyBau-Daten	7
Bild 3-4:	Grobnetzmodell für das EZG des GWK Kenten	8
Bild 3-5:	SIWA SEWER ASSIST Module im Forschungsprojekt	9
Bild 3-6:	Optimierung mit rollendem Zeithorizont.....	14

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 3-1:	Kenndaten der steuerwürdigen Becken	5
Tabelle 3-2:	Netzcharakteristik des Berechnungsmodells.....	7
Tabelle 3-3:	Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse.....	10
Tabelle 3-4:	Beurteilung des Vergleiches der Ergebnisse EXTRAN / SIWA SEWER....	11
Tabelle 3-5:	Wichtungsfaktoren.....	13
Tabelle 3-6:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten, Mittel über alle Ereignisse.....	14

Anhang

Anlage 1: Fließschema Kanalnetz Kenten

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Kurzbericht fasst die wesentlichen Ergebnisse der ersten Phase des Projekts „Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet“ zusammen. Ein ausführlicher Abschlussbericht zum Projekt liegt ebenfalls vor, in dem neben den konkreten Projektergebnissen auch Hinweise zu erforderlichen Daten, in der Praxis angewendeten Simulationsprogrammen für die Abflusssteuerung sowie zur Genehmigungspraxis gegeben werden.

In der ersten abgeschlossenen Projektphase wurde eine Abflusssteuerung für das Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten theoretisch betrachtet und durch Simulationsrechnungen der Steuerungserfolg quantitativ bewertet. Die praktische Umsetzung der Abflusssteuerung ist in der zweiten Projektphase vorgesehen.

Für die Simulationen wurden das Modell MOMENT zur Generierung von Zuflusswellen, das hydrodynamische Simulationsmodell EXTRAN zur Abbildung des Ist-Zustands und das Optimierungstool SIWA SEWER ASSIST zur Abbildung des Ist-Zustands und des gesteuerten Zustands eingesetzt. Von den 34 Regenüberlaufbecken des Kanalnetzes Kenten wurden acht für die geplante Verbundsteuerung ausgewählt. Außerdem sind noch vier Regenüberläufe und ein Retentionsbodenfilter im Netz vorhanden.

Das Steuerziel in Kenten ist die Reduzierung der Entlastungsmenge bei optimierter Weiterleitung zur Kläranlage, um die Gewässerbelastung zu reduzieren und die Gewässergüte zu verbessern. Nach einer statistischen Analyse vorhandener Niederschlagsreihen für drei Stationen im Einzugsgebiet wurden fünf Niederschlagsereignisse mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von $1/a$ und $2/a$ ausgewählt, anhand derer das Steuerpotenzial ermittelt wurde.

Der Vergleich der Entlastungsmengen für das ungesteuerte und gesteuerte Netz ergab eine Reduzierung der Gesamtentlastungsmengen für die Einzelereignisse zwischen 0 % und 50 %. Auch bei den geringeren Reduzierungen der Gesamtentlastungsmenge hat die Abflusssteuerung aufgrund der zugrundeliegenden Optimierungsgleichung eine größere Wirkung als vermutet, da die der Steuerung zugrundeliegende Optimierungsgleichung den Beckeneinstau, den Beckenüberlauf und den Überstau an jeder zu steuernden Stelle im Netz bewertet und als Randbedingung die bestmögliche Ausnutzung des Retentionsbodenfilters (RBF) enthält. Kleine Verringerungen der Entlastungsmenge führen so durch Verschiebung im Netz und Beschickung des RBF zu kleineren entlasteten Frachten. Zudem wird die Optimierung mit rollendem Zeithorizont (siehe Abschnitt 3.6.2) realisiert, was eine gute Anpassung an die netzspezifischen Gegebenheiten ermöglicht.

2 Veranlassung und Ziel

Die Abflusssteuerung wird schon seit über 30 Jahren in der Fachwelt als Instrument zum optimierten Betrieb eines Kanalnetzes und somit auch zur Verbesserung der Beschaffenheit der Oberflächengewässer diskutiert. Sie wurde in verschiedenen Projekten meist theoretisch entwickelt, aber weniger häufig praktisch umgesetzt.

Netzbetreiber stehen der Abflusssteuerung immer noch skeptisch gegenüber. Dies liegt an dem hohen Planungsaufwand, den immer noch geringen Erfahrungen mit umgesetzten Beispielen sowie an den ungeklärten rechtlichen Rahmenbedingungen. Die DWA hat mit dem 2005 herausgegebenen Merkblatt 180 „Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ (DWA 2005) den Grundstein gelegt, dass die Abflusssteuerung als potenzielle Realisierungsvariante bei der entwässerungstechnischen Planung berücksichtigt wird.

Seitdem gibt es weitere Entwicklungen, wie die Diskussion um den Klimawandel und den demographischen Wandel, wodurch anpassungsfähige Lösungen wie die Abflusssteuerung an Bedeutung gewinnen. Auch die Mess- und Kommunikationstechnik hat sich weiterentwickelt und die Fortschritte in der Computertechnik sind so weit, dass Rechenzeiten für die Simulation verschiedener Szenarien immer seltener der begrenzende Faktor sind.

Einige Voraussetzungen für die Abflusssteuerung als ernstzunehmende Planungsvariante sind damit gegeben. Für die Stärkung in der Planung und der praktischen Umsetzung müssen nun die Planer und Netzbetreiber gewonnen werden und das Kosten-Nutzen-Verhältnis positiv ausfallen. Das vorliegende Pilotprojekt verfolgt diese Ziele, indem

- Möglichkeiten der Standardisierung für Planung und Umsetzung geprüft werden,
- eine Abflusssteuerung theoretisch entwickelt und dann praktisch umgesetzt wird,
- wirtschaftliche Aspekte herausgearbeitet werden und
- das Interesse bei Netzbetreibern geweckt wird.

Konkretes Ziel der Abflusssteuerung im Netz Kenten ist die Reduzierung der Entlastungsmengen. Damit verbunden ist eine optimierte Weiterleitung zum Klärwerk Kenten und eine hohe Auslastung des Retentionsbodenfilters Kenten (RÜB + RBF).

