

# REPORT

Cicerostr. 24  
D-10709 Berlin  
Germany  
Tel +49 (0)30 536 53 800  
Fax +49 (0)30 536 53 888  
[www.kompetenz-wasser.de](http://www.kompetenz-wasser.de)

## SPREE2011

### AP 1.2 - Schmutzfrachtsimulation zur Bestimmung der hydraulischen und qualitativen Belastung des Regenbeckens

by

Kai Schroeder  
Hauke Sonnenberg  
Pascale Rouault

for

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Preparation of this report was financed through funds provided by BMBF

Berlin, Germany

December 2007

## **Important Legal Notice**

**Disclaimer:** The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document.

KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfill any of your particular purposes or needs.

The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

---

## **Wichtiger rechtlicher Hinweis**

**Haftungsausschluss:** Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren.

KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind.

Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

## Danksagung

Die Autoren danken den Mitarbeitern des Kanalbetriebs der Berliner Wasserbetriebe für die technische Unterstützung der im Rahmen der Studie durchgeführten Abflussmessungen. Ein besonderer Dank gilt Erika Pawlowsky-Reusing, Ilka Meier, Martin Nebauer und Klaus Buchholz von den Berliner Wasserbetrieben für ihre kompetente Beratung und ständige Unterstützung.



## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung .....	1
2	Beschreibung des Einzugsgebietes .....	3
3	Bestandsdaten und Prozessdaten .....	6
4	Grundlagen der Schmutzfrachtberechnung .....	7
4.1	Simulation der Kanalprozesse .....	7
4.1.1	Transport von gelösten Stoffen und suspendierten Sedimenten im Kanal .....	8
4.1.2	Simulation von Sedimentation und Remobilisierung der partikulären Stoffe im Kanal .....	9
4.2	Simulation der Prozesse auf der Oberfläche .....	10
4.2.1	Simulation der gelösten Stoffe auf der Oberfläche .....	14
4.2.2	Simulation der partikulären Stoffe auf der Oberfläche .....	16
4.2.2.1	Akkumulation der Sedimente auf der Oberfläche .....	16
4.2.2.2	Abtrag der Sedimente von der Oberfläche .....	16
5	Modellkalibrierung .....	21
5.1	Trockenwetterkalibrierung .....	22
5.1.1	Kalibrierung der hydraulischen Prozesse während Trockenwetter .....	22
5.1.2	Kalibrierung der stofflichen Prozesse während Trockenwetter .....	26
5.2	Regenwetterkalibrierung .....	32
6	Schmutzfrachtberechnung, Ist-Zustand .....	36
6.1	Vorgabe von Niederschlagsdaten .....	36
6.2	Randbedingungen der Schmutzfrachtsimulation für den Ist-Zustand .....	38
6.2.1	Annahmen für das geplante Regenbecken .....	39
6.3	Bewertungskriterien .....	40
6.4	Interpretation der Ergebnisse .....	40
6.4.1	Zuflusssituation zum Becken .....	41
6.4.2	Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen .....	41
6.4.3	Dauer des Becken-Füllvorgangs .....	43
6.4.4	Leerstandszeiten des Beckens .....	44
6.4.5	Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken .....	44
6.4.6	Entlastungskennwerte .....	45
6.4.7	Entleerungsdauer des Beckens .....	47
6.4.8	Wirkung des Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen des Einzugsgebietes Berlin XII .....	47
6.4.9	Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII .....	48
7	Schmutzfrachtberechnung, Sanierungs-Zustand .....	50
7.1	Randbedingungen der Schmutzfrachtsimulation für den Sanierungs-Zustand .....	50
7.2	Interpretation der Ergebnisse .....	51
7.2.1	Zuflusssituation zum Becken .....	51
7.2.2	Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen .....	52
7.2.3	Dauer des Becken-Füllvorgangs .....	54

7.2.4	Leerstandszeiten des Beckens.....	54
7.2.5	Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken.....	55
7.2.6	Entlastungskennwerte .....	56
7.2.7	Entleerungsdauer des Beckens.....	58
7.2.8	Wirkung des Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen des Einzugsgebietes Berlin XII.....	58
7.2.9	Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII .....	59
8	Zusammenfassung.....	61
9	Literaturverzeichnis.....	64

