

Entwicklung eines integrierten Steuer- und Regelungssystems für die energieeffiziente Abwasserableitung und –reinigung über Trennkanalisation und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem Az: 31729/01-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Autoren:

TH Köln / GECO

Dr. Tanja Haag

Wolfgang Kusch

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH

Ralf Ostermann

Uwe Ross

März 2017

Bezugsmöglichkeit des Abschlussberichts

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH
Ralf Ostermann
Wilhelmstr. 26
42697 Solingen

Telefon +49 212 22200 315
ralf.ostermann@fischer-teamplan.de

Projektbeteiligte

Dr. Tanja Haag
Wolfgang Kusch
Ralf Ostermann
Uwe Ross

10/01

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **31729/01**Referat **23**

Fördersumme

135.042 €

Antragstitel **Entwicklung eines integrierten Steuer- und Regelungssystems für die energieeffiziente Abwasserableitung und -reinigung über Trennkanalisation und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung**

Stichworte Wasser, Energie, Abwasser
Kanalisation, Kläranlage, Regenwasser, Gewässer

Laufzeit

Projektbeginn

Projektende

Projektphase(n)

18 Monate**16.03.2015****15.09.2016**

Zwischenberichte

**Bewilligungs-
empfänger**

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH

Herr Ralf Ostermann
Wilhelmstr. 26
42697 Solingen
Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH

Tel 0212/22200-315

Projektleitung
Herr Ralf Ostermann

Bearbeiter
Herr Uwe Ross

Kooperationspartner

TH Köln – Technische Hochschule Köln
Campus Gummersbach
Herr Prof. Dr. Michael Bongards
Steinmüllerallee 1
51643 Gummersbach

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Entwässerung im Stadtgebiet von Bergisch Gladbach erfolgt zum größten Teil im Trennverfahren. Durch neue Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung in Trennverfahren (seit 2004) werden eine Vielzahl von Regenklärbecken im Stadtgebiet geplant und gebaut. Je nach Verschmutzungsstufe müssen Becken heute entweder nach Regenende oder kontinuierlich in die Kläranlage entleert werden. Dies erhöht die Auslastung der Kläranlage, zusätzliche Entlastungen von Mischwasser aus dem Kanalsystem ins Gewässer können die Folge sein. Um eine erhöhte Belastung der Umwelt zu vermeiden und die steigenden Betriebskosten der Kläranlage zu optimieren, ist eine zukunftsorientierte und systemübergreifende Regelungsstrategie anzustreben. Diese Lösung könnte Vorbild für andere Städte und Gemeinden sein, die ebenfalls ein Trennsystem betreiben und in den kommenden Jahren vor einer ähnlichen Herausforderung stehen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die bautechnischen und hydraulischen Daten von Kanalnetz und Kläranlage sowie die Einzugsgebietsdaten werden für den Ist- und den Prognosezustand aufgearbeitet und für die Simulation vorbereitet. Die Simulation erfolgt nach einer Kalibrierung des Ist-Zustandes für den Prognosezustand (Weiterleitung aus den Beckenanlagen zur Kläranlage). Als Grundlage für die Modellierung/Simulation werden umfassende Messdatenkampagnen zur Aufnahme des Ist-Zustands des Gesamtsystems durchgeführt, die genauen Messstandorte und die geeigneten Messgrößen werden definiert und festgelegt. Auf Grundlage der Messungen und Modellierungen wird eine zentral gesteuerte Strategie zur Entleerung der Regenklärbecken bei optimaler Nutzung der Kläranlagenkapazität entwickelt. In der Simulationsumgebung werden erste Ergebnisse mittels unterschiedlicher Lösungswege ermittelt und analysiert.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt ☐ An der Bornau 2 ☐ 49090 Osnabrück ☐ Tel 0541/9633-0 ☐ Fax 0541/9633-190 ☐

<http://www.dbu.de>

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	3
Zusammenfassung.....	7
1 Einleitung (Motivation des Projekts).....	8
2 Simulationsmodell der Trennkanalisation	10
2.1 Modellaufbau Kanalnetz	11
2.1.1 Eingangsparameter	11
2.1.2 Kanalnetzdaten	11
2.1.3 Verwendete Software und Modellierung des Kanalnetzes	12
2.2 Modell des Regenklärbeckens	15
2.3 Regelung von RKB	16
3 Messung an einem RKB.....	19
3.1 Beschreibung der Messgeräte und des Messaufbaus	19
3.2 Ergebnisse der Messung im Normalbetrieb.....	21
3.2.1 Ermittelte Reinigungsleistung des Regenklärbeckens	23
3.3 Dauerstau.....	23
4 Modellkalibrierung.....	28
5 Simulationsergebnisse	30
5.1 Ergebnisse ohne Regelstrategie (Strategie 1)	30
5.2 Ergebnisse mit Beckenentleerung nach Regenende (Strategie 2).....	31
5.3 Ergebnisse mit geregelter Beckenentleerung (Strategie 3)	32
5.4 Schmutzfrachtsimulation	35
6 Umweltentlastungspotential	36
6.1 Stoffaustrag am Beispiel Abfiltrierbare Stoffe (AFS).....	36
6.2 Energiebedarf.....	36
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	39
7.1 Übertragbare Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete.....	39
7.2 Ausblick für weitere Forschungsaktivitäten (Folgeprojekt)	39
Literaturverzeichnis.....	40
Anlagen.....	41

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersichtskarte von Bergisch Gladbach mit eingezeichneten Kanalnetzen [Fischer14].....	10
Abb. 2: Fließschema des Kanalnetzes der Stadt Bergisch Gladbach im Simba#-Modell.....	12
Abb. 3: QGIS-Darstellung im Detail (starker Zoom)	13
Abb. 4: QGIS-Darstellung mit allen modelltechnisch untersuchten RKB	14
Abb. 5: Ausschnitt aus dem Schmutzwasserkanalnetz im Simba#-Modell.....	15
Abb. 6: RKB mit Regler „Leerpumpen nach Regenende“ in Simba# (Übersicht)	15
Abb. 7: Reglerentwurf	17
Abb. 8: Reglerumsetzung in Simba# (Übersicht).....	17
Abb. 9: Regler-Umsetzung in Simba# (Detail)	18
Abb. 10: Spectrolyser im Zulauf	19
Abb. 11: Spectrolyser im Ablauf hinter der Drossel (siehe Rohröffnung linke Seite)	20
Abb. 12: Datenlogger für diverse RKB Werte sowie Messumformer der Spectrolyser	20
Abb. 13: Volumenstrommessung im Zulauf.....	21
Abb. 14: Messumformer Volumenstrommessung im Schacht	21
Abb. 15: AFS Ströme im Vergleich.....	22
Abb. 16: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 22.12.16 ab 06.56 Uhr: Niederschlag 16 m ³ (AFS: 173 mg/l), geklärt 16 m ³ (AFS: 228 mg/l).....	24
Abb. 17: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 22.12.16 ab 07.30 Uhr: Niederschlag 1.206 m ³ (AFS: 181 mg/l), geklärt 1.206 m ³ (AFS: 221 mg/l)	24
Abb. 18: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 24.12.16 ab 05.02 Uhr: Niederschlag 284 m ³ (AFS: 244 mg/l), geklärt 284 m ³ (AFS: 237 mg/l).....	25
Abb. 19: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 26.12.16 ab 11.58 Uhr: Niederschlag 326 m ³ (AFS: 215 mg/l), geklärt 326 m ³ (AFS: 223 mg/l).....	25
Abb. 20: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 04.01.17 ab 08.23 Uhr: Niederschlag 9 m ³ (AFS: 294 mg/l), geklärt 9 m ³ (AFS: 400 mg/l).....	26
Abb. 21: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 10.01.17 ab 02.55 Uhr: Niederschlag 1.370 m ³ (AFS: 838 mg/l), geklärt 1.370 m ³ (AFS: 650 mg/l)	26
Abb. 22: Messdaten Zufluss und der Abfluss der Kläranlage sowie maximaler Zufluss	28
Abb. 23: Simulation des Schmutzwassers und Regenwasserzulauf im Mischwasserkanal	29
Abb. 25: Simulation des Schmutzwassers sowie des Regenwasserzulaufs im Mischwasserkanal und weiterer 15 ha Regeneinfluss im Schmutzwassernetz.....	29
Abb. 25: Zulauf zur Kläranlage ohne Regelung	30
Abb. 26: Füllstand Haltung Rodemich 1 ohne Regelung	31
Abb. 27: Füllstand des RKB Kieppemühle ohne Regelung der Pumpen.....	31
Abb. 28: Zulauf zur Kläranlage Beckenentleerung nach Regenende	31
Abb. 29: Füllstand Haltung Rodemich 1 Beckenentleerung nach Regenende	32
Abb. 30: Füllstand des RKB Kieppemühle Beckenentleerung nach Regenende	32
Abb. 31: Zulauf der Kläranlage mit Regelung der RKB-Pumpen	33
Abb. 32: Zulauf der Kläranlage, Vergleich der Regelstrategien bei einem 10-jährlichen Regenereignis	33

Abb. 33: Füllstand Haltung Rodemich1, Vergleich der Regelstrategien bei einem 10-jährlichen Regenereignis	34
Abb. 34: RKB Kieppemühle: Vergleich der Regelstrategien anhand des Füllstandes	34
Abb. 35: RKB Am Eichenkamp: Vergleich der Regelstrategien anhand des Füllstandes.....	35
Abb. 36: Schmutzfrachtsimulation, Menge der Schmutzfracht an der Kläranlage	35
Abb. 37: Pumpvolumina der verschiedenen Pumpstrategien	36
Abb. 38: Volumen – Ableitung über den Klärüberlauf	37
Abb. 39: Abschlagsvolumen – Entlastung Beckenüberlauf	37
Abb. 40: Energieverbrauch der RKB-Pumpe im Vergleich der Regelstrategien	38
Abb. 41: Energieeinsparungspotential der Regelstrategien im Vergleich zum Dauerpumpen	38

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Regenereignisse bei Normalbetrieb des RKB	22
Tab. 2: Regenereignisse im Dauerstau	23

Nomenklatur

AFS	abfiltrierbare Stoffe
TSS	total suspended solids
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
COD	chemical oxygen demand
DIFW	diffusive wave approximation
m ³	Kubikmeter
l/s	Liter pro Sekunde
mg/l	Milligramm pro Liter

Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt geht es darum, dass die Auswirkungen der Regenklärbecken (RKB) auf die bestehende Abwasserinfrastruktur hin untersucht werden. Die RKB dienen zur Reinigung von belastetem Regenwasser. Es werden sich absetzende abfiltrierbare Stoffe (AFS) in RKB untersucht. Das anfallende Schmutzwasser wird über das Schmutzwassernetz zur Kläranlage geführt. Bei einem flächendeckenden Einsatz von RKB im Trennkansystem werden der Schmutzwasserkanal und die Kläranlage zusätzlich belastet. Um diese Belastung gering zu halten, muss eine Strategie entwickelt werden, die die Funktionalität der RKB nicht beeinträchtigt, aber auf der anderen Seite die bestehende Infrastruktur (Kanal, Kläranlage, Gewässer) entlastet.

Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen, Modellanwendungen mit Zielangabe

Zuerst ist eine Messung und Untersuchung eines RKB auf seine Wirksamkeit nötig. Ziel ist es, die Menge von AFS vor und nach der Reinigung zu erfassen und für das Simulationsmodell entsprechend aufzubereiten. Die Messreihen erfolgten mit temporär aufgebauten Spectrolysern sowie einer Kanalmaus, die den Zufluss-Volumenstrom misst. Außerdem wurden sämtliche fest verbaute Sensoren erfasst, die die diversen Zustände des RKB erfassen. Es erfolgten Messreihen im Normalbetrieb und im Dauerstau. Ziel hierbei ist die Untersuchung, ob es tatsächlich eine Rolle spielt, wie lange das Wasser im RKB verbleibt (dauerhafte Entleerung oder Entleerung nach Regenende).

Das Schmutz- und Mischwasserkanalnetz der Stadt Bergisch Gladbach ist simulationstechnisch erfasst worden. Hierfür erfolgte eine Datenanalyse zur Abbildung des Kanalnetz-Istzustandes. Hierunter fallen die typischen Schmutzwassermengen, sowie Regenmessdatenauswertung der Messstandorte im Stadtgebiet. Durch die simulationstechnische Modellierung der RKB kann der Nachweis erbracht werden, wie sich die Belastung des Kanalnetzes und der Kläranlage beim aktuellen Stand der Technik (dauerhafte Entleerung) und bei einer geregelten Beckenentleerung darstellt. Das Ziel ist die Entlastung von Schmutzwasserkanal und Kläranlage. Zuletzt erfolgt eine Schmutzfrachtanalyse mit dem Ziel, eine vergleichende Auswertung zur Belastung der Kläranlage mit AFS aufzuzeigen.

Erzielte Ergebnisse

Die Messreihen ergaben, dass es so gut wie keine Rolle spielt, ob das RKB im Dauerstau betrieben wird (RKBmD) oder nach Regenende entleert. Für das Simulationsmodell wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen.

Die Simulation zeigt, dass es beim ständigen Abpumpen der RKB bei mehr als 10-jährlichen Regenereignissen zu Überlastungen im Kanalnetz und in der Kläranlage kommen wird, Gründe liegen hier aber auch in einem niederschlagsbedingten Fremdwasseraufkommen. Bei einem Abpumpen der RKB nach Regenende kommt es damit nur bei einer hohen Vorbelastung der Kläranlage zu einer Mehrbelastung, die in Einzelfällen zu einer Überlastung führt. Die Lösung ist eine geregelte Entleerung der RKB („RKB-Regler“), die zu spürbarer Entlastung von Schmutzwasserkanal und Kläranlage führt. Die zusätzliche Schmutzfracht aus einer geregelten Entleerung der RKB belastet die Kläranlage nicht, da die zusätzlich anfallenden Mengen zur Gesamtschmutzfrachtmenge vernachlässigbar sind.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die Simulationsergebnisse mit dem RKB-Regler sind im realen Praxistest zu verifizieren. Hierfür sollte an dem untersuchten RKB dieser Regler eingebaut und über einen längeren Zeitraum getestet werden, um die positiven Auswirkungen auf den gesamten Betrieb zu bestätigen.

Kooperationspartner

Die Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH hat dieses Projekt gemeinsam mit der Technischen Hochschule Köln, Campus Gummersbach, Arbeitsgruppe GECO C, durchgeführt. Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 31729/01-23.

1 Einleitung (Motivation des Projekts)

Die Entwässerung im Stadtgebiet von Bergisch Gladbach erfolgt zum größten Teil im Trennverfahren, Schmutz- und Regenwasser werden getrennt abgeleitet. Die Stadt besitzt ca. 270 Regenwassereinleitstellen in die Gewässer. Diese Gewässer sind relativ klein, so dass sie ökologisch empfindlich gegenüber den Einleitungen sind.

Mit dem "Trennerlass¹" von 2004 werden hohe Anforderungen an die Einleitung von Regenwasser gestellt. Dementsprechend ist eine Vielzahl von RKB im Stadtgebiet erforderlich, um einen ausreichenden Gewässerschutz zu gewährleisten. Je nach Verschmutzungsstufe müssen Becken heute entweder nach Regenende oder kontinuierlich in die Kläranlage entleert werden, was meist über Entleerungspumpen erfolgt.

Im Rahmen eines Niederschlagswasserkonzeptes für das Stadtgebiet von Bergisch Gladbach wurde die grundsätzliche Fragestellung auf Grundlage des „Trennerlasses“ und des NRW-Projektes „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung im Trennsystem - Umsetzung des Trennerlasses“ [MKULNV] erarbeitet. Dabei wurde auch bereits eine Abwägung zwischen dezentraler, semizentraler und zentraler Regenwasserbehandlung unterschieden.

Durch die hohe Anzahl von RKB wird die Kläranlage zukünftig deutlich stärker als früher belastet. Unter zusätzlicher Berücksichtigung eines kaum vermeidbaren Fremdwasserzuflusses kann je nach aktueller Wittersituation die Kläranlage hydraulisch ihre Bemessungsgrenze erreichen, so dass das aus dem RKB in die Kanalisation abgeleitete klärflichtige Regenwasser – nun vermischt mit Schmutzwasser – am Zulauf der Kläranlage wieder in das aufnehmende Gewässer entlastet. Damit wird die Gewässerbelastung durch die RKB-Zuleitung erhöht statt verringert. Darüber hinaus verursacht eine stetige Weiterleitung aus den RKB hohe Betriebskosten auf der Kläranlage aufgrund der deutlich erhöhten Gesamtzulaufmengen.

Erste RKB im Stadtgebiet leiten bereits einen definierten Teil des Regenwassers in den Abwasserkanal und damit zur Kläranlage. Im Laufe der kommenden Jahrzehnte werden kontinuierlich weitere Becken gemäß „Trennerlass“ ausgerüstet, so dass ohne entsprechende Entleerungsstrategie sowohl deutlich erhöhte Betriebskosten als auch Kapazitätsprobleme zu erwarten sind.

Der verstärkte Bau von RKB ohne Dauerstau, mit Einführung des Trennerlasses 2004, bringt zwei Probleme mit sich:

1. Ein nicht unerheblicher Teil des Regenwassers wird zur Kläranlage abgeleitet. Diese muss die erhöhten Zulaufmengen ggf. über einen längeren Zeitraum aufnehmen können. Besonders kritisch ist dies bei Becken mit ständiger Entleerung sowie bei einer Vielzahl vorhandener und/oder geplanter Becken, wie dies in Bergisch Gladbach aufgrund der hohen Anzahl von Niederschlagswassereinleitungen der Fall ist.
2. In fremdwasserbehafteten Einzugsgebieten wird – auch im Zusammenhang mit einer entsprechenden Fremdwassersanierung – der Regenwasserkanal vielfach gezielt als Vorflut für das Fremdwasser genutzt. Ist bzw. wird vor der Einleitung eines solchen Gebietes ein RKB ohne Dauerstau angeordnet, läuft dieses mit Fremdwasser voll, so dass sowohl die Betriebsweise des Beckens gestört als auch das Fremdwasser ganz oder teilweise über den Umweg der Entleerung wieder der Kläranlage zugeführt wird.

Steuerungskonzepte für Mischsysteme wurden bereits in verschiedenen größeren Städten umgesetzt. Hauptziel ist dabei meist die optimale Ausnutzung des vorhandenen Behandlungsvolumens und damit verbunden die Reduzierung der Mischwasserentlastung in die Vorfluter. Dies trifft auch zu auf die durch die Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH realisierten Steuerungskonzepte, u. a. für die Stadt Koblenz und die Stadt Kaarst.

¹ Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - IV-9 031 001 2104 – v. 26.05.2004

In dem durch die FH Köln realisierten Steuerungskonzept in Emmerich steht die Optimierung des Kläranlagenbetriebs im Vordergrund. Bei dem ebenfalls durch die FH Köln realisierten Projekt KANNST – „Entwicklung einer integrierten Steuer- und Regelungsstrategie für Kanalnetz und Kläranlage“ – für die durch den Aggerverband betriebene Kläranlage Homburg-Bröl wird eine Reduzierung des Stoffeintrags als Optimierung der Gesamtbetrachtung aus Mischwasserbehandlung und Kläranlage umgesetzt. Dieses Projekt wurde durch das damalige MUNLV finanziert und unterstützt.

Übergreifende Steuerungskonzepte für RKB sind bisher nicht bekannt. Vorhandene Steuerungen beschränken sich entweder auf die Einzelanlage (siehe z. B. Steuerung des RRKB Siebengebirgsallee in Troisdorf in der Planung der Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH) oder einfache gestaffelte Entleerungen (siehe z. B. durch die Pecher AG geplante Entleerung der RKB in Eitorf). Patente/Schutzrechte sind in diesem Zusammenhang nicht bekannt.

Die Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH verfügt über die planerische Kompetenz zur Optimierung der Niederschlagswasserbehandlung und kann diesbezügliche Ergebnisse über einen breiten Kundenstamm verifizieren. Die TH Köln verfügt über einen reichhaltigen Erfahrungsschatz in der Entwicklung angepasster Steuerungen auch im siedlungswasserwirtschaftlichen Bereich. Als Beispiel seien hier die Umsetzung der Steuerung in Emmerich und Homburg-Bröl benannt.

Mit einer Optimierung des Betriebes von Regenbecken und Kläranlage kann der Stoffeintrag in die Gewässer minimiert werden. Dies ist unabhängig von den gesetzlichen Vorgaben zu sehen, da diese als rein emissionsorientierte Mindestanforderungen eine solche Optimierung nicht einfordern. Insofern wird mit der Umsetzung einer solchen Steuerung ein Schutz der Gewässer über diese gesetzlichen Vorgaben und auch über die bisherige Praxis hinaus vorgesehen. Dies wurde in dieser Form auch konzeptionell bisher nicht realisiert.

