

Modellierung der Gewässergüte der Bega unter Berücksichtigung der Durchführung von Maßnahmen zur Kanalnetzsteuerung für das Entwässerungssystem der Stadt Lemgo

Kurzfassung

April 2011

Im Auftrag der

ALC Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo GmbH



Auftraggeber

Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo

Tiefbauamt

32655 Lemgo

Ansprechpartner:

Geschäftsführer der ALG, Herr Dipl.-Ing. J. Hennigs

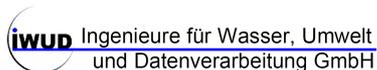
Herr Dipl.-Ing. K. Langhammer

Gefördert aus Mitteln der Abwasserabgabe durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und begleitet durch die Bezirksregierung Detmold

Bearbeitung durch

 Hochschule Ostwestfalen-Lippe
University of Applied Sciences

Prof. Dr. Fettig (Projektleitung)

 iwud Ingenieure für Wasser, Umwelt
und Datenverarbeitung GmbH

Dipl.-Ing. K. Otte-Witte

 Westfälisches Umwelt Zentrum
Geschäftsstelle Höxter

Prof. M. Mieth (wissenschaftliche Leitung)

Dipl.-Ing. K. Ratte

 iwud

Dr.-Ing. L. Fuchs und Dipl.-Ing. M. Sommer

Ansprechpartner für die Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. Kai Otte-Witte

IWUD GmbH

Grüne Mühle 34, 37671 Höxter

Tel.: 05271/9516705 Fax.: 05271/9516710

E-Mail: k.otte-witte@iwud.de Internet: www.iwud.de

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung der bisherigen Projektphasen.....	1
1.1 Projektphasen I bis II [5, 6].....	1
1.2 Projektphase III.....	2
2 Zielstellung der Projektphase IV.....	4
3 Aufstellen des Kanalnetzmodells.....	4
3.1 Kanalnetz und Einzugsgebietsdaten.....	4
3.2 Regenschreiber.....	5
3.3 Trockenwetterabfluss.....	6
3.3.1 Wasserverbrauch/Schmutzwasser.....	6
3.4 Fremdwasser.....	7
3.4.1 Kläranlagenzufluss bei Trockenwetter.....	7
3.5 Schmutzfrachten.....	8
3.5.1 Trockenwetterabfluss.....	8
3.5.2 Regenbelastung.....	9
3.6 Modellkalibrierung.....	9
4 Kanalnetzsteuerung.....	10
4.1 Ermittlung von aktivierbarem Kanalstauvolumen.....	11
4.2 Schaffung von Netzmaschen.....	12
4.3 Analyse der Beckenausnutzung.....	13
4.4 Aufstellen eines ersten Steuerkonzepts.....	13
4.4.1 Zielsetzung der Steuerung.....	13
4.4.2 Aufstellen erster Steuerregeln.....	14
4.5 Anwendung und Optimierung der Steuerregeln für ein Einzelereignis.....	15
4.5.1 Beschreibung der Regeln.....	15
4.5.2 Simulationsergebnisse für das Einzelereignis.....	17
4.5.3 Untersuchung weiterer Steuerungsvarianten.....	19
4.5.4 Ergebnisse der Seriensimulation.....	20
4.6 Auswahl der Steuerregeln.....	21
5 Gütemodellierung.....	21
5.1 Untersuchte Systemzustände.....	21
5.2 Gütemodellierung für das Kanalnetz.....	22
5.3 Ergebnisse der Gütemodellierung für die Bega.....	23
6 Schlussbetrachtung.....	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zuordnung der Regenschreiber.....	6
Abbildung 2: Vergleich berechneter und gemessener Durchfluss.....	10
Abbildung 3: mit VOLUME ermittelte aktivierbare Kanalstauräume.....	11
Abbildung 4: Zusätzliche Verbindungsmöglichkeiten im Netz.....	12
Abbildung 5: Im Netz aktuell betriebene Rückhalteräume.....	13
Abbildung 6: Steuerstellen im Netz.....	14
Abbildung 7: Systemskizze für die Steuerung.....	15
Abbildung 8: Durchfluss unterhalb der Drossel am Stauraum Wall.....	17
Abbildung 9: Abflussganglinie Abschlag Staukanal Wall.....	18
Abbildung 10: Abflussganglinie, Abschlag am Becken an der Kläranlage.....	18
Abbildung 11: Abflussganglinie am Abschlag des Beckens Kläranlage.....	19
Abbildung 12: Längsschnitt minimaler Sauerstoff.....	24
Abbildung 13: Längsschnitt maximale Konzentration CSB.....	25
Abbildung 14: Station 18.0, Konzentrationsganglinie Parameter CSB.....	26
Abbildung 15: Station 14.3, Konzentrationsganglinie Parameter CSB.....	26
Abbildung 14: Längsschnitt Überschreitungsdauer 20 mg/l CSB.....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Varianten.....	3
Tabelle 2: Anschlussgrad versiegelter Flächen.....	5
Tabelle 3: Trockenwetterkonzentrationen.....	9
Tabelle 4: Regenwasserkonzentrationen.....	9
Tabelle 5: Volumen der im Netz vorhandenen aktivierbaren Stauräume.....	12
Tabelle 6: Grundstätzlich implementierte Steuerungsmöglichkeiten.....	15
Tabelle 7: Ergebnisse der Simulationen für die Serie.....	20
Tabelle 8: Daten der untersuchten Retentionsbodenfilter.....	22
Tabelle 9: Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse der Kanalnetzrechnung für die Ereignisse E1 und E2.....	23

1 Zusammenfassung der bisherigen Projektphasen

1.1 Projektphasen I bis II [5, 6]

Das Fließgewässer-Güte-Simulations-Modell (FGSM)¹ der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) wurde vom ATV-Fachausschuss 2.2 „Modellrechnungen in der Wassergütwirtschaft“ in den Jahren 1991 bis 1995 aufgestellt und bis heute kontinuierlich weiterentwickelt. Das Modell ist ein eigenständiges, modular aufgebautes PC-Programm, das neben chemisch-physikalischen auch biologische Prozesse im Gewässer abbilden kann. Aufbauend auf ein instationäres, eindimensionales, hydraulisches Modell zur Simulation des Abflusses können 17 Bausteine zur Gütesimulation herangezogen werden. Die Abflussberechnungen basieren auf den Saint-Venant-Gleichungen; zur Lösung der Differentialgleichungen wird das Charakteristiken-Verfahren eingesetzt.

Die Projektphase I (2000 bis 2002) umfasste die Aufstellung und Kalibrierung des Modells mit Hilfe der in der Gewässerüberwachung des Staatlichen Amtes für Umwelt und Arbeitsschutz OWL, Standort Minden (ehemals StUA Minden, heute Bezirksregierung Detmold), ermittelten Gewässerdaten für die obere Werre von Detmold bis zum Pegel Ahmsen unterhalb von Bad Salzuflen. Weiterhin wurden durch die Anwendung des Bilanzierungsmodells MOBINEG die punktuellen und diffusen Stofffrachten als Belastung der Werre abgeschätzt. Zu untersuchen war zusätzlich eine Kopplung zwischen FGSM und MOBINEG. Die Datenmenge, die in Projektphase I zur Verfügung stand, war für eine umfassende Kalibrierung des Modells jedoch nicht ausreichend.

Im Rahmen einer umfangreichen Messkampagne war es möglich, diese Datenlücken in Projektphase II (2002) zu schließen. Die Kalibrierung konnte mit guten bis sehr guten Ergebnissen abgeschlossen werden. Weiterhin wurde die Auswirkung der Hauptmischwasserentlastung an der Kläranlage der Stadt Detmold auf die Gewässergüte der Werre untersucht. Dazu wurden das Kanalnetz der Stadt mit dem Schmutzfrachtsimulationsmodell KOSIM abgebildet und Variantenberechnungen unter Einbeziehung verschiedener Bodenfilterkonstellationen für das Stadtgebiet Detmold durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden als Randbedingungen für Variantenberechnungen der Gewässergütesimulation genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mischwasserentlastung zu einer hohen Stoßbelastung im Gewässer führt. Der Einsatz eines Retentionsbodenfilters würde zu einer deutlichen Reduzierung dieser

¹ Auch als ATV-Gewässergütemodell bezeichnet. Nach der Umwandlung der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) in die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) wird das Modell auch als DWA-Gewässergütemodell benannt.

Belastung d.h. einer erheblichen Verbesserung der Gewässergüte im Falle einer Mischwasserentlastung führen.

Abschließend wurden in der Projektphase II Empfehlungen für die Optimierung der Gütemessungen für die Gewässerüberwachung im Hinblick auf Gewässergütesimulationen erarbeitet.

1.2 Projektphase III

Die Ergebnisse der Projektphase III stellen die Grundlagen für die Bearbeitungen der Betrachtungen zur Kanalnetzsteuerung für die Stadt Lemgo dar.

In der dritten Projektphase (2003-2004) wurde das vorhandene Gewässergütemodell der Werre um das Gewässer Bega erweitert. Analog zum Teilprojekt II wurde untersucht, in welchem Umfang die Auswirkungen von Mischwasserentlastungen auf die Wasserqualität durch den Bau von Retentionsbodenfilteranlagen vermindert werden können. Durch numerische Simulationen sowohl der Schmutzfrachten aus den Kanalnetzen der Städte Lemgo, Lage, Detmold und Bad Salzuflen mithilfe des Programms KOSIM als auch der Gewässergüte mithilfe des Fließgewässergütemodells wurden die Auswirkungen von zu planenden Retentionsbodenfiltern im Anschluß an verschiedene Mischwasserentlastungen auf die Gewässergüte von Werre und Bega untersucht.

Um Daten für die Kalibrierung des erweiterten Fußsystems zu erhalten, wurde im August 2003 während einer Niedrigwasserphase eine Messkampagne durchgeführt. Anhand dieser Daten konnte das Modell erfolgreich kalibriert werden.

Um Ganglinien für den Abfluss aus den Einzugsgebieten der Werre und der Bega zu erhalten, wurde ein detailliertes NA-Modell für das gesamte Einzugsgebiet bis zum Pegel Ahmsen erstellt. Das Modell wurde ebenfalls kalibriert. Für die weitere Bearbeitung wurden dann zwei Niederschläge verwendet:

- Ereignis E1: Niederschlag mit der Dauer $D = 60$ min und der Häufigkeit $n = 1$
- Ereignis E2: Niederschlag mit der Dauer $D = 30$ min und der Häufigkeit $n = 1$

Mit diesen beiden Regenereignissen wurde die Simulation der Kanalnetze Lemgo, Detmold, Lage und Bad Salzuflen mit KOSIM sowie die Simulation des natürlichen Gebietsabflusses mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell durchgeführt, um die Randbedingungen für die Simulation mit dem Fließgewässergütemodell zu erhalten.

Für die Städte Detmold, Lage und Bad Salzuflen lagen lauffähige KOSIM-Berechnungsdatensätze vor. Für die Stadt Lemgo wurde ein solcher Datensatz im Projekt erstellt. Mit KOSIM wurden dann Durchfluss- und Konzentrationsganglinien für

die Mischwasserabschläge in die Werre und die Bega berechnet. Grundlage für die Regenwasserkonzentrationen waren die Angaben im BWK Merkblatt 3, kurz BWK M3 [2] sowie dessen Begleitband [3].

Im Projekt wurden für die größeren Mischwasserentlastungen Retentionsbodenfilter nach dem „Handbuch für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern“ [7] entworfen. Kriterien waren dabei die Beschickungshöhen der Filter und die Überlaufhäufigkeit.

Für die weiteren Berechnungen wurden die Retentionsbodenfilter in unterschiedlichen Kombinationen zu Varianten zusammengefasst. Die Tabelle 1 zeigt die Kombinationen in den Varianten.

Tabelle 1: Übersicht Varianten

Variante	Entlastungshäufigkeit [1/a]	Retentionsbodenfilter Volumen [m ³] / Drosselabfluss [l/s]						
		Lemgo I	Lemgo IIa	Lemgo IIb	Lage	Lage II	Detmold I	Detmold II
1	2	24600/418	5900/98		9000/150		5500/34	
2	2	24600/418		7700/128	9000/150		5500/34	
3	6	23500/400	3100/50		6800/113		5500/34	
4	6	23500/400		4400/72	6800/113		5500/34	
5	2	24600/418		7700/128	9000/150	4400/72	5500/34	2000/32
6	2	24600/418		7700/128	9000/150	4400/72	5500/34	2000/32

Es wurden Simulationen mit den Modellen für den Istzustand und für die sechs Varianten für die beiden ausgewählten Regen durchgeführt. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, dass die Betrachtung alleine von Maximalkonzentrationen nicht ausreichend ist. Je nach Fragestellung kann auch die Gesamtfracht oder die Dauer einer Überschreitung einer kritischen Konzentration (Dosis-Wirkungs-Prinzip) ausschlaggebend sein. Hierfür fehlten die notwendigen Bewertungsmaßstäbe weitgehend.

Es wurden Empfehlungen für die einzelnen Städte erarbeitet. Der Bau von Retentionsbodenfiltern ist sicherlich ein wirksames Mittel zur Reduktion von schädlichen Mischwassereinleitungen, oft fehlt aber der Platz zum Bau der Anlagen oder der Bau ist aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht sinnvoll. Bei allen Städten stellt sich daher die Frage, ob nicht auf der Kanalnetzseite Möglichkeiten der besseren Auslastung der Netzkapazitäten bestehen. Es ist zu prüfen, ob auch durch eine verstärkte Weiterleitung von Mischwasser zur Kläranlage oder die Aktivierung bisher ungenutzten Stauraumes, z. B. durch eine Abflusssteuerung, vergleichbare oder auch zusätzliche Verbesserungen für die Gewässer erreicht werden können.