## Bildverzeichnis

<b>Bild 4-1</b> Definitionsskizze zum linearen Einzelspeicher.....	12
<b>Bild 4-2</b> Anstieg des Schmutzpentials der gelösten Stoffe im „gully pot“ (Schacht) .....	15
<b>Bild 4-3</b> Zeitlicher Verlauf der Erosionsrate für eine Ausgangsmasse $M(t_0)$ von 25 kg/ha und verschiedene Regenintensitäten.....	17
<b>Bild 4-4</b> Faktor $K_{pn}$ in Abhängigkeit von der Regenintensität für die Schmutzstoffparameter $BSB_{5\ part}$ , $CSB_{part}$ und $TKN_{part}$ .....	19
<b>Bild 4-5</b> Routine zur Berechnung des Schmutzstoffaufbaus und –abtrags in der Software InfoWorks CS.....	20
<b>Bild 5-1</b> Kanalnetz des APw Berlin XII (Modellplan).....	21
<b>Bild 5-2</b> Gemessener und simulierter Durchfluss im Schacht Danneckerstraße an Wochentagen.....	24
<b>Bild 5-3</b> Gemessener und simulierter Wasserstand im Schacht Danneckerstraße an Wochentagen.....	25
<b>Bild 5-4</b> Gemessener und simulierter Durchfluss im Schacht Danneckerstraße an Wochenendtagen.....	25
<b>Bild 5-5</b> Gemessener und simulierter Wasserstand im Schacht Danneckerstraße an Wochenendtagen.....	26
<b>Bild 5-6</b> Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen AFS Konzentrationen an drei Trockenwettertagen.....	27
<b>Bild 5-7</b> Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen CSB Konzentrationen an drei Trockenwettertagen.....	27
<b>Bild 5-8</b> Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen $NH_4$ -N Konzentrationen an drei Trockenwettertagen.....	28
<b>Bild 5-9</b> Gemessene und simulierte AFS Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße .....	29
<b>Bild 5-10</b> Gemessene und simulierte CSB Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße .....	29
<b>Bild 5-11</b> Gemessene und simulierte $NH_4$ -N Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße .....	30
<b>Bild 5-12</b> Gemessene und simulierte AFS Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße .....	30
<b>Bild 5-13</b> Gemessene und simulierte CSB Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße .....	31
<b>Bild 5-14</b> Gemessene und simulierte $NH_4$ -N Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße .....	31
<b>Bild 5-15</b> Vergleich von gemessenem und simuliertem Durchfluss im Hauptsammler der Danneckerstraße für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007 .....	33
<b>Bild 5-16</b> Vergleich von gemessenem und simuliertem Wasserstand im Hauptsammler der Danneckerstraße für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007 .....	34

<b>Bild 5-17</b> Vergleich von gemessenem und simuliertem Wasserstand im Zufluss zum Abwasserpumpwerk Berlin XII für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007 .....	34
<b>Bild 6-1</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die möglichen Zuflüsse zum Regenbecken.....	41
<b>Bild 6-2</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Befüllungsdauern des Beckens .....	43
<b>Bild 6-3</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Leerstandszeiten des Beckens .....	44
<b>Bild 6-4</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken .....	45
<b>Bild 7-1</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die möglichen Zuflüsse zum Regenbecken im Sanierungs-Zustand .....	52
<b>Bild 7-2</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Befüllungsdauern des Beckens für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation.....	54
<b>Bild 7-3</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Leerstandszeiten des Beckens im Sanierungs-Zustand .....	55
<b>Bild 7-4</b> Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken für den Sanierungs-Zustand .....	56

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2-1</b> Statistische Angaben zum Einzugsgebiet, Ist-Zustand.....	4
<b>Tabelle 5-1</b> Aufstellung der für die Trockenwetterkalibrierung des Gebietes Süd / Danneckerstraße verwendeten Messtage.....	23
<b>Tabelle 5-2</b> Trockenwetterabflussdaten APw Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) im Zeitraum August bis September 2007.....	23
<b>Tabelle 5-3</b> Mittlere Stoffkonzentrationen der gewählten Leitparameter AFS, CSB und NH <sub>4</sub> -N in der Danneckerstraße während Trockenwetter (aus Messungen) .....	28
<b>Tabelle 5-4</b> Für die Modellkalibrierung ausgewählte Niederschlagsereignisse aus dem Messzeitraum vom 20.08.2007 bis 18.10.2007 .....	32
<b>Tabelle 5-5</b> Nach der Kalibrierung festgelegte Werte für die Parameter des Niederschlags-Abfluss-Prozesses .....	35
<b>Tabelle 5-6</b> Bewertung der Kalibrierungsergebnisse (++ sehr gut, + gut, o brauchbar, - schlecht).....	35
<b>Tabelle 6-1</b> Jährliche Niederschlagshöhen und Anzahl der Niederschlagsereignisse der Jahre 1974 bis 2003 an der Messstation Berlin-Neukölln .....	37
<b>Tabelle 6-2</b> Trockenwettermengen am Abwasserpumpwerk Berlin XII von Oktober 2006 bis September 2007.....	38
<b>Tabelle 6-3</b> Im Modell hinterlegte Schaltstufen des Abwasserpumpwerks Berlin XII.....	39
<b>Tabelle 6-4</b> Abbildung der Entleerungspumpe des Regenbeckens im numerischen Modell..	40
<b>Tabelle 6-5</b> Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen (F/E-Zyklen) des Beckens unterschieden nach Vollfüllung und Teilfüllung .....	42
<b>Tabelle 6-6</b> Jährlich über das geplante Regenbecken entlastete Abwassermengen und -frachten, Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern.....	46
<b>Tabelle 6-7</b> Zusammenstellung der mittleren jährlichen Entlastungsvolumina der Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII für den Systemzustand ohne Becken und den Zustand mit Becken .....	48
<b>Tabelle 6-8</b> In der Langzeitsimulation ermittelte jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII.....	49
<b>Tabelle 7-1</b> Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen des Beckens im Sanierungs-Zustand unterschieden nach Vollfüllung und Teilfüllung .....	53
<b>Tabelle 7-2</b> Jährlich über das geplante Regenbecken entlastete Abwassermengen und -frachten, Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern im Sanierungs-Zustand .....	57
<b>Tabelle 7-3</b> Zusammenstellung der mittleren jährlichen Entlastungsvolumina der Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII für den Sanierungs-Zustand.....	59
<b>Tabelle 7-4</b> In der Langzeitsimulation ermittelte jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII im Sanierungs-Zustand.....	60

## Anhang

Anhang 1: Übersichtsplan des Einzugsgebietes Berlin XII.....	70
Anhang 2: Messschacht 15151.312, Danneckerstraße, Berlin.....	71
Anhang 3: Auswahl der Regenereignisse für die Regenwetterkalibrierung.....	72
Anhang 4: Darstellung der gemessenen und simulierten Ganglinien nach Regenwetterkalibrierung.....	77
Anhang 5: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Ist-Zustand der Kanalisation.....	87
Anhang 6: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation.....	88