Durch neue Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung in Trennverfahren (seit 2004) werden eine Vielzahl von RKB geplant und gebaut. Je nach Verschmutzungsstufe müssen Becken heute entweder nach Regenende oder kontinuierlich in die Kläranlage entleert werden. Dies erhöht die Auslastung der Kläranlage, zusätzliche Entlastungen von Mischwasser aus dem Kanalsystem ins Gewässer können die Folge sein. Um eine erhöhte Belastung der Umwelt zu vermeiden und die steigenden Betriebskosten der Kläranlage zu optimieren, ist eine zukunftsorientierte und systemübergreifende Regelungsstrategie anzustreben. Solch eine Lösung könnte Vorbild für andere Städte und Gemeinden sein, die ebenfalls ein Trennsystem betreiben und in den kommenden Jahren vor einer ähnlichen Herausforderung stehen.

Ähnlich wie im Projekt KANNST werden für dieses Vorhaben Reduzierungen von Entlastungen ins Gewässer erwartet mit dem Ziel zu einem aktiven Gewässerschutz beizutragen. Darüber hinaus ist ein stabiler und effektiver Betrieb der Kläranlage und der RKB anzustreben. Die zu entwickelnde Lösung muss robust, flexibel und einfach erweiterbar sein, um praktischen Nutzen zu erzielen und Vorbild auch für andere Städte oder Gemeinden zu sein.

Einsparungen bei den hydraulischen und frachtbezogenen Belastungen für das Gewässer von 20 - 30 % sind auf Basis vorangegangener Erfahrungswerte möglich.

Zur Erreichung der Ziele sind unterschiedliche Aufgabenstellungen zu bearbeiten. Zuerst wird ein Projekt- und Versuchsplan für eine Messdatenkampagne ausgearbeitet. Die Messdaten sind Grundlage für die Auswertung der Belastung im Kanal sowie für die Validierung der geplanten Simulation.

Außerdem ist es notwendig, alle relevanten Daten für die Modellerstellung in der Simulationsumgebung zu erfassen. Dazu gehören Informationen über das Einzugsgebiet, bauliche Kenndaten des Kanalnetzes, Sonderbauwerke sowie Bemessungsdaten der Kläranlage. Zeitgleich finden der Aufbau, die Installation und Erfassung der Messdaten statt, die für die Optimierung der Simulation benötigten werden.

Zur Erprobung der zu entwickelnden Regelungsstrategie wird ein Simulationsmodell des Kanalnetzes in Verbindung mit der Kläranlage eingesetzt. Dieses Modell wird parallel zur Datenerfassung erstellt und endet mit der zu entwickelnden Regelungsstrategie.

Die zentral gesteuerte Strategie für eine Regelung der Entleerung der RKB, bei optimaler Nutzung der Kläranlagenkapazität ist in einem weiteren Arbeitsschritt zu erarbeiten und in der Simulationsumgebung zu testen und zu optimieren.

2 Simulationsmodell der Trennkanalisation

Ein Simulationsprogramm kann die Realität nur in einem Modell abbilden. Aus diesem Grund ist es nötig, ein möglichst realistisches Modell zu entwickeln. Die Simulation gibt gute Anhaltspunkte über den Ist-Zustand und über mögliche Modellvarianten wider. Im vorliegenden Fall werden die Auswirkungen der RKB auf das Schmutzwassernetz und die Kläranlage unter der Berücksichtigung von Vereinfachungen untersucht. In den folgenden Unterkapiteln werden die Modellparameter und der Modellaufbau beschrieben. In Kapitel 4 erfolgt dann die Ergebnisauswertung der durchgeführten Simulationen.

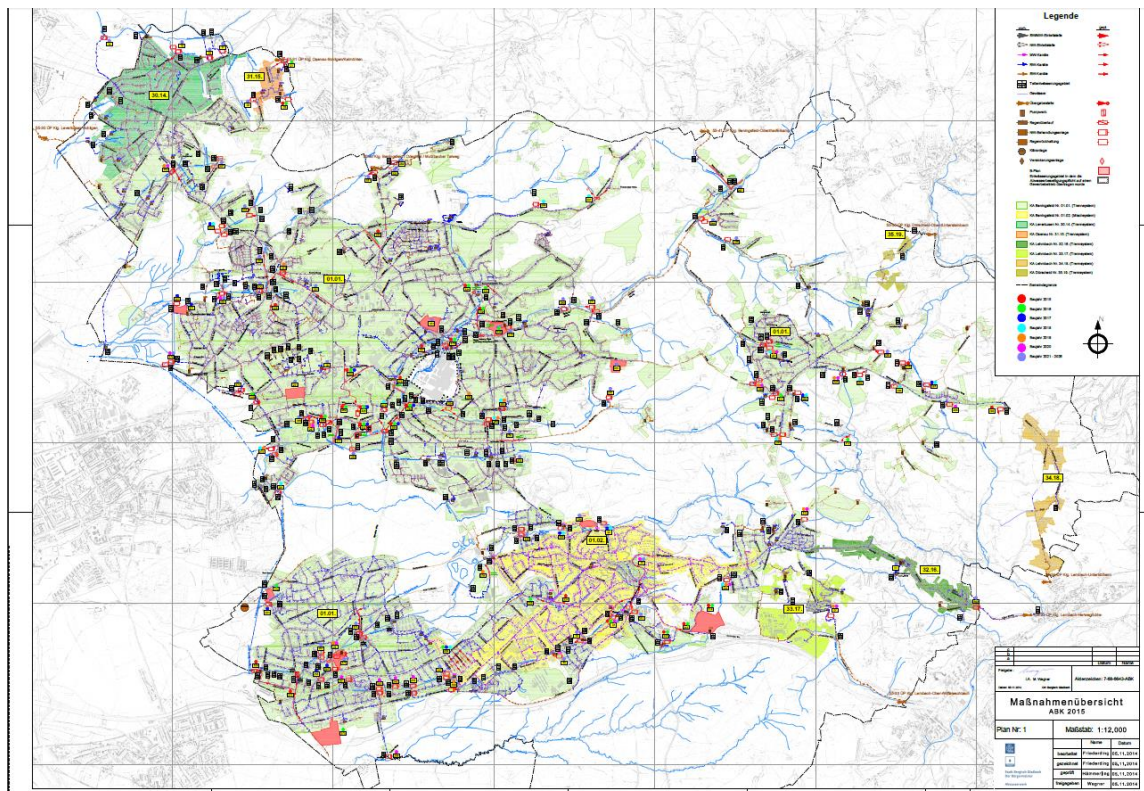


Abb. 1: Übersichtskarte von Bergisch Gladbach mit eingezeichneten Kanalnetzen [Fischer14]

Wie in Abb. 1 zu erkennen ist, sind die einzelnen Ortsteile (Bebauung) der Stadt Bergisch Gladbach stark zergliedert (die Abbildung ist in der Anlage nochmals größer dargestellt). Der gelb unterlegte Bereich zeigt das Einzugsgebiet des Mischwassersystems, der mintgrüne Bereich entspricht dem Trennsystem, beide sind an die Kläranlage Beningsfeld angeschlossen. Die dunkelgrünen sowie die hellgrünen Bereiche zeigen die Gebiete auf, bei denen das Abwasser nicht auf dem Gebiet der Stadt Bergisch Gladbach geklärt wird. Diese drei Bereiche werden bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

2.1 Modellaufbau Kanalnetz

Das Kanalnetz der Stadt Bergisch Gladbach ist zum größten Teil an die Kläranlage Beningsfeld (im Stadtteil Refrath) angeschlossen. Kleinere Teile des Kanalnetzes, die an der Grenze des Stadtgebietes liegen, leiten das Abwasser in andere Gemeinden ab. Es handelt sich um die Ortsteile Obereschbach, Mitteleschbach, Steinacker, Herweg, Ehrenfeld, Kalmünten und einen Teil von Schildgen. Diese Teile des Kanalnetzes werden für den Modellaufbau nicht betrachtet. Um die zusätzliche Belastung der Kläranlage und des Schmutzwassernetzes durch die hohe Anzahl von RKB, die auf dem Gebiet der Stadt Bergisch Gladbach zu errichten sind, zu zeigen, werden diese ab einer Größe von 50 m³ berücksichtigt. Unter 50 m³ macht eine Regelung der RKB keinen Sinn [Haag08], zudem ist hier zu erwarten, dass die Regenwasserbehandlung mit dezentralen Maßnahmen erfolgt. Hierdurch begrenzt sich die Anzahl der RKB, die im Prognosezustand in das Simulationsmodell einfließen auf 25. Von diesen 25 RKB sind zurzeit 11 bereits gebaut und in Betrieb. Im Modell werden dagegen alle 25 relevanten Becken berücksichtigt.

2.1.1 Eingangsparameter

Die Eingangsparameter werden von den zu berechnenden Werten bestimmt und sind in diesem Fall von der Simulationssoftware vorgegeben. Im hier vorliegenden Fall werden folgende Daten benötigt:

1. Aufteilung der Kanalnetzdaten in
 - a. Regenwassernetz
 - b. Schmutzwassernetz
 - c. Mischsystem
2. Haltungslängen
3. Rohrprofil
4. Rohrdurchmesser
5. Gefälle jeder Haltung
6. Maximal zulässiger Zufluss zur Kläranlage
7. Auf das Kanalnetzgebiet verteilte Schmutzwassermengen
8. Angeschlossene Fläche an das Misch- und Trennsystem und Gesamtfläche des Einzugsgebietes
 - a. Im Mischsystem (relevant für die Belastung der Kläranlage bei Regen)
 - b. Im Trennsystem (relevant für die RKB)
9. Anzahl der RKB/Regenüberlaufbecken
10. Größe der RKB/Regenüberlaufbecken
11. Behandlungszufluss zum RKB (Q_{krit})
12. Pumpmenge [Q_d] der RKB/Regenüberlaufmenge

Durch die große Anzahl an Eingangsparametern ist eine genaue Analyse der Daten nötig. Die Daten sind entsprechend der Vorgaben der Simulationssoftware aufzubereiten.

2.1.2 Kanalnetzdaten

Neben den detaillierten Netzplänen liegt für das Einzugsgebiet der Kläranlage Beningsfeld ein Fließschema vor (siehe Abbildung als Anlage). Das Fließschema dient im Zusammenhang mit den Einzugsgebietsplänen und den Netzplänen der Aufstellung des Simulationsmodells.

Die Kanalnetzdaten für das Stadtgebiet werden als Kanalnetzdatenbank und als GIS-Daten zur Verfügung gestellt. Zur Übernahme in das Softwareprodukt Simba# [Ifak14] werden diese zuvor im GIS visualisiert und auf den Anwendungsfall bezogen aufbereitet.

2.1.3 Verwendete Software und Modellierung des Kanalnetzes

Zur Simulation von Kanalnetz, Sonderbauwerken und Kläranlage wurde das Softwareprodukt Simba# [Ifak14] eingesetzt. Das Programm erlaubt eine zeitgleiche und interaktive Hydraulik- und Schmutzfrachtberechnung der genannten Komponenten.

Im ersten Schritt ist für das Kanalnetzmodell die Bereitstellung der Daten für Simba# nötig. Ohne maßgeblichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse erfolgt eine Vereinfachung des berücksichtigten Kanalnetzes. Diese Vereinfachung sieht vor, dass das Mischwassersystem sowie das Schmutzwassernetz des Trennsystems unterhalb der untersuchten RKB detailliert erfasst werden. Für die Teile des Schmutzwassernetzes, welche oberhalb der Einleitstellen der RKB liegen, werden entsprechende Schmutzwassermengen benötigt, die als Einzugsgebiete definiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass das Regenwassernetz hydraulisch nach dem aktuellen Stand der Technik ausgelegt ist. Deshalb wird es in der Simulation nur als Einzugsgebiet für die jeweiligen RKB definiert. Somit werden keine Regenwasserkanalhaltungen für das Modell implementiert und auf ihre Hydraulik hin untersucht. Um die Anzahl der Haltungen des Misch- und Schmutzwassernetzes zu begrenzen und damit die Übersichtlichkeit des Kanalnetzmodells zu erhalten, wird nicht jede einzelne Haltung des untersuchten Schmutz- und Mischwassernetzes betrachtet. Das Mischwassernetz wird nur deswegen implementiert, weil es bei Regenereignissen die Kläranlage zusätzlich durch das anfallende Regenwasser belastet, und im oberen Teil von einem Trennkansalsystem gespeist wird und dort ein RKB sein belastetes Regenwasser einleitet.

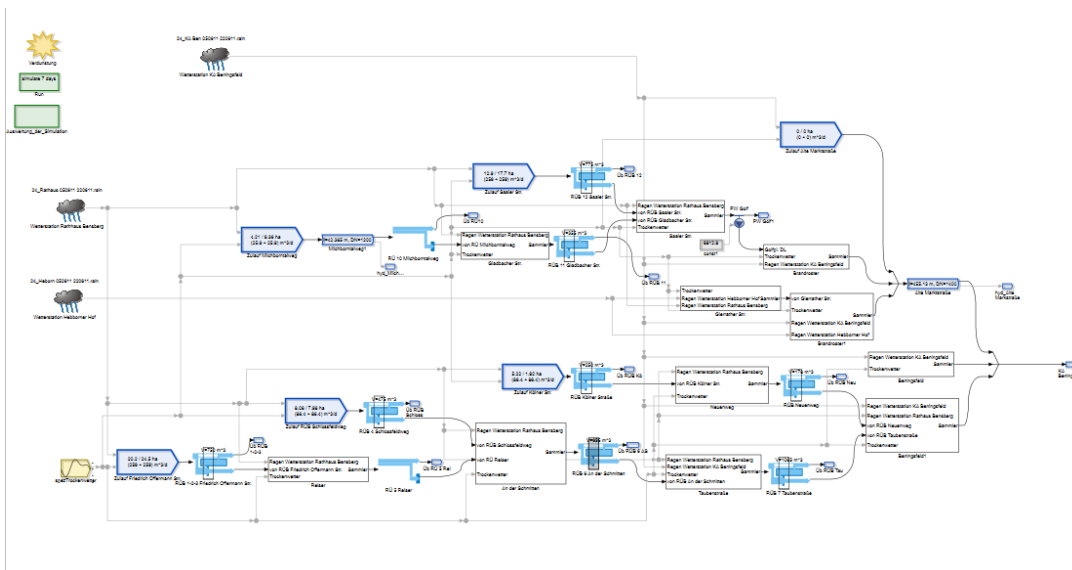


Abb. 2: Fließschema des Kanalnetzes der Stadt Bergisch Gladbach im Simba#-Modell

In Abb. 3 ist das Kanalnetz von Bergisch Gladbach in der Übersicht als Simba#-Modell zu sehen (die Abbildung ist in der Anlage nochmals größer dargestellt). Dargestellt sind die Regenüberlaufbecken (RÜB) des Mischwassersystems. Die rechteckigen Kästen stellen Untersysteme dar, die die Übersichtlichkeit des Modells deutlich erhöhen. In diesen Untersystemen sind alle betrachteten RKB, sowie die zu untersuchenden Haltungen des Kanalnetzes implementiert. Die pfeilförmigen Kästen stellen die Einzugsgebiete am Anfang des Mischwassernetzes dar. Die rechteckigen blauen mittelgroßen Kästen stellen Haltungen dar. Auf der linken Seite sind die 3 „Messstationen“, die die Regendaten einspeisen, als Regenwolken dargestellt. Der „gelbe Pfeil“ erzeugt ein typisches Schmutzwasserprofil über 24 Stunden. In dem Untersystem Reiser, welches sich unten links befindet, befindet sich das RKB, das einen Teil des Mischwassersystems belastet. Hier muss bei der Simulation darauf geachtet werden, dass es durch das Abpumpen des belasteten Wassers aus diesem RKB nicht zu einer Entlastung der RÜB weiter unterhalb kommt und dadurch wiederum Schmutzfracht in ein Fließgewässer

eingebracht wird. Bei den Haltungen, die im Simba#-Modell implementiert sind, handelt es sich um Ersatzhaltungen. Unter Ersatzhaltungen versteht man zusammengefasste Haltungen des Originalkanalnetzes.

Wie bereits oben geschrieben dienen diese Ersatzhaltungen der Übersichtlichkeit und auch der Vereinfachung des Modells. Für die Ersatzhaltungen müssen die Originalhaltungen entsprechend klassifiziert werden. Alle Haltungen, die den gleichen Querschnitt haben und in der Realität miteinander in Verbindungen stehen, ergeben eine Ersatzhaltung. Es sind somit die jeweiligen Längen für alle Ersatzhaltungen und das sich ergebende Gefälle für jede Ersatzhaltung zu bestimmen. Hierfür wird die Software QGIS [QGIS15] und Microsoft EXCEL verwendet. Mit QGIS werden die original Kanalhaltungen visualisiert und selektiert (s. Abb. 3).

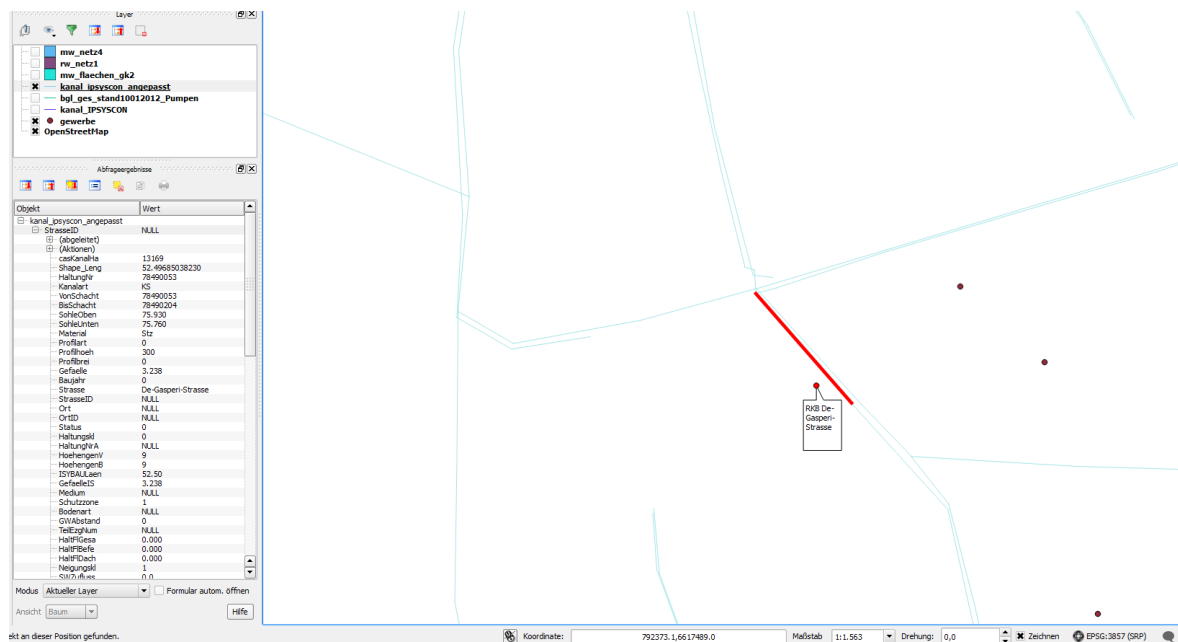


Abb. 3: QGIS-Darstellung im Detail (starker Zoom)

In Abb. 5 wird die gesamte Übersicht des untersuchten Kanalnetzgebietes gezeigt (die Abbildung ist in der Anlage nochmals größer dargestellt). Hier sind alle Standorte der RKB sowie der Wetterstationen auf dem Stadtgebiet von Bergisch Gladbach aufgezeigt:

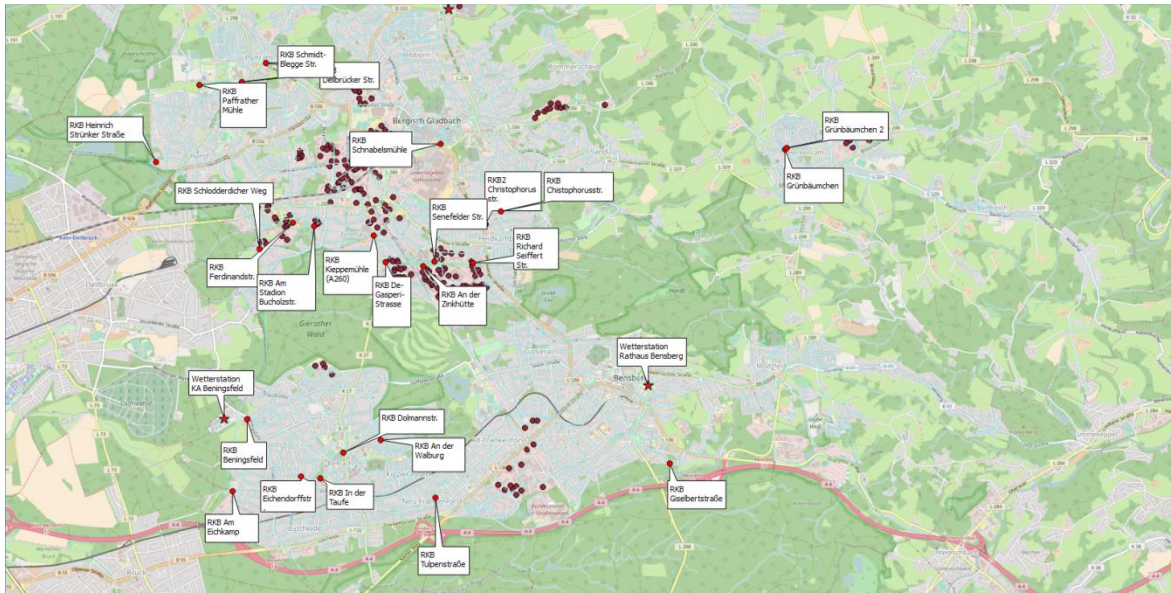


Abb. 4: QGIS-Darstellung mit allen modelltechnisch untersuchten RKB

Selektierte Haltungen werden zur weiteren Bearbeitung nach EXCEL übertragen. Mit EXCEL werden die Ersatzhaltungen berechnet. Dort werden zum einen die Länge der Ersatzhaltung und zum anderen das gewichtete Gefälle für die Ersatzhaltungen ermittelt. Bei dem gewichteten Gefälle handelt es sich um einen gewichteten Mittelwert aller Gefälle, die bei den originalen Haltungen vorkommen. Die Haltung mit der größten Länge hat dadurch den größten Einfluss auf das Gefälle der Ersatzhaltung. Durch die Gegebenheiten des Kanalnetzes ergibt sich dadurch ein modelltechnisch ausreichend realistisches Modell. Diese Vereinfachung ist die realistischere Lösung, als wenn man das höchste Gefälle annimmt. Bei Annahme des höchsten Gefälles funktioniert die hydraulische Berechnung des Kanalnetzmodells nicht, weil dadurch das Gesamtgefälle des ganzen Kanalnetzes zu hoch wird und somit die Verweilzeit des Wassers im Kanalnetz zu gering wird. Beim gewichteten Gefälle entspricht die Verweilzeit des Wassers von der Einleitstelle bis zur Kläranlage in etwa der realen Verweilzeit. Die Berechnung der Hydraulik in den einzelnen Ersatzhaltungen erfolgt im teilgefüllten Rohr nach der Methode der „DIFW“ (diffusive wave approximation) [FanLi05]. Bei negativem Gefälle, z.B. bei Bremsstrecken oder auch bei Druckleitungen, muss mit einem vollgefüllten Rohr (full pipe) und nicht nach der DIFW-Methode gerechnet werden. Dies hat den Grund, dass es sonst zu einem Rückstau, der nicht realistisch ist, kommt und somit das Simulationsergebnis nicht korrekt wäre. Bei der Fullpipe-Simulation wird die Zuflusswassermenge einer Haltung am anderen Ende nahezu zeitgleich wieder an die nächste Haltung abgegeben.