2 Zielstellung der Projektphase IV

Im Zusammenhang mit der Diskussion der Bearbeitungsergebnisse der Projektphase III unter Beteiligung der Projektpartner StAfUA-OWL (heute Bezirksregierung Detmold), der Bezirksregierung Detmold sowie der Fachhochschule mit den beteiligten Städten ergab sich die Fragestellung, in welchem Umfang und mit welchen Auswirkungen sich die Gewässergüte durch den Einsatz einer Kanalnetzsteuerung im Vergleich oder in Kombination mit anderen Maßnahmen verbessern lässt.

Einen ersten Hinweis darauf, ob aufgrund der örtlichen Verhältnisse eine Kanalnetzsteuerung für ein Entwässerungssystem sinnvoll sein könnte, ließ sich durch die Anwendung der „Planungshilfe Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ der DWA gewinnen. Es zeigte sich, dass es sinnvoll war, weitergehende Untersuchungen im Hinblick auf die Steuerungswürdigkeit dieses Netzes vorzunehmen, da erste Auswertungen vermuten liessen, dass ein nicht unerhebliches Potential zur Anwendung der Abflusssteuerung für dieses Kanalnetz vorhanden ist .

Als Erweiterung oder Fortführung der bisherigen Projekte sowie unter Nutzung der in der Projektphase III erstellten Datensätze des Gewässergütemodells für die Bega sollte im Rahmen des Projektes untersucht werden, in welchem Umfang durch eine Kanalnetzsteuerung vorhandene Retentionsvolumina aktiviert werden können, um die Gewässerbelastung zu reduzieren und damit die Gewässergüte der Bega zu verbessern. Die Untersuchungen zur Kanalnetzsteuerung sollten sich dabei weitgehend an dem Merkblatt DWA-M 180 „Handlungsempfehlungen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ orientieren. Der Nachweis der Gewässergüteverbesserung infolge von Maßnahmen zur Kanalnetzsteuerung sollte (wie in der Projektphase III für Retentionsbodenfilter) durch die Anwendung des DWA-Gewässergütemodells vorgenommen werden.

3 Aufstellen des Kanalnetzmodells

3.1 Kanalnetz und Einzugsgebietsdaten

Primäres Ziel der Datenübernahme war es, für alle Bauwerke und Kanäle der öffentlichen Ortsentwässerung vollständige, aktuelle und fehlerfreie Datensätze für die hydrodynamische Berechnung mit dem Programmpaket HYSTEM-EXTRAN zu erhalten.

Darüber hinaus sollten zusätzlich vorliegende Daten, die für eine Kanalnetzberechnung nicht zwingend erforderlich sind, ebenfalls in das System HYSTEM-EXTRAN/GIPS übernommen werden, um die graphische Darstellung zu ermöglichen oder zu verbessern oder auch mit dem Ziel, alle verfügbaren Informationen zu bündeln.

Die Kanaldaten der Stadt Lemgo lagen weitgehend in Form einer MS-Access-Datenbank vor. Aus dieser Datenbank konnten die Daten in HYSTEM-EXTRAN/GIPS importiert werden. Im Projekt wurde nur das Mischwassernetz untersucht. Schmutzwassernetze, die in das Mischwassernetz einmünden, wurden jeweils zu einer Einleitung zusammengefasst.

Die Sonderbauwerke wurden anhand von Planunterlagen und der Daten einer Bauwerksdatenbank der Stadt Lemgo im Modell abgebildet.

Die Einzugsgebiete der Haltungen wurden auf Basis der Flurstücke über ein halbautomatisches Verfahren bestimmt. Dazu wurden die Flurstücke den Haltungen nach Kriterien wie dem Abstand zu einem Flurstück automatisch zugewiesen. In einem zweiten Schritt wurden diese Zuweisungen von Hand kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert.

Die versiegelten Flächen wurden von der Stadt durch eine Luftbildbefliegung neu erhoben. Diese wurden über die Flurstücke den entsprechenden Haltungen zugewiesen.

Für die Modellierung wurden die versiegelten Flächen mit dem in Tabelle 2 angegebenen Prozentsatz als an das Kanalnetz angeschlossen angesetzt.

Flächenart	Anschlussgrad
Dach	100%
versiegelt Flächen	85%
Teilversiegelt	50%

Tabelle 2: Anschlussgrad versiegelter Flächen

3.2 Regenschreiber

Im Stadtgebiet von Lemgo betreibt die Stadt die folgenden fünf Regenschreiber:

1. Kläranlage
2. Luherheide
3. Pagenhelle (mittelfristig als Ersatz für Geschwister-Scholl-Straße)
4. Geschwister-Scholl-Straße
5. Wahmbeck

Im Rahmen einer Messkampagne für den GEP wurde noch ein zusätzlicher Regenschreiber (Bezeichnung RM01-Nivus) für einige Monate betrieben.

Die Zuordnung der vorhandenen Regenschreiber erfolgte nach dem Thyssen-Polygon-Verfahren. Dabei wurden zunächst alle 6 Stationen berücksichtigt. Die Zuordnung der einzelnen Flächen ist in Abbildung 1 dargestellt.

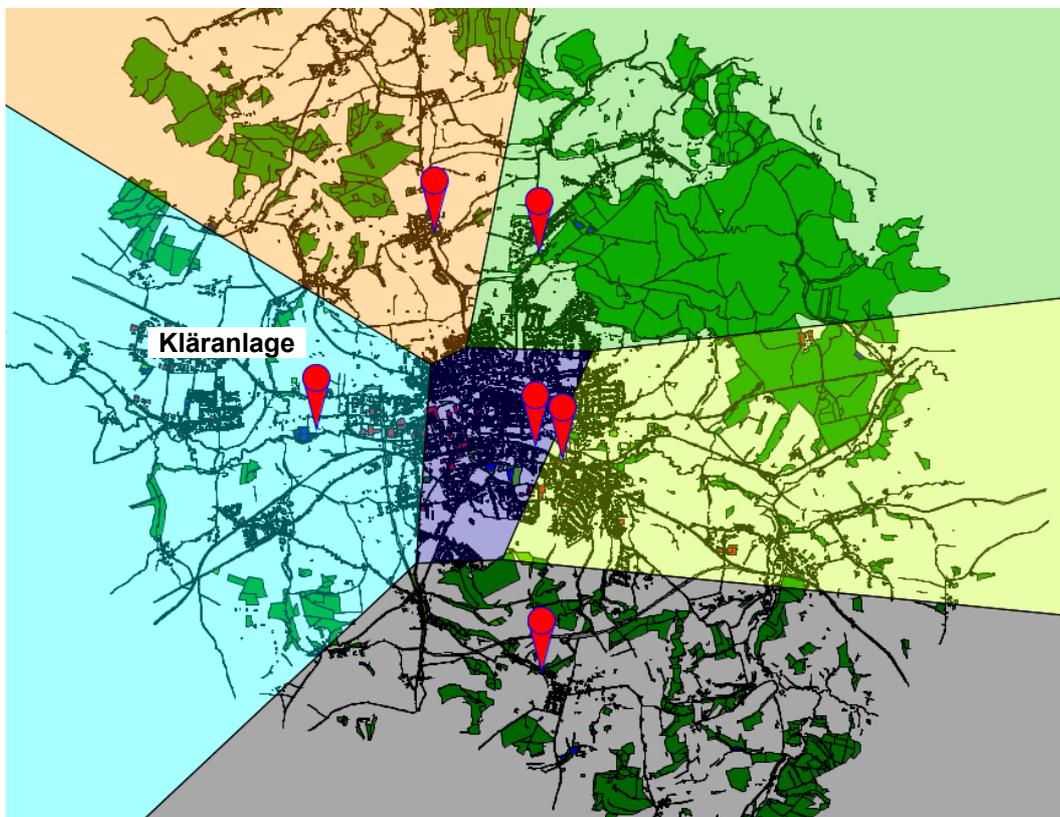


Abbildung 1: Zuordnung der Regenschreiber

3.3 Trockenwetterabfluss

3.3.1 Wasserverbrauch/Schmutzwasser

Für die Ermittlung des Wasserverbrauchs wurden die Grundlagendaten des Steueramtes für die Berechnung der Abwassergebühren der Verbrauchsstellen verwendet. In diesen Daten sind neben den Frischwasserverbräuchen auch die Verbräuche an Regenwasser (Regenwasser aus Zisternen) enthalten. Da diese Daten für das Jahr 2009 vorlagen, bildeten sie die Grundlage der Auswertungen. Für neue Verbrauchsstellen (Neubauten usw.) wurde der Jahresverbrauch aus dem Verbrauch des Abrechnungszeitraums hochgerechnet.

Für den Industriewasseranfall standen zusätzlich zu den Daten des Steueramtes Verbrauchsdaten in Form einer Tabelle der Stadt Lemgo zur Verfügung. Anhand dieser Daten erfolgte die Zuweisung der Abwassermengen.

Die Verbrauchsdaten wurden anhand der Adressen der Verbrauchsstellen den jeweiligen Haltungen zugewiesen. Einen Sonderfall stellt das zusammenhängende Gebiet der Stiftung Eben Ezer dar. Hierbei handelt es sich um ein privates Kanalnetz. Hierfür wurden vom Betreiber die Kanalnetzdaten inklusive der Wasserverbräuche zur Verfügung gestellt.

3.4 Fremdwasser

Für die vorliegenden Auswertungen wurde Fremdwasserabfluss bei Trockenwetter berücksichtigt.

Die Auswertung des Fremdwasseranfalls wurde nur für den Kläranlagenzufluss durchgeführt. Damit wurde die Gesamtsumme des Fremdwassers erfasst. Aufgrund der großen Anzahl der von der Stadt betriebenen Durchflussmessstellen ist auch eine sehr viel detailliertere Untersuchung der Fremdwassersituation möglich. Dies soll im Rahmen einer eigenen Fremdwasseruntersuchung erfolgen, die zurzeit bearbeitet wird. Für die im Rahmen des Projekts durchgeführten Berechnungen wurden die Ergebnisse für die Kläranlage auf das gesamte Gebiet übertragen.

Zur Ermittlung des Fremdwasserabflusses wurde die Methode der Untersuchung des Nachtminimums angewendet.

Für die Kläranlage wurden für das Jahr 2009 die Daten von 23 Tagen ausgewertet. Um Nachlaufeffekte auszuschließen, durften auch die Tage vor den Trockenwettertagen keinen Niederschlag aufweisen. Die Tage wurden nach Möglichkeit gleichmäßig über das Jahr verteilt gewählt.

Die Werte schwankten für die untersuchten Tage zwischen 39 und 147 l/s. Der Mittelwert liegt bei 70 l/s.

3.4.1 Kläranlagenzufluss bei Trockenwetter

Der Trockenwetterzufluss der Kläranlage ergibt sich aus der Summe des Schmutzwassers und des Fremdwassers. Der Schmutzwasserzufluss ergibt sich dabei aus der Abrechnungsgrundlage der Schmutzwassergebühren (siehe Kapitel 3.3.1).

Der mittlere Schmutzwasseranfall berechnet sich mit den angegebenen Werten zu

$$\begin{aligned} & 1.815.219 \text{ m}^3 + 90.337,5 \text{ m}^3 / (365 \text{ Tage} \times 24 \text{ Stunden} \times 3600 \text{ Sekunden}) \\ & = 60 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Mit dem mittleren Fremdwasserabfluss (siehe oben) ergibt sich ein erwarteter mittlerer Trockenwetterabfluss von

$$Q_{\text{Erwartet}} = 60 \text{ l/s} + 70,0 \text{ l/s} = 130 \text{ l/s}$$

Die Auswertung des Kläranlagenzuflusses ergibt aber einen mittleren Kläranlagenzufluss von 146 l/s. In der Bilanz fehlt folglich ein Trockenwetterabfluss von 16 l/s. Die Herkunft dieses Wassers ist bisher ungeklärt. Denkbar wäre z. B. eine nicht erfasste Nutzung von Grund- oder Oberflächewasser im Produktionsprozess einer Firma oder Ähnliches. Dies soll im Rahmen der Fremdwasseruntersuchung geklärt werden. Für die hier vorliegenden Betrachtungen wird dieser Anteil dem Fremdwasser zugeschlagen. Damit ergibt sich ein Fremdwasserzufluss von 86 l/s und entsprechend ein Fremdwasserzuschlag von

$$(86 / 60) \times 100 = 143 \%$$

Zur Kalibrierung wurde der mittlere Schmutzwasseranfall berücksichtigt. Für die Langzeit-Seriensimulation wurde dagegen der Spitzenabfluss angesetzt.

Dieser wurde aus den Tagesschmutzwasserganglinien der untersuchten Trockentage ermittelt. Dazu wurden jeweils das Nachtminimum (99 % Unterschreitungsdauer), der Tagesmittelwert und der Spitzenabfluss ermittelt. Dann wurde das Verhältnis Spitzenabfluss/(Tagesmittel-Nachtminimum) ermittelt. Der Mittelwert dieses Faktors ergab sich zu 3,3 und wurde als Spitzenfaktor für den Schmutzwasseranfall (nicht für das Fremdwasser) angesetzt. Mit diesem Faktor wurde der jährliche mittlere Schmutzwasserabfluss multipliziert, um den Spitzenschmutzwasserabfluss zu erhalten.