# 1 Veranlassung und Zielstellung

In Siedlungsgebieten fallen häusliches, gewerbliches und industrielles Schmutzwasser sowie, in Abhängigkeit des Versiegelungsgrades, erhebliche Mengen an Niederschlagswasser an. Die zentrale Aufgabe der Stadtentwässerung besteht in der schadlosen Ableitung und Reinigung des Abwassers unter Wahrung größtmöglicher Betriebssicherheit. Übergeordnete Zielsetzung hierbei ist die Vermeidung von Beeinträchtigungen und somit der Schutz des natürlichen Gewässerkreislaufes (DWA, 2006). Besonderes Augenmerk liegt auf der Gestaltung der Mischkanalisation, wo Regenüberläufe und Entlastungen von Regenüberlaufbecken ein potentes Risiko der Gewässerverunreinigung darstellen (House *et al.*, 1993; UNESCO, 2006).

Bereits seit 1957 werden in Berlin Regenüberlaufbecken gebaut, um Mischwasser zwischenzuspeichern und der Reinigung auf der Kläranlage zuzuführen, bzw. um eine mechanische Reinigung eines Teiles des entlasteten Mischwassers vor der Einleitung in das Gewässer zu erzielen. Dieser grundsätzliche Gedanke, die für das Gewässer kritische Mischwasserfracht zwischenzuspeichern ist auch in den „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“ (ATV, 1992) verankert.

Die Berliner Wasserbetriebe setzen bis zum Jahre 2020 ein Sanierungskonzept in den durch Mischkanalisation entwässerten Einzugsgebieten um, um die vom Land Berlin in der „Wasserbehördlichen Erlaubnis vom 30.06.1998“ geforderten Richtwerte bezüglich der Einleitung von Mischwasserüberläufen in die Gewässer einzuhalten.

Das Vorhaben SPREE2011 verfolgt das Konzept, über das oben genannte Maß hinaus zusätzlichen Speicherraum zur Aufnahme von Einleitungen aus der Mischkanalisation im Zentrum der Stadt Berlin zu schaffen. Diese Regenüberlaufbecken sollen im Uferbereich des Gewässers, also unmittelbar an den ursprünglichen Einleitungsstellen angeordnet werden, um das infolge von Starkregenereignissen aus der Mischkanalisation austretende Abwasser aufzufangen und nach dem Ereignis der zentralen Behandlung wieder zuzuführen oder vor Ort zu behandeln. Im Rahmen der F&E-Studie sollen Konzepte zur Realisierung der wasserbasierten Mischwasserspeicher mit integrierter Klärtechnik erarbeitet werden.

Die F&E-Studie umfasst 7 Phasen, die in weitere Arbeitspakete unterteilt sind. Ziel des Arbeitspaketes 1.2, das durch die KWB mitgestaltet wurde, ist die Analyse der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken (Mengen, Dauern, Häufigkeiten, Spitzenzuflüsse) und die Bewertung der Rückbelastung auf das Abwassersystem. Dadurch wird eine effiziente und zielgerichtete Planung und Realisierung der Anlage ermöglicht. Die Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB) hat im Rahmen ihres Projekts „ISM - Integrated Sewage Management“ (Schroeder and Pawlowsky-Reusing, 2006) in enger Kooperation mit den Berliner Wasserbetrieben ein numerisches Modell des Berliner Entwässerungssystems erstellt, welches von der KWB für die Bearbeitung der genannten

Aufgaben verwendet werden konnte. Das Modell ist darauf ausgelegt, für verschiedene Entwicklungsszenarien Volumen- und Stoffströme in der Kanalisation bis hin zum Gewässer abzubilden.

Die Bewertung der Zulaufsituation zu dem geplanten Regenbecken erfolgte durch die statistische Auswertung von Schmutzfrachtsimulationen über einen repräsentativen Zeitraum. Die Projektbearbeitung teilt sich in folgende hauptsächliche Arbeitsschritte:

- Beschreibung des Einzugsgebietes
- Erhebung, Analyse und Validierung von Bestandsdaten zu den abwassertechnischen Anlagen und verfügbaren Prozessdaten
- Beschreibung der Grundlagen und Randbedingungen der Schmutzfrachtberechnung
- Modellkalibrierung
- Erarbeitung von Modellvarianten entsprechend der zu untersuchenden Szenarien (Ist-Zustand des Netzes, Sanierungszustand des Netzes)
- Schmutzfrachtberechnung, Ist-Zustand
- Schmutzfrachtberechnung, Sanierungs-Zustand
- Statistische Auswertung der Simulationsergebnisse. Abweichend von der ursprünglichen Zielstellung einer Speicherbemessung für die Entlastungshäufigkeit  $n=1$  wurde im Laufe des Projektes vereinbart, die Berechnung und Bewertung der Volumen- und Stoffströme für ein zu bauendes Beckenvolumen von 1000 m<sup>3</sup> durchzuführen (siehe Projekt-Dokument S\_071024\_Speichergroesse\_01KA.pdf)
- Bewertung der hydraulischen und qualitativen Belastung des Beckens sowie der Rückbelastung auf das Entwässerungssystem durch die Beckenentleerung

## 2 Beschreibung des Einzugsgebietes

Das Stadtgebiet von Berlin wird teilweise im Mischsystem und teilweise im Trennsystem entwässert. Die Ursprünge der Kanalisation gehen auf den Entwurf von Hobrecht aus dem Jahre 1872 zurück (Hobrecht, 1884). Der Kanalisationsentwurf sah vor, dass für die ganze damalige, flache und recht große Stadt nicht ein (großes) Kanalsystem geschaffen wird, sondern 12 Teilsysteme (die so genannten Radialsysteme) eingerichtet werden. Jedes Teilsystem endet in einem Pumpwerk am Tiefpunkt nahe einem Gewässer und ist für sich funktionsfähig. Von dort aus werden die Abwässer über Druckrohrleitungen zu Kläranlagen gefördert.