In Abb. 6 ist ein Untersystem im Simba#-Modell zu sehen, welches auch RKB-Untersysteme zeigt. Es wird somit ein Ausschnitt aus dem Trennkanalsystem gezeigt. Die abgebildeten Haltungen zeigen somit das Schmutzwassernetz. Es sind gut die Einzugsgebiete erkennbar. Wegen der Fremdwasserproblematik für die Kläranlage Beningsfeld sind dort Flächen definiert, um das regenabhängige Fremdwasser simulieren zu können. Beim Schmutzwasserprofil wird grundsätzlich ein Fremdwasseranteil von 50 % angenommen. Dieses wird näher im Kapitel 4 erläutert.

Abb. 6 zeigt exemplarisch einen Auszug aus dem Simba#-Modell mit einem Teilnetz des Trennsystems (die Abbildung ist in der Anlage nochmals größer dargestellt). Zudem wurde das niederschlagsbedingte Fremdwasser über zusätzliche Einzugsgebiete abgebildet.

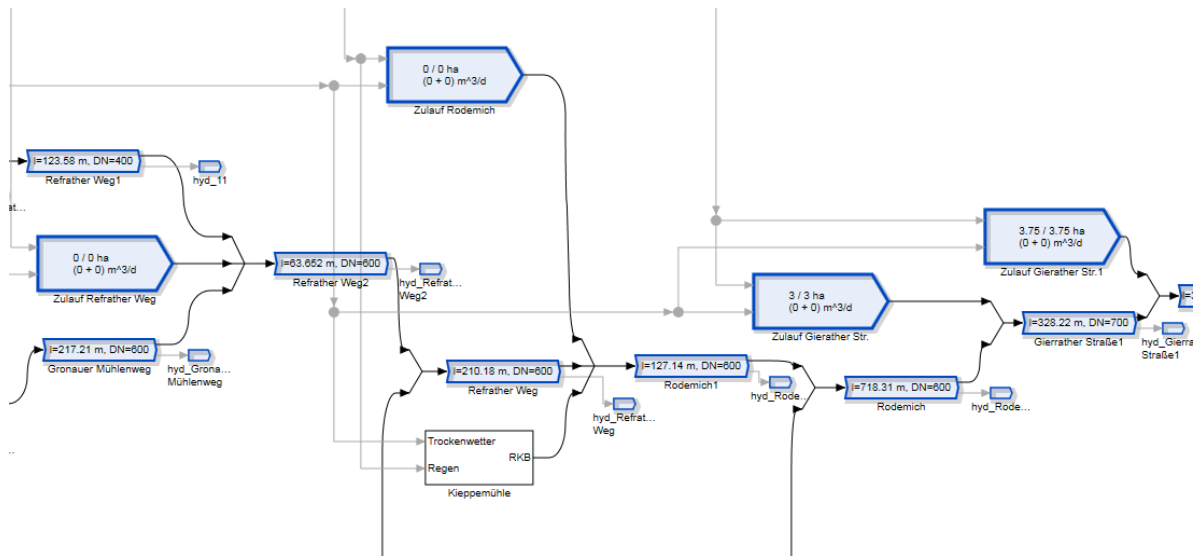


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Schmutzwasserkanalnetz im Simba#-Modell

2.2 Modell des Regenklärbeckens

Das Modell des Regenklärbeckens ist unterschiedlich aufgebaut je nachdem, welche Regelstrategie die RKB fahren. Die Grundstruktur ist hingegen bei fast allen RKB gleich. Nach der Beckenpassage wird das gereinigte Regenwasser über den Klärüberlauf in das Gewässer abgeleitet. Das eingestaute Wasser füllt zudem ein Spülwasserbecken, welches das Wasser für die automatische Reinigung des RKB vorhält. Die Reinigungseinrichtung ist meistens als Spülkippe ausgeführt. Entweder drosselt der Regenklärschlitz am Klärüberlauf die gereinigte Regenwassermenge (Q_{krit}) oder es ist eine regelbare Drossel im Abfluss des Spülwasserbeckens installiert, die dann die Abflussmenge auf maximal Q_{krit} begrenzt. Um das RKB entleeren zu können, wird eine Pumpe benötigt, die den Inhalt des RKB in den Schmutzwasserkanal befördert. Für starke Regenfälle besitzt jedes RKB einen vorgeschalteten Beckenüberlauf.

In Simba# werden Beckenanlagen - und damit auch RKB - aus verschiedenen Modellbausteinen abgebildet. Das Modell eines RKB besteht aus folgenden Bausteinen:

- Beckenvolumen bis Klärüberlauf (Modellbaustein Simba#: Absatzbecken mit Pumpenentleerung, NKS3)
- Beckenvolumen zwischen Klärüberlauf und Beckenüberlauf (Modellbaustein Simba#: Tank)
- Volumenstrommessung im Zulauf (Modellbaustein Simba#: Messung)
- Volumenstrommessung im Zulauf (Modellbaustein Simba#: Messung)
- Regellogik (Modellbaustein Simba# diverse Logikbausteine)

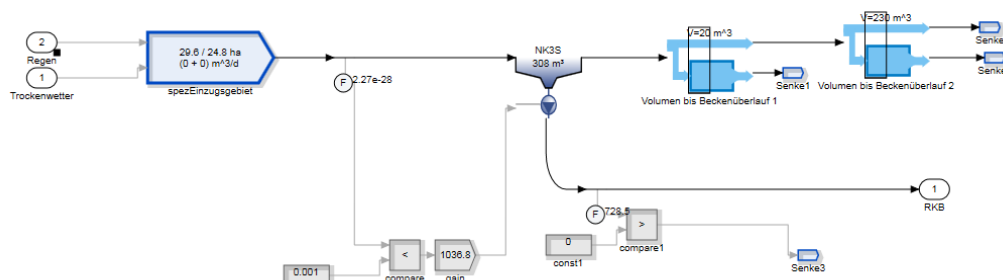


Abb. 6: RKB mit Regler „Leerpumpen nach Regenende“ in Simba# (Übersicht)

2.3 Regelung von RKB

Eine zeitgleiche Entleerung von RKB kann zu einer Überlastung von dem nachfolgenden Schmutzwassernetz, von Sonderbauwerken und Kläranlage führen. Mit der Anzahl der RKB in einem Einzugsgebiet steigt die Gefahr der Überlastung entsprechend. Grundsätzlich wäre die Erweiterung bzw. der Neubau der Entwässerungskomponenten eine Möglichkeit die Überlastung zu vermeiden, was jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden ist.

Zur Vermeidung dieser Überlastungszustände bzw. der Investitionskosten kann zukünftig eine intelligente Regelung der Beckenentleerung erfolgen.

Der Regler muss die Eigenschaft haben, dass er bei Bedarf die Pumpen der RKB einzeln abschaltet oder ggf. zuschaltet. Im Modell erhält deshalb jedes RKB seinen eigenen Regler. Dieser Regler greift auf die Ist-Werte der Zuflussmessung der Kläranlage zu. Der Regler ist im Modell wie in Abb. 8 umgesetzt worden. Der Regler hat zwei Zustände. In einem Zustand ist die Pumpe des RKB eingeschaltet, im anderen ausgeschaltet. Zudem gibt es zwei Regelkreise. Der äußere Regelkreis beschreibt den Normalbetrieb. Die Pumpe wird eingeschaltet, wenn es nicht regnet und das 24-Stundenmittel im Zufluss der Kläranlage nicht überschritten wird. Sobald es regnet oder der Fall eintritt, dass das 24-Stundenmittel im Zufluss der Kläranlage überschritten wird, wird die Pumpe ausgeschaltet. Somit wird vermieden, dass die Kläranlage zu stark belastet wird. Der innere Regelkreis beschreibt die absoluten Restriktionen. Die Pumpe des RKB ist auszuschalten, wenn der maximal zulässige Zufluss zur Kläranlage überschritten wird, um eine Überleitung der Kläranlage zu vermeiden. Dieser Fall kann nur dann eintreten, wenn die Pumpe vorher wegen einer langen Regenphase zwangszugeschaltet wird, um das belastete Wasser, welches die maximale Verweilzeit im RKB erreicht hat, abzupumpen. Bei diesem Zwangseinschalten der Pumpe wird allerdings die maximale Zuflussmenge zur Kläranlage überwacht, so dass es nicht zu einem Ein- und Ausschalten der RKB Pumpe in kurzer Zeit kommen kann.

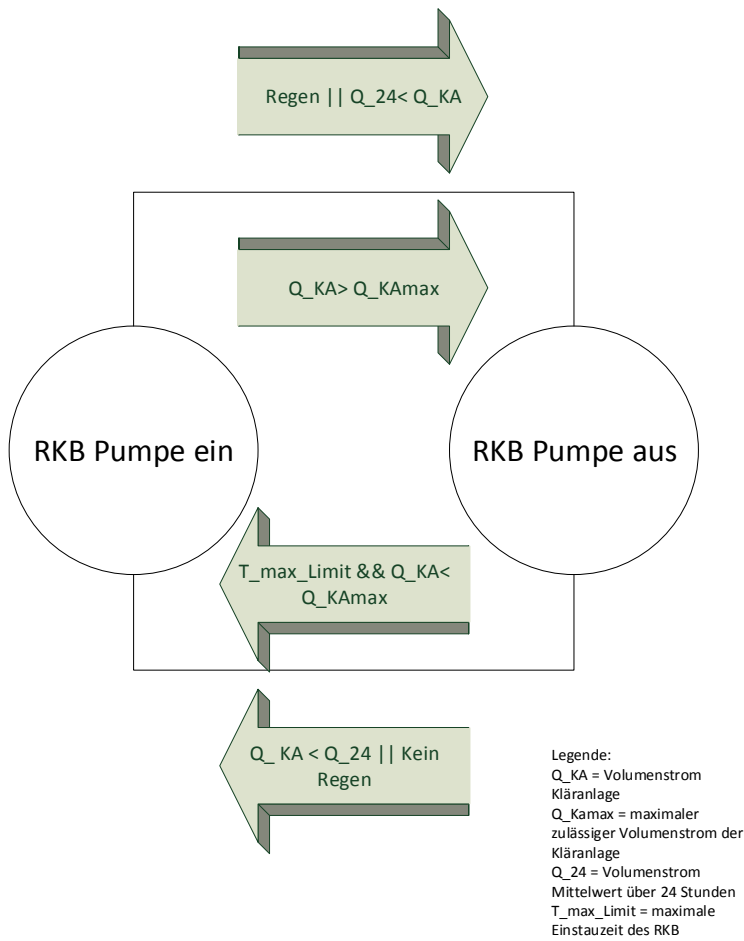


Abb. 7: Reglerentwurf

In Abb. 8 ist der Regler in Simba# umgesetzt. Wie man der Abbildung entnehmen kann, wird nun auch der Pumpenvolumenstrom als Füllstandersatz berücksichtigt. In Abb. 9 ist das Untersystem aufgezeigt, welches den Regler im Detail zeigt. Es ist eine maximale Aufenthaltszeit (Stauzeit) im RKB von 7 Tagen festgelegt worden, gesetzlich gibt es hier derzeit keine Vorgaben.

Im unteren Bereich der Abb. 9 ist der maximale Kläranlagenzufluss mit $101.088 \text{ m}^3/\text{d}$ definiert. Der mittlere Trockenwetterabfluss ist auf $42.048 \text{ m}^3/\text{d}$ eingestellt. Im oberen Subsystem wird der Übergang zwischen Regen und Trockenheit überwacht und der Signalfloss zur Pumpe durch einen Schalter entsprechend geregelt.

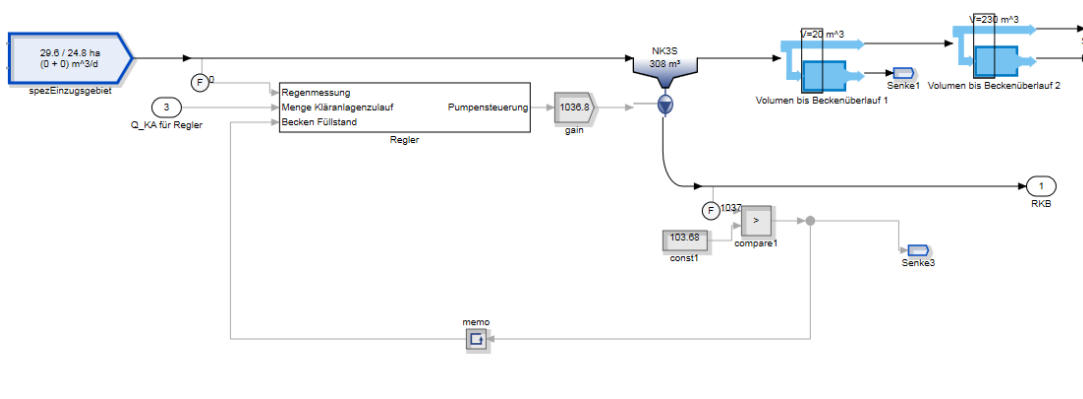


Abb. 8: Reglerumsetzung in Simba# (Übersicht)

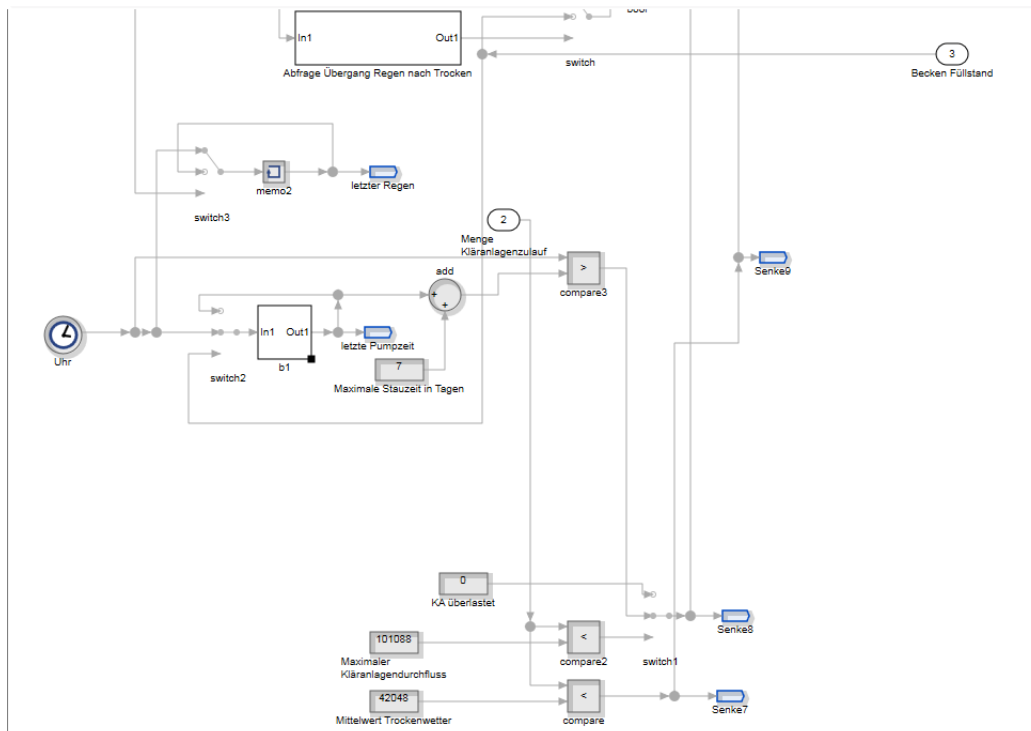


Abb. 9: Regler-Umsetzung in Simba# (Detail)

3 Messung an einem RKB

Die Messung an einem RKB soll die Reinigungsleistung des RKB zeigen. Die gewonnen Erkenntnisse werden dann in das Simulationsmodell für die Schmutzfrachtsimulation einfließen. Es müssen folgende Daten erfasst werden:

- abfiltrierbare Stoffe (AFS) im Zulauf des RKB
- abfiltrierbare Stoffe (AFS) nach Beckenpassage (Q_{krit} , gereinigtes Wasser) des RKB
- Volumenstrom im Zulauf
- Volumenstrom des gereinigten Wasser (MID, Q_{krit})
- RKB-Füllstand
- Zustand der Schmutzwasserpumpe
- Zustand der Spülwasserpumpe
- Füllstand des RKB-Abflusses
- Füllstand des Spülwasserspeichers
- Füllstand der Fremdwasserweiche
- Zustand der Fremdwasserweiche

3.1 Beschreibung der Messgeräte und des Messaufbaus

Für die abfiltrierbaren Stoffe werden sogenannte Spectrolyser verwendet. Diese messen über ein Lichtspektrum die Absorption des Mediums, welches durch die Messöffnung fließt. Anhand der Absorption bestimmter Wellenlängen wird der Stoff, der im Medium enthalten ist, erfasst. Das Medium ist bei dieser Messreihe Regenwasser. Jede Verunreinigung des Wassers führt zu einer Absorption bei einer anderen Wellenlänge. Der Hersteller Trios hat für die abfiltrierbaren Stoffe (AFS), im englischsprachigen als „total suspended solids (TSS)“ bezeichnet, in seinen Opus Sonden (Spectrolyser) entsprechende Faktoren für die Spektralanalyse schon werkseitig definiert, so dass für den Forscher eine direkte Anwendung im Feldtest erfolgen kann. Es wird je ein Spectrolyser im Zulauf und im Regenwasserabfluss des RKB installiert. In Abb. 11 ist der installierte Spectrolyser im Zulaufkanal zu sehen. Dieser befindet sich ca. 9 m oberhalb des RKB im Regenwasserkanal, der einen Nenndurchmesser von 1,8 m hat.