3 Vorgehen

3.1 Abschätzung der Steuerwürdigkeit

Vor Projektbeginn wurde eine erste Abschätzung zur Steuerwürdigkeit des Kanalnetzes im EZG Kenten mit dem Programmpaket PASST des DWA Merkblattes M 180 – Abflusssteuerung vorgenommen, die ergab, dass das Gebiet für eine Steuerung prädestiniert ist.

3.2 Aufnahme Ist-Zustand

Der Erftverband stellte die Datengrundlage für das Kanalnetz im Einzugsgebiet des Klärwerks Kenten zur Verfügung, wie die aktuelle Netzanzeige, das Abwasserbeseitigungskonzept, Dokumentationen für die einzelnen Bauwerke, Pläne des Einzugsgebiets sowie der steuerwürdigen Becken als Schemazeichnungen aus dem Prozessleitsystem (PLS), Kenn- und Parameter der vorhandenen Pumpen und Bauwerke, im PLS dokumentierte Betriebsdaten für die vorausgewählten zu steuernden Becken sowie die Zu- und Ablaufmengen des Klärwerks.

3.2.1 Gebiets- und Netzdaten

Das Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks Bergheim-Kenten umfasst eine zu entwässernde Gesamtfläche A_{EK} von 2.425 ha, wobei überwiegend im Mischsystem entwässert wird. Gegenwärtig existieren im Gesamteinzugsgebiet 34 Regenüberlaufbecken (offene/ geschlossene Rund- bzw. Rechteckbecken und Stauraumkanäle) sowie 4 Regenüberläufe und ein Retentionsbodenfilter, welches 2005 in Betrieb gegangen ist. Das Gesamtspeichervolumen beträgt rd. 65.000 m³ und das spezifische Speichervolumen ca. 69 m³/ha Ared. Die Kläranlage ist auf einen Mischwasser- /Trockenwetterzufluss von 624 l/s entsprechend 54.000 m³/d ausgelegt.

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten (Bild 3-1) ist relativ flach, die maximale Fließzeit bis zur Kläranlage beträgt ca. 6 h, wobei die Nachlauf- /Entleerungszeiten im Netz sehr lang sind (bis über 24 Stunden), so dass es zu langen Einstauzeiten kommt. Die Einleitung erfolgt in die Erft und deren Nebengewässer.

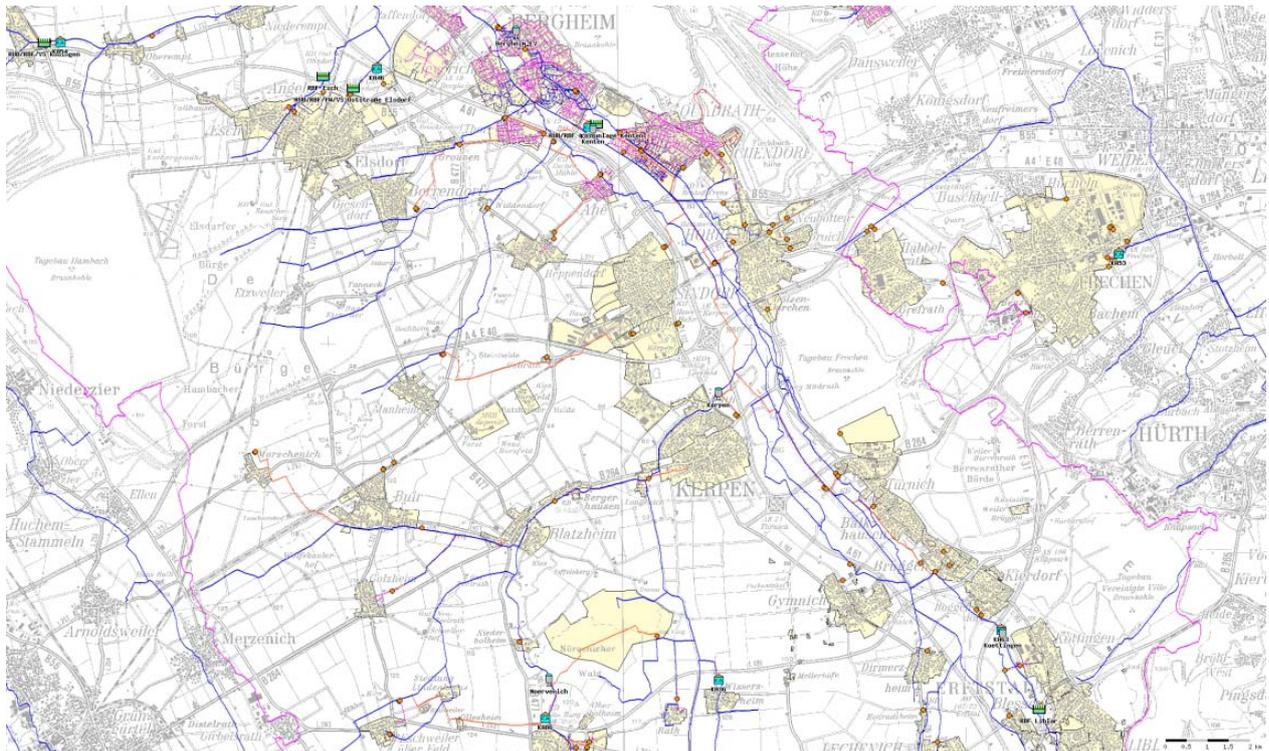


Bild 3-1: Einzugsgebiet der Kläranlage Kanten (Erftverband 2011)

Für die Steuerung wurden 8 Becken vorausgewählt (RÜB Kanten + RBF Kanten wird als Einheit betrachtet), die mit ihren Kenndaten in der Tabelle 3-1 zusammengestellt sind. Hauptauswahlkriterien waren dabei die Lage im Netz, das Speichervolumen und die gute technische Ausrüstung der Becken.