Die 12 Hobrechtschen Radialsysteme erfassen nur das Gebiet der damaligen Stadt. Diese Systeme existieren im Wesentlichen auch heute noch. Die im Laufe der Jahrzehnte entstandenen Erweiterungen bzw. durch Eingemeindungen hinzugekommenen Entwässerungsgebiete bauen entwässerungstechnisch auf diesem System auf oder nutzen seine Grundzüge. Daher ist das gesamte Stadtgebiet von Berlin in eine Vielzahl von entwässerungstechnischen Teilsystemen untergliedert, die jeweils über Pumpwerke entwässert werden.

Mit dem vorliegenden Projekt wurde das Einzugsgebiet des Abwasserpumpwerks Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) behandelt.

Das Einzugsgebiet des Pumpwerks Berlin XII lässt sich in zwei Teilgebiete unterteilen. Das nördliche Gebiet welches den Großteil der Einzugsgebietsfläche ausmacht, wird im Osten von der S-Bahnstrecke längs der Neuen Bahnhofstraße / Gürtelstraße / Pettenkoferstraße begrenzt. Im Norden schließt sich das Einzugsgebiet von Berlin XI an, wobei die Grenze auf dem ehemaligen Schlachthofgelände verläuft. Im Westen schließt sich das Einzugsgebiet Berlin V an. Das kleinere südlich gelegene Gebiet verläuft zwischen der Bundesbahnstrecke und der Spree (siehe Anhang 1).

Die Einwohnerzahl für das Einzugsgebiet beträgt 68.630 Einwohner. Die Gesamtfläche des Einzugsgebietes beträgt 396 ha, wovon 323 ha als befestigte Fläche ermittelt wurden. Dementsprechend ergibt sich ein mittlerer Befestigungsgrad von ca. 82 %. In Abhängigkeit von der innerhalb des Einzugsgebietes variierenden Bebauungsstruktur liegen die Befestigungsgrade zwischen 50 % und 100 %. Nicht an die Kanalisation angeschlossen sind zusammenhängende Grünflächen.

Bezüglich der Bebauungsstruktur und Bebauungsdichte weist das Einzugsgebiet eine relativ homogene Struktur auf. Es herrscht überwiegend Wohnbebauung vor. Im nördlichen Einzugsbereich handelt es sich um dichte Blockbebauung, im südlichen Teilbereich ist die Bebauung etwas aufgelockert. Gewerbeflächen sind im Wesentlichen im Bereich der Gleisanlagen angesiedelt.

Das Pumpwerk Berlin XII, von dem aus das gesammelte Abwasser zum Klärwerk gefördert wird, befindet sich in der Rudolfstraße, auf der Grenze zwischen den beiden Teilgebieten des Einzugsgebietes.

Das Einzugsgebiet des Pumpwerks Berlin XII wird fast ausschließlich im Mischverfahren entwässert. Eine Ausnahme bildet die Stralauer Halbinsel, welche im Trennsystem entwässert und das Schmutzwasser über das Pumpwerk ÜPw Berlin XIIa und eine Druckrohrleitung in die Mischwasserkanalisation der Stralauer Allee / Ecke Rochowstraße in den südlichen Teilbereich einleitet. Eine weitere Ausnahme stellt die Fläche des Schlachthofgeländes im nördlichen Einzugsgebiet dar, von der das Regenwasser separat gesammelt und dem Entlastungssammler in der Frankfurter Allee zugeführt wird.

**Tabelle 2-1** Statistische Angaben zum Einzugsgebiet, Ist-Zustand

Gesamtfläche Einzugsgebiet	396,4 ha
davon MW-Gebiete	384,0 ha
davon RW-Gebiete	12,4 ha
Befestigte Fläche MW/RW-Gebiete	323,3 ha
Mittlerer Befestigungsgrad	81,6 %
Einwohnerzahl	68.630
Kanalnetzlänge MW	90,593 km
Kanalnetzlänge RW	0,619 km
Kanalnetzlänge SW	0,714 km
Kanalnetzlänge Entlastungskanäle	4,135 km
Gesamtkanalnetzlänge	96,061 km
Haltungsanzahl MW	2.093
Haltungsanzahl RW	23
Haltungsanzahl SW	22
Haltungsanzahl Entlastungskanäle	76
Gesamtanzahl der Haltungen	2.214
Anzahl Schächte	1.820
Anzahl Regenüberläufe	16
davon interne Überläufe	9
Anzahl Regenüberlaufbecken	0
Anzahl Abwasserpumpwerke	1

Dem Abwasserpumpwerk Berlin XII fließen die Mischwasserabflüsse über große gleichmäßig über das Einzugsgebiet verteilte Sammler von zwei Seiten zu. Das nördliche Teilgebiet entwässert über den Hauptsammler in der Modersohnstraße, das südliche Teilgebiet über den Hauptsammler in der Danneckerstraße zum Pumpwerk hin. Die Mischwasserkanalisation weist bei 2.093 Haltungen eine Gesamtkanallänge von 90,6 km auf. Die Entlastungskanäle haben eine Gesamtlänge von 4,1 km bei 76 Haltungen.