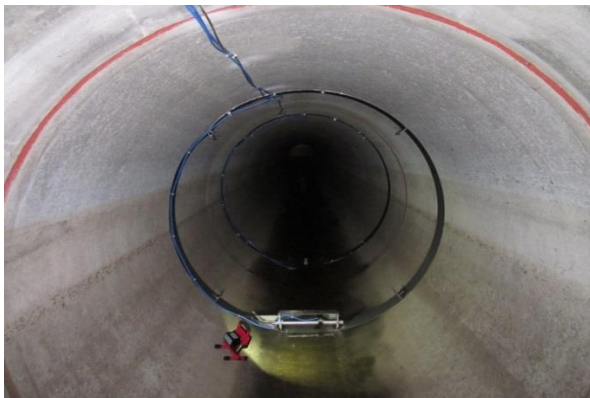


Abb. 10: Spectrolyser im Zulauf

Die Spannringe, an denen der Spectrolyser und die im Hintergrund zu sehende Volumenstrommessung zu sehen sind, sind von der TH Köln-eigenen, metallverarbeitenden Werkstatt angefertigt worden. Es wurde zusätzlich ein Anströmblech gefertigt, damit bei geringen Wassermengen die Messung bereits erfolgen kann und der Spectrolyser nicht das Spectrum der Luft misst. Die Abb. 12 zeigt die Installation des Spectrolyzers im Regenwasserablauf des RKB. Auf der linken Seite ist die Mündung der Drosselstrecke zu sehen, welche das gereinigte Regenwasser einleitet. Der Kamerastandort ist aus Richtung des Beckenüberlaufes aufgenommen. Die

„Metallschwelle“, die am Boden zu sehen ist, staut das Wasser leicht an, um dem Spectrolyser bei geringen Wassermengen messbares Wasser zur Verfügung zu stellen.



Abb. 11: Spectrolyser im Ablauf hinter der Drossel (siehe Rohröffnung linke Seite)

Die Daten der Spectrolyser werden im Schaltschrank des RKB mit der Trios Tribbox (blaues Gerät mit Display) erfasst und über mehrere Tage gespeichert. Links daneben ist ein Datenlogger installiert worden, der die Daten der vorhandenen Messsonden des RKB abspeichert. Es werden der Volumenstrom des gereinigten Wassers über die Drosselstrecke, der Füllstand des RKB und der Füllstand des Spülwasserbeckens dort gespeichert. Diese Daten dienen dazu, die Menge des gereinigten Wassers und des entstehenden Schmutzwasser zu erfassen.



Abb. 12: Datenlogger für diverse RKB Werte sowie Messumformer der Spectrolyser

Außerdem wird der Füllstand der Fremdwasserweiche gespeichert. Dies ist wichtig, wenn ein Überlaufen des RKB bei stärkeren Regenereignissen zu detektieren ist, d.h. wenn mehr als 247 l/s an Regenspende dem RKB zufließen und das RKB bis zum Regenklär Schlitz gefüllt ist. Die Fremdwasserweiche ist im Einlaufbereich des RKB angeordnet. Im Falle von Fremdwasser bei Trockenwetter wird dieses am RKB vorbeigeleitet und belastet so nicht das Becken, die Pumpe und die Kläranlage. Es ist davon auszugehen, dass das Fremdwasser nicht belastet ist. Wenn das RKB überläuft, ist keine Reinigung des Regenwassers möglich und die Messwerte für die Bestimmung der Reinigungsleistung sind somit für diese Zeiträume unbrauchbar. Ebenfalls unbrauchbar werden die Messdaten, wenn es zu einem Rückstau an der Abflusseite kommt. Dieses wird durch das Speichern des Füllstands des RKB-Abflusses erfasst. Der Zustand der beiden Pumpen (Spülwasser und Beckenentleerung) wird ebenfalls geloggt, um die Schmutzwassermengen bestimmen zu können. Der Zustand der Fremdwasserweiche soll den Regenbeginn erfassen. Hier hat es sich im Verlauf der Messungen gezeigt, dass die Steuerung der SPS

keine eindeutigen Zustände für diesen Wert herausgibt. Dieses ist aber ohne Relevanz, weil nicht nur der Volumenstrom durch die Kanalmaus der Fa. Nivus (Abb. 13) gemessen, sondern auch die Füllstandshöhe und die Fließgeschwindigkeit gemessen werden. Anhand dieser Parameter kann ein Regenereignis eindeutig identifiziert werden.



Abb. 13: Volumenstrommessung im Zulauf



Abb. 14: Messumformer Volumenstrommessung im Schacht

Aus technischen Gründen musste der Messumformer der Kanalmaus, der zugleich auch der Datenlogger und Energieversorgungseinheit für diese ist, im Zugangsschacht angebracht werden.

3.2 Ergebnisse der Messung im Normalbetrieb

Die Pumpe zum Entleeren des Beckens wird so gesteuert, dass sie den ersten Spülstoß eines Regens immer in den Schmutzwasserkanal abpumpt. Dafür läuft die Pumpe ca. eine Stunde nach jedem Regenbeginn. Das Becken wird nach Regenende entleert. Anschließend wird das Becken durch die Spülwasserkippe gereinigt, wenn Wasser im Spülwasserbecken vorhanden ist. Kommt es wegen mehrerer kurzer Regenereignisse dazu, dass das Spülwasserbecken nicht gefüllt werden kann, sammelt sich im RKB eine Schlammschicht. Wenn bei ausreichendem Regen das Spülwasserbecken gefüllt wird, werden im Reinigungsprozess mehr abfiltrierbare Stoffe über die Kläranlage geleitet. In den Abb. 16 und 17 ist gut zu erkennen, dass im ersten Fall über 565 m³

Rohregenwasser und über 500 kg AFS anfallen. Das AFS wird zur Kläranlage geleitet. 410 m³ Regenwasser werden gereinigt in das Gewässer geleitet. Im 2. Fall beträgt die Regenspende 998 m³. Es werden 1.025 kg AFS aufgefangen und zur Kläranlage geleitet. Die Menge des gereinigten Wasser beträgt 599 m³. Es kommt immer wieder vor, dass AFS aus dem RKB in das Gewässer ausgespült wird. Hier hat wahrscheinlich die Reinigung des RKB nicht optimal funktioniert, sodass es wegen des weniger belasteten Rohregenwassers zu einer Aufnahme von AFS gekommen ist. Trotzdem kommt es zu einer Reduzierung des AFS-Eintrages in das Gewässer. In Tab. 1 ist dieses am geringen Absetzwert des AFS zu erkennen.

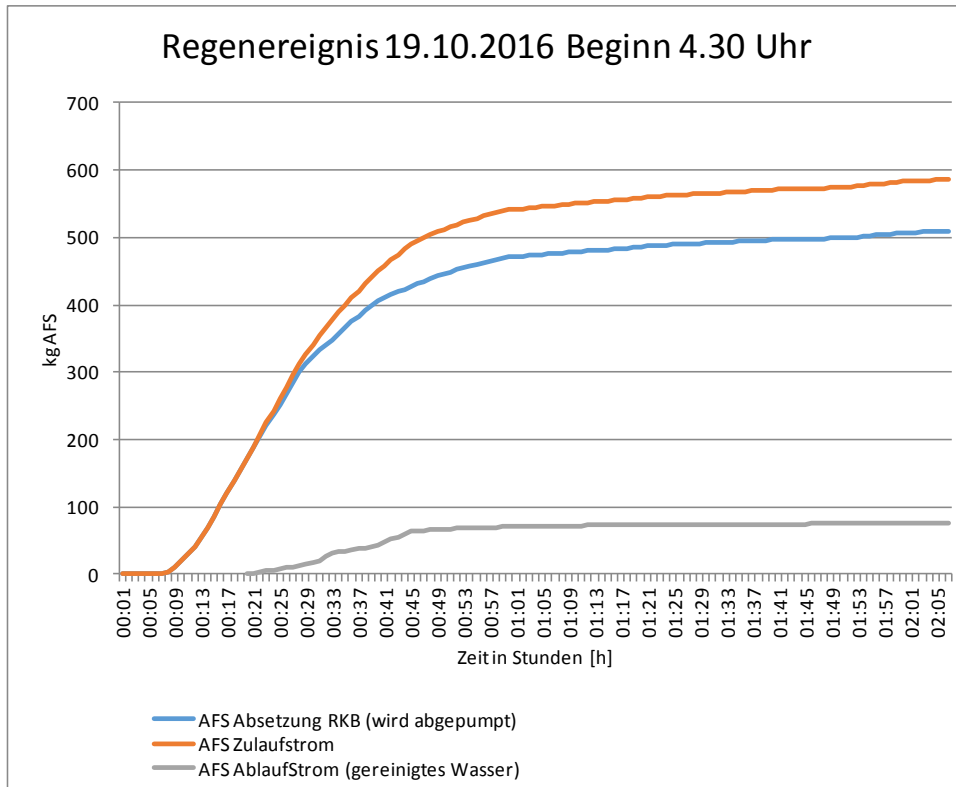


Abb. 15: AFS Ströme im Vergleich

Tab. 1: Regenereignisse bei Normalbetrieb des RKB

Zeit des Ereignisses	Niederschlagsmenge	Geklärte Menge	Durchschnittliches AFS im Regenwasser	Durchschnittliches AFS im geklärten Wasser	Im RKB abgesetzte Menge (negative Werte bedeuten Ausspülung von AFS)
19.10.16 ab 4.30 Uhr	565 m ³	410 m ³	788 mg/l	175 mg/l	500 kg
20.10.16 02.16 Uhr	998 m ³	599 m ³	1.100 mg/l	113 mg/l	1.100 kg
21.10.16 ab 20.52 Uhr	755 m ³	451 m ³	203 mg/l	114 mg/l	5 kg
24.10.16 ab 18.57 Uhr	833 m ³	508 m ³	174 mg/l	122 mg/l	17 kg
06.11.16 ab 20.34 Uhr	1.016 m ³	316 m ³	281 mg/l	121 mg/l	240 kg

Die Messung im Normalbetrieb wurde am 18.11.16 beendet.

3.2.1 Ermittelte Reinigungsleistung des Regenklärbeckens

Die Reinigungsleistung des RKB entspricht in etwa gemäß den Erwartungen aus den Literaturangaben [DWA13]. Es kommt immer wieder zu Ausspülungen von AFS. Das RKB entspricht zwar dem Stand der Technik, wenn es jedoch zu starken Strömungen bei niedrigem Wasserstand kommt, kommt es zu einer Remobilisierung und Austrag von AFS. Hier müsste in einem Folgeprojekt anhand von Bilddatenverarbeitung festgestellt werden, was innerhalb des RKB bei verschiedenen Regenereignissen passiert, um Optimierungen auszuarbeiten.

3.3 Dauerstau

Im Anschluss an die Messungen des Normalbetriebes (Pumpen des Spülstoßes und nach Regenende) folgt eine Messreihe im Dauerstau. Aufgrund der Wetterlage war das Becken erst nach über einem Monat bis zum Regenklärschlitz (230 m³) gefüllt. Die Tab. Stellt die Ergebnisse der ersten Einleitung von gereinigtem Wasser in das Gewässer im Dauerstau dar. Es ist zu erkennen, dass zu Beginn die Wasserbelastung im RKB höher ist und somit zuerst AFS ausgespült wird. Am Ende dieses kurzen Regenereignisses ist aber mehr AFS im Becken verblieben, als vorher im Becken war. Zu Beginn waren 103,7 kg AFS im Becken, am Ende 103,8 kg. Der Startwert von 103,7 kg ergibt sich aus der gemessenen Menge AFS im Zulauf während der Aufstauphase. Ab Abb. 16 bis Abb. 21 wird das AFS dargestellt, welches bei dem jeweiligen Regenereignis durch den Regen eingespült wird. Negative Werte ergeben sich deshalb, weil bei einem vorangegangenen Regenereignis die AFS Konzentration im Becken höher ist.

Tab. 2: Regenereignisse im Dauerstau

Zeit des Ereignisses	Niederschlagsmenge und geklärte Wassermenge	Durchschnittliches AFS im Regenwasser	Durchschnittliches AFS im geklärten Wasser	Im RKB abgesetzte Menge (negativ bedeutet Ausspülung von AFS)
22.12.16 ab 06.56 Uhr	16 m ³	173 mg/l	228 mg/l	0,1 kg
22.12.16 ab 07.30 Uhr	1.206 m ³	181 mg/l	221 mg/l	-28 kg
24.12.16 ab 05.02 Uhr	284 m ³	244 mg/l	237 mg/l	47 kg
26.12.16 ab 11.58 Uhr	326 m ³	215 mg/l	223 mg/l	6 kg
04.01.17 ab 08.23 Uhr	9 m ³	294 mg/l	400 mg/l	5,6 kg
10.01.17 ab 02.55 Uhr	1.370 m ³	838 mg/l	650 mg/l	500 kg

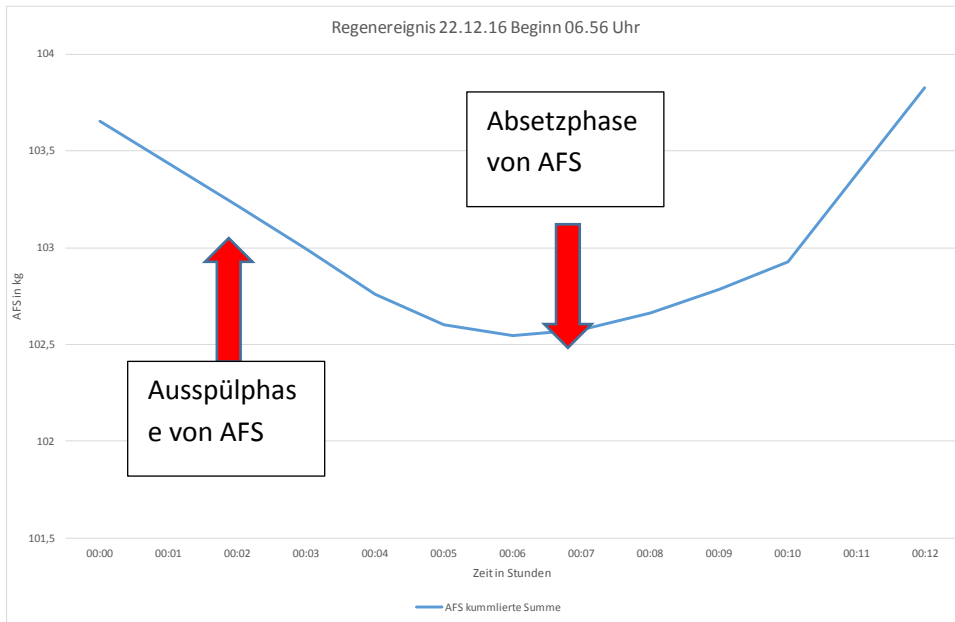


Abb. 16: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 22.12.16 ab 06.56 Uhr: Niederschlag 16 m³ (AFS: 173 mg/l), geklärt 16 m³ (AFS: 228 mg/l)

Bei dem kurze Zeit später beginnenden Regenereignis sind 28 kg AFS ausgespült worden. Dies war jedoch die größte Menge, die während der Dauerstauzeit ausgespült wurde. In Abb. 17 wird wieder mehr AFS im Becken abgelagert. Bei diesem Regenereignis ist die Fließgeschwindigkeit niedriger. Somit kann festgehalten werden, dass die Reinigungsleistung des RKB vor allem auch von der Fließgeschwindigkeit und somit der Verweilzeit des Wassers im RKB abhängig ist.

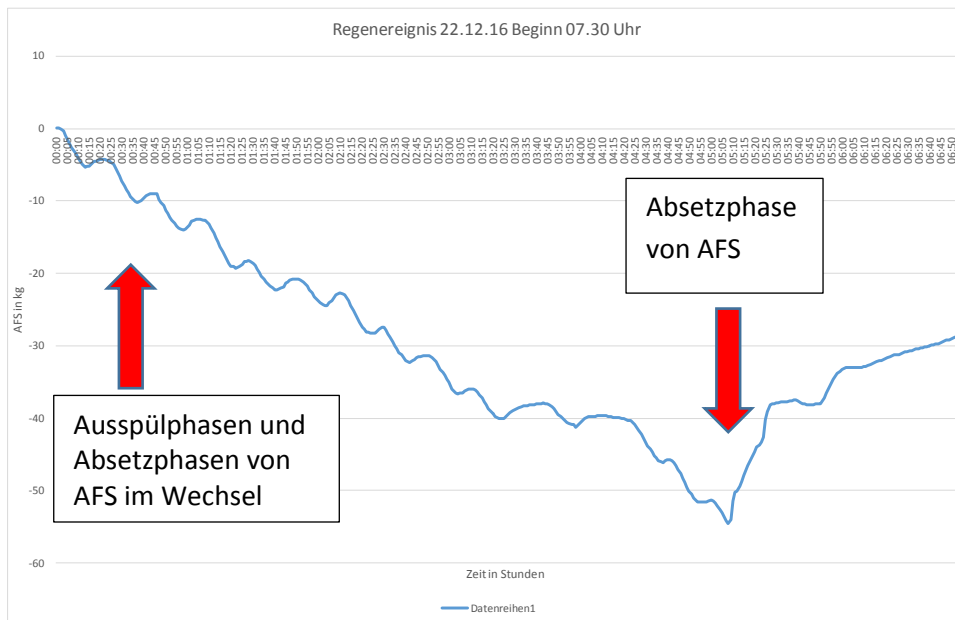
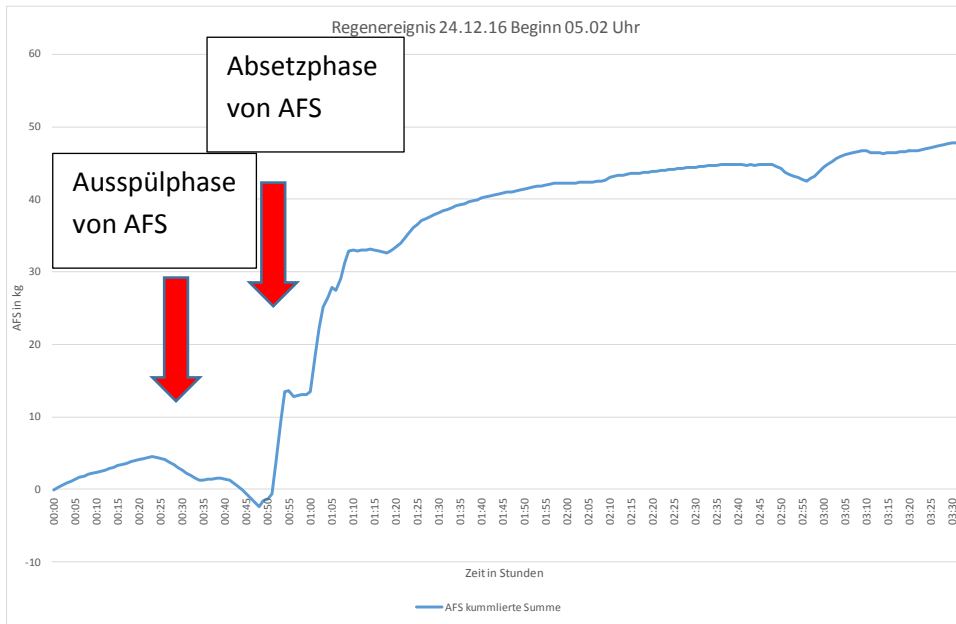
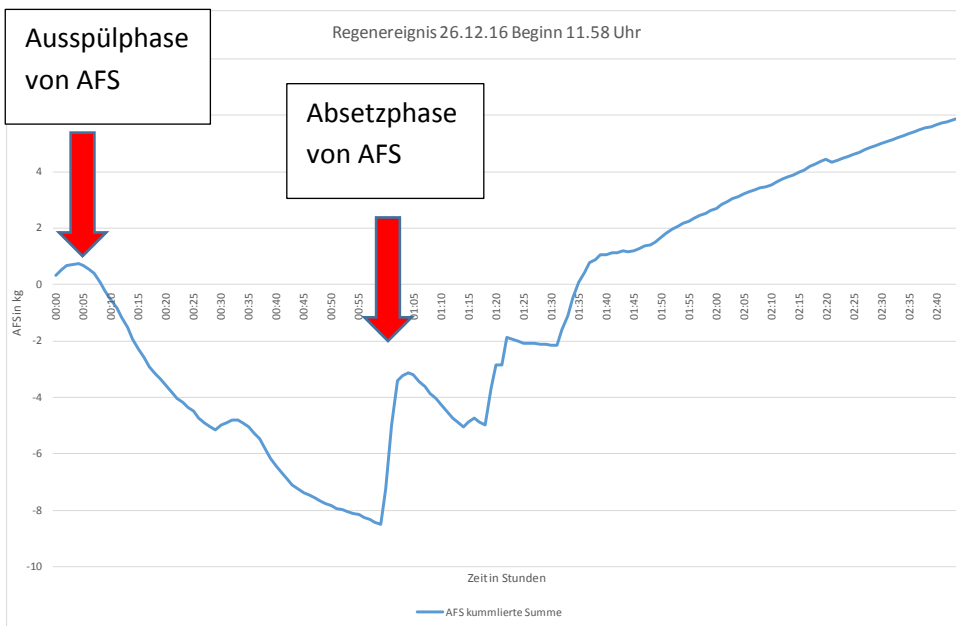


Abb. 17: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 22.12.16 ab 07.30 Uhr: Niederschlag 1.206 m³ (AFS: 181 mg/l), geklärt 1.206 m³ (AFS: 221 mg/l)



**Abb. 18: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 24.12.16 ab 05.02 Uhr:
Niederschlag 284 m³ (AFS: 244 mg/l), geklärt 284 m³ (AFS: 237 mg/l)**



**Abb. 19: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 26.12.16 ab 11.58 Uhr:
Niederschlag 326 m³ (AFS: 215 mg/l), geklärt 326 m³ (AFS: 223 mg/l)**

Auch in Abb. 19 ist erkennbar, dass zuerst der Regen stärker ist als am Ende. Wie bereits vorher erwähnt ist auch hier der Effekt des Absetzens von AFS bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten sichtbar.