Tabelle 3-1: Kenndaten der steuerwürdigen Becken

Betr. Nr.	Bezeichnung	RÜB Volumen		max. Entleerungszeit		Summe Qzu oberhalb		Au (direkt)		Qt ₂₄		Qab		Gewässer
		m ³	c	h	d	l/s	e	ha	f	l/s	g	l/s	h	
76	GKW Kenten	0		0		624		0		165		-		Erft
130	RÜB / PW Thorr	321		2		110		< 1		18		150		Große Erft
218	RÜB Kenten	3.814		19		~ 600		< 1		165		624		Erft
492	RÜB Ahestr.	3.964		25		0		33,1		6,2		50		Kleine Erft
625	RÜB Horrem	3.670		22		208		78,4		21		74		Erft
628	RÜB Kerpen Nord	6.907		53		70		63		28		99		Neffelbach
629	RÜB Kerpen Süd	3.121		7		109		68		14		130		Neffelbach
633	RÜB Türnich	3.998		11		~ 550		36,1		18		125		Erft
635	RÜB Hüttengraben	7.318		62		125		81,6		34		99		Hüttengraben
682	RBF Kenten	4.246		12		~ 600		0		-		60		Erft

3.2.2 Niederschlagsdaten

Im Einzugsgebiet des Klärwerks Kenten gibt es die drei Niederschlagsstationen Haus Forst (A), Bergheim (B), und Köttingen (C). Für diese Stationen lagen Daten vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2010 vor. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung zeigte sich, dass die Verwendung von Daten dreier Stationen zu den besten Modellergebnissen führte, so dass in diesem Projekt mit einer ungleichmäßigen Überregnung gerechnet wird.

3.3 Verwendete Modelle

In diesem Projekt werden drei Modelle für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt und ihre Ergebnisse verglichen, wie in Bild 3-2 grafisch dargestellt ist. Das hydrologische Modell MOMENT, welches auch als Grundlage für die Netzanzeige diente, wird zum Abbilden des Ist-Zustands und zum Erzeugen von Zulaufganglinien als Eingang für die anderen beiden Modelle verwendet. Die Ergebnisse aus MOMENT werden einerseits mit Messdaten verglichen, andererseits zum Überprüfen des Modells EXTRAN herangezogen.

Das hydrodynamische Modell EXTRAN bildet den Ist-Zustand ab und wird für den direkten Vergleich mit dem Optimierungstool SIWA SEWER eingesetzt. Das Modell in EXTRAN wird vereinfacht abgebildet und anhand von Messdaten kalibriert.

Das Optimierungstool SIWA SEWER dient zur Modellierung des Ist-Zustands und des gesteuerten Zustands. Das zugrundeliegende vereinfachte Netz entspricht dem in EXTRAN abgebildeten Netz, die Zuflussganglinien sind, wie in EXTRAN, aus MOMENT generiert. Damit stimmen die Grundlagen der beiden Modelle SIWA SEWER und EXTRAN überein, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

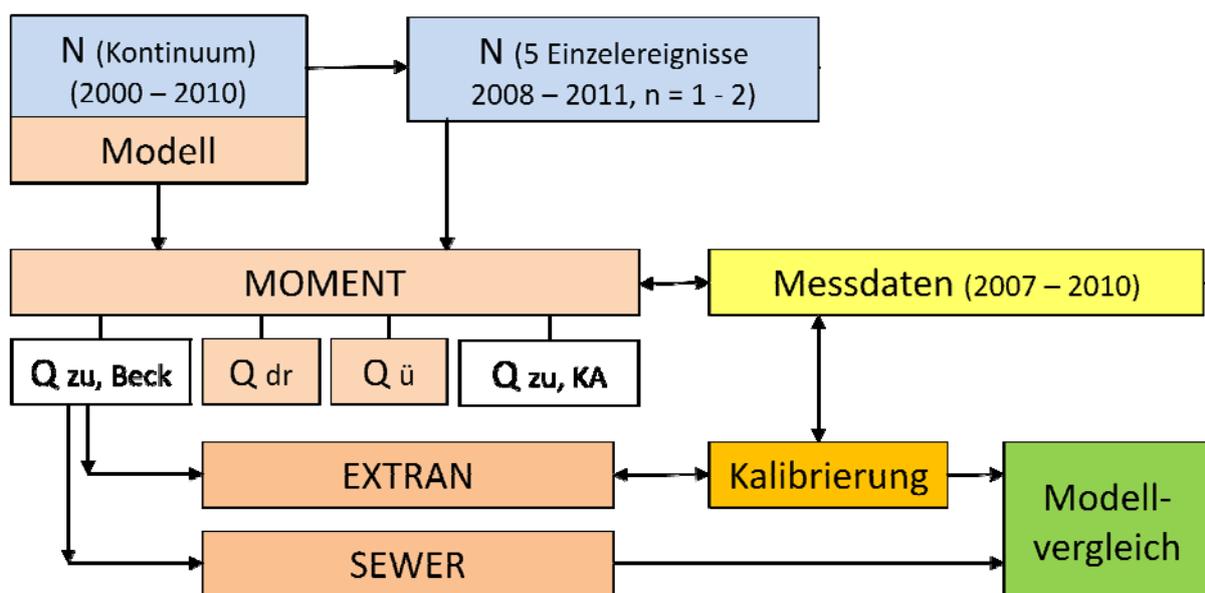


Bild 3-2: Verwendete Modelle und ihre Verknüpfung

3.3.1 Berechnungsmodell EXTRAN

Das hydrodynamische Modell EXTRAN bildet den Ist-Zustand ab und stellt die Grundlage für das Optimierungstool SIWA SEWER dar. Anschließend wird anhand von Simulationsergebnissen ein Abgleich zwischen den beiden Modellen durchgeführt.

Grundlage für den Aufbau des Simulationsmodells bildet der IsyBau-Datenbestand (Typ k) des Ertverbandes (Bild 3-3).