3.5 Schmutzfrachten

3.5.1 Trockenwetterabfluss

Die Schmutzfrachten für die Kläranlage wurden aus dem vorherigen Forschungs- und Entwicklungsprojekt [8], übernommen. Dort wurde die Schmutzfracht anhand der Zuflussganglinie und der Frachten für das Jahr 2003 berechnet. Bei der Übernahme für das aktuelle Projekt wurde von der Annahme ausgegangen, dass sich die Wassermengen zwar durch das veränderte Verhalten der Nutzer ändern (insgesamt wird heute weniger Wasser verbraucht als früher), dass sich die Schmutzfracht aber nicht

oder nur geringfügig verändert. Damit steigen bei sinkendem Wasserverbrauch also die Konzentrationen an. Dies bedeutet, dass die Gesamtfracht aus dem vorherigen Projekt auf den aktuellen Trockenwetterabfluss umgerechnet werden muss. Für das Jahr 2003 wurde der Trockenwetterabfluss mit 163 l/s angesetzt, während die Auswertungen für das Jahr 2009 einen Trockenwetterabfluss von nur noch 146 l/s ergaben.

Tabelle 3 zeigt die verwendeten Werte im Vergleich.

Q_t Werre III [l/s]	163
Q_t Werre IV [l/s]	146

Parameter	Fracht/Tag Werre III [g/d]	Konzentration Werre III [mg/l]	Konzentration Werre IV [mg/l]
CSB	5.859.624	417,6	464,5
BSB ₅	2.828.878	201,6	224,3
AFS	4.281.563	304,6	339,4
P _{ges}	105.816	7,5	8,4
NH ₄ -N	272.797	19,4	21,6
N _{org}	272.797	19,4	21,6

Tabelle 3: Trockenwetterkonzentrationen

3.5.2 Regenbelastung

Die Regenwasserkonzentration wurde aus der vorherigen Projektphase [8] übernommen. In Anlehnung an BWK-M3 [3, 4] wurde dort mit ereignisspezifischen Regenwasserkonzentrationen gearbeitet. Tabelle 4 zeigt die verwendeten Konzentrationen.

Regen	CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	AFS [mg/l]	P _{ges} [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	N _{org} [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]
D = 30 min, n = 1 a	85,6	20,0	114,0	0,3	0,9	3,4	1,0
D = 60 min, n = 1 a	76,9	17,1	102,5	0,3	0,9	3,4	1,0

Tabelle 4: Regenwasserkonzentrationen

3.6 Modellkalibrierung

Die Stadt Lemgo betreibt eine Vielzahl an Durchflussmessungen im Kanalnetz. Diese Daten konnten zur hydraulischen Kalibrierung des Netzes verwendet werden. Üblicherweise wird die Kalibrierung für Starkregenereignisse durchgeführt. Am besten

sind dafür Ereignisse geeignet, die eine möglichst gleichmäßige Überregnung des Gebiets aufweisen. Für die Kalibrierung wurde eine Vorauswahl an Ereignissen getroffen, aus denen dann drei Ereignisse als besonders geeignet ausgewählt wurden:

1. Ereignis am 3.7.2008, Dauer 3 Stunden, Regensumme 15 mm (E2)
2. Ereignis am 7.10.2009, Dauer 13 Stunden, Regensumme 60 mm (E7)
3. Ereignis am 9.6.2010, Dauer 9 Stunden, Regensumme 20 mm (E10)

Verändert wurde bei der Kalibrierung ausschließlich der Endabflussbeiwert. Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft die berechneten und gemessenen Abflüsse für das RÜ Bismarckstraße.

Es konnte eine sehr hohe Übereinstimmung der Ergebnisse der Simulation mit den Messwerten erreicht werden.

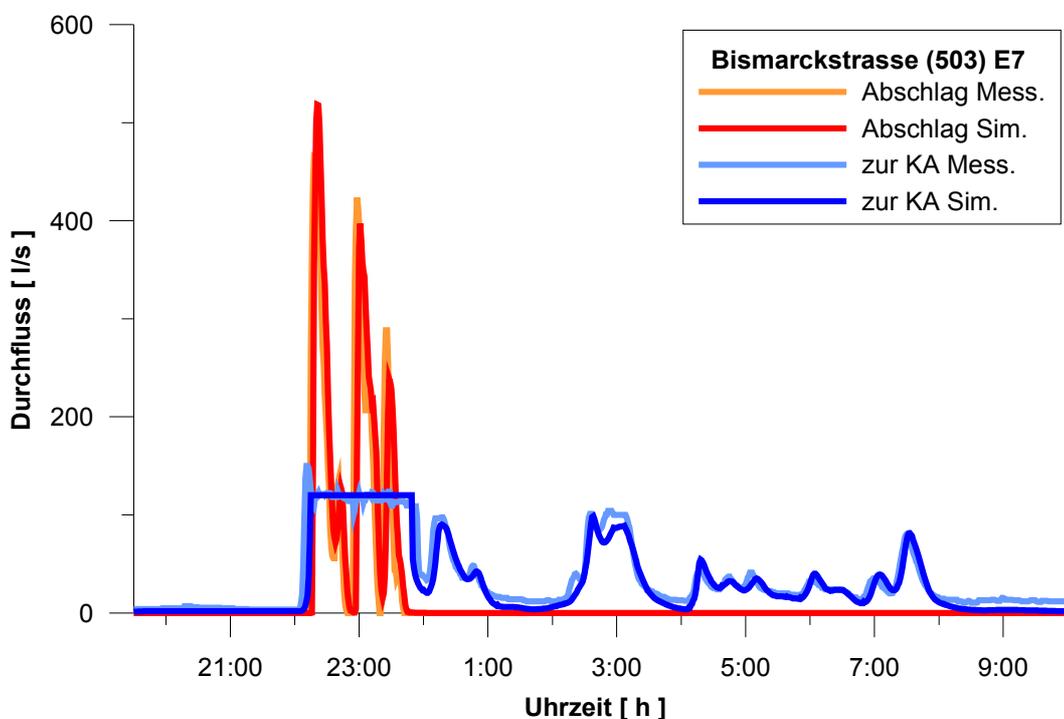


Abbildung 2: Vergleich berechneter und gemessener Durchfluss, RÜ Bismarckstraße, Ereignis 7

4 Kanalnetzsteuerung

Generell können mit der Steuerung des Kanalnetzes unterschiedliche Strategien verfolgt werden. Es besteht die Möglichkeit, im Netz zeitweise nicht genutztes Stauvolumen zu aktivieren. Dazu wird ein Kanalstrang über eine steuerbare Drossel bis zu einem vorgegebenen Stauziel eingestaut. Es ergibt sich hierdurch ein Rückhalt im Netz. Eine andere Strategie kann die koordinierte Ansteuerung von vorhandenen Stauräumen sein. Dabei werden Stauräume nach einem, unter Umständen situationspezifischen,

Fahrplan geflutet und entleert. Eine weitere Strategie besteht im Ausnutzen von Netzmaschen – also in der temporären Umleitung von Teilströmen in weniger ausgelastete Netzbereiche. Alle Strategien können in beliebigen Kombinationen vereint werden.

Die Wirkung der Steuerung hinsichtlich der Reduzierung des Entlastungsvolumens ist generell bei häufigen Regenereignissen stärker als bei seltenen Ereignissen. Bei Starkregenereignissen ist der Unterschied im Entlastungsvolumen zwischen einem gesteuerten und einem ungesteuerten Kanalnetz in der Regel gering. Bei den häufigen, weniger intensiven Regenereignissen ergeben sich dagegen durch die Steuerung des Kanalnetzes häufig deutliche Reduzierungen beim Entlastungsvolumen.

4.1 Ermittlung von aktivierbarem Kanalstauvolumen

Das aktivierbare Stauvolumen wurde mit dem Programm Volume des itwh ermittelt. Abbildung 3 zeigt als Ergebnis die wesentlichen im Netz der Stadt Lemgo mit Volume ermittelten Kanalstauräume. Aus unterschiedlichen Gründen sind nicht alle ermittelten Stauräume aktivierbar.

Für die eventuell nutzbaren Stauräume ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten Volumina (Betrachtung bis zum Schachtdeckel am tiefsten Schacht).

Bei den angegebenen Volumina handelt es sich um das gesamte Volumen unterhalb des Bezugswasserstandes. Die Analyse zeigt, dass sich im Netz ca. 8.000 m³ Stauvolumen aktivieren lassen.

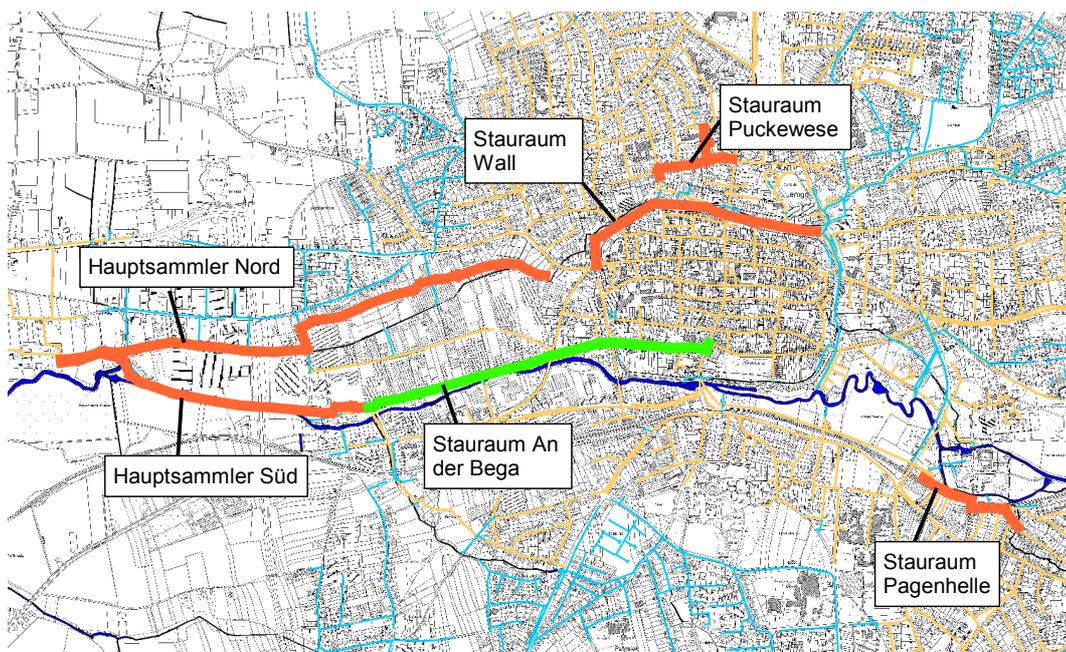


Abbildung 3: mit VOLUME ermittelte aktivierbare Kanalstauräume (rote und grüne Linien)

Stauraum	theoretisches Volumen [m ³]
Sammler Nord	1825
Sammler Süd	1000
Stauraum Wall	1430
Stauraum An der Bega	4400

Tabelle 5: Volumen der im Netz vorhandenen aktivierbaren Stauräume

4.2 Schaffung von Netzmaschen

Das Kanalnetz weist im Istzustand einige kleinere Vermaschungen auf. Diese eignen sich aufgrund der geringen Querschnitte oder der Lage im Gesamtnetz nicht für größer Umleitungen von Mischwasserströmen. An zwei Stellen im Netz könnten aber durch den Bau von kurzen Haltungen neue Verbindungen geschaffen werden. Dies betrifft einen Punkt in der Straße Grevenmarsch und den Steinweg. Abbildung 4 zeigt diese beiden möglichen Verbindungen.

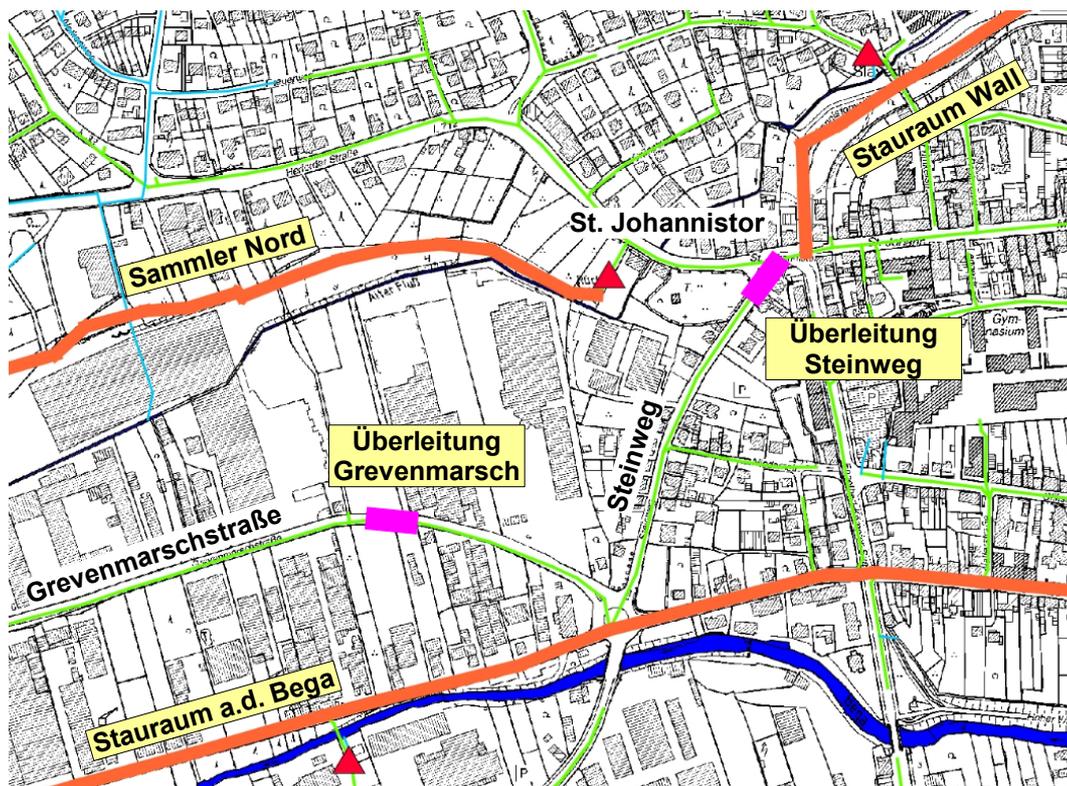


Abbildung 4: Zusätzliche Verbindungsmöglichkeiten im Netz (magenta: zusätzliche Verbindungen, orange: aktivierbare Stauräume, rote Dreiecke: Entlastungsbauwerke)