Kurze Regenereignisse - wie in Abb. 20 dargestellt - führen eher zu einem Ausspülen von AFS.

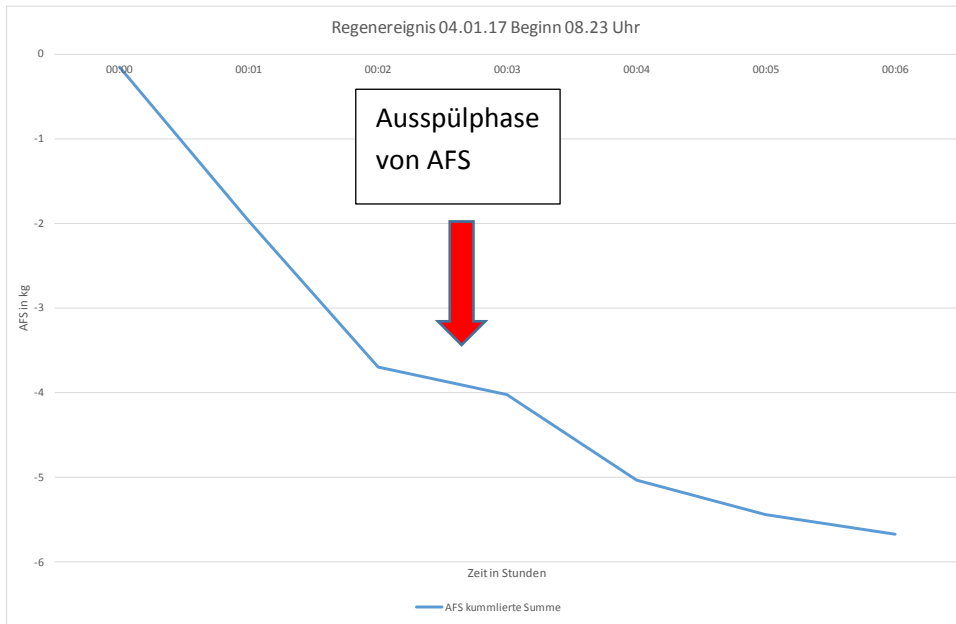


Abb. 20: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 04.01.17 ab 08.23 Uhr: Niederschlag 9 m³ (AFS: 294 mg/l), geklärt 9 m³ (AFS: 400 mg/l)

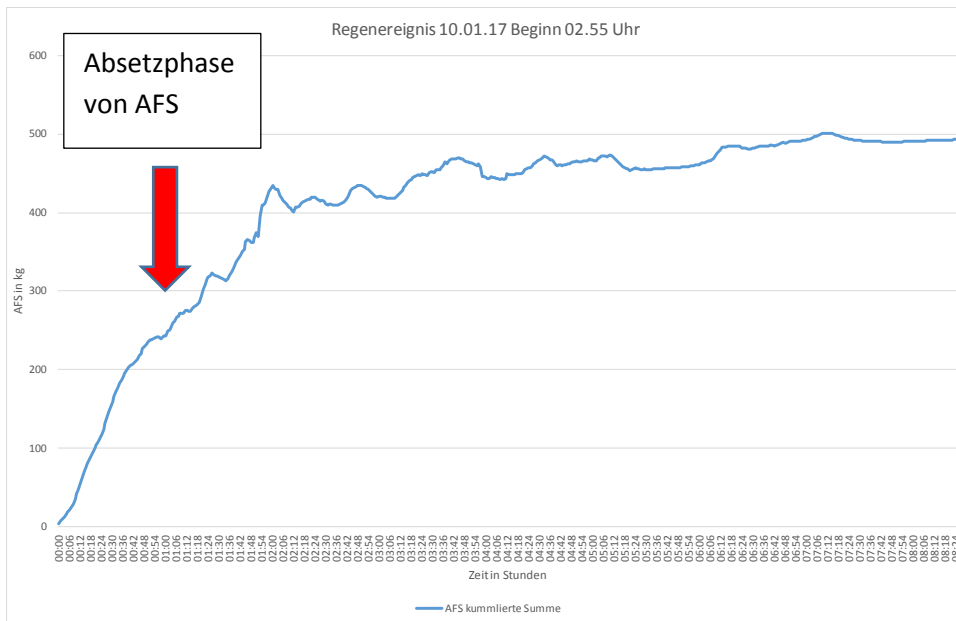


Abb. 21: Absetzverhalten des AFS im RKB im Dauerstau, Regenereignis 10.01.17 ab 02.55 Uhr: Niederschlag 1.370 m³ (AFS: 838 mg/l), geklärt 1.370 m³ (AFS: 650 mg/l)

Durch die winterlichen Verhältnisse ändert sich das Absorptionsverhalten des Wassers, da Streusalz von der Straße in das RKB gespült wird und somit die Messung verfälscht wird (siehe Abb. 21) Hier wurde die Messreihe beendet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es keinen großen Unterschied in der Reinigungsleistung des RKB im Winter gibt, ob es nun im Dauerstau oder im zurzeit zulässigen Betrieb mit Abpumpen des Spülstoßes, sowie nach Regenende betrieben wird. Die maximale Zeit im Dauerstau ist nach über 50 Tagen noch nicht erreicht

worden. Somit wäre der zeitweise Betrieb der RKB im Dauerstau eine Option, wenn die Kläranlage in Zukunft durch die vielen RKB überlastet wird.

4 Modellkalibrierung

Um das richtige Funktionieren des Kanalnetzmodells zu überprüfen, ist im ersten Schritt eine Simulation des Ist-Zustandes ohne RKB durchzuführen. Für den Messzeitraum aus dem Jahr 2011 sind noch keine RKB in Betrieb. Die momentan existierenden RKB sind erst später gebaut worden.

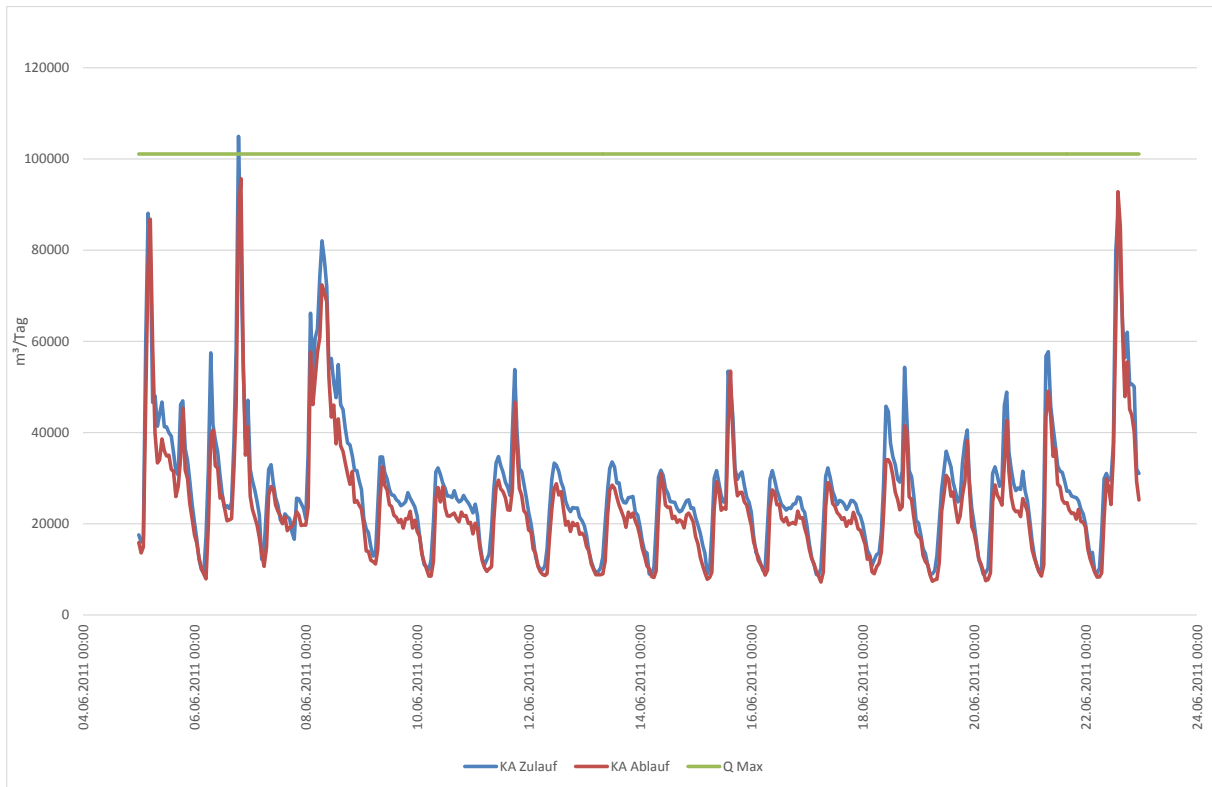


Abb. 22: Messdaten Zufluss und der Abfluss der Kläranlage sowie maximaler Zufluss

Abb. 22 zeigt die Situation der Kläranlage im Juni 2011. Lt. Messung ist es am 07.06.11 zu einer Überlastung der Kläranlage gekommen. Wird für denselben Zeitraum eine Simulation in Simba# mit der Annahme von ca. 116.000 Einwohnern mit einem Wasserverbrauch von 120 l/s unter Berücksichtigung der ca. 30 Großeinleiter aus Industrie und Gewerbe durchgeführt, so ergibt sich ein Trockenwetterzufluss zur Kläranlage von ca. 180 l/s im 24 Stunden Mittel (Q_{t24}). Wird noch ein Fremdwasseranteil in gleicher Höhe angenommen [LUBW06], so ergibt sich ein Trockenwetterzufluss von 360 l/s. Das entspricht 31.104 m³/d.

Das Mischwasserkanalsystem hat ein Einzugsgebiet von insgesamt $A_E = \text{ca. } 250 \text{ ha}$. An das Mischwasserkanalnetz angeschlossen sind $A_U = \text{ca. } 115 \text{ ha}$ des Einzugsgebietes. Wie in Abb. 24 erkennbar entspricht das Simulationsergebnis in keinem Fall den gemessenen Werten. Der maximale Zufluss zu Kläranlage beträgt ca. 60.000 m³ pro Tag. Die Ausprägung der Regenereignisse - wie sie auf der Messung in Abb. 23 zu sehen sind - ist in Abb. 24 nicht erkennbar. Das Simulationsmodell wurde daher anhand der Zuflussmessungen der Kläranlage weiter kalibriert. Zur Berücksichtigung des Fremdwasserzuflusses (Fehlanschlüssen Dränagen, Undichtigkeiten) wurden zusätzliche Fremdwasserflächen berücksichtigt. Aufgrund der Messungen / Berechnungen wurde ermittelt, dass insgesamt ca. 15 ha A_U -Fläche im Schmutzsystem abflusswirksam sind, die die Regenabhängigkeit des Fremdwassers simulieren (Abb. 24). Nach Kalibrierung sind die verbleibenden Unterschiede zwischen Messung und Simulation gering und liegen unter anderem in der Einzugsgebietsgröße und der ungleichen Überregnung.

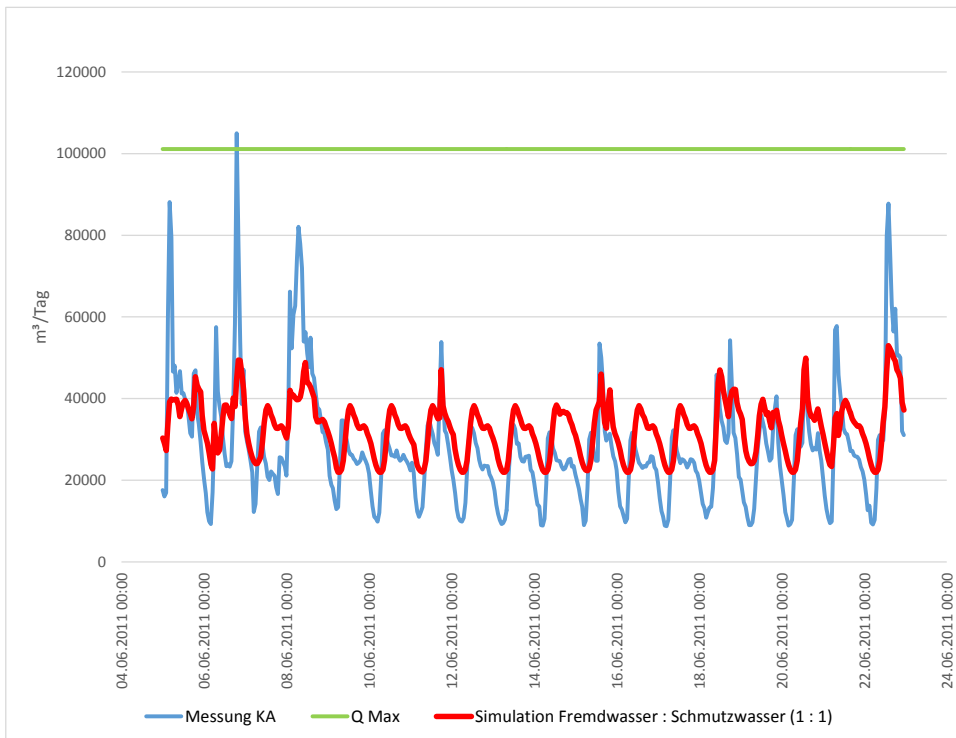


Abb. 23: Simulation des Schmutzwassers und Regenwasserzulauf im Mischwasserkanal

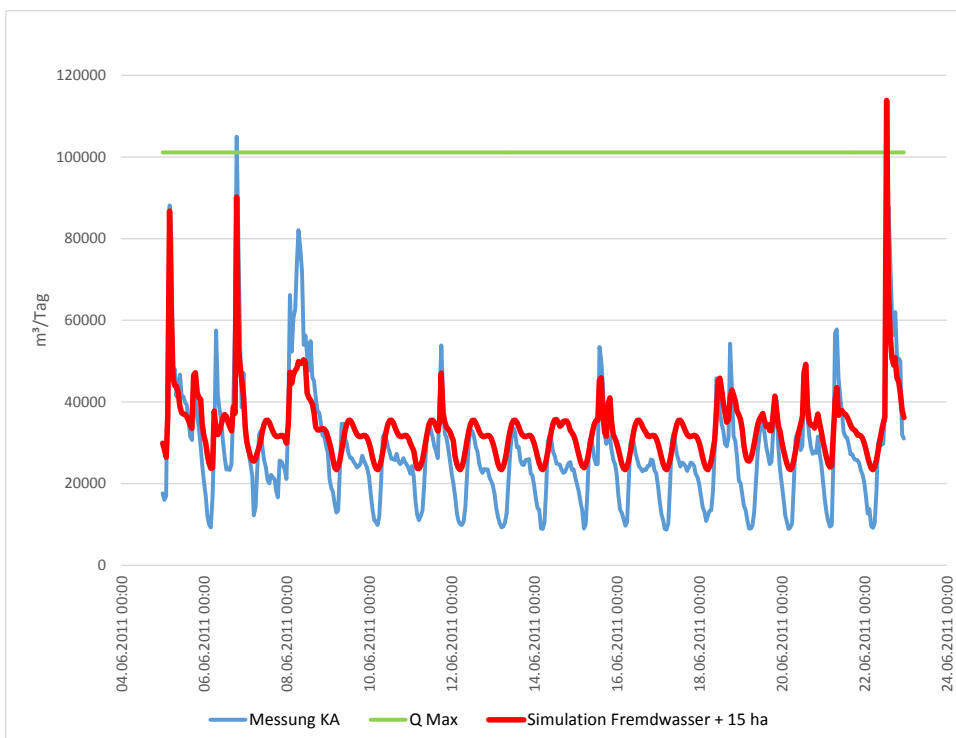


Abb. 24: Simulation des Schmutzwassers sowie des Regenwasserzulaufs im Mischwasserkanal und weiterer 15 ha Regeneinfluss im Schmutzwassernetz

5 Simulationsergebnisse

Mit dem kalibrierten Simulationsmodell werden drei Regelstrategien für die RKB untersucht:

1. Dauerentleerung (Es wird immer gepumpt, sobald Regenwasser in das RKB fließt)
2. Beckenentleerung erfolgt nach Regenende
3. Beckenentleerung erfolgt geregelt, der Regler aus Kapitel 2.2 legt die Pumpzeiten fest

5.1 Ergebnisse ohne Regelstrategie (Strategie 1)

Eine durchgehende Beckenentleerung führt (erwartungsgemäß) zu einer hohen Belastung des Kanalnetzes und der Kläranlage Beningsfeld. Die nachfolgende Abb. 25 zeigt den Zulauf zur Kläranlage bei einer Berücksichtigung aller 25 geplanter RKB und einem 10-jährlichen Niederschlagsereignis.

Beim Kläranlagenzulauf steigt die Zuflussmenge durch die RKB im unregulierten Fall um über 20.000 m³ / Tag. Dieses führt in der Realität zu einer Überflutung der Kläranlage.

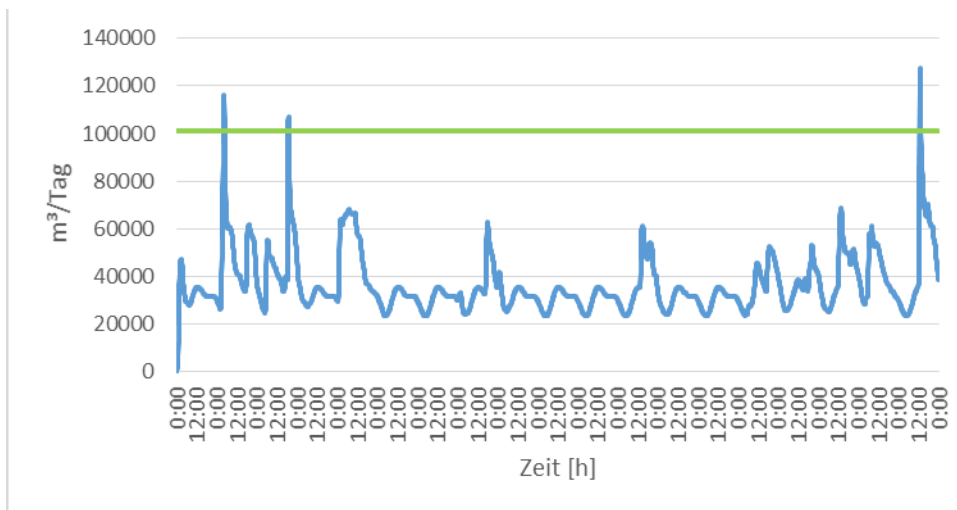


Abb. 25: Zulauf zur Kläranlage ohne Regelung

Neben der Überlastung der Kläranlage kommt es durch die unregulierte Einleitung aus den RKB auch im Kanalnetz zu Überlastungen. Die nachfolgende Abb. 26 zeigt exemplarisch den Füllstand in der Haltung „Rodemich 1“.

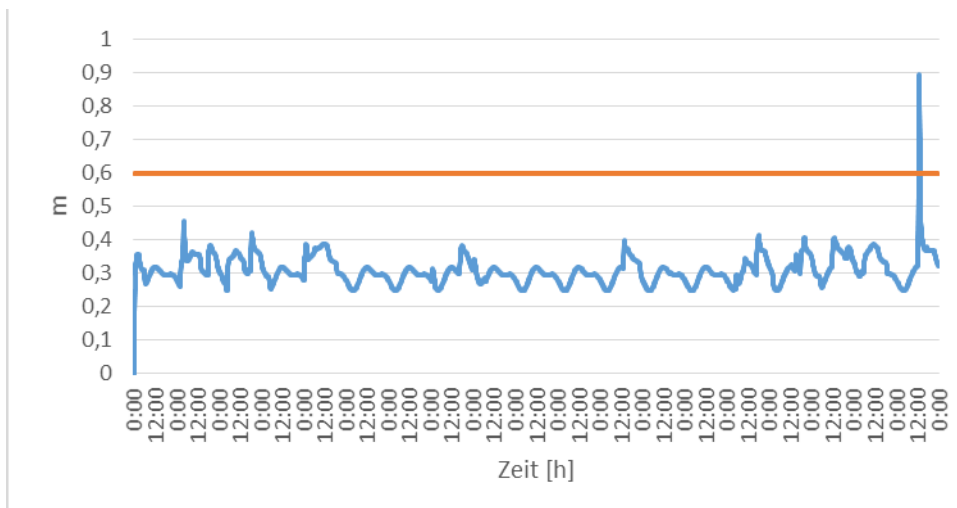


Abb. 26: Füllstand Haltung Rodemich 1 ohne Regelung

Am Beispiel des RKB Kieppemühle ist zu erkennen, dass ohne Regelung die Beckenentleerung einsetzt, sobald die Zulaufmenge die Weiterleitungsmenge unterschreitet.