Die Verbindungskanäle, für die der Ertverband zuständig ist, sind als reines Transportsystem einzustufen. Dies ermöglicht, die Kanalnetzdaten im Simulationsmodell zur Optimierung der Rechenzeiten vereinfachend zu einem Grobnetz (Bild 3-4 und Tabelle 3-2) zusammenzufassen.

Tabelle 3-2: Netzcharakteristik des Berechnungsmodells

Haltungen	72 Stck	
Schächte	84 Stck	
Pumpen/Drosseln	15 Stck	
Speicherschächte	24 Stck	
Wehre	9 Stck	
Länge	19,5 km	
Haltungslängen	von 4,5 m	bis 3315 m
Rohrsohlen	von 60,50 m NN	bis 79,42 m NN
Geländehöhen	von 63,52 m NN	bis 82,45 m NN

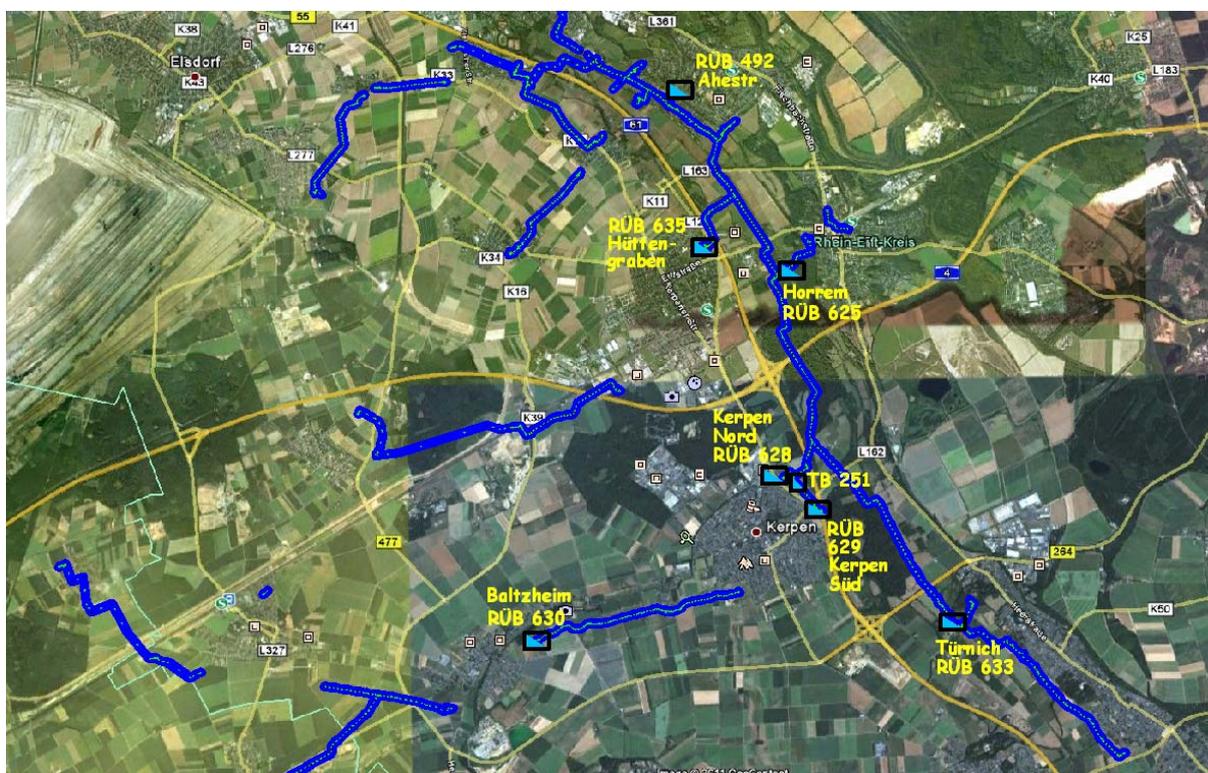


Bild 3-3: Übersicht Kanalnetzmodell nach IsyBau-Daten

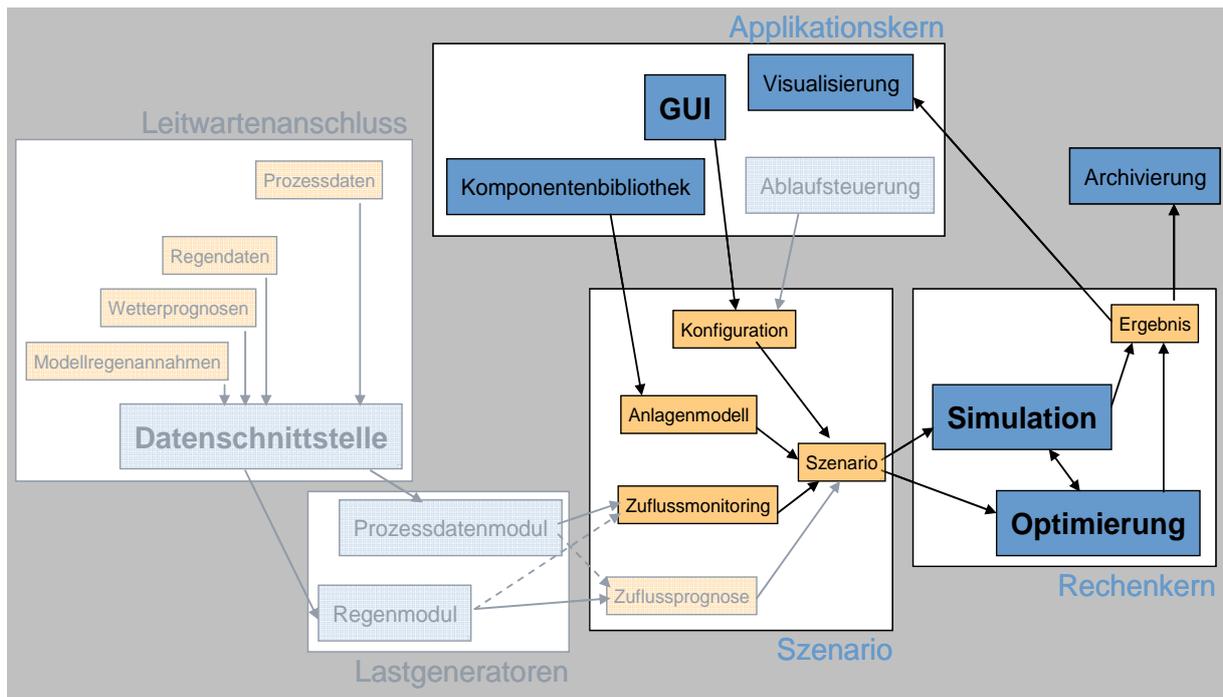


Bild 3-5: SIWA SEWER ASSIST Module im Forschungsprojekt

3.4 Plausibilitätsprüfung und Kalibrierung

Die Plausibilität der Messdaten wurde zunächst anhand des Parameters Zufluss zur Kläranlage mit dem Modell MOMENT geprüft. Anschließend wurde ein detaillierter Vergleich zwischen den Modellergebnissen für Q_{dr} und $Q_{ü}$ aus EXTRAN und MOMENT anhand von fünf ausgewählten Einzel-Niederschlagsereignissen (Programmbaustein itwh-Langzeit) mit unterschiedlicher Wiederkehrhäufigkeit ($n=1/a$ und $n=2/a$) vorgenommen.

Der Vergleich der Modellergebnisse bestätigte, dass eine Abbildung mit dem Modell EXTRAN zu vergleichbaren Ergebnissen führt. Eine Kalibrierung des Modells EXTRAN erfolgte dann anhand von Messdaten, wobei die durchgeführten Berechnungen überwiegend gute optische Übereinstimmungen mit den aufgezeichneten Abflussdaten zeigten. Die bewerteten Ergebnisse sind in Tabelle 3-3 zusammengefasst, eine ausführliche Darstellung ist in Anlage 3 des Abschlussberichts dokumentiert.

Im Anschluss an diese Berechnungen wurde das Modell hinsichtlich der einzustellenden Weiterleitungsmengen entsprechend dem Fließschema (siehe Anlage 1) modifiziert und bildete so die Grundlage für den Aufbau des Berechnungsmodells SIWA SEWER.

Tabelle 3-3: Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse

Anlage	Ereignis Nr. 4	Ereignis Nr. 8	Ereignis Nr. 9	Ereignis Nr. 12	Ereignis Nr. 16
RÜB 633 Türnich	gut	gut	gut	gut	brauchbar
RÜB 629 Kerpen Süd	gut	sehr gut	gut	gut	gut
RÜB 628 Kerpen Nord	gut	sehr gut	gut	gut	sehr gut
RÜB 635 Sinsdorf	gut	sehr gut	brauchbar	brauchbar	brauchbar
RÜB 625 Horrem	brauchbar	gut	Störung	brauchbar	brauchbar
RÜB 218 Kenten	gut	brauchbar	brauchbar	sehr gut	Störung

3.5 Modellvergleich EXTRAN – SIWA SEWER