4.3 Analyse der Beckenausnutzung

Die Abbildung 5 zeigt die im Netz der Kernstadt vorhandenen Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle. Insgesamt beträgt das Volumen 14.800 m³

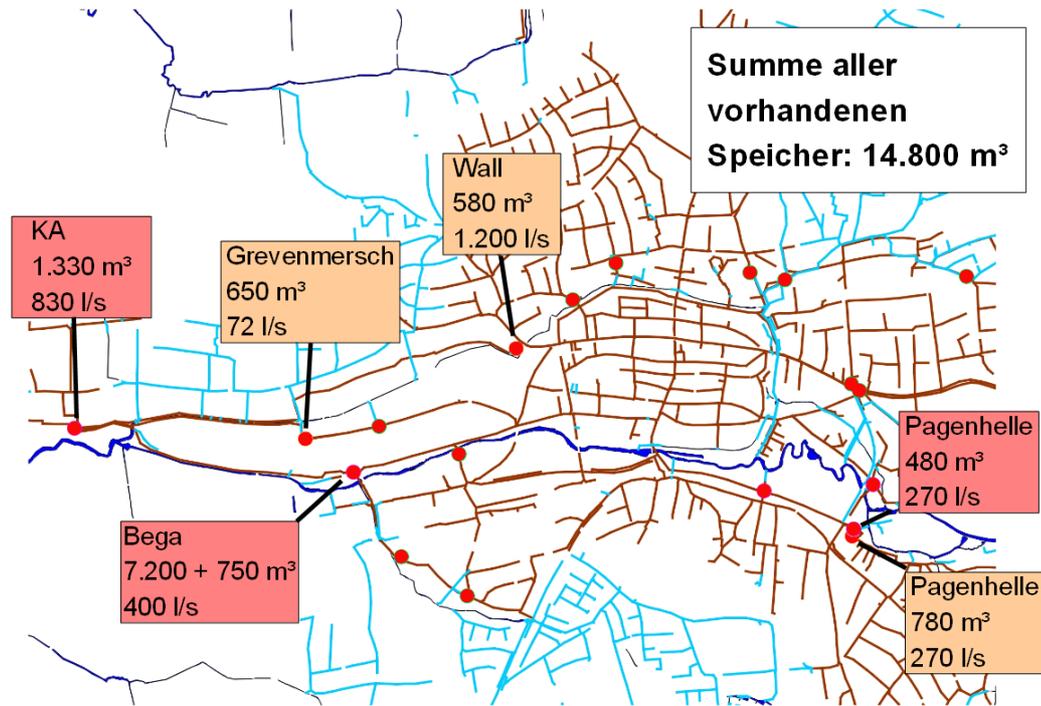


Abbildung 5: Im Netz aktuell betriebene Rückhalteräume, (Volumen und Drosselabfluss, orange: Becken, lachsfarben: Staukanäle, rote Punkte: Entlastungsbauwerke)

Eine erste Langzeitseriensimulation (90 Ereignisse aus den Jahren 1995 bis 1999, Niederschlagsstation Detmold) mit dem zum Zeitpunkt der Durchführung noch unkalibrierten Netz ergab, dass die meisten vorhandenen Rückhaltebecken gut ausgelastet werden. Lediglich das RÜB Becken a.d. Bega und der Stauraumkanal Grevenmersch stellen hierbei Ausnahmen dar. Ein Ziel der Steuerung war daher diese Stauräume besser auszunutzen.

4.4 Aufstellen eines ersten Steuerkonzepts

4.4.1 Zielsetzung der Steuerung

Die Steuerung erreicht im Allgemeinen eine Verringerung der Entlastungsmengen durch eine verstärkte Auslastung im Kanalnetz, die mit einer Anhebung der Wasserspiegel im Kanalnetz verbunden ist. Die höheren Wasserstände bergen prinzipiell das Risiko einer vergrößerten Überstauneigung des Systems. Daher ist sicherzustellen, dass keine Verschlechterung der Überstaunsituation eintritt.

Für das Netz der Stadt Lemgo wurden in Abstimmung mit der Stadtverwaltung und der Bezirksregierung Detmold folgende Ziele definiert:

1. Reduzierung des Entlastungsvolumens (vor allem für häufige Ereignisse)
2. Verlagerung von Entlastungsvolumen auf Einleitungsstellen unterhalb der Staustufen in der Bega

4.4.2 Aufstellen erster Steuerregeln

Nach der Analyse des Istzustands des Netzes wurden die angedachten zusätzlichen Netzvermaschungen und die für die modelltechnische Implementation der anderen Steuerstellen notwendigen Elemente in das Berechnungsnetz eingefügt.

Die Abbildung 6 zeigt alle im ersten Steuerungskonzept berücksichtigten Steuerstellen

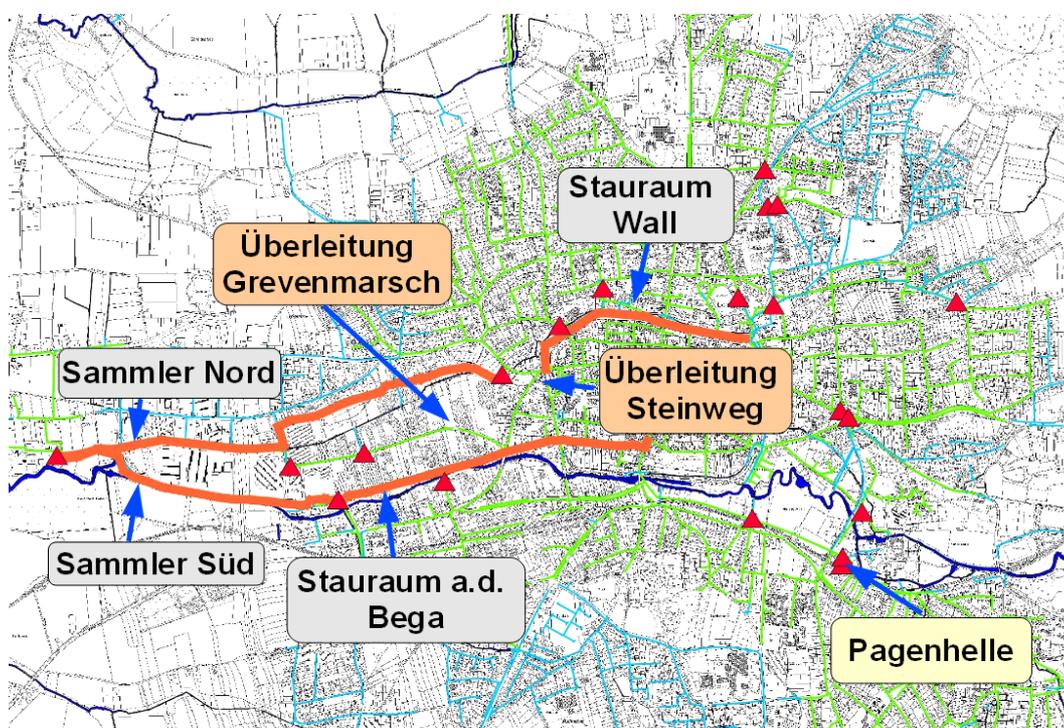


Abbildung 6: Steuerstellen im Netz (orange: Überleitungen, grau: Kanalstauräume, gelb: Erhöhung Drosselabfluss, rote Dreiecke: Sonderbauwerke)

An den dargestellten Positionen im Netz wurden die in Tabelle 6 beschriebenen Steuerungsmöglichkeiten implementiert. Als Grenze für den maximal durch die Steuerung zulässigen Wasserspiegel in den aktivierten Stauräumen wurde jeweils die Höhe des Schachts mit der niedrigsten absoluten Deckelhöhe minus 0,5 m angesetzt.

Steuerstelle	Art der Steuerung
Sammler Nord	Durchfluss und maximaler Wasserstand
Sammler Süd	Durchfluss und maximaler Wasserstand
Stauraum Wall	Durchfluss und maximaler Wasserstand
Becken a.d. Bega	Wasserstand
Pagenhelle	Erhöhung Drosselabfluss, statisch
Steinweg	Überleitung, Durchfluss
Grevenmarsch	Überleitung, Durchfluss

Tabelle 6: Grundsätzlich implementierte Steuerungsmöglichkeiten

Die Abbildung 7 zeigt eine vereinfachte Skizze mit den wichtigsten Systemelementen.

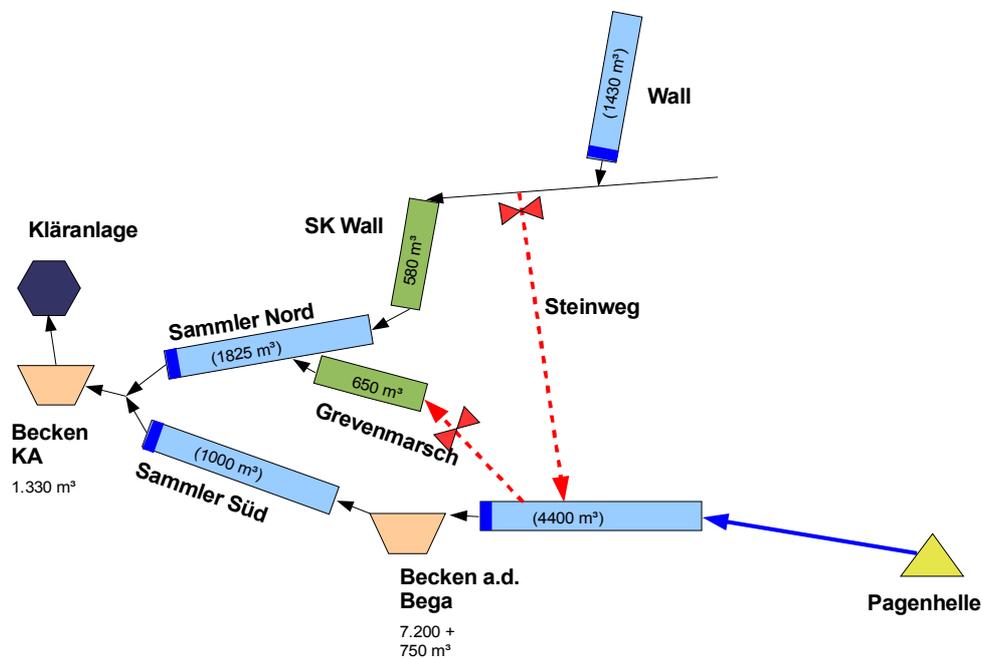


Abbildung 7: Systemskizze für die Steuerung (blau: gesteuerte Kanalstauräume, grün: vorhandene Staukanäle, orange: vorhandene Becken, rot: steuerbare Verbindungen)

4.5 Anwendung und Optimierung der Steuerregeln für ein Einzelereignis

4.5.1 Beschreibung der Regeln

Die für die ersten Steuerberechnungen gewählten Regeln führen meistens nicht zum gewünschten Erfolg. Der Prozeß der Optimierung der Steuerregeln ist ein iterativer Prozess. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde für die ersten Tests und die

anschließende Optimierung ein eher seltenes Ereignis verwendet. Der Grund dafür liegt im großen Volumen des Beckens a.d. Bega. Die Steuerung lässt sich nur sinnvoll testen und optimieren, wenn das Abflussvolumen im System ausreichend groß ist, um das Becken zumindest komplett zu füllen. Gleichzeitig sollte das Ereignis kurz sein, da sonst der Rechenlauf sehr lange braucht. Aus diesen Erwägungen heraus wurde ein 10-jährlicher Modellregen (KOSTRA) mit einer Dauer von 30 Minuten und einer Niederschlagshöhe von 22 mm verwendet.

Für den betrachteten Regen ergaben sich als Ergebnis der Optimierung die nachfolgenden Steuerregeln.

Sammler Nord

- Einstau bis maximal 89,90 m+NN
- Drosselabfluss bis maximal 400 l/s

Sammler Süd

- Einstau bis maximal 89,35 m+NN
- Drosselabfluss bis maximal 210 l/s

Stauraum Wall

- Einstau bis maximal 96,20 m+NN
- Drosselabfluss bis maximal 600 l/s

Zuflusswehr Becken an der Bega

- Startposition der verfahrbaren Wehrschwelle: 91,20 m+NN (maximale Stauhöhe)
- Beginn des Absenkens der Wehrschwelle auf 90,90 m+NN ab der Überschreitung eines Wasserspiegels von 90,90 m+NN

Überleitung Steinweg

- Startzustand: geöffnet (bis 0,5 m Wassertiefe wird nicht übergeleitet)
- maximaler Durchfluss: 800 l/s
- Schließen der Überleitung sobald das Becken a.d. Bega gefüllt ist

Grevenmarsch

- Startzustand: geschlossen
- maximaler Durchfluss: 500 l/s
- nur geöffnet wenn das Becken a.d. Bega gefüllt ist und der SK Grevenmarsch noch nicht gefüllt ist

4.5.2 Simulationsergebnisse für das Einzelereignis

Exemplarisch wird das Ergebnis für einige Steurstellen dargestellt.