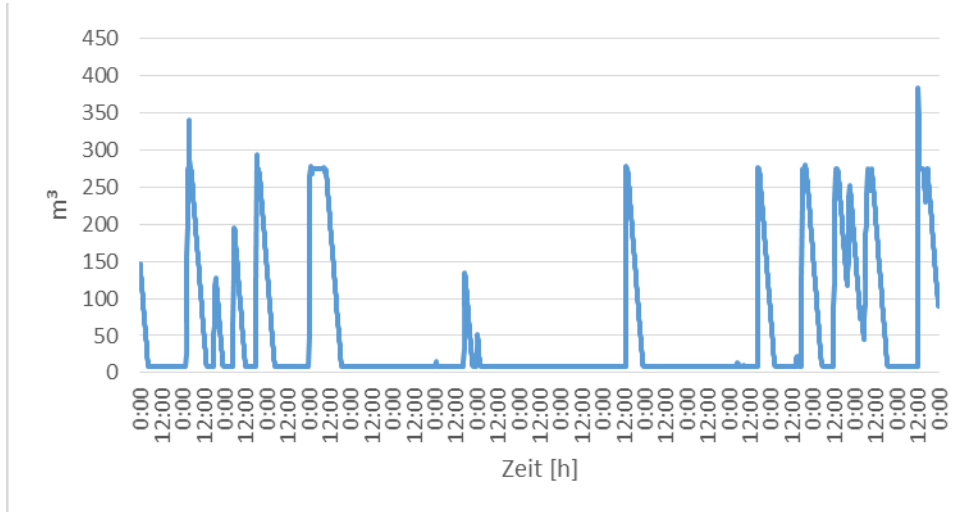


Abb. 27: Füllstand des RKB Kieppemühle ohne Regelung der Pumpen

5.2 Ergebnisse mit Beckenentleerung nach Regenende (Strategie 2)

Das Pumpen nach Regenende führt im Kanalnetz schon zu einer deutlichen Entlastung. Bei hoher Kläranlagenbelastung kommt es - wie in Kapitel 5.1 aufgezeigt - zu einer Überlastung, die jedoch geringer ausfällt.

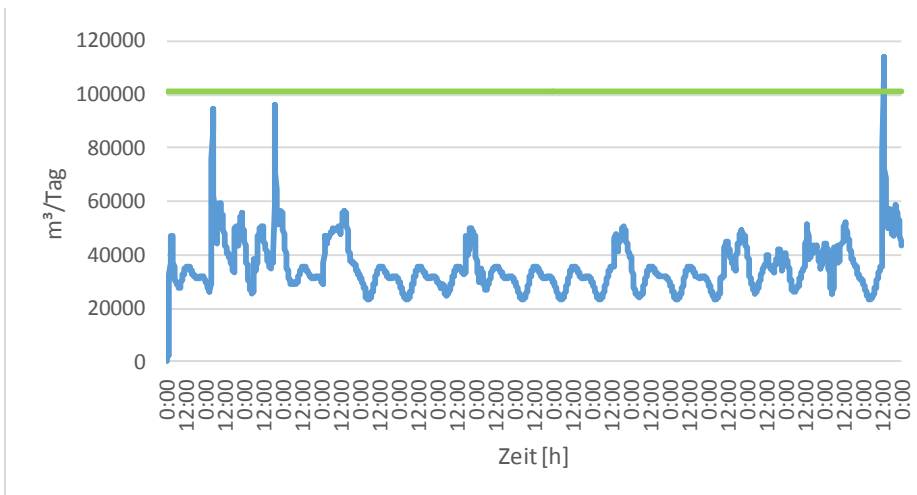


Abb. 28: Zulauf zur Kläranlage Beckenentleerung nach Regenende

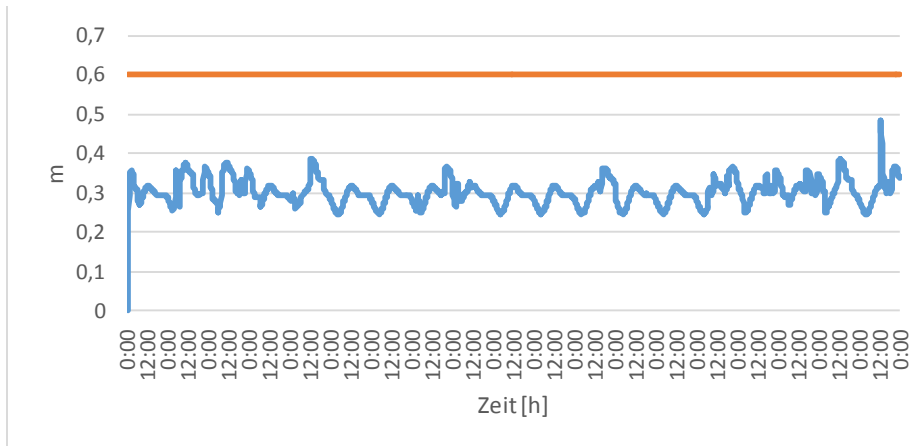


Abb. 29: Füllstand Haltung Rodemich 1 Beckenentleerung nach Regenende

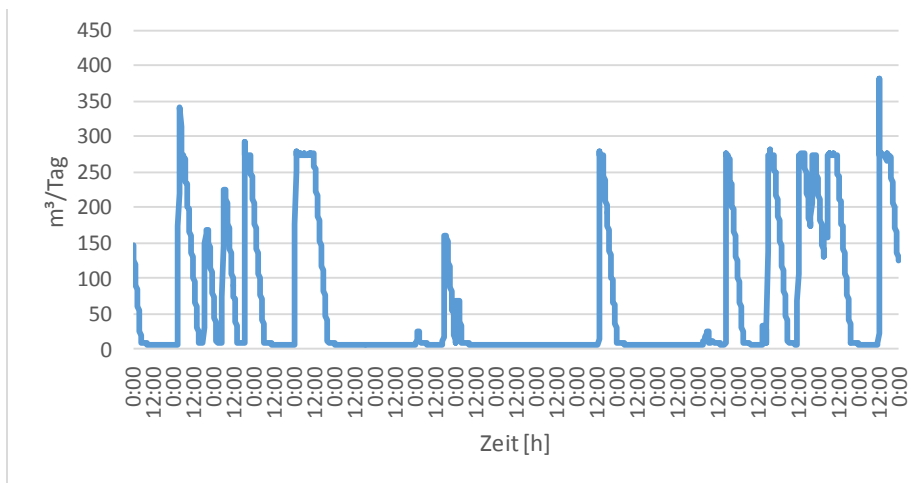


Abb. 30: Füllstand des RKB Kieppemühle Beckenentleerung nach Regenende

5.3 Ergebnisse mit geregelter Beckenentleerung (Strategie 3)

Der in Kapitel 2.2 vorgestellte Regler ist in allen RKB im Simulationsmodell implementiert worden. Jeder Regler erhält die gleichen Informationen aus der Zulaufmessung der Kläranlage. Wegen der unterschiedlichen Entfernungen zur Kläranlage fangen die RKB-Pumpen zu unterschiedlichen Zeiten an zu pumpen. Je näher ein RKB an der Kläranlage ist, desto eher wird die Pumpe eingeschaltet. Die anderen zurückliegenden RKB erhalten weiterhin die Information, dass die Kläranlage immer noch den festgelegten Grenzwert überschreitet. Somit ist gewährleistet, dass die RKB, die wegen ihrer Lage eine kurze Fließzeit zur Kläranlage haben, schneller entleert werden. Wenn die Entleerungsreihenfolge umgekehrt wäre, würde wegen der längeren Fließzeit zur Kläranlage unter Umständen mehr Wasser als zulässig zugeführt. Das wird durch Strategie der RKB-Entfernung zur Kläranlage verhindert. Wie die Ergebnisse zeigen, reicht daher diese einfache serielle Datenweiterleitung von der Kläranlage aus.

Durch die geregelte Entleerung der RKB wird die Kläranlage weitaus geringer belastet als bei einer kontinuierlichen Beckenentleerung. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Zulauf zur Kläranlage bei allen Szenarien der Beckenentleerung. Dabei wird die Kläranlage neben dem Schmutzwasser und der Entleerung aus den RKB auch durch die Fremdwasserzuflüsse belastet.

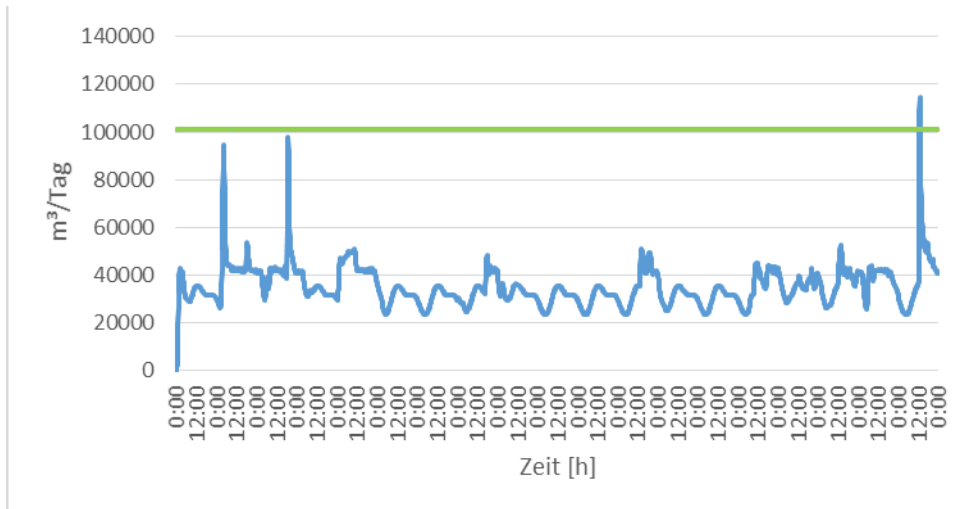


Abb. 31: Zulauf der Kläranlage mit Regelung der RKB-Pumpen

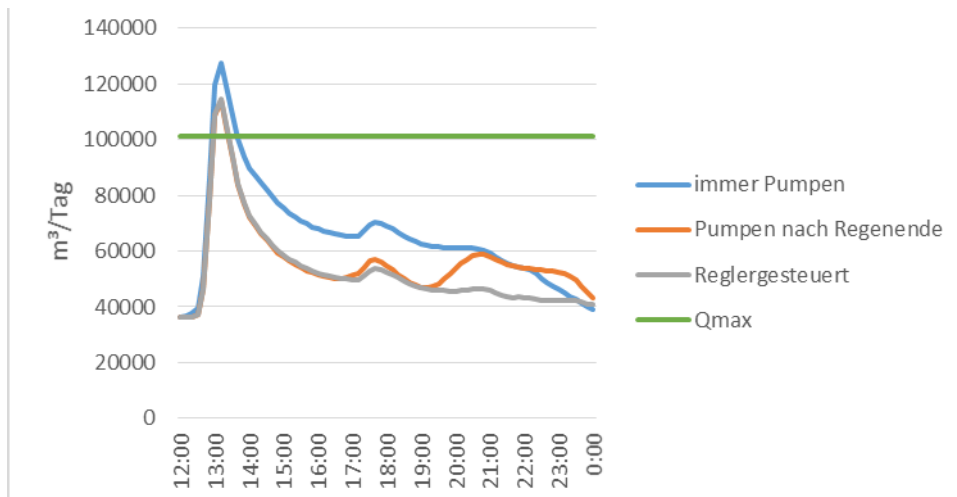


Abb. 32: Zulauf der Kläranlage, Vergleich der Regelstrategien bei einem 10-jährlichen Regenereignis

Wie in Abb. 32 zu erkennen ist, führt der RKB-Regler zudem zu deutlich mehr Reserve im Schmutzwasserkanal im Vergleich zu den anderen beiden Entleerungsstrategien. Der Regler sorgt somit für einen wirkungsvollen Rückstauschutz der Wassermengen aus RKB im Kanalnetz

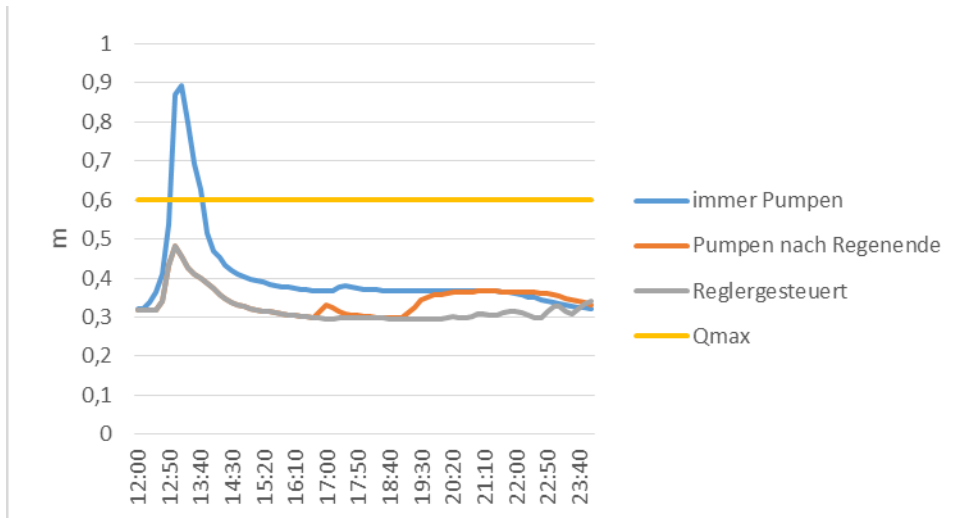


Abb. 33: Füllstand Haltung Rodemich1, Vergleich der Regelstrategien bei einem 10-jährlichen Regenereignis

In den Abb. 34 und 35 ist deutlich zu erkennen, dass der Regler auch die Beckenentleerung deutlich beeinflusst. Gut sichtbar sind die Unterbrechungen der Beckenentleerung in Abb. 35 ab 21.00 Uhr. Darüber hinaus beginnt die Beckenentleerung entsprechend der Regelstrategie zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Damit wird der Kläranlage ein nahezu gleichmäßiger Volumenstrom über einen längeren Zeitraum zugeführt, was die Effektivität der Kläranlage im Vergleich zu einem stark schwankenden Zufluss verbessert. Die Strategien dauerhaft zu pumpen führen zwar zu schnell geleerten RKB, sorgen aber auf der anderen Seite auf der Kläranlage und auch im Schmutzwassernetz bei entsprechender Vorbelastung zu Überlastungen.

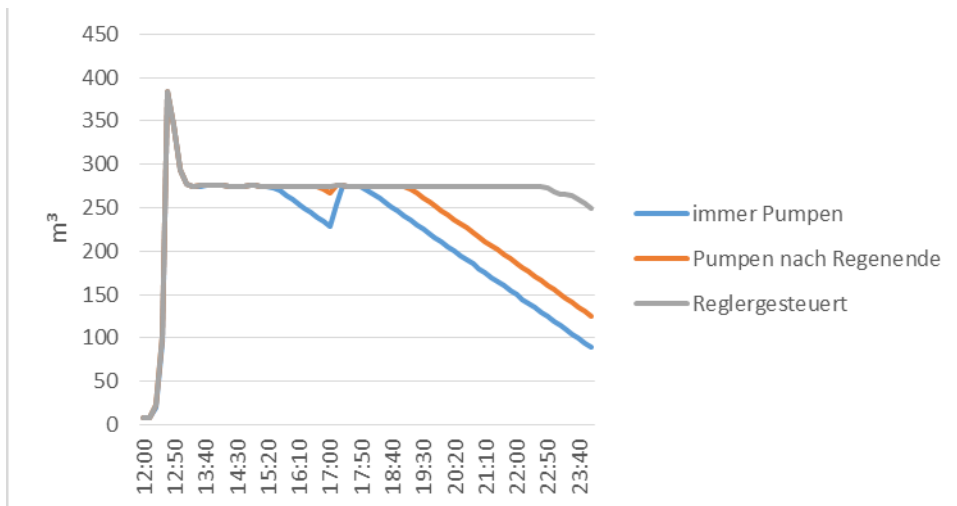


Abb. 34: RKB Kieppemühle: Vergleich der Regelstrategien anhand des Füllstandes

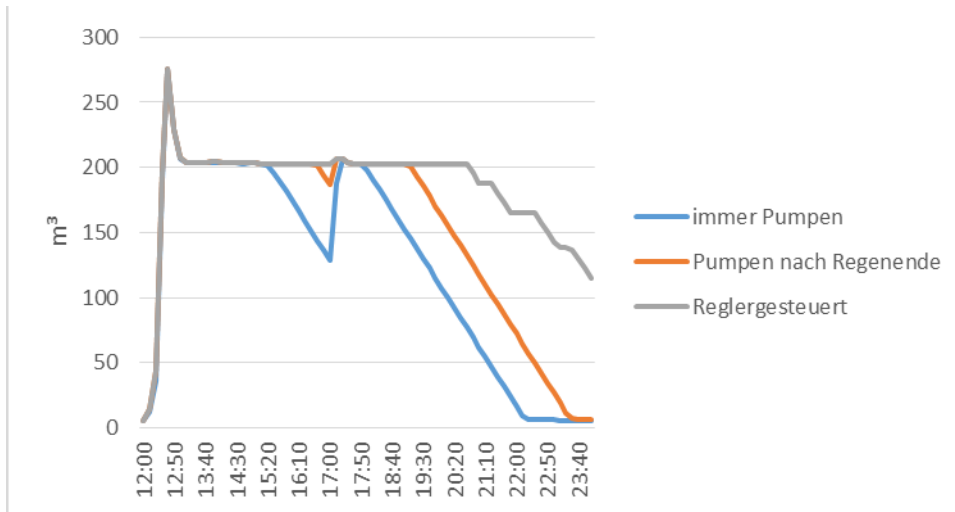


Abb. 35: RKB Am Eichenkamp: Vergleich der Regelstrategien anhand des Füllstandes

5.4 Schmutzfrachtsimulation

Um die Auswirkungen der RKB auf das Gesamtsystem, also nicht nur von der Hydraulik zu betrachten, ist eine Schmutzfrachtanalyse nötig. Das Simba#-Modell kann als Eingangsparameter keine AFS verarbeiten. Modellintern hingegen wird AFS (TSS) in den Absetzbecken verwendet. Als Eingangsparameter der Einzugsgebiete ist ein Standardparameter das CSB (COD). CSB und AFS stehen in einem natürlichen Verhältnis zueinander, so dass es möglich ist, einen entsprechenden Faktor zu bestimmen. Für Regenwasser ist das Verhältnis AFS zu COD 0,87 [Pan10]. Somit kann das Simba#-Schmutzfrachtmodell auch zur Bilanzierung von AFS verwendet werden. Es werden die Einzugsgebiete der RKB mit dem durchschnittlichen CSB auf AFS-Basis der Messung parametrisiert. Der durchschnittliche AFS Wert beträgt 300 mg/l.

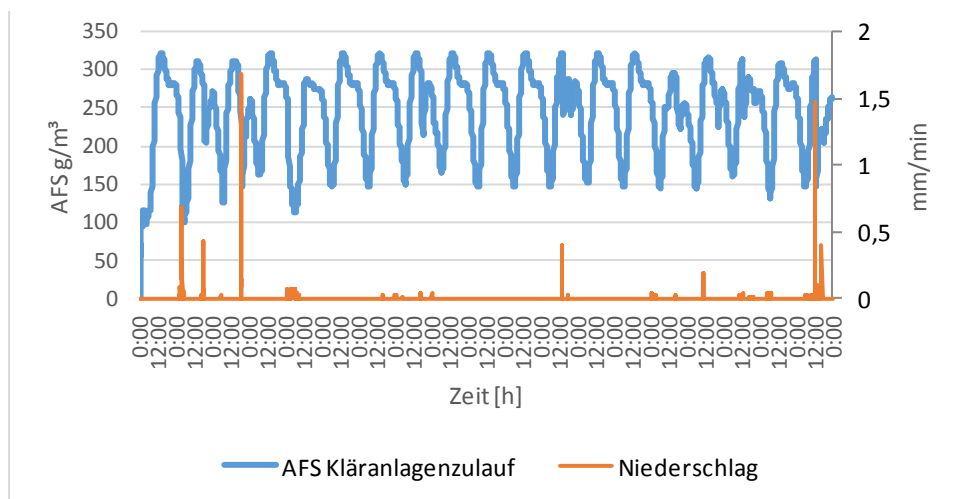


Abb. 36: Schmutzfrachtsimulation, Menge der Schmutzfracht an der Kläranlage

Wie anhand des Simulationsergebnisses in Abb. 36 erkennbar spielt das zusätzliche AFS der RKB keine große Rolle. Die größere AFS Konzentration und somit auch die AFS Menge wird durch das normale Schmutzwasser der Kläranlage zugeführt. Die Menge, die die RKB zusätzlich der Kläranlage zuführen, ist vernachlässigbar. Erkennbar ist dieses an der im 24-Stunden-Rhythmus schwankenden AFS Konzentration.