Das kalibrierte Modell EXTRAN wurde für den Import in SIWA SEWER bereitgestellt und anschließend beide Modelle mit den gleichen hydrologisch simulierten Zuflüssen belastet, damit die Vergleichbarkeit der Modelle überprüft werden konnte. Bei gleichen Ergebnissen für den Ist-Zustand ist davon auszugehen, dass auch für beliebige andere Zustände ähnliche Ergebnisse bei gleicher Datengrundlage und gleicher Belastung zu erwarten sind.

Unter dieser Voraussetzung kann angenommen werden, dass der abgebildete gesteuerte Zustand in SIWA SEWER plausibel ist und richtige Steuerentscheidungen getroffen werden, sofern das Optimierungsproblem korrekt formuliert und gelöst wird.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse von EXTRAN und SIWA SEWER erfolgte für die relevanten Anlagen der geplanten Kanalnetzsteuerung und ist ausführlich im Abschlussbericht in Kapitel 6.6 und Anlage 4 dargestellt. Die folgende Tabelle 3-4 fasst die Beurteilung der Simulationsergebnisse zusammen.

Tabelle 3-4: Beurteilung des Vergleiches der Ergebnisse EXTRAN / SIWA SEWER

Bauwerk	Vergleichswert	Ereignis Nr. 04	Ereignis Nr. 08	Ereignis Nr. 09	Ereignis Nr. 12	Ereignis Nr. 16
RÜB 633 Türnich	Weiterleitung	+	+	++	+	+
	Volumen	+	+	+	+	0
	Abschlag	++	++	+	-	++
RÜB 635 Sinsdorf Hütten- graben	Weiterleitung	+	+	+	+	+
	Volumen	++	++	++	+	++
	Abschlag	++	++	++	++	++
RÜB 629 Kerpen Süd	Weiterleitung	+	+	+	+	+
	Volumen	+	+	0	0	0
	Abschlag	++	++	+	++	++
RÜB 628 Kerpen Nord	Weiterleitung	++	0	+	+	+
	Volumen	++	+	++	+	+
	Abschlag	-	-	-	++	++
RÜB 625 Horrem	Weiterleitung	++	++	++	++	+
	Volumen	0	0	0	0	0
	Abschlag	+	+	+	0	+
RÜB 492 Ahe- straße	Weiterleitung	--	--	--	--	--
	Volumen	0	0	0	0	0
	Abschlag	++	-	0	++	++
RÜB 682 Kenten	Zufluss GWK	+	++	++	+	++
	Volumen	--	+	++	-	0
	Abschlag	++	+	++	++	++
RBF 218 Kenten	Weiterleitung	++	0	0	++	++
	Volumen	++	-	--	++	++
	Abschlag	++	++	+	++	++
++	Sehr gute Übereinstimmung					
+	Gute Übereinstimmung					
0	Befriedigende Übereinstimmung					
-	Schlechte Übereinstimmung					
--	Sehr schlechte Übereinstimmung					

Insgesamt ergibt der Vergleich der beiden eingesetzten Simulationsmodelle eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse, die noch an wenigen Stellen in der zweiten Projektphase präzisiert werden. Da die mit dem Simulationsmodell EXTRAN durchgeführte Kalibrierung eine gute Anpassung ergibt (siehe Abschnitt 3.4), liefert auch das Modell SIWA SEWER eine realistische Abbildung des Abflussgeschehens im Einzugsgebiet des GWK Kenten.