Im Einzugsgebiet Berlin XII sind insgesamt 16 Regenüberläufe angeordnet, wobei sich 9 Überläufe im nördlichen Teil des Einzugsgebietes befinden. Fünf davon sind in der Frankfurter Allee und vier weitere Überläufe in der Samariterstraße angeordnet. Alle neun Überläufe entlasten in den Entlastungssammler Frankfurter Allee. Dieser Entlastungssammler führt weiter nach Berlin V, nimmt dort Entlastungen von Überläufen des Einzugsgebietes Berlin V auf und wird im Bereich der Straße der Pariser Kommune als Stauraumkanal bewirtschaftet. Der Klärüberlauf des Stauraumkanals mündet in die Spree. Die Entlastungsmengen des Überlaufes vor dem Pumpwerk Berlin XII (RÜ 1) werden von einem weiteren Entlastungskanal aufgenommen, dieser mündet ebenfalls in die Spree. Die übrigen sechs Überläufe liegen im südlichen Teil des Einzugsgebietes und entwässern direkt über kurze Entlastungskanäle in die Spree. Bedingt durch den mittleren Wasserstand der Spree von 32,35 müNN (Berlin Oberschleuse OP, MW 1996-2005) stauen die Entlastungskanäle teilweise ein. In dem Berechnungsgebiet befinden sich keine Rückhaltebecken.

In **Tabelle 2-1** sind die wesentlichen Daten des Einzugsgebietes APw Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) zusammengestellt.

### 3 Bestandsdaten und Prozessdaten

Zur Projektbearbeitung wurden von den Berliner Wasserbetrieben folgende Planunterlagen und Bestandsdaten zur Verfügung gestellt, die zur Überprüfung und Anpassung der Struktur des numerischen Kanalnetzmodells genutzt wurden:

- Kanalnetzübersichtslagepläne M. 1:2.500
- Bestandspläne der Kanalisation M. 1:500
- Detailpläne der Sonderbauwerke (Regenüberläufe)
- Aufmessungen und Liste der neu durchgeführten Nivellements der Schwellenhöhen der Regenüberlaufbauwerke
- Unterlagen über die Pumpwerksleistungen

Für die Kalibrierung des numerischen Kanalnetzmodells wurden am Pumpwerk Berlin XII gemessene Wasserstände, Fördermengen und Niederschlagshöhen aus dem Prozessdaten-Archiv der Berliner Wasserbetriebe zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden eigene Durchfluss- und Wasserstandmessungen im Mischwasserkanal der Danneckerstraße und Niederschlagsmessungen am Abwasserpumpwerk Berlin XII durchgeführt. Stoffkonzentrationen des Abwassers in der Danneckerstraße wurden mittels automatischer Probenahme und Laboranalyse durch die Technische Universität Berlin erhoben und bereitgestellt. Auch diese Informationen wurden zur Modellkalibrierung genutzt.

## 4 Grundlagen der Schmutzfrachtberechnung

Die Schmutzfrachtberechnung wurde mit dem an der KWB in Kooperation mit den Berliner Wasserbetrieben aufgestellten ISM Modell durchgeführt (Schroeder and Pawlowsky-Reusing, 2006). Dieses numerische, deterministische Modell basiert auf der Software InfoWorks CS (Wallingford Software Ltd., 2004) und ist darauf ausgelegt, für verschiedene Entwicklungsszenarien Volumen- und Stoffströme in der Kanalisation bis hin zum Gewässer abzubilden. Eine detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Modellansätze findet sich in (Schumacher et al., 2007).

### 4.1 Simulation der Kanalprozesse

Die exakte Beschreibung des instationären, ungleichförmigen Abflussvorgangs erfolgt durch das Saint-Venant'sche Differentialgleichungssystem. Es besteht aus der Kontinuitätsgleichung und der dynamischen Bewegungsgleichung.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4-1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = J_S - J_R \quad (4-2)$$

mit :

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	= Abfluss
$A$ (m <sup>2</sup> )	= durchströmte Querschnittsfläche
$g$ (m/s <sup>2</sup> )	= Erdbeschleunigung
$t$ (s)	= unabhängige Zeitvariable
$x$ (m)	= unabhängige Ortsvariable
$v$ (m/s)	= abhängige Variable mittlere Geschwindigkeit
$h$ (m)	= abhängige Variable mittlere Fließtiefe
$J_R$ (m/m)	= Reibungsgefälle
$J_S$ (m/m)	= Sohlgefälle

Die einzelnen Terme der Bewegungsgleichung haben folgende Bezeichnung:

$$\frac{\partial h}{\partial x} \quad = \text{Wasserspiegelliniengefälle}$$

$$\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} \quad = \text{bezogene konvektive Beschleunigung}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad = \text{bezogene lokale Beschleunigung}$$

Die ausführliche Herleitung des Gleichungssystems erfolgt unter einer Reihe von Annahmen und Vereinfachungen (Schröder, 1972; Koussis, 1975).

Bei der Software InfoWorks CS handelt es sich um ein hydrodynamisches Kanalnetzrechnungsprogramm, d.h. die Berechnung des Wellenabflusses im Kanal basiert auf der Lösung der Saint-Venant'schen Differentialgleichungen. Tatsächlich berücksichtigt das Programm die vollständige Bewegungsgleichung ohne Vernachlässigung von Teilgliedern (engl. „dynamic wave equation“). Die numerische Lösung des Differentialgleichungssystems erfolgt unter Verwendung des impliziten Preissmann-4-Punkte-Schemas (Preissmann, 1961). Die Berechnung der Reibungsverluste erfolgt unter Verwendung der Fließformel nach *Darcy-Weisbach* und des Widerstandsgesetzes nach *Colebrook* und *White* oder alternativ unter Verwendung der *Manning-Strickler*-Formel. Als Ergebnis werden die vollständigen Funktionsverläufe von Fließgeschwindigkeit  $v = f(x,t)$  und Wasserspiegellage  $h = f(x,t)$  an jedem Punkt des Netzes zu jedem Zeitpunkt errechnet.