Die Abbildung 8 stellt die Abflussganglinien für den Istzustand und die optimierte Steuerung unterhalb des Steuerorgans am Wall dar. Die Ganglinien zeigen deutlich die zwischenspeichernde Wirkung der Steuerung. Der Abflussscheitel wird deutlich reduziert und große Teile des Volumens werden erst verzögert abgegeben.

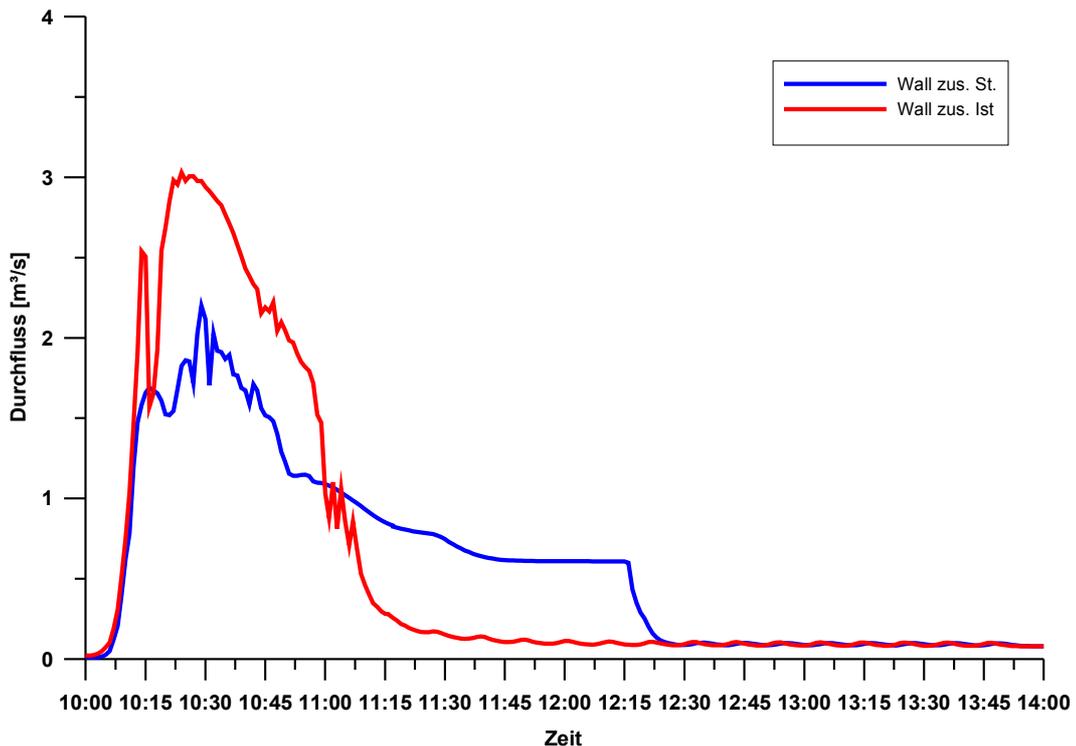


Abbildung 8: Durchfluss unterhalb der Drossel am Stauraum Wall, KOSTRA-Regen Dauer 30 Min, 22 mm

Die Abbildung 9 gibt den Vergleich der Abflussganglinien am Abschlag des Staukanals Wall zum Alten Fluss hin wieder. Infolge der Dämpfung der Welle durch den neuen Kanalrückhalteraum Wall und die Überleitung in den südlichen Netzbereich wird der Staukanal Wall deutlich weniger beaufschlagt. Es zeigt sich eine deutliche Reduzierung sowohl der Abflussspitze (500 l/s gegenüber 2200 l/s) als auch des Abschlagvolumens (200 m³ gegenüber 3600 m³, siehe Anlage).

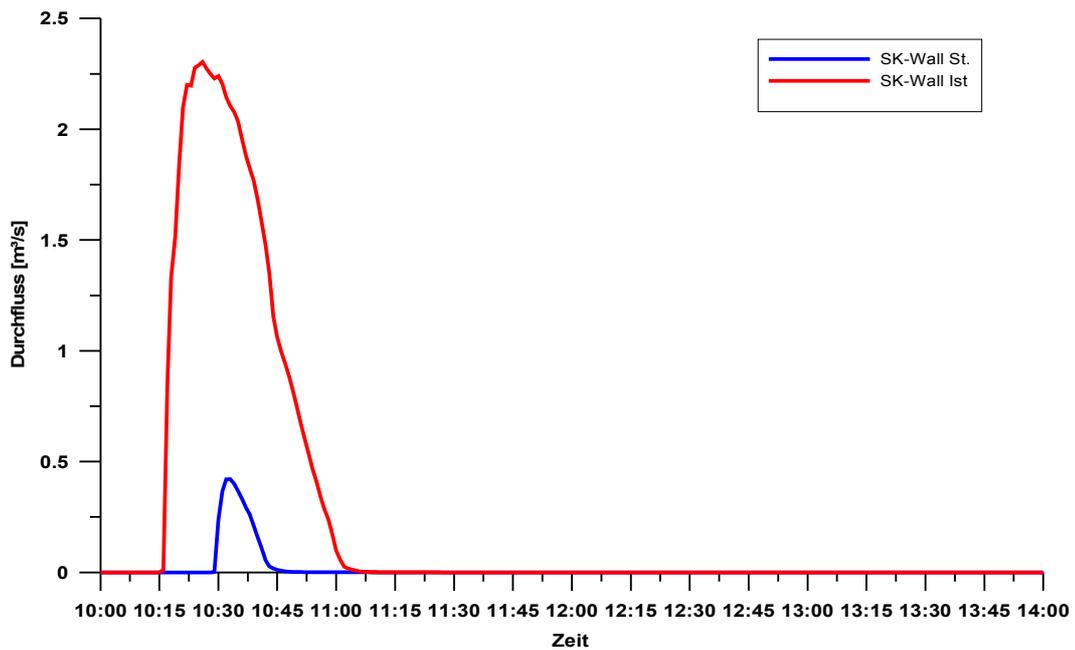


Abbildung 9: Abflussganglinie Abschlag Staukanal Wall, KOSTRA-Regen Dauer 30 Min, 22 mm

Die Abbildung 10 gibt die Ganglinie für den Abschlag des Beckens an der Kläranlage in die Bega wieder. Der Abschlag wird durch die Steuermaßnahmen deutlich verzögert. Auch der Scheitel der Abschlagswelle wird von 1.300 l/s auf 1.000 l/s reduziert. Die Abschlagswelle ist nicht so hoch, dafür aber länger. Das Abschlagsvolumen reduziert sich von ca. 3.500 m³ auf ca. 3.000 m³.

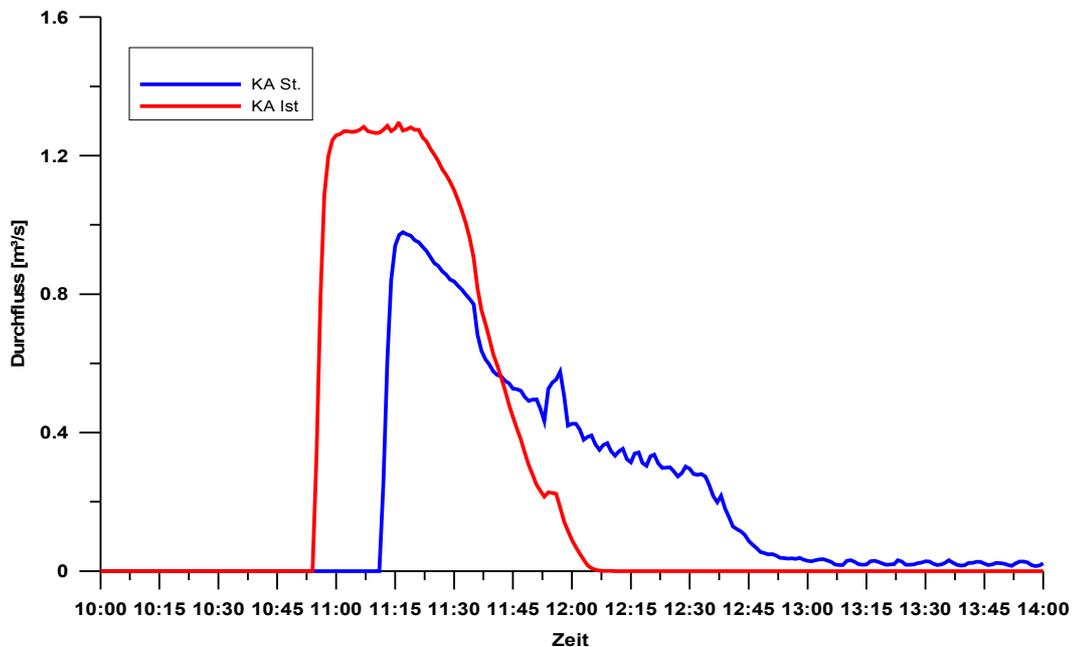


Abbildung 10: Abflussganglinie, Abschlag am Becken an der Kläranlage, KOSTRA-Regen Dauer 30 Min, 22 mm

4.5.3 Untersuchung weiterer Steuerungsvarianten

Es wurden in Abstimmung mit der Bezirksregierung Detmold und der Stadt Lemgo zwei weitere grundsätzliche Steuerungsvarianten untersucht.

Variante 1

Reduzierung des maximal in den aktivierten Stauräumen zulässigen Wasserstands auf die Höhenlage des niedrigsten Rohrscheitels im betreffenden Kanalbereich (sonst 0,5 m unter dem niedrigsten Kanaldeckel). Alle anderen Parameter wurden gleich belassen.

Variante 2

Beibehaltung der zulässigen Einstauhöhen und der anderen Steuerparameter wie für die optimierte Steuerung gewählt, bei einer Reduzierung des maximalen Kläranlagenzuflusses von derzeit dem dreifachen Trockenwetterzufluss (935 l/s) auf einen zweifachen Trockenwetterzufluss (620 l/s).

Die Abbildung 11 zeigt die Abschlagsganglinie am Becken an der Kläranlage. Beide untersuchten Varianten führen zu deutlich höheren Abschlagsvolumina.

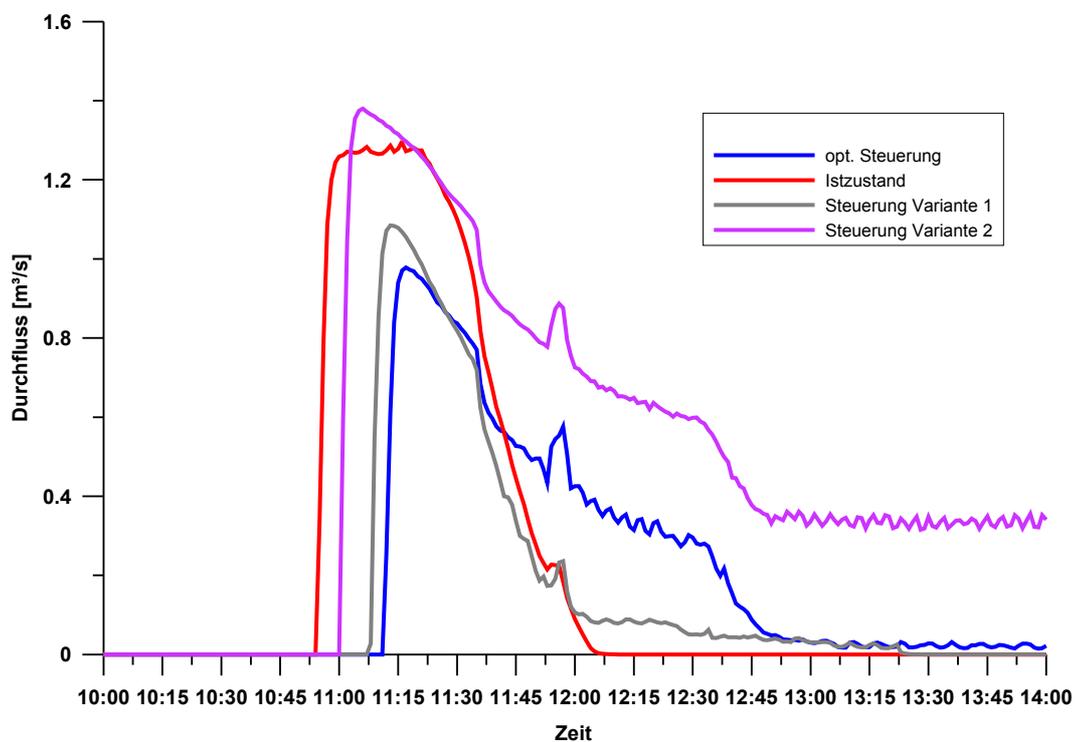


Abbildung 11: Abflussganglinie am Abschalp des Beckens Kläranlage, KOSTRA-Regen Dauer 30 Min, 22 mm

4.5.4 Ergebnisse der Seriensimulation

Bei der Optimierung wurde im ersten Schritt nur ein Einzelereignis betrachtet. Im nächsten Schritt wurden die Steuerregeln für eine Serie mit 26 Ereignissen aus den Jahren 2007 und 2008 angewendet. Die Regenereignisse wurden aus den Niederschlagsdaten der Stadt Detmold gewonnen. Es handelt sich dabei aufgrund der Kürze des betrachteten Zeitraums nicht um eine repräsentative Zeitreihe. Beide Jahre waren insgesamt sehr feucht.

Die Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse für die untersuchte Zeitreihe

Abschlag	Ist		Steuerung	
	Anzahl	abgeschl. Volumen	Anzahl	abgeschl. Volumen
Pagenhelle	24	63.400 m ³	21	34.300 m ³
SK-Wall	18	31.000 m ³	6	6.700 m ³
Becken a.d. Bega	12	109.000 m ³	12	104.300 m ³
Becken Kläranlage	25	202.000 m ³	12	169.000 m ³

Tabelle 7: Ergebnisse der Simulationen für die Serie mit 26 Ereignissen

Die Ergebnisse zeigen, dass sich an allen betrachteten Abschlügen die Situation verbessert, indem eine geringere Abwassermenge in die Bega und den Alten Fluss eingeleitet wird.