6 Umweltentlastungspotential

Der regelgesteuerte Betrieb der Regenklärbecken führt auf verschiedenen Emissionspfaden zu einer Entlastung von Natur und Umwelt. Nachfolgend werden die wesentlichen Entlastungen beschrieben.

6.1 Stoffaustrag am Beispiel Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Mit den Messungen und Berechnungen wurde nachgewiesen, dass der Austrag von z. B. AFS aus den RKBn sich bei den verschiedenen, betrachteten Betriebsweisen nicht deutlich unterscheidet. Auf der Kläranlage führt die regelgesteuerte Entleerung der RKB zu einer gleichmäßigeren Belastung des KA-Zulaufs. Hinzu kommt eine geringere Belastung als bei einer kontinuierlichen Beckenentleerung. Diese Vergleichmäßigung und Reduzierung der abfiltrierbaren Stoffe hat einen positiven Einfluss auf den Frachtaustrag aus der Kläranlage in das Gewässer.

6.2 Energiebedarf

Die Entleerung von RKB erfolgt i.d.R. über Pumpstationen. Eine dauerhafte Entleerung von RKB während des gesamten Einstauereignisses führt neben einem Energiebedarf bei der Beckenentleerung zu einem zusätzlichen Energiebedarf bei der Reinigung in der Kläranlage. Bei einer dauerhaften Entleerung der RKB werden im betrachteten Zeitraum von 18 Tagen 3.906 m³ gehoben bzw. auf der Kläranlage behandelt, bei einer regelgesteuerten Entleerung lediglich 2.180 m³. Damit reduziert sich im Beispielgebiet die zu hebende / zu behandelnde Wassermenge um ca. 1.726 m³ mit einer entsprechenden Reduzierung des Energiebedarfs. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die verschiedenen Regelstrategien anhand der Pumpvolumina am Beispiel eines RKB (RKB Am Eichenkamp).

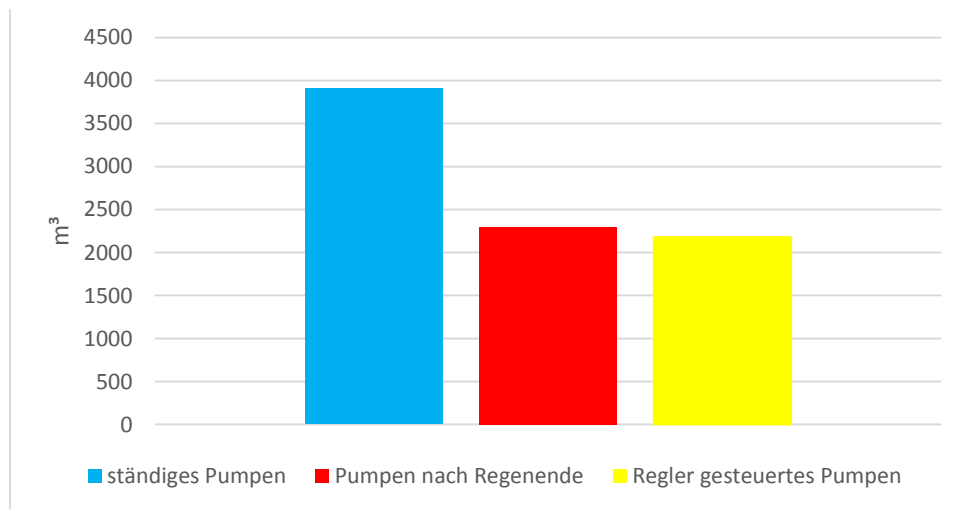


Abb. 37: Pumpvolumina der verschiedenen Pumpstrategien

Die Entleerungsstrategie am Regenklärbecken hat auch Auswirkungen auf das Entlastungsverhalten. Eine geringere Weiterleitung zur Kläranlage führt dabei zu einer häufigeren Ableitung über den Klärüberlauf, das Entlastungsvolumen im Betrachtungszeitraum erhöht sich von 18 Tagen um ca. 10 %.

Am Beckenüberlauf wirkt sich die Entleerungsstrategie annähernd nicht aus, damit ist auch keine maßgeblicher Einfluss auf den Hochwasserabfluss im anschließenden Gewässer zu erwarten.

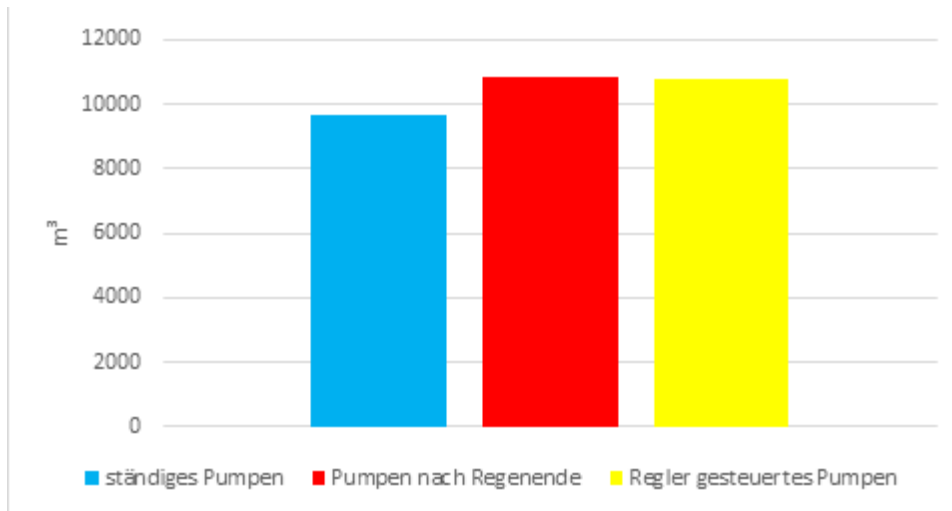


Abb. 38: Volumen – Ableitung über den Klärüberlauf

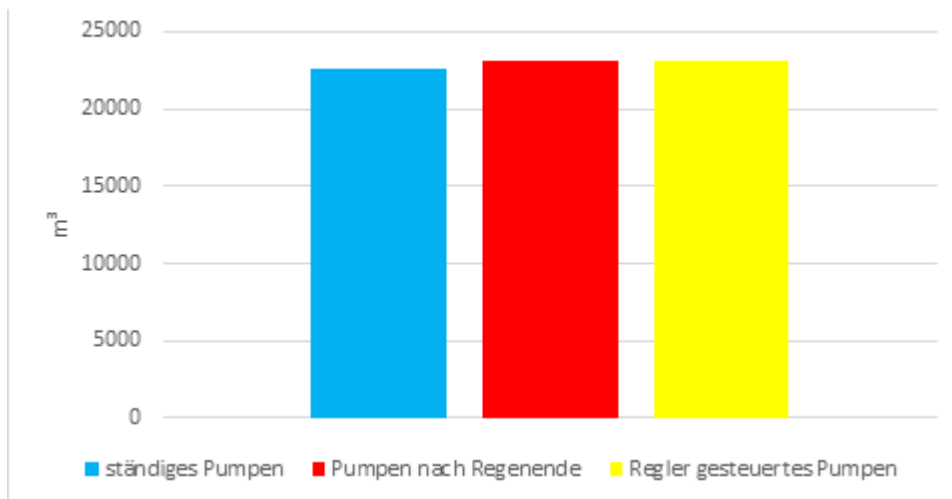


Abb. 39: Abschlagsvolumen – Entlastung Beckenüberlauf

Der Energiebedarf hängt bei den RKB in einem starken Maße von Förderhöhe und Wirkungsgrad ab. An dem hier beispielhaft dargestellten RKB wird eine realistische Pumpleistung von ca. 5 kW angenommen. Bei Betrachtung der oben dargestellten Pumpvolumina ergeben sich ca. 60 Pumpvollaststunden bei ständigem Beckenentleeren. Reglergesteuert ergeben sich 34 Pumpvollaststunden. Dieses wird am Energieverbrauch der unterschiedlichen Beckenentleerungsstrategien deutlich:

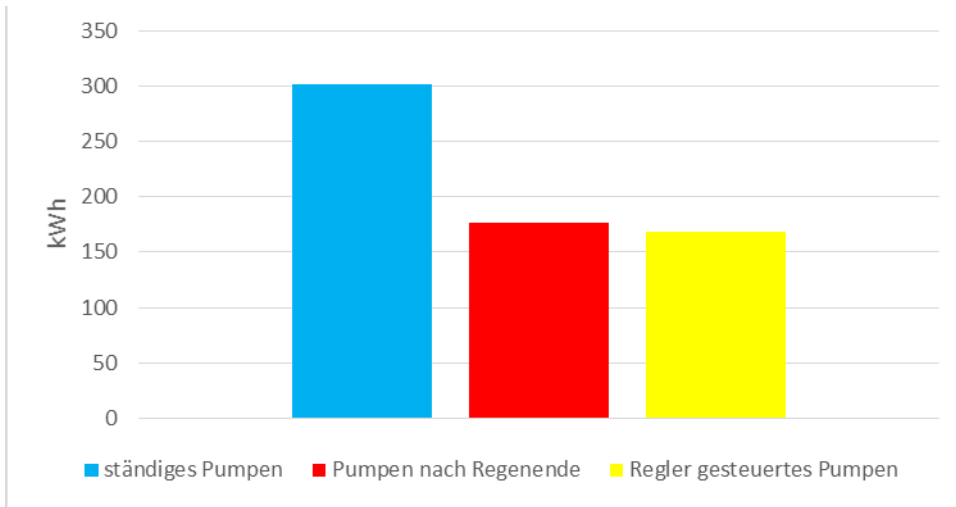


Abb. 40: Energieverbrauch der RKB-Pumpe im Vergleich der Regelstrategien

Die Energieeinsparung liegt bei über 40 %, wenn erst nach Regenende gepumpt wird. Eine weitere Einsparung von ca. 5 % im Vergleich zum Pumpen nach Regenende ist möglich, wenn der RKB-Regler eingesetzt wird, da durch ihn die Überlastung von der Kläranlage vermindert wird. In der folgenden Abbildung wird das Einsparpotential dargestellt.

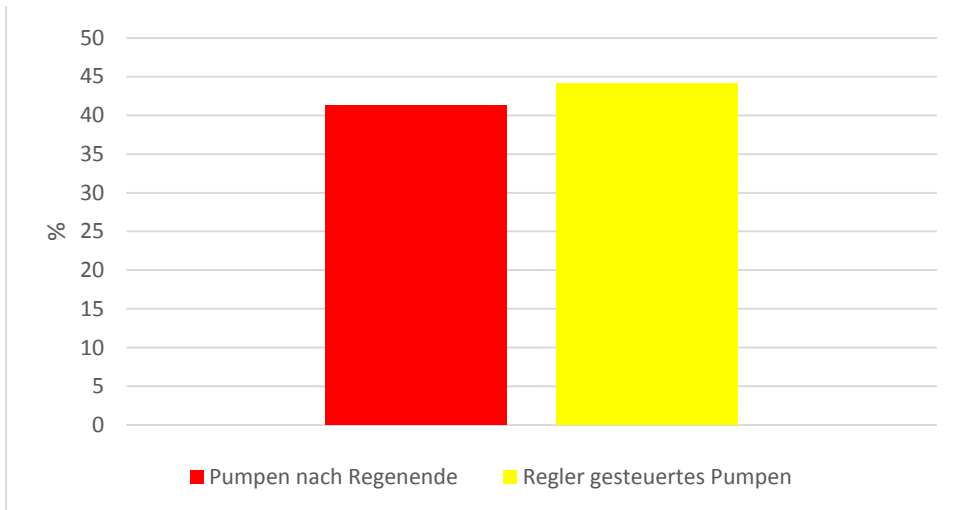


Abb. 41: Energieeinsparungspotential der Regelstrategien im Vergleich zum Dauerpumpen

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Schmutzwasserkanalnetz ist in Bergisch Gladbach schon heute so ausgelegt, dass alle geplanten RKB ohne hydraulische Probleme integriert werden können, wenn erst nach Regenende gepumpt wird. Bei einem unregelmäßigen Betrieb der vorhandenen und geplanten RKB im Stadtgebiet kann die Kläranlage die zusätzlichen Wassermengen in einer regenreichen Phase bei Regenereignissen, die über das ganze Stadtgebiet einem 10-jährlichen Ereignis entsprechen, nicht mehr behandeln. Aus diesem Grund müsste mit entsprechenden Investitionskosten die Kläranlage ausgebaut werden oder aber die RKB mit einem Regler zur zeitgerechten Inbetriebnahme der jeweiligen RKB-Pumpe ausgerüstet werden. Dieser Regler ist einfach aufgebaut und benötigt nur die aktuelle Zulaufmenge zur Kläranlage als wichtigsten externen Regelparameter. Alle anderen Regelparameter werden an den RKB erfasst. Wenn ein zulässiger Grenzwert überschritten ist, wird durch Abschalten der Pumpen in den RKB eine Überlastung der Kläranlage verhindert. Der Regler ist somit ein kostengünstiges Instrument für einen auch zukünftigen gesicherten Betrieb der Kläranlage. Die RKB sind mit einem entsprechenden Modul in der Steuerung auszurüsten.

7.1 Übertragbare Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete

Durch die zunehmende Behandlung des belasteten Niederschlagswassers auch in RKB wird es auch in anderen Kanalnetzen zu einer höheren Belastung des Kanalnetzes und der Kläranlage kommen. Ohne eine Regelung der Beckenentleerung sind hohe Investitionskosten im Bereich der Entwässerungseinrichtungen zu erwarten. Zudem kann es durch die dauerhafte Beckenentleerung zu einer Überlastung der Kläranlage mit entsprechender Verlagerung des Schmutzeintrags kommen. Fremdwasserfragestellungen im Trennsystem mit Nutzung des Regenwasserkanals als Fremdwasservorflut verstärken die Problematik.

Der gute Zustand der Gewässer erfordert u.a. Maßnahmen zur Niederschlagswasserbehandlung. Intelligente Regelungskonzepte zur Beckenentleerung führen zu einer keiner nachteiligen Entlastung der Entwässerungseinrichtungen und können flexibel an sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden. Weitere denkbare Regelparameter wie Durchflussmessungen im Kanalnetz führen zu einer weiteren Optimierungsmöglichkeit.

7.2 Ausblick für weitere Forschungsaktivitäten (Folgeprojekt)

Mit den vorliegenden Forschungsergebnissen konnte gezeigt werden, dass in der Simulationsumgebung der Regler für RKB gegenüber einem unregelmäßigen Betrieb das Kanalnetz und die Kläranlage deutlich entlastet werden können. Der Regler ist dabei so konzipiert worden, dass er auch im realen Beckenbetrieb zur Umsetzung kommen kann. Es wird daher empfohlen, die erarbeitete Regelstrategie unter realen Bedingungen zu erproben.

Die bereits vorhandene Messtechnik, die nach dem Projektende abgebaut wird, kann dort wieder eingesetzt werden, um die Auswirkungen des Reglers auf die Reinigungsleistung des RKB zu untersuchen. Der Test des Reglers sollte zuerst an einem einzelnen RKB installiert werden. Zwischen RKB und Kläranlage ist ein permanenter Datenaustausch einzurichten, dieser ist derzeit nicht gegeben.

Die Kosten für die erforderlichen Investitionen (Datenverbindung), Einbau der Messeinrichtungen sowie für die Auswertungen stellen Aufwendungen für eine übergeordnete Untersuchung mit Modellcharakter dar und sollten als Folgeprojekt im Rahmen einer Projektförderung umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- [DWA13] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft, Dr.-Ing. Stephan Fuchs, Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt, Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, Institut für Wasser Ressourcen Umwelt, Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, Prof. Dr.-Ing. Rainer Mohn, Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen, Phase 1, Karlsruhe, Oktober 2013
- [FanLi05] P. Fan *, J.C. Li, Diffusive wave solutions for open channel flows with uniform and concentrated lateral inflow, Advances in Water Resources 29 (2006) 1000–1019, Peking , Oktober 2005
- [Fischer09] Ingenieurbüro Franz Fischer, Fließschema Hydraulischer Nachweis Bergisch Gladbach Süd, Erftstadt, Juli 2009
- [Fischer14] Friederding, Ingenieurbüro Franz Fischer, Maßnahmenübersicht ABK2015, Solingen 05.11.2014
- [Haag08] Tanja Haag, Wasser in der Gesellschaft, Integrierte Optimierung von Kanalisationssystemen und Kläranlagen mit Computational Intelligence Tools, ISBN 978 3 86387 009 6, Gummersbach, 24.10.2008
- [Ifak14] ifak e.V, Simba# Version 1.1.82, (c), Magdeburg 2014
- [LUBW06] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - Erkennen, bewerten und vermeiden -, ISBN 978-3-88251-321-3, Karlsruhe August 2006
- [MKULNV] Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen - Umsetzung des Trennerlasses
Abschlussbericht 2011
- [Pan10] Mulan Zhang, Hao Chen, Jizhen Wang, Gang Pan, Nottingham Trent University, Rainwater utilization and storm pollutioncontrol based on urban runoff characterization, DOI: 10.1016/S1001-0742(09)60072-3, Source: PubMed, Nottingham, Januar 2010
- [QGIS15] <http://qgis.org/de/site/> QGIS Version 2.8.2-Wien, zuletzt abgerufen 14.12.2015

Anlagen

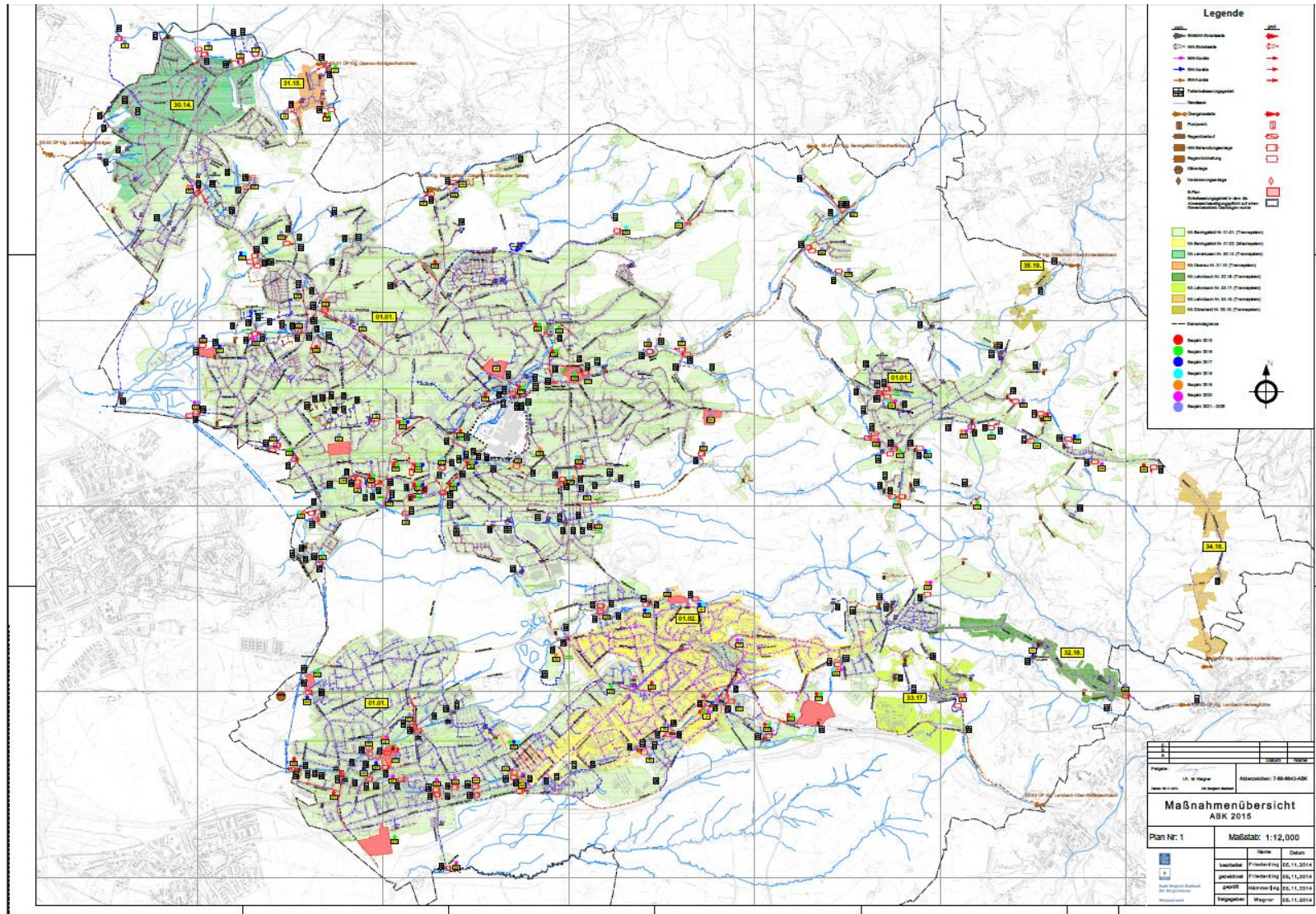


Abb.: Übersichtskarte von Bergisch Gladbach mit eingezeichneten Kanalnetzen [Fischer14]