3.6 Abflusssteuerung im EZG Kenten

3.6.1 Steuerziele und Randbedingungen

Die Abflusssteuerung im Netz Kenten soll die Entlastungsmengen reduzieren, indem die Weiterleitung zum Klärwerk Kenten optimiert und weitere Randbedingungen, wie die hydraulische Leistungsfähigkeit der Transportsammler, die technisch einstellbaren Drosselbereiche, der Maximalzufluss zur Kläranlage, die Fließzeiten, das Mischungsverhältnis (TW zu RW) sowie das aufnehmende Gewässer beachtet werden.

Diese Ziele, Randbedingungen und Abhängigkeiten werden in einer Zielfunktion formuliert, deren Lösung in einem nichtlinearen Optimierungsproblem besteht. Die Zielfunktion besteht aus mehreren Termen, die mit Wichtungsfaktoren multipliziert werden, um die unterschiedlichen Ziele und Randbedingungen zu priorisieren. Die Lösung besteht in der Minimierung der Zielfunktion, wobei als Steuergröße die Drosselwassermenge der ausgewählten Becken fungiert.

Die zu minimierende Zielfunktion wird im Abschlussbericht ausführlich erläutert und lautet:

$$Z = E + \ddot{U} + S - L - K$$

E	[m ³]	Entlastungsterm	Summe der gewichteten Entlastungen im Netz Bezug: gesamter Optimierungszeitraum
Ü	[m ³]	Überlaststerm	Summe der gewichteten Überlasten Bezug: gesamter Optimierungszeitraum
S	[m ³]	Einstauterm	gemittelte gewichtete Einstauvolumina der Becken Bezug: gesamter Optimierungszeitraum
L	[m ³]	Entleerungsterm	gewichtete Entleerungen aus den Becken Bezug: nächster Optimierungszeitschritt
K	[m ³]	Zuflussterm Kläranlage	gewichteter Zufluss zur Kläranlage Bezug: gesamter Optimierungszeitraum

Eine zentrale Bedeutung kommt dabei den Wichtungsfaktoren zu, die als Multiplikatoren in den verschiedenen Termen der Zielfunktion stehen (Tabelle 3-5). Für die Abflusssteuerung in Kenten werden die Variablen Drosselabfluss, Beckeneinstau, Beckenüberlauf und Überstau im Sammler in der Zielfunktion berücksichtigt. Die Priorität einer Variablen nimmt mit steigendem Wichtungsfaktor zu, da die Lösung der Zielfunktion in der Minimierung besteht. Beispielsweise bedeutet eine Belegung des Beckenüberlaufs mit einem Wichtungsfaktor von 300 und des Beckeneinstaus mit 10, dass die Vermeidung des Beckenüberlaufs wichtiger ist als die Vermeidung des Beckeneinstaus.

Für die Herleitung der Wichtungsfaktoren wurde eine Bewertungsmatrix entworfen. Anhand dieser werden für jedes Becken verschiedene Kriterien mit einer Punktzahl bewertet und anhand der Gesamtpunktzahl die Wichtungsfaktoren festgelegt. Die berücksichtigten Kriterien sind Speichervolumen, Entleerungszeit, Au, Qt, Entlastungsrate, mittleres Mischungsver-

hältnis, mittlere entlastete CSB-Schmutzfracht, Einleitmenge, Gewässerempfindlichkeit und MNQ Gewässer, sowie Qein / MNQ.

Tabelle 3-5: Wichtungsfaktoren

Becken und Sammler in Fließrichtung	Drosselabfluss [l/s]			Beckeneinstau [m NN]		Beckenüberlauf		Überstau Sammler	
	min	eingest. Wert	max tech. mögl.	min	max	min	max	min	max
RÜB Türnich	60	140	200	78,43	80,75	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			40		300			
S5 Türnich - Kerpen/Türnich / GUER_GW	----	----	----	----	----	----	----	0	268
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB KerpenSüd	70	130	260	70,91	72,85	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			60		700			
S8 KerpenSüd - KerpenNord / 49394016	70	70	70	----	----	----	----	0	598
Wichtungsfaktor	0							10.000	
S7 KerpenSüd - Kerpen/Türnich / G9417075	60	60	60	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB KerpenNord	70	96	260	73,71	76,01	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		700			
S6 Kerpen - Kerpen/Türnich / G8431001	----	----	----	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor								10.000	
S4 Kerpen/Türnich - Horrem / G8437123	----	----	----	----	----	----	----	0	871
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Horrem	40	70	90	68,15	70,97	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		500			
S3 Horrem-Hüttengraben / G7445145	----	----	----	----	----	----	----	0	875
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Hüttengraben	70	105	300	65,66	68,14	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			80		900			
S2 Hüttengraben -Ahestr / G7445151	----	----	----	----	----	----	----	0	878
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Ahestr.	15	26	50	63,95	67,18	0	2505		
Wichtungsfaktor	0			60		750			
S1 Ahestr-GKW / G6448159	----	----	----	----	----	----	----	0	890
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB / PW Thorr	40	150	200			0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			50		750			
S0 Thorr - RÜB Kenten / 46451168	----	----	----	----	----	----	----	0	896
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB Kenten	624	624	624	64,4	66,67	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2.000 *			
RBF Kenten	60	60	60	63,97	65,6	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2.000			

* bei Vollfüllung RBF

Die Herleitung der Wichtungsfaktoren ist im Abschlussbericht ausführlich dargelegt. Die so ermittelten Wichtungsfaktoren liefern einen ersten Ansatz für die Optimierungsgleichung und werden in der Umsetzungsphase ggf. noch iteriert.