Am Abschlag Pagenhelle reduziert sich das Abschlagvolumen (Summe über alle Ereignisse der gesamten Serie) um nahezu die Hälfte. Dies spricht dafür, dass in der Serie einige sehr langgezogene Ereignisse enthalten waren, bei denen sich die Erhöhung des Drosselabflusses wesentlich deutlicher auswirkt als bei dem zuvor betrachteten kurzen Starkregen (siehe Kapitel 4.5.2).

Am SK Wall reduziert sich das Abschlagvolumen noch deutlicher – nämlich um ca. 80 %. Hier zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie für den kurzen Starkregen (siehe Kapitel 4.5.2). Erwartungsgemäß treten mit der Steuerung insgesamt deutlich weniger Abschlagsereignisse auf (Reduzierung von 18 auf 6 Ereignisse).

Beim Becken a.d. Bega bleiben die Verhältnisse nahezu identisch. Damit zeigt sich hier ein ähnliches Ergebnis wie bei der Betrachtung des kurzen Starkregenereignisses (siehe Kapitel 4.5.2). Dies ist ein Erfolg für die Steuerstrategie, da wesentlich größere Wassermengen in den betreffenden Teil des Kanalnetzes umgeleitet werden. Dass das Becken bei der untersuchten Serie sechs Mal in zwei Jahren abschlägt zeigt auch, dass es sich um zwei sehr feuchte Jahre gehandelt hat. Im Schnitt schlägt dieses Becken im

Istzustand eher ein bis zwei Mal im Jahr ab. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass das Überleiten in den südlichen Netzteil nicht zu einer Verschlechterung der Entlastungssituation an der Bega führt.

Für das Becken an der Kläranlage ergibt sich eine deutliche Reduzierung der Entlastungshäufigkeit (von 25 auf 12 Mal) und eine Reduzierung der Entlastungsmenge um ca. 15 %.

Die Überleitung in der Grevenmarschstraße führte praktisch nicht zu Verbesserungen im System, da sie unter den gegebenen Randbedingungen nur sehr selten, und dann auch nur sehr kurz, aktiv ist.

4.6 Auswahl der Steuerregeln

In einem Abstimmungstermin wurden den Vertretern der Stadt Lemgo und der Bezirksregierung die Ergebnisse der Simulationen vorgestellt. Ziel des Termins war die gemeinsame Festlegung der endgültig für die weiteren Simulationen (insbesondere die Gütesimulationen) anzuwendenden Steuerregeln.

Als Ergebnis der Besprechung wurde festgelegt, dass die optimierte Steuerung weiter untersucht werden sollte. Als einzige Einschränkung dazu sollte die Überleitung Grevenmarschstraße nicht weiter verfolgt werden. Gegen diese Überleitung spricht die geringe Wirksamkeit, die den notwendigen Aufwand für den Bau und den Betrieb der Überleitung nicht rechtfertigt.

5 Gütemodellierung

5.1 Untersuchte Systemzustände

Da die Stadt Lemgo weitgehend parallel zum Forschungsprojekt den GEP hat neu aufstellen lassen (dieser ist zurzeit noch in Bearbeitung) bot sich die Gelegenheit, den aktuellen Netzzustand in Verbindung mit einer sehr viel besseren Datengrundlage abzubilden. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, für die Ergebnisvergleiche auch die Simulationen für den Istzustand und den Vergleichszustand (d. h. mit Retentionsbodenfiltern) aus der vorherigen Projektphase neu durchzuführen. Da insbesondere mit dem neu aufgestellten Datensatz für das Kanalnetzmodell deutlich realitätsnähere Ergebnisse erzielt wurden, wurde dieser Weg gewählt.

In der Projektphase III wurden unterschiedliche Varianten mit Retentionsbodenfiltern für die Stadt Lemgo untersucht. Aus diesen Varianten wurde diejenige ausgewählt, die die größte Chance auf eine eventuelle Realisierung im Hinblick auf den notwendigen

Platz und den baulichen Aufwand hatte. Diese Variante beinhaltet die Retentionsbodenfilter Lemgo 1 (Kläranlage) und IIa (Pagegenhelle).

In der Projektphase III wurde für diese Varianten vorausgesetzt, dass die Drosselabflüsse der Bauwerke pauschal verdoppelt werden können. Diese Annahme wurde vor dem Hintergrund getroffen, dass Entlastungsschwerpunkte geschaffen werden sollten. Bei den aktuellen Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass diese Erhöhung der Drosselabflüsse nicht realisierbar ist und das dies zum Teil auch kontraproduktiv wirken würde. Daher wurde auf eine Erhöhung der Drosselleistungen verzichtet.

Für die Bemessung der Retentionsbodenfilter wurden in [8] unterschiedliche Überlaufhäufigkeiten ($n = 2/\text{Jahr}$ und $n = 6/\text{Jahr}$) zugrunde gelegt. Für die vorliegenden Betrachtungen wurden die Bemessungsergebnisse für $n = 6$ übernommen. Für den RBF Lemgo I spielt dies nur eine geringe Rolle, da dieser Filter aufgrund der jährlichen Beschickungshöhe je Quadratmeter Fläche ein Volumen von 23.500 m^3 (inkl. des nutzbaren Porenvolumens des Filters) benötigt. Mit diesem Volumen ergab sich in [8] eine Überlaufhäufigkeit von $n = 2,4$. Damit entsprechen die Daten der Retentionsbodenfilter für Lemgo der Variante 3 nach [8].

Auf eine Anpassung der Bemessung der Retentionsbodenfilter wurde verzichtet, da dies den Rahmen der Projektbearbeitung überschritten hätte.

Tabelle 8 zeigt die Kenndaten der Retentionsbodenfilter für die untersuchte Variante.

Bezeichnung	Standort	Volumen inkl. nutzbares Porenvolumen	Drosselabfluss
RBF Lemgo I	Kläranlage	23.500 m ³	400 l/s
RBF Lemgo IIa	Pagenhelle (Brake)	3.100 m ³	50 l/s

Tabelle 8: Daten der untersuchten Retentionsbodenfilter

Die Untersuchungen wurden entsprechend der Vorgehensweise in der Projektphase III für zwei Regenereignisse durchgeführt (siehe Kapitel 1.2):

- Ereignis E1: Niederschlag mit der Dauer $D = 60 \text{ min}$ und der Häufigkeit $n = 1$
- Ereignis E2: Niederschlag mit der Dauer $D = 30 \text{ min}$ und der Häufigkeit $n = 1$

5.2 Gütemodellierung für das Kanalnetz

Im aktuellen Projekt wurde zur Kanalnetzsimulation das Modell Hystem-Extran mit einer Programmerweiterung zur Gütemodellierung (Hystem-Extran-Güte) eingesetzt.

Die Kanalnetzsteuerung wurde dabei in der Kombination Hystem-Extran-Güte/CONTROL simuliert.

Hystem-Extran-Güte ist ein detailliertes Schmutzfrachtmodell und basiert auf dem hydrodynamischen Kanalnetzmodell Extran. Neben den für eine rein mengenorientierte Berechnung notwendigen Angaben, sind für eine Schmutzfrachtberechnung zusätzlich die Konzentrationen der gewünschten Inhaltsstoffe als Eingabe getrennt für das Schmutzwasser und das Regenwasser erforderlich.

Die verwendeten Belastungskonzentrationen sind in den Kapiteln 3.5.1 (Schmutzwasser) und 3.5.2 (Regenwasser) dargestellt.

Als Ergebnis der Modellierung mit Hystem-Extran-Güte\CONTROL wurden Ganglinien des Abflusses und der Konzentrationen der betrachteten Stoffe erzeugt. Diese Ganglinien wurden in mehreren Bearbeitungsschritten in eine für die Verwendung als Randbedingung für das DWA-Gewässergütemodell geeignete Form gebracht.

Für die beiden untersuchten Regenereignisse zeigt die Tabelle 9 einige wesentliche Ergebnisse der Kanalnetzberechnung für die folgenden Systemzustände:

- Istzustand
- optimierte Steuerung
- Retentionsbodenfilter (Variante 3 Projektphase III, siehe Kapitel 1.2)

Bauwerk	Istzustand		optimierte Steuerung		Retentionsbodenfilter	
	E1, 60 Min., Jährlichkeit 1	E2, 30 Min., Jährlichkeit 1	E1, 60 Min., Jährlichkeit 1	E2, 30 Min., Jährlichkeit 1	E1, 60 Min., Jährlichkeit 1	E2, 30 Min., Jährlichkeit 1
SK Wall	Entlastung	Entlastung	keine Entlastung	keine Entlastung	Entlastung	Entlastung
Becken a.d. Bega	keine Entlastung	keine Entlastung	keine Entlastung	keine Entlastung	keine Entlastung	keine Entlastung
Becken a.d. Kläranlage	Entl. 3.900 m³ Spitze 1,3 m³/s	Entl. 2.800 m³ Spitze 1,1 m³/s	Entl. 500 m³ Spitze 0,4 m³/s	keine Entlastung	Einleitung in RBF I	Einleitung in RBF I
Abschlag Pagenhelle	Entlastung	Entlastung	reduzierte Entlastung	reduzierte Entlastung	Einleitung in RBF IIa	Einleitung in RBF IIa
Retentionsbodenfilter I (Kläranlage)	-	-	-	-	keine Entlastung	keine Entlastung
Retentionsbodenfilter IIa (Pagenhelle)	-	-	-	-	keine Entlastung	keine Entlastung

Tabelle 9: Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse der Kanalnetzberechnung für die Ereignisse E1 und E2 (grün hinterlegt: Verbesserungen gegenüber dem Istzustand)

5.3 Ergebnisse der Gütemodellierung für die Bega

Die Berechnungen der Gewässergüte wurden mit dem in den vorherigen Projektphasen aufgestellten Modelldatensatz für die Bega durchgeführt (siehe Kapitel 1.2). Im

folgenden Text werden die Ergebnisse der Gewässergütemodellierung der aktuellen Untersuchung für die Bega in Lemgo bis unterhalb der Kläranlage dargestellt. Hierbei wird vorwiegend auf das Regenereignis E2 Bezug genommen.

Sauerstoff

Bei der Bega handelt es sich um ein prinzipiell gut belüftetes Gewässer (bis auf die Stauhaltungen). Das spiegelt sich darin wieder, dass trotz der Einleitungen keine deutlichen Sauerstoffdefizite (Sauerstoff unter 4 mg/l) vorliegen. Der in Abbildung 12 dargestellte Längsschnitt der minimalen Sauerstoffkonzentration zeigt aber deutlich den Einfluss der Stauhaltungen. Gerade der Stau bei Station 17.5 führt zu einer deutlichen Sauerstoffzehrung, die erst mit der Belüftung durch den Überfall am Stauwehr endet. Die untersuchten Varianten haben nur einen sehr geringen Einfluss auf den minimalen Sauerstoffgehalt der Bega.

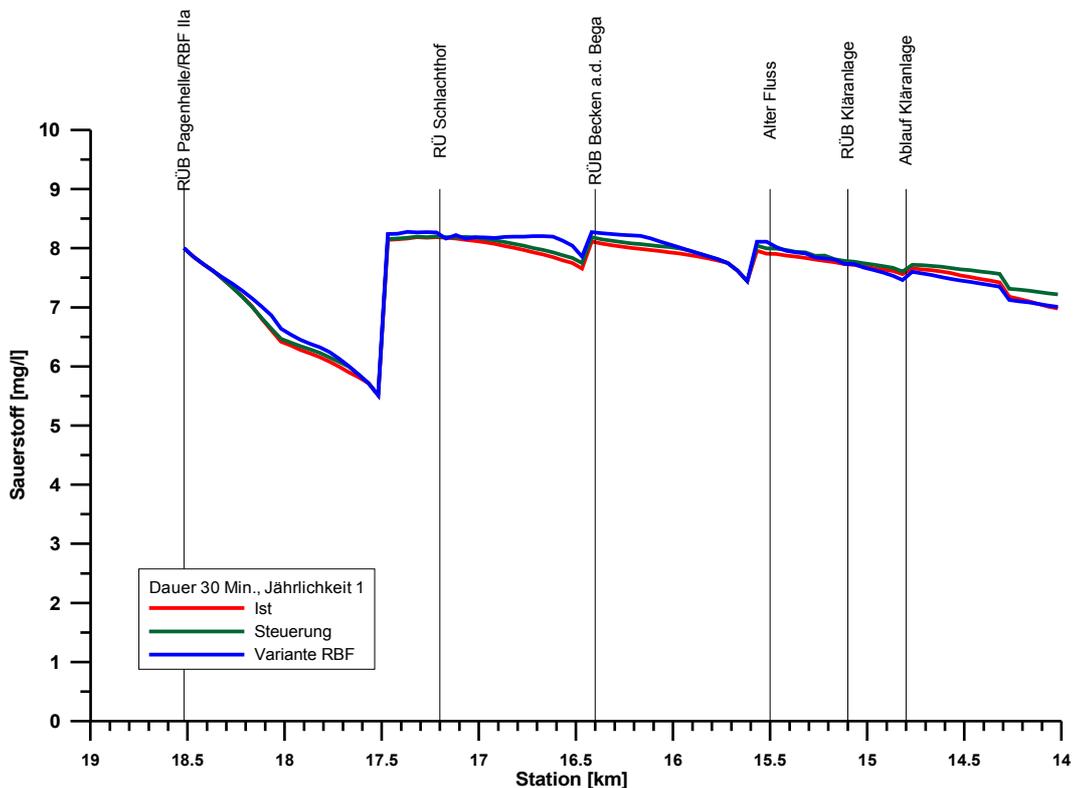


Abbildung 12: Längsschnitt minimaler Sauerstoff, Ereignis 2, Dauer 30 Min, Jährlichkeit 1

Chemischer Sauerstoffbedarf

Der in Abbildung 13 dargestellte Längsschnitt für die maximale während des gesamten Simulationszeitraums aufgetretene CSB-Konzentration zeigt, dass der Retentionsbodenfilter II zu einer deutlichen Reduzierung der maximalen Konzentration dieses Parameters führt. Die Darstellung sagt aber nichts über die Dauer der erhöhten Konzentration aus. Hierzu liefern die folgenden Abbildungen weitere Informationen.