#### **4.1.1 Transport von gelösten Stoffen und suspendierten Sedimenten im Kanal**

Die Simulation des Transports der gelösten Stoffe und suspendierten Sedimente im Kanalrohr erfolgt unter Ansatz der eindimensionalen Advektions-Dispersions-Gleichung (Cunge *et al.*, 1980). Das Dispersions-Glied ist in InfoWorks CS zu Null gesetzt, so dass lediglich Advektion abgebildet wird. Jedoch kann unter bestimmten Randbedingungen ein Effekt durch numerische Diffusion beobachtet werden (Langeveld *et al.*, 2004).

$$\frac{dc}{dt} + u \frac{dc}{dx} = 0 \quad (4-3)$$

mit:

$c$  (kg/m<sup>3</sup>) = Konzentration

$u$  (m/s) = Fließgeschwindigkeit, aus der hydraulischen Simulation

$t$  (s) = Zeit

$x$  (m) = Wegkoordinate

Biochemische Abbau- und Umsetzungsprozesse sowie Reaktionen der Stoffe untereinander werden nicht berücksichtigt. Stoffe vermehren oder verringern sich nicht durch andere Prozesse als die Mischung. Die gelösten und suspendierten Stoffe unterliegen alleine dem Transport durch die jeweilige mittlere Fließgeschwindigkeit.

#### 4.1.2 Simulation von Sedimentation und Remobilisierung der partikulären Stoffe im Kanal

Die Ablagerung von Feststoffen auf der Kanalsohle wird durch zwei Schichten in der Höhengausdehnung definiert. Es gibt eine „passive“ Schicht, mit deren Hilfe ein unveränderlicher Zustand von konsolidierten Ablagerungen definiert wird. Darüber kann eine weitere „aktive“ Schicht als Ergebnis des Sedimentbausteins anfallende Sedimente aufnehmen und abgeben. Die Summe dieser Sedimentschichten kann 80% der Profilhöhe des Kanals nicht überschreiten. Es können Maximalhöhen der Summe beider Schichten vorgegeben werden. Wenn die maximale Höhe der Gesamtschicht gleich der Höhe der passiven Schicht gewählt wird, wird die aktive Sedimentschicht unterdrückt, d. h. Ablagerung und Abtrag in der Berechnung führen nicht zu einer Querschnittsveränderung. Es kann gewählt werden, ob die Veränderung der Sedimentschicht und somit des Kanalquerschnitts in die hydraulische Berechnung zurückfließt.

Die Berechnung der Sedimentation und Erosion im Kanal wird in der Software mittels der Gleichungen nach den Modellen von Ackers White (Ackers, 1991), Velikanov (Velikanov, 1954) und der KUL-Methode (Bouteligier *et al.*, 2002) angeboten. Im ISM-Modell werden für Langzeitsimulationen die Berechnungsansätze von Velikanov verwendet. Aus diesem Grunde wird im Folgenden nur dieser Ansatz erläutert.

Das Modell geht von zwei Grenzkonzentrationen,  $C_{min}$  und  $C_{max}$  aus, die den Zustand der Erosion ( $C_{AFS} < C_{min}$ ) und der Ablagerung ( $C_{AFS} > C_{max}$ ) definieren. Bewegen sich die vorhandenen Konzentrationen der partikulären Stoffe im Abwasserstrom zwischen beiden Grenzkonzentrationen, dann findet weder Erosion noch Ablagerung statt, die Partikel befinden sich in Suspension.

$$C_{min} = \eta_{min} \rho_s \rho_m (\rho_s - \rho)^{-1} \frac{UJ}{w} \quad (4-4)$$

$$C_{max} = \eta_{max} \rho_s \rho_m (\rho_s - \rho)^{-1} \frac{UJ}{w} \quad (4-5)$$

mit:

$\eta_{min/max}$  = Grenzkoeffizienten, über die das Modell kalibriert wird

$\rho_s$  (kg/m<sup>3</sup>) = Dichte der Sedimente

$\rho_m$  (kg/m<sup>3</sup>) = mittlere Dichte der Mischung aus Sediment und Wasser

$\rho$  = Dichte des Wassers

$U$  (m/s) = Mittlere Fließgeschwindigkeit

$J$  (m/m) = Energieliniengefälle des Wassers

$w$  = mittlere Sinkgeschwindigkeit der Sedimente

Kalibrierungen dieser Parameter wurden in langen Sammelkanälen zur modellhaften Nachbildung von Spülvorgängen in hochgradig mit Sediment belasteten Kanälen mit großem Aufwand durchgeführt (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2006). Zug *et al.* (1998) nutzten den Modellansatz nach Velikanov erfolgreich, um den Transport suspendierter Sedimente in einem Mischwasserkanal während Regens abzubilden. Die Definition allgemeingültiger Parameter für die Langzeitsimulation ist bislang jedoch nicht möglich. Die Übertragbarkeit von Erkenntnissen und Parametersätzen sowohl von einem Niederschlagsereignis auf andere, als auch von einem Kanal auf andere Kanäle konnte bislang nicht nachgewiesen werden. Hierfür gibt es verschiedene Gründe, die Ashley *et al.* (1999) und Frehmann and Geiger (2000) wie folgt beschreiben.