3.6.2 Optimierungshorizont

Die Optimierung wird mit rollendem Zeithorizont realisiert, d.h. in kurzen zeitlichen Abständen werden Optimierungsläufe über längere Vorausschauzeiträume berechnet. Das jeweils aktuellste Optimierungsergebnis wird an die Anlage weitergegeben.

Die Größe und Anzahl der Zeitfenster können als Parameter der Optimierung vom Anwender gesetzt werden und richten sich unter anderem nach den Zulaufzeiten im betrachteten Gebiet. Die Ergebnisse in Phase 1 wurden mit 96 Zeitfenstern der Länge 5 Minuten berechnet, d.h. alle fünf Minuten wurde eine Optimierung über einen Vorausschauzeitraum von 8 Stunden durchgeführt.

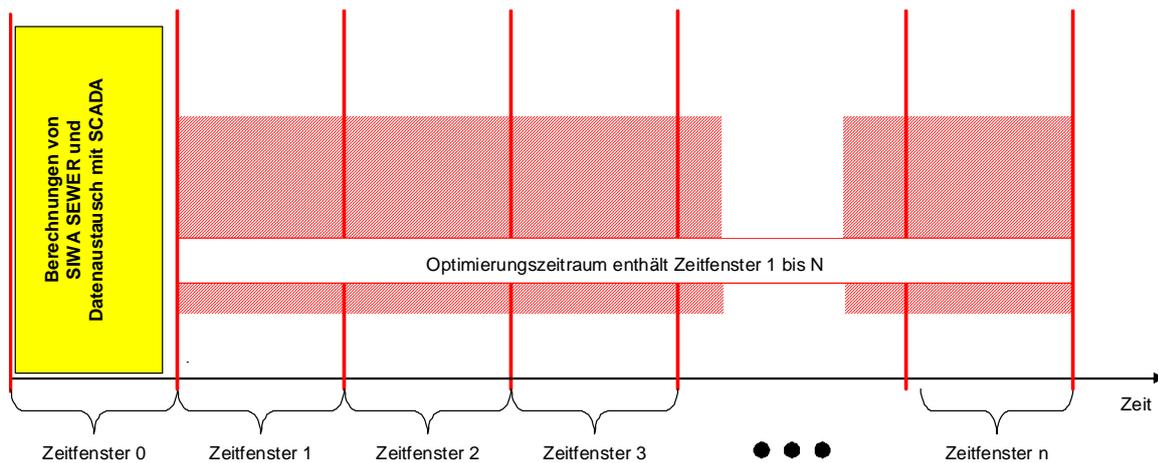


Bild 3-6: Optimierung mit rollendem Zeithorizont

3.6.3 Ergebnisse ungesteuerter / gesteuerter Zustand

In einem Offline-Test mit SIWA SEWER wurde durch Mitsimulation und Nachfahren von ungesteuertem und gesteuertem Zustand das Steuerpotenzial ermittelt und geprüft. Der Vergleich der Simulationsergebnisse für den ungesteuerten und gesteuerten Betrieb wurde beckenbezogen für jedes ausgewählte Niederschlagsereignis durchgeführt und ist ausführlich im Abschlussbericht erläutert.

Zusätzlich zu den Entlastungsvolumina wurden die Entlastungsfrachten für den ungesteuerten und den gesteuerten Betrieb gegenübergestellt. Die entlastete CSB-Schmutzfracht wurde dabei aus dem Produkt der mit SIWA SEWER berechneten Entlastungsvolumina und den mit dem hydrologischen Langzeitsimulationsmodell MOMENT (BGS 2009) ermittelten Verschmutzungskonzentrationen berechnet. In der folgenden Tabelle 3-6 sind die entlasteten Volumina und Schmutzfrachten als Summe aller betrachteten Ereignisse für jedes Bauwerk zusammengefasst, im Abschlussbericht sind auch die Ergebnisse für die Einzelereignisse enthalten.

Tabelle 3-6: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten, Mittel über alle Ereignisse

Summe Ereignisse 4, 8, 9, 12, 16	Entlastungsvolumina [m ³]		Differenz	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert	[%]	ungesteuert	gesteuert	[%]
633 RÜB Türnich	44.059	49.576	13%	6.108	6.875	13%
625 RÜB Horrem	49.393	50.606	2%	7.036	7.210	2%
628 RÜB Kerpen Nord	41.013	39.523	-4%	5.140	5.608	9%
629 RÜB Kerpen Süd	29.131	20.874	-28%	4.204	3.018	-28%
492 RÜB Ahestraße	10.287	9.315	-9%	1.421	1.288	-9%
130 RÜB Thorr	0	4.452		0	0	0%
635 RÜB Hüttengraben	54.486	24.615	-55%	8.619	3.882	-55%
218 RÜB/RBF Kenten	1.795	4.495	150%	294	737	150%
Gesamt	230.164	203.455	-12%	32.823	28.616	-13%

Die Tabelle zeigt, dass die Reduzierung der Entlastungen durch Steuerung volumenorientiert und frachtorientiert in der gleichen Größenordnung liegt, 12 % Reduktion im Volumen und 13 % Reduktion in der Fracht.

Hier ist anzumerken, dass in der Realität die Reduzierung der Entlastung noch größer ist, als die relativ kleine Prozentzahl vermuten lässt. Denn bei den fünf betrachteten Ereignissen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von 1/a und 2/a werden bereits in Summe 4.200 kg/CSB eingespart. Bei Ereignissen mit größerer Wiederkehrhäufigkeit handelt es sich in der Regel um kleinere Ereignisse, bei denen an vielen Becken Abschlüsse ganz vermieden werden können und so ein noch größeres Steuerpotenzial bieten.