Die minimale CSB-Konzentration liegt mit ca. 8 mg/l deutlich unter dem AGA-Empfehlungswert von 20 mg/l. Durch die Einleitungen wird dieser Wert überall deutlich überschritten.

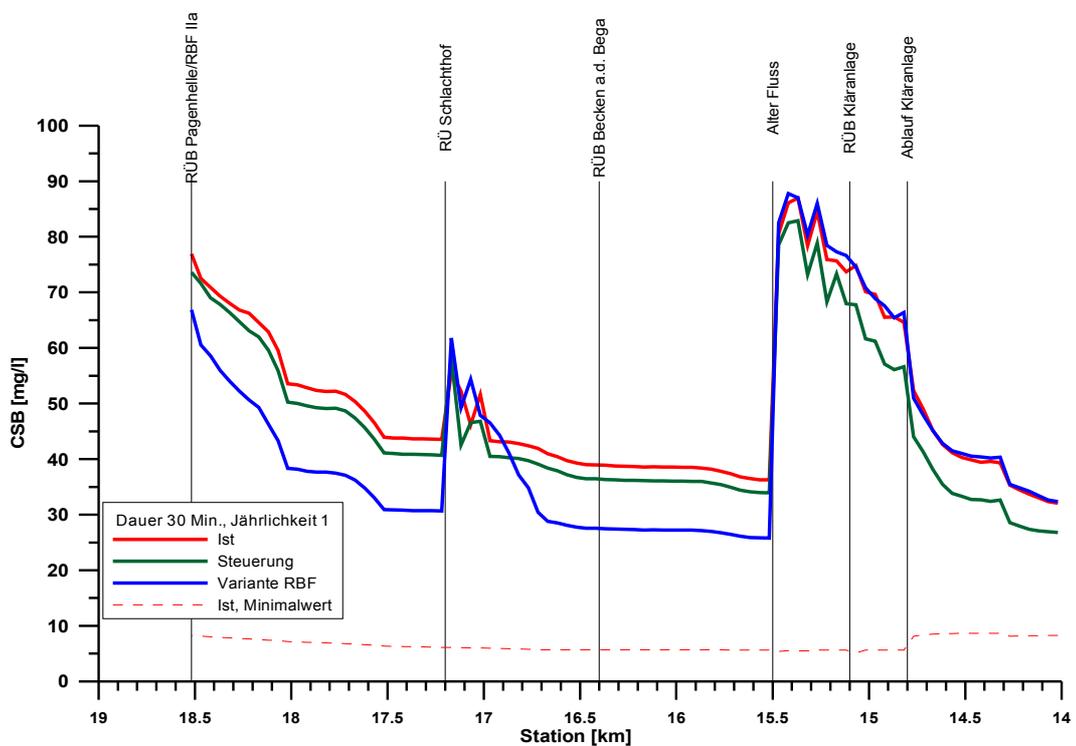


Abbildung 13: Längsschnitt maximale Konzentration CSB, Ereignis 2, Dauer 30 Min, Jährlichkeit 1

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen die Konzentrationsganglinien für den Parameter CSB an den Station 18.0 – unterhalb der Einleitungen im Bereich Pagenhelle – und 14.3 – unterhalb der Einleitung der Kläranlage.

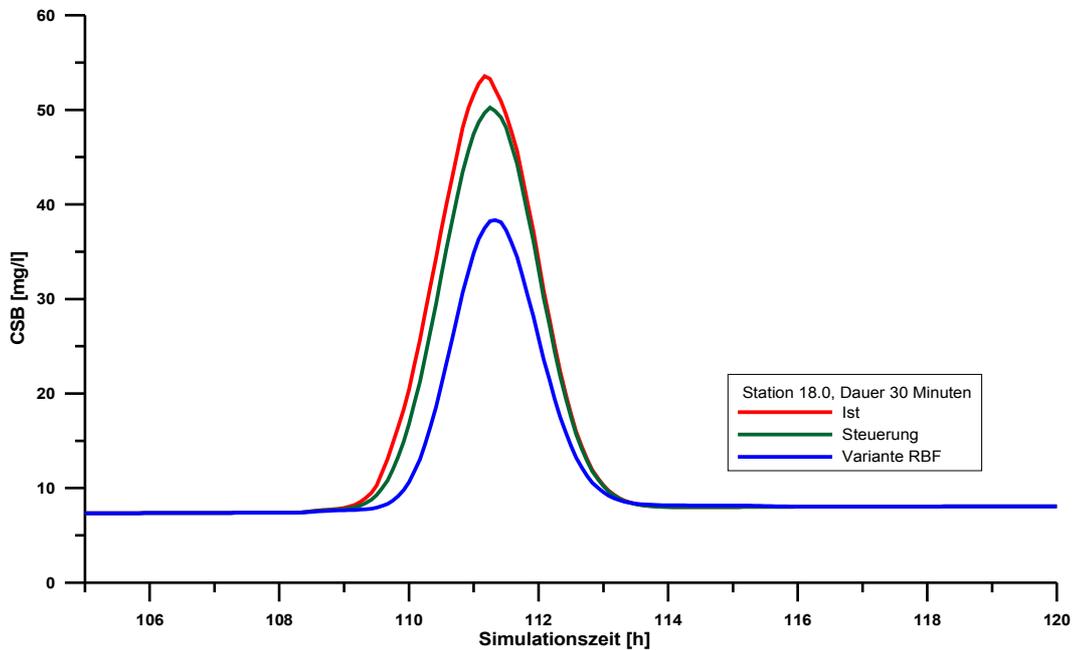


Abbildung 14: Station 18.0, Konzentrationsganglinie Parameter CSB, Ereignis 2, Dauer 30 Min, Jährlichkeit 1

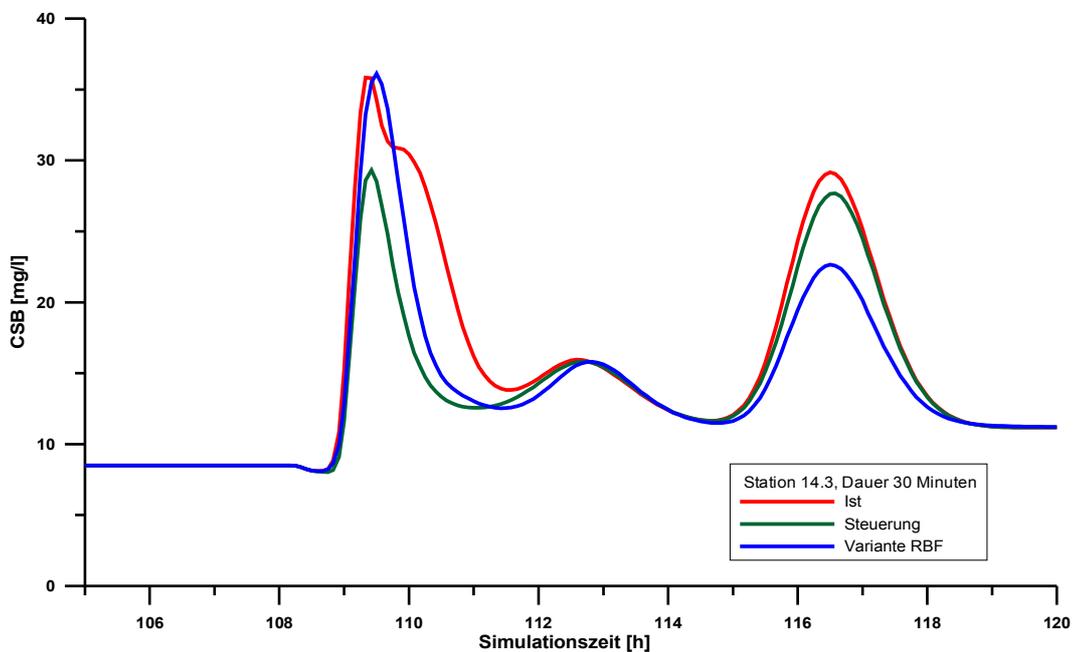


Abbildung 15: Station 14.3, Konzentrationsganglinie Parameter CSB, Ereignis 2, Dauer 30 Min, Jährlichkeit 1

Die an Station 18.0 erkennbare Reduzierung in der CSB-Konzentration für die Steuerung wird durch die Erhöhung des Drosselabflusses am Bauwerk Pagenhelle hervorgerufen. An dieser Stelle zeigt die Variante mit dem Retentionsbodenfilter die besten Werte. Da hier der Abschlag Pagenhelle komplett vom Retentionsbodenfilter IIa aufgenommen wird, reduziert sich dort die CSB-Konzentration deutlich. Die verbleibende CSB-Fracht wird durch die weiteren Einleitungen oberhalb des Betrachtungspunktes verursacht.

Die Konzentrationspeaks bei Station 14,3 im hinteren Bereich des Simulationsbereichs (116 Stunden und später) zeigen die weiter transportierten Schmutzfrachten der Einleitungen im Umfeld der Einleitung Pagenhelle. Durch Vermischungsvorgänge sinkt die Konzentration und die Welle wird breiter. Die mittleren, deutlich kleineren, Peaks werden durch die Einleitung RÜ Schlachthof verursacht. Bei den ersten Peaks überlagern sich die Einleitungen vom Alten Fluss und vom Becken an der Kläranlage. Die Spitze der Peaks wird durch die Einleitung des Alten Flusses verursacht. Hier zeigen der Istzustand und die Variante Retentionsbodenfilter einen identischen Peak. Die Steuerungsvariante zeigt einen deutlich geringeren Peak, da der SK Wall hier nicht in den Alten Fluss abschlägt.

Die rote Linie des Istzustands zeigt im hinteren Teil der ersten Welle einen Buckel. Dieser wird durch das Abschlagen des Beckens an der Kläranlage verursacht. Da der Retentionsbodenfilter I bei der Bodenfiltervariante nicht abschlägt, tritt dieser Buckel dort nicht auf. Bei der Steuerungsvariante kommt es am Becken an der Kläranlage nicht zu einem Abschlag ins Gewässer. Daher ist bei der Ganglinie dort ebenfalls keine erhöhte Konzentration zu finden.

Die Abbildung 16 zeigt einen Längsschnitt mit der Überschreitungzeit für den AGA-Maximalwert von 20 mg CSB/l.

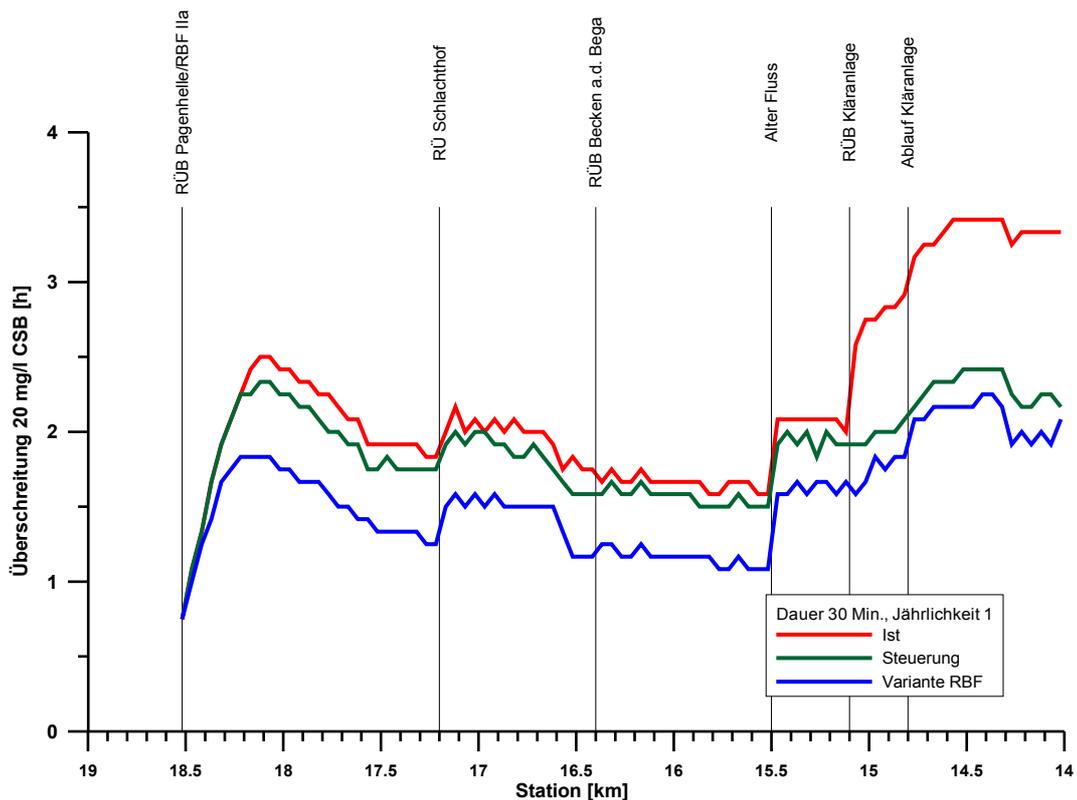


Abbildung 16: Längsschnitt Überschreitungsdauer 20 mg/l CSB, Ereignis 2, Dauer 30 Min, Jährlichkeit 1

Der Retentionsbodenfilter Ila reduziert die Überschreitungsdauer für den CSB für den Abschnitt bis zur Einleitung des Alten Flusses deutlich. In diesem Bereich ist die Steuerung nicht so wirksam, da hier lediglich der Drosselabfluss am Abschlag Pagenhelle erhöht wurde. Ab der Einleitung des Alten Flusses liegen die Steuerung und die Retentionsbodenfiltervariante aber nahezu gleichauf. Hier kommt zum Tragen, dass bei der Steuerungsvariante der SK Wall nicht in den Alten Fluss abschlägt. Da bei beiden Varianten kein Abschlag am Becken an der Kläranlage auftritt, sind die beiden Varianten in diesem Abschnitt im Grundsatz gleichwertig.