Die Kenntnisse über die physikalischen Vorgänge der Ablagerung und Remobilisierung von Sedimenten im Kanal sind auch nach zahlreichen Messprogrammen nach wie vor mangelhaft. Dies führt dazu, dass diese Prozesse häufig nicht und wenn, dann nur auf konzeptionelle Weise in Schmutzfrachtmodelle integriert werden. Modellimmanente Unsicherheiten bei der Berechnung sind die Folge.

Die für die Kalibrierung der Schmutzfrachtmodelle verfügbaren Daten sind häufig von unzureichender Qualität und liegen nur lückenhaft vor. Die Messung von Schmutzstoffen im Kanal gestaltet sich aufgrund verschiedener Einflüsse als ausgesprochen schwierig. Probleme bereiten die hohe Variabilität des Abflusses (im Mischkanal von wenigen Litern bis zu mehreren tausend Litern), die Zusammensetzung des Mediums (feine bis grobe Partikel, Fasern und Fette) und praktische Aspekte, wie die Zugänglichkeit und Arbeitssicherheit. Mit Messfehlern von bis zu 15 % muss auch bei richtiger Auswahl der Messstellen und Anordnung der Messgeräte gerechnet werden (Uhl, 1993). Bei konventioneller Beprobung des Abflusses liegen die Daten zu den verschiedenen Stoffparametern häufig in einer zeitlich zu geringen Auflösung vor, um die Dynamik der Prozesse erkennen und beschreiben zu können. Kostengünstige Technologien zur kontinuierlichen Stoffmessung mittels Online-Sensoren befinden sich noch in der Entwicklung (Gruber *et al.*, 2004).

Die Übertragbarkeit von Erkenntnissen von einem Gebiet auf andere wird schließlich durch die unklaren Zusammenhänge zwischen Gebiets- und Systemeigenschaften und der resultierenden Wirkung auf die Kanalprozesse behindert.

Auf Grund der genannten Unsicherheiten wird der Sedimentationsbaustein im Kanal im ISM-Modell weitestgehend unterdrückt. Dies wird erzielt durch eine Überhöhung der Grenzkoeffizienten im Velikanov-Ansatz zu  $\eta_{\min} = 9000$  und  $\eta_{\max} = 10000$ .

## 4.2 Simulation der Prozesse auf der Oberfläche

Der Niederschlag-Abfluss-Prozess auf der Oberfläche wird durch die Software InfoWorks CS, wie bei hydrodynamischen Berechnungsprogrammen üblich, in Teilphasen getrennt unter

Verwendung vereinfachter, hydrologischer Ansätze simuliert. Es wird zwischen den Teilphasen Abflussbildung und Abflusskonzentration unterschieden.

Als Abflussbildung versteht man die Reduktion des Gesamtniederschlags auf den zum Abfluss kommenden effektiven bzw. wirksamen Niederschlag. Die Verluste resultieren aus Benetzung, Muldenauffüllung, Verdunstung, sowie bei (teil-)durchlässigen Flächen aus der Infiltration ins Bodenreich. Eine exakte Beschreibung des Vorgangs erfasst zudem die zeitliche Veränderung des Schneevorrates.

$$N_w(t) = N(t) - VP(t) - I(t) - \frac{dO(t)}{dt} - \frac{dS(t)}{dt} \quad (4-6)$$

mit :

- N<sub>w</sub> = abflusswirksamer Niederschlag
- N = Niederschlag
- VP = potentielle Verdunstung
- I = Infiltration in den Bodenraum
- O = Oberflächenwasservorrat
- S = Schneevorrat

Übliche Modellansätze sind die Abflussprozentmethode, die Index-Methode, die Schwellenwertmethode und die (erweiterte) Grenzwertmethode. Zur Beschreibung der Infiltrationsrate sind die Ansätze nach Horton oder nach Neumann, das SCS-Verfahren und das Green-Ampt-Verfahren gebräuchlich (ATV, 1986).

Im ISM Modell wird der Abfluss von durchlässigen Flächen vollständig vernachlässigt, da diese Abflusskomponente im Innenstadtbereich mit weitestgehend befestigten Flächen einen untergeordneten Einfluss hat. Benetzung und Muldenauffüllung der befestigten Flächen werden als Anfangsverluste definiert und zusammengefasst in Abhängigkeit vom Geländegefälle wie folgt beschrieben.

$$D = \frac{k}{\sqrt{S}} \quad (4-7)$$

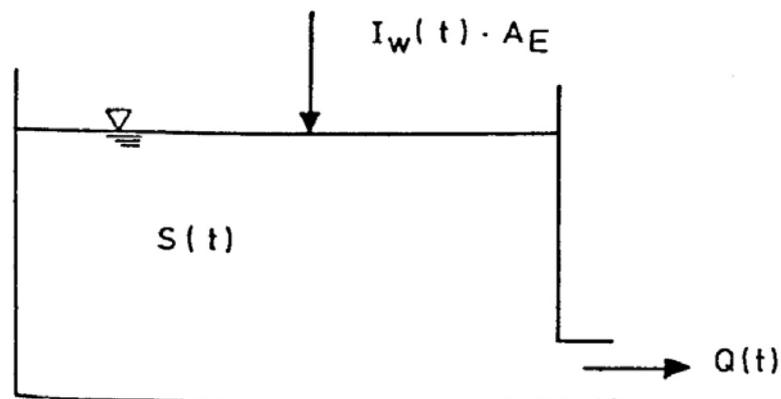
mit:

- D (m) = mittlere Höhe der Anfangsverluste
- S (m/m) = Geländegefälle
- k (m) = Koeffizient (Standardwert für befestigte Flächen: 0,000071 m)

Der Abflussbildung auf den befestigten Flächen liegt das „Fixed Percentage Model“ zugrunde. Der Anteil des wirksamen Niederschlags am Gesamtniederschlag wird nach Abzug der Anfangsverluste über einen festen Abflussbeiwert (Prozentwert) berechnet.