3.6.4 Wirtschaftliche Aspekte

Wirtschaftliche Gründe sind ein Hauptargument dafür, dass die Abflusssteuerung in Kanalnetzen bisher wenig praktisch umgesetzt wird. Die Einschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Abflusssteuerung ist in den meisten Fällen aber schwierig, da die erzielbaren Vorteile nicht alle unmittelbar monetär bewertet werden können. Werden Investitionskosten eingespart, weil durch die Steuerung vorhandenes Speichervolumen genutzt und damit nicht neu gebaut werden muss, ist eine Quantifizierung noch relativ gut möglich. Jedoch wird es schon schwieriger, die Optimierung des Kanalbetriebs durch Steuerung (z.B. Verringerung von Ablagerungen und damit weniger Reinigungsaufwand) genau zu beziffern oder die Reduzierung von Mischwassereinleitungen und den positiven Effekt auf das Gewässer monetär zu bewerten.

Dennoch ist eine qualitative Aussage möglich, welche Voraussetzungen sich günstig und welche sich ungünstig auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Installation einer Abflusssteuerung auswirken. Ähnlich zu der Einschätzung der Steuerwürdigkeit eines Netzes durch PASST, wurde in Phase 1 daher eine Bewertungsmatrix für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer ASS entwickelt, die auf dem Ergebnis von PASST aufbaut. Die Bewertungsmatrix ist im Abschlussbericht erläutert.

4 Ergebnisse und Ausblick

Der vorliegende Bericht fasst die Phase 1 des Pilotvorhabens „Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet“ zusammen, in der die Abflusssteuerung im Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks (GKW) Kenten unter theoretischen Gesichtspunkten betrachtet wurde.

Die Ergebnisse der theoretischen Betrachtungen zeigen, dass durch die Abflusssteuerung die Entlastungsmenge reduziert werden kann (je nach Niederschlagsereignis wird das Entlastungsvolumen bis zu 50 % reduziert) und somit die Gewässergüte positiv beeinflusst. Darüber hinaus wurde die Anwendbarkeit des Optimierungstools SIWA SEWER ASSIST gezeigt, welches als innovatives Instrument die Umsetzung einer Abflusssteuerung erleichtert und die netzspezifischen Gegebenheiten in der Optimierungsgleichung sehr gut berücksichtigen kann.

Die Untersuchungen in Phase 1 ergaben auch, dass die Annahme einer ungleichmäßigen Überregnung zu genaueren Ergebnissen führt. Für eine praktische Umsetzung würde sich die Einbindung von Radardaten zur Niederschlagsprognose anbieten, da der Erftverband bereits Erfahrungen auf diesem Gebiet durch das Projekt HOWIS hat (EV, Bezreg 2011).

An dieser Stelle erscheint es daher sinnvoll, die praktische Umsetzung der Abflusssteuerung in EZG der Kläranlage Kenten in einer zweiten Projektphase umzusetzen, um die theoretisch erarbeiteten Ergebnisse in der Praxis zu verifizieren. Die Grundlagen, die für die praktische Umsetzung erforderlich sind, liegen für das Gebiet vor und das Betriebspersonal ist einer Abflusssteuerung gegenüber positiv eingestellt, wie ein auf der Kläranlage durchgeführter Workshop gezeigt hat.

Durch die praktische Realisierung der Abflusssteuerung im EZG der Kläranlage Kenten würde ein weiteres praktisches Beispiel für die Fachwelt zur Diskussion stehen. Da Abflusssteuerungsprojekte dieser Größenordnung bisher nur selten umgesetzt wurden und im Rahmen der Klimawandeldiskussionen die Abflusssteuerung als ein mögliches Instrument aufgeführt wird, wird diesbezüglich auch ein großes Interesse der Fachwelt erwartet. Ebenfalls von großem Interesse für Netzbetreiber ist die Betrachtung des Wirtschaftlichkeitsaspekts bei der praktischen Umsetzung einer Abflusssteuerung, da die Kosten von Maßnahmen einen wesentlichen Einfluss auf ihre Umsetzung haben.

Nur durch praktisch umgesetzte, erfolgreiche Projekte kann das Interesse für Abflusssteuerung bei Netzbetreibern geweckt und so als Instrument zur weiteren Verbesserung der Gewässerbeschaffenheit vorangetrieben werden.

5 Quellen

- BGS - Water- Brandt Gerdes Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH 2009: MOMENT 8, Modellierung von Mischwasserentlastungen, Dokumentation Teil III, Anwendungshinweise Version 8, Juli 2009
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2007): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Merkblatt 3, November 2007.
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2008): Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3, Merkblatt 7, November 2008.
- Dahmen, H., Beeneken, T. (2006): Projekt zur Steuerung des RBF Bendstraße in Glehn, unveröffentlichter Bericht, Erftverband.
- DWA (2005): DWA-Merkblatt M 180 - Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen – mit Programmpaket PASST, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Dezember 2005, Hennef.
- DWA (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Merkblatt DWA-M 153, August 2007, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- DWA (2006): Leitlinien der integralen Entwässerungsplanung, DWA-A 100. DWA Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef, 2006.
- Erftverband (2010): Jahresbericht 2010; abrufbar unter <http://www.erftverband.de/aktuelles/jahresbericht/>.
- Erftverband (2011): Auszug aus dem Datenbestand des Erftverbands.
- Erftverband (2011a): Kanalnetzanzeige 2011 des Erftverbandes gem. § 58 Abs. 1 LWG: Einzugsgebiet GWK Kenten – Prognose 2022
- EV, Bezreg - Erftverband und Bezirksregierung Köln (2011): Fernerkundungsgestütztes Hochwasservorhersage- und Informationssystem für das Erfteinzugsgebiet (Howis Erft).
- MKULNV (2009): MKULNV-Steckbriefe der Planungseinheit 2009: Erft; abrufbar unter www.umwelt.nrw.de.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2003): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (1. Aufl.). Düsseldorf.

N.N. (1995): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen- LWG-Landeswassergesetz. In der Fassung vom 25. Juni 1995.

N.N. (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, WHG – Wasserhaushaltsgesetz. In der Fassung vom 31. Juli 2009.

6 Anlagen

Anlage 1

Fließschema Kanalnetz Kenten