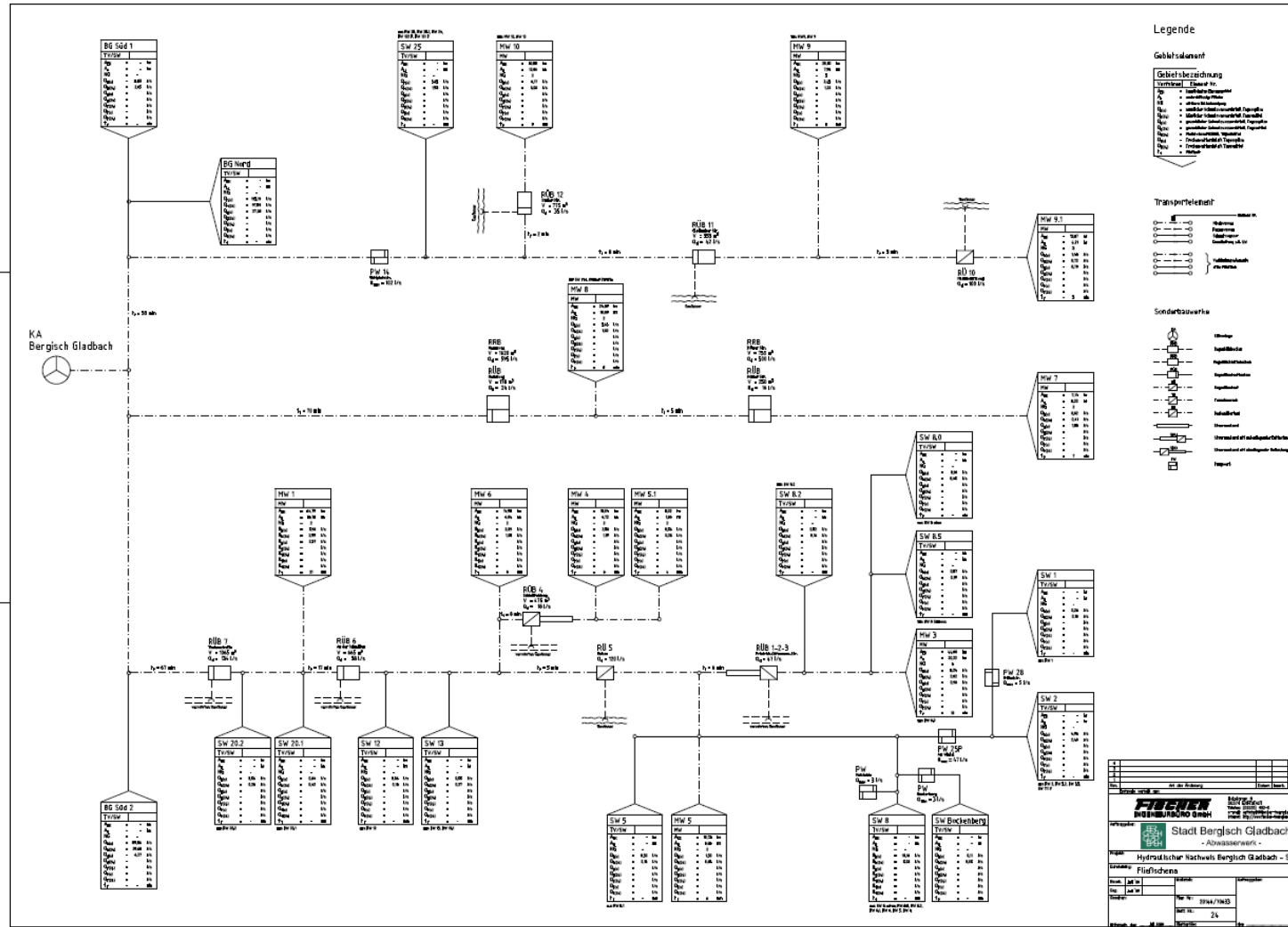


Abb.: Fließschema des Kanalnetzes der Stadt Bergisch Gladbach [Fischer09]

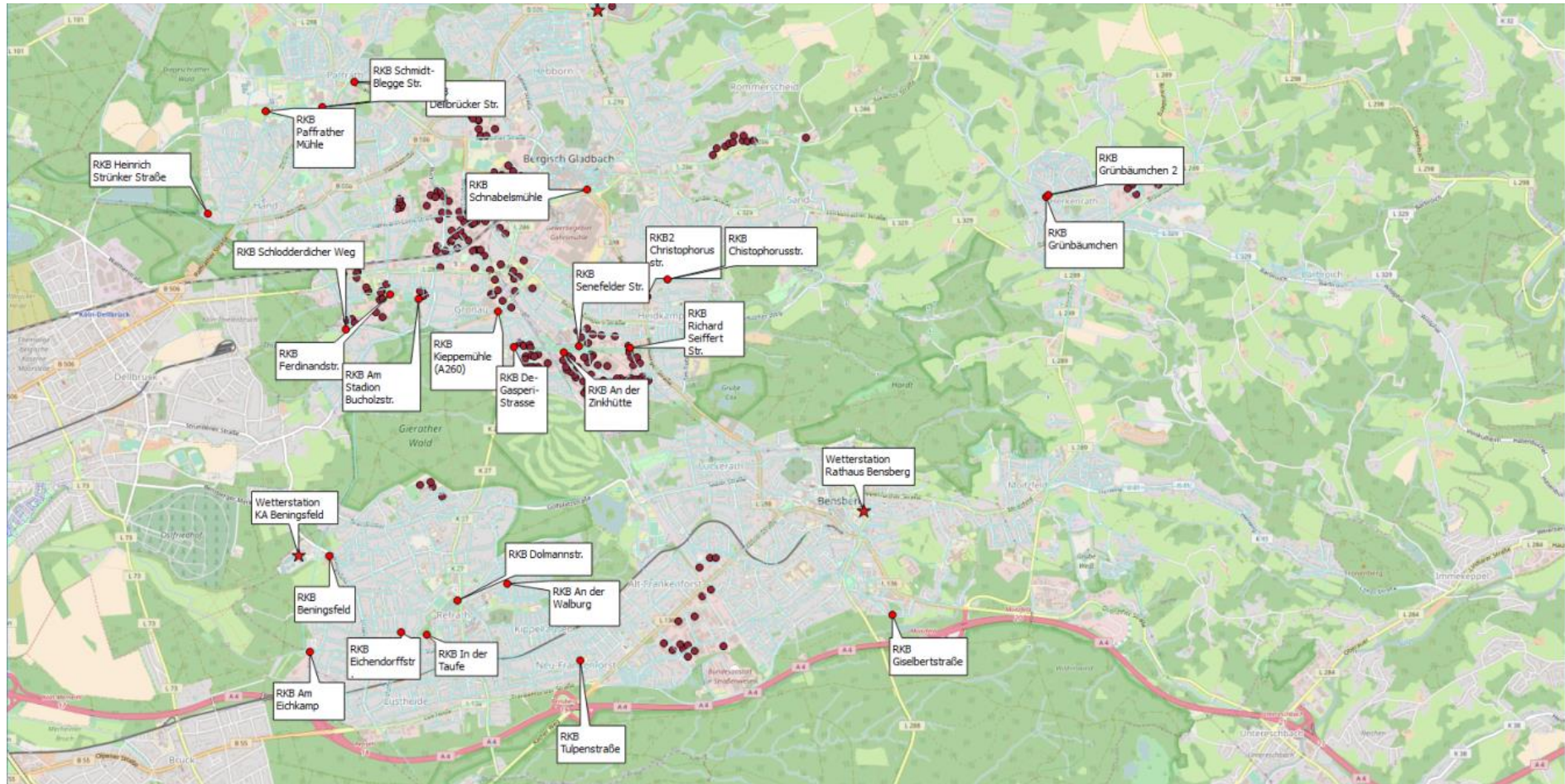


Abb.: QGIS-Darstellung mit allen modelltechnisch untersuchten RKB

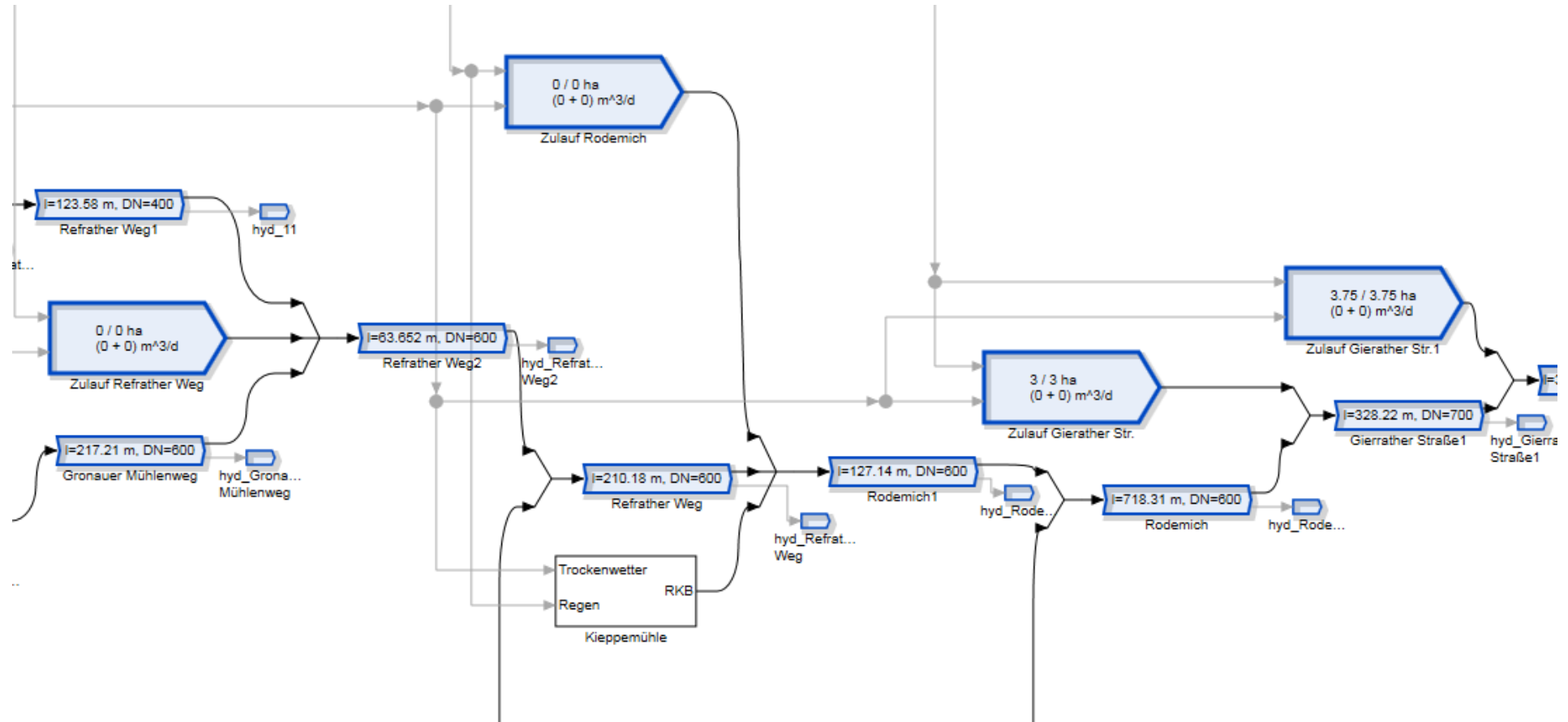


Abb.: Ausschnitt aus dem Schmutzwasserkanalnetz im Simba#-Modell

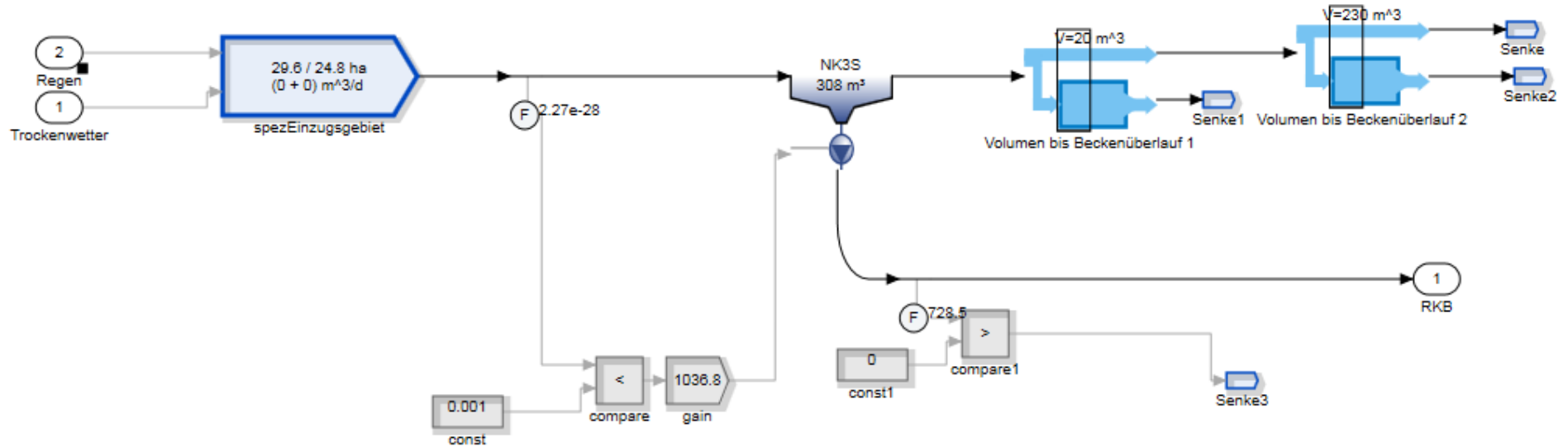


Abb.: RKB mit Regler „Leerpumpen nach Regenende“ in Simba# (Übersicht)

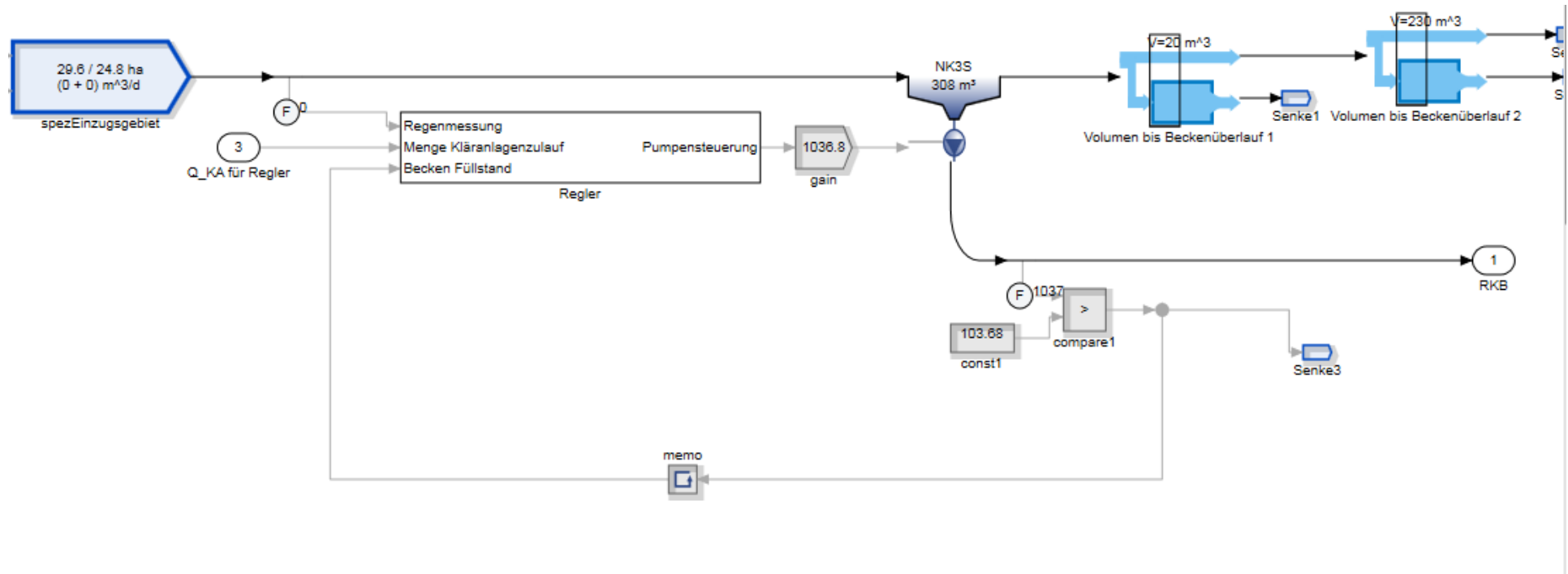


Abb.: Reglerumsetzung in Simba# (Übersicht)

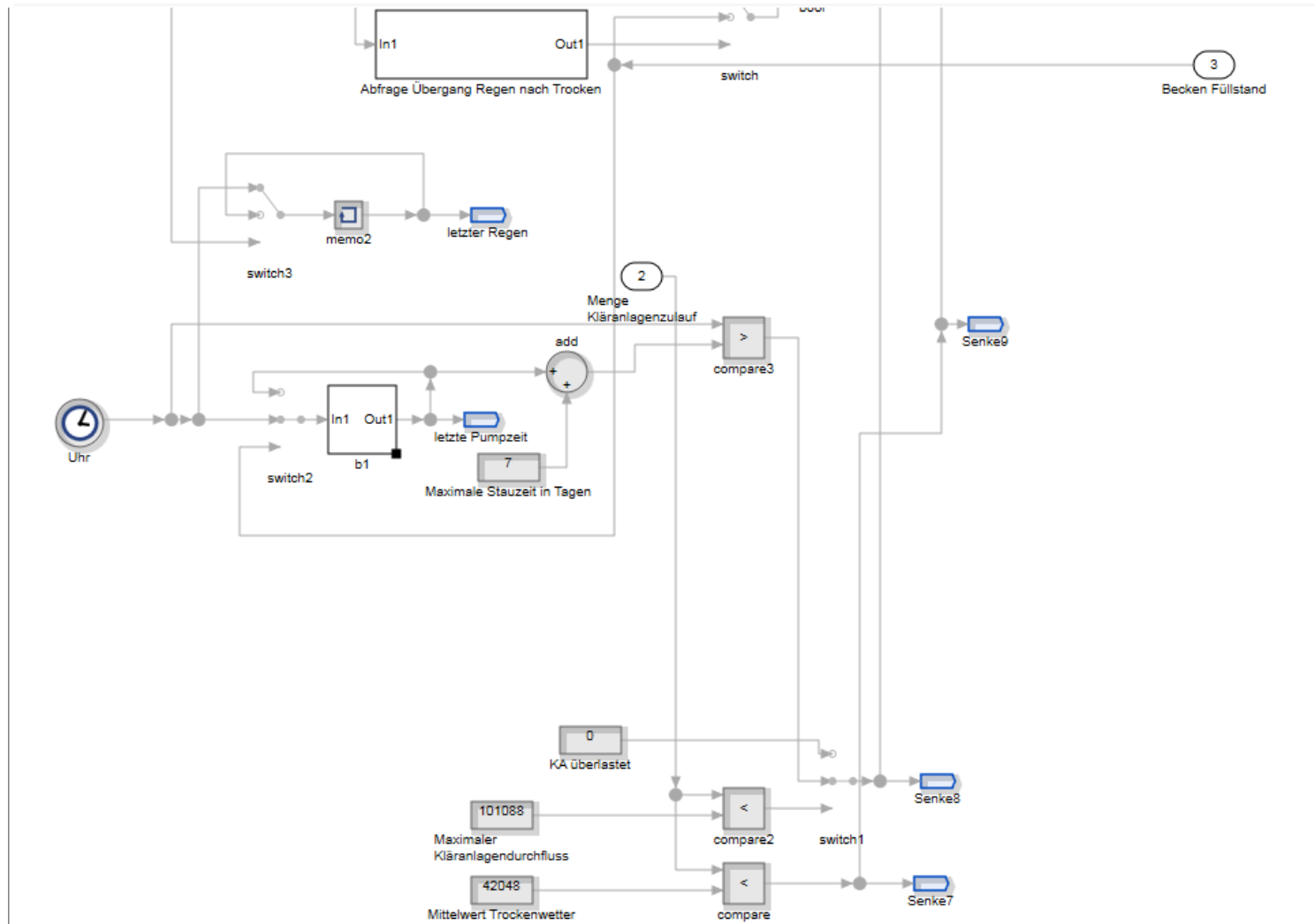


Abb.: Regler-Umsetzung in Simba# (Detail)