Ammonium

Ammonium ist für ein Gewässer an sich relativ unkritisch. Problematisch ist hingegen, dass sich Ammonium im Wasser in einem Gleichgewichtszustand mit dem fischgiftigen Ammoniak befindet. Bei niedriger Temperatur und niedrigem pH-Wert liegt im Wasser nahezu nur Ammonium vor. Mit steigender Temperatur und steigendem pH-Wert verschiebt sich das Verhältnis hin zum Ammoniak.

Der Vergleich der Ergebnisse mit den Grenzwerten aus [13] ergibt zumindest abschnittsweise unterhalb der größeren Einleitungen eine Gefährdung. Da der pH-Wert der Bega selten sehr hoch ist, liegt dennoch keine größere Gefahr der

Ammoniakbildung vor. Dies wäre bei erhöhten Algenaktivitäten der Fall, die bei der Bega aber nicht zu erwarten sind.

Nitrat

Nitrat wird durch die Einleitungen nur in geringem Maß in die Bega eingetragen. Das Regenwasser besitzt einen Nitratgehalt, der geringer ist als der Nitratgehalt der Bega. Regenwasser wirkt an den Einleitungen also bezogen auf den Nitratgehalt eher verdünnend.

Abwasser enthält kaum Nitrat. Das Abwasser enthält mit seinen hohen Frachten an organischem Stickstoff und an Ammonium aber Stoffe, die im Verlauf des biologischen Abbaus zu Nitrat umgebaut werden. Für das Gewässer stellt Nitrat in den an der Bega vorkommenden Konzentrationen keine akute Gefährdung dar. Die maximalen Nitratkonzentrationen liegen im Bereich der Grenze zwischen den Güteklassen (chemisch) II und II bis III.

Durch die biologischen Abbauprozesse in der Kläranlage enthält das dort behandelte Abwasser deutlich geringere Nitratkonzentrationen als der normale Abfluss der Bega. Bei geringen Abflüssen in der Bega (wie sie hier als Sommerniedrigwasser angesetzt wurden) wirkt sie ebenso wie die Regewassereinleitungen verdünnend.

6 Schlussbetrachtung

Die durchgeführten Untersuchungen erlauben die Aussage, dass das Entlastungsverhalten des Kanalnetzes der Stadt Lemgo auch ohne den Bau von zusätzlichen Speicherräumen oder Retentionsbodenfiltern deutlich verbessert werden kann. Das im Projekt aufgebaute Steuerungssystem führt zu einer wesentlich effektiveren Ausnutzung der im Netz vorhandenen erheblichen Speicherkapazitäten, was sowohl für die Staukanäle (z. B. SK Wall) als auch für die Becken (z. B. Becken a. d. Bega) gilt. Dabei wurden im Netz nur Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt, die mit überschaubarem Aufwand realisiert werden können – auch wenn dies im Detail noch weiter zu prüfen ist.

Durch das vorgeschlagene Steuerungssystem lassen sich (wie auch durch die Vergleichslösung mit den Retentionsbodenfiltern I (Kläranlage) und IIa (Pagenhelle)) Mischwasserentlastungen in den staubeeinflussten Bereichen der Bega nicht gänzlich verhindern. Das wäre nur mit der "großen Lösung" aus der Projektphase III möglich. Der dort untersuchte Retentionsbodenfilter IIb, der sämtliche Einleitungen im Bereich Pagenhelle und 1 km unterhalb aufnehmen würde, wäre bautechnisch ausgesprochen aufwändig (ca. 1 km neuer Sammler, Unterquerung der Bega, Pumpwerk) und damit

sehr teuer. Es ist zu erwarten, dass der Aufwand in keinem sinnvollen Verhältnis zum Nutzen stehen würde.

Nach den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen ist es in jedem Fall sinnvoll, den Drosselabfluss am RÜ Pagenhelle von 270 l/s auf 500 l/s zu erhöhen. Damit würde in vielen Fällen das Abschlagen an dieser Stelle verhindert. Die zweite, große Einleitung in diesem Abschnitt fasst die Abschlüge der Bauwerke RÜ Gräferstraße, RÜ Vogelsang und RÜ Bruchweg zusammen. Durch die Steuerung können diese RÜ nicht beeinflusst werden.

An der Kläranlage wurde in der Projektphase III ein sehr großer Retentionsbodenfilter (ca. 24.000 m³ Volumen) vorgeschlagen. Als Ergebnis der Untersuchungen wäre dieser Retentionsbodenfilter bei einer Nutzung der Steuerungsmöglichkeiten nicht notwendig. Durch die Zwischenspeicherung im Kanalnetz wird der Zufluss zur Kläranlage so stark abgedämpft, dass es selbst bei den für die Gütemodellierung untersuchten Ereignissen der Jährlichkeit 1 mit ihren hohen Intensitäten nicht (30 Minuten Regen) oder nur in sehr geringem Umfang (60 Minuten Regen) zu einem Abschlagen des Beckens an der Kläranlage kommen würde. Dies ist allerdings nur zutreffend, solange die Kläranlage in der Lage ist, die bisher mögliche maximale Zuflussleistung von 935 l/s (3Q_T) zu behandeln. Bei der anstehenden Nachrechnung und Überplanung der Kläranlage ist dieser Gesichtspunkt mit zu berücksichtigen.

Die Schaffung der Verbindung zwischen dem nördlichen und dem südlichen Netzbereich bringt erhebliche Vorteile mit sich. Dadurch lässt sich das Becken an der Bega deutlich besser auslasten. Zudem sind in diesem Netzbereich auch weitere, große aktivierbare Kanalstauräume vorhanden. Für den Bau der Verbindung ist lediglich ein kurzes Stück Kanal (unter 50 m) neu zu verlegen. Zusätzlich ist dort ein Regelungsbauwerk vorzusehen. Der Aufwand dafür bleibt überschaubar.

Die Schaffung der Verbindung im Steinweg hat zudem den Vorteil, dass eventuell in der Zukunft auch ereignisbezogen (z. B. ungleichmäßige Überregnung) oder auch aus Gründen des Netzbetriebs (Sanierungsarbeiten, Bauarbeiten) Teile des Wassers umgeleitet werden könnten.

Die Nutzung des aktivierbaren Kanalstauraums oberhalb des Beckens an der Bega ist ebenfalls sehr vielversprechend. Die Regelung könnte über das (dann umzubauende) Zuflusswehr zum Becken an der Bega erfolgen. Durch die dort schon vorhandene Mess- und Regeltechnik ist die notwendige Infrastruktur bereits vorhanden. Hier ist jedoch zu prüfen, welche Auswirkungen der dann wesentlich häufiger auftretende Einstau des Kanalnetzes auf die umgebende Bebauung haben würde (dies gilt für alle zu aktivierenden Kanalstauräume).

Die Kanalstauräume Sammler Nord und Sammler Süd ließen sich voraussichtlich ebenfalls mit überschaubarem Aufwand realisieren. Die Regelungsbauwerke würden in unmittelbarer Nähe zur Kläranlage liegen – es würde folglich nur ein geringer Aufwand für die Vernetzung der Mess- und Regeltechnik anfallen. Auch hier wären die Rückstauauswirkungen auf umliegende Gebäude zu prüfen.

Auch beim Kanalstauraum Wall sind zum jetzigen Stand der Kenntnisse keine offensichtlich zu großen Hindernisse ersichtlich, die der Realisierung der entsprechenden Planung entgegen stehen würden. Hier ist jedoch zu verhindern, dass rückgestautes Wasser über die Haltungen in der Primkerstraße abfließt.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen entfalten ihre volle Leistungsfähigkeit zwar erst im Verbund aller Maßnahmen, es würde aber auch die Realisierung von einzelnen Maßnahmen schon zu deutlichen Verbesserungen führen. Es kann daher ein Stufenplan für die Realisierung aufgestellt werden, der sukzessive entsprechend den technischen und finanziellen Möglichkeiten umgesetzt wird. Dabei können einfache Maßnahmen (wie die Erhöhung des Drosselabflusses am RÜ Pagenhelle) zeitnah realisiert werden.

Mittelfristig sollte zusätzlich über eine integrierte Steuerung des Kanalnetzes im Verbund mit der Kläranlage nachgedacht werden. Die Voraussetzungen für eine solche integrierte Steuerung wären mit der Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ebenfalls gegeben.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass durch die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Netzsteuerung zwar der Bereich der Bega im Umfeld der Einleitung Pagenhelle und darunter nicht so wirksam entlastet werden würde wie bei den in der Projektphase III untersuchten Bodenfiltern. Im Bereich der Kläranlage sind die Verbesserungen für die Bega mit dem gesteuerten Netz und mit der Retentionsbodenfiltervariante der Projektphase III in etwa gleich, wobei bei der Variante Kananetzsteuerung der immerhin 24.000 m³ große Retentionsbodenfilter I entfallen kann. Darüber hinaus würde der Alte Fluss (und damit auch die Bega) bei einer Realisierung der vorgeschlagenen Steuerungsmaßnahmen deutlich weniger mit Mischwasser belastet. Zudem würden sich Verbesserungen sowie eine erhöhte Flexibilität im Netzbetrieb ergeben und es würden die Voraussetzungen für eine eventuell zukünftig zu realisierende integrierte Steuerung Kläranlage/Kanalnetz geschaffen.

Durch die Installation der Kanalnetzsteuerung lässt es sich nicht vermeiden, dass die Wasserspiegellage in verschiedenen Bereichen angehoben werden wird. Es ist zu prüfen, ob diese Anhebung des Wasserspiegels und die damit vorhandenen Rückstauerscheinungen im Netz toleriert werden können. Dies zu betrachten war nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens. Für eine Realisierung der Steuerung sind daher weitere Untersuchungen und Planungen erforderlich.

Quellenverzeichnis:

- [1] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (ATV-DVWK): „Planungshilfe Abflusssteuerung in Kanalnetzen“, Essen
- [2] BUND DER INGENIEURURE FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (BWK): „BWK Merkblatt 3, Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagseinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse“, BWK, Düsseldorf
- [3] BUND DER INGENIEURURE FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (BWK): „Begleitband zu dem BWK-Merkblatt 3; Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagseinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse“, BWK, Düsseldorf
- [4] BUND DER INGENIEURURE FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (BWK): „Leitfaden zur detaillierten Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3“, BWK, Kassel
- [5] MEON, G., MIETHE, M., OTTE-WITTE, K., SCHNEIDER, C., STÖFFLER, U.: „Durchführung von Pilotuntersuchungen zur Simulation von Stoffeinträgen und Gewässergüte des oberen Werre bis zum Pegel Ahmsen“, Abschlussbericht der Projektphase 1, FH Lippe und Höxter in Kooperation mit dem Westfälischen Umweltzentrum (WUZ) Höxter, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, April 2002
- [6] MEON, G., MIETHE, M., OTTE-WITTE, K., SCHNEIDER, C., STÖFFLER, U.: „Weiterführung von Pilotuntersuchungen zur Simulation von Stoffeinträgen und Gewässergüte des oberen Werre bis zum Pegel Ahmsen“, Abschlussbericht der Projektphase 2, FH Lippe und Höxter in Kooperation mit dem Westfälischen Umweltzentrum (WUZ) Höxter, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Oktober 2002
- [7] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MUNLV): „Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb“, Düsseldorf, 2003
- [8] AULICH, M., MEON, G., MIETHE, M., OTTE-WITTE, K., PICK, V.: „Modellierung der Gewässergüte der Bega und der oberen Werre infolge Schmutzfrachtreduktion durch Retentionsbodenfilter“, Abschlussbericht der Projektphase 3, FH Lippe und Höxter in Kooperation mit dem Westfälischen Umweltzentrum (WUZ) Höxter und der IWUD - Ingenieure für Wasser, Umwelt und Datenverarbeitung GmbH

- (IWUD), im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, November 2004
- [9] ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG (ATV): „Fremdwassersituation in Deutschland“ Entwurf, Stand 25.1.2001
- [10] INSTITUT FÜR TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE HYDROLOGIE (itwh): „Abflusssteuerung – CONTROL – Modellbeschreibung“, Hannover 2005
- [11] KAHLERT, F.: „Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control“, 2. Auflage, Vieweg, Hamm/Verl 1994
- [12] SCHÜTZE, BUTLER, BECK: „Modelling, Simulation an Control of Urban Wastewater Systems“, Springer-Verlag, London 2002
- [13] MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MUNLV): „Leitfaden zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie in NRW“, Düsseldorf 2003
- [14] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA): „Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fliegewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifikation“, Kulturbuchverlag Berlin 1998
- [15] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (DWA): „Merkblatt DWA-M 180, Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen“, Hennef 2005