In der Teilphase Abflusskonzentration wird das Zusammenfließen des effektiven Niederschlags auf der Oberfläche und der Abfluss bis hin zum Eintritt in das Kanalisationsnetz beschrieben. Je nach Detailgrad des Modells werden hierbei auch die Anfangshaltungen und Nebensammler des Kanalnetzes integral erfasst (im ISM-Modell in etwa alle Haltungen kleiner DN 500). Auf Grund des komplexen Prozesses und der Schwierigkeiten, die inhomogene Geländeoberfläche für die Berechnung zu erfassen, wird hier bei der Modellierung von Translations- und Retentionseffekten auf die exakte Beschreibung des physikalischen Vorgangs in der Regel verzichtet. Stattdessen kommen hydrologische Übertragungsfunktionen zur Beschreibung des Verhaltens der Oberflächenabflusswelle zum Einsatz. Übliche Modellansätze sind das Isochronenverfahren, der Lineare Einzelspeicher, die Linearspeicherkaskade oder die Standard-Einheitsganglinie (ATV, 1987).

Im ISM Modell findet der Einzel-Linearspeicher-Ansatz nach Desbordes (1984) Anwendung. Die Einzugsgebietsfläche wird als ein Speicher aufgefasst, dessen Zufluss der effektive Niederschlag und dessen Abfluss der gesuchte Oberflächenabfluss ist.



**Bild 4-1** Definitionsskizze zum linearen Einzelspeicher

Durch Einsetzen der Linearspeichergleichung in die Kontinuitätsgleichung und nach Integration ergibt sich die Modell-Gleichung wie folgt.

Linearspeichergleichung:

$$S(t) = K Q(t) \quad , \text{ bzw. } \quad \frac{dS}{dt} = K \frac{dQ}{dt} \quad (4-8)$$

mit:

- $S \text{ (m}^3\text{)}$  = Speicherinhalt
- $Q \text{ (m}^3\text{/s)}$  = Abfluss
- $K \text{ (s)}$  = Speicherkonstante

Kontinuitätsgleichung:

$$i(t) A_E - Q(t) = \frac{dS}{dt} \quad (4-9)$$

mit:

- $i$  (m/s) = abflusswirksame Niederschlagsintensität
- $A_E$  (m<sup>2</sup>) = Einzugsgebietsgröße
- $Q$  (m<sup>3</sup>/s) = Abfluss
- $S$  (m<sup>3</sup>) = Speicherinhalt

Gleichung für die Abflusspende je Flächeneinheit:

$$q(t + dt) = q(t) e^{-\frac{dt}{K}} + \left(1 - e^{-\frac{dt}{K}}\right) i(t + dt) \quad (4-10)$$

mit:

- $dt$  (s) = Zeitschritt der Simulation
- $q(t)$  (m/s) = Abfluss je aktive Flächeneinheit
- $K$  (s) = linearer Speicherkoeffizient
- $i$  (m/s) = wirksame Regenintensität

Der Abfluss von einer Einzugsfläche errechnet sich schließlich aus dem Produkt der befestigten Fläche und der zuvor bestimmten Abflusspende:

$$Q(t + dt) = C A_r q(t + dt) 1000 \quad (4-11)$$

mit:

- $Q$  (m<sup>3</sup>/s) = Gesamtabfluss
- $C$  = undurchlässiger Oberflächenanteil eines Einzugsgebietes (0 bis 1)
- $A_r$  (ha) = Einzugsgebietsfläche

Die Speicherkonstante  $k$  (engl. „routing coefficient“) ergibt sich in Abhängigkeit von der Größe und Länge der betrachteten Einzugsfläche, dem Geländegefälle, dem Befestigungsgrad sowie der Niederschlagshöhe und -dauer.

$$K = K_{desb} A_r^{0.18} P_{nt}^{-0.36} (1 + C)^{-1.9} T_3^{0.21} L^{0.15} H_{pe}^{-0.07} \quad (4-12)$$

mit:

- $K_{desb}$  = Desbordes-Koeffizient, Voreinstellung:  $K_{desb} = 50,0$
- $A_r$  (ha) = Einzugsgebietsfläche
- $P_{nt}$  (%) = Gefälle des Einzugsgebietes

- C = undurchlässiger Oberflächenanteil eines Einzugsgebietes (0 bis 1)  
T<sub>3</sub> (s) = Regendauer des Niederschlagsereignisses  
L (m) = Länge des Einzugsgebietes  
H<sub>pe</sub> (m) = gesamte wirksame Niederschlagshöhe des Ereignisses

Die Verschmutzung des Regenwassers beim Abfließen auf der Oberfläche wird durch das Modell InfoWorks sehr differenziert abgebildet. Während Trockenwetter akkumulieren sich gelöste und partikuläre Stoffe in getrennten Vorgängen. Zur Verschmutzung durch gelöste Stoffe tragen nur befestigte Oberflächen bei, die als „Straße“ bzw. Fläche mit entsprechendem Schmutzpotential definiert werden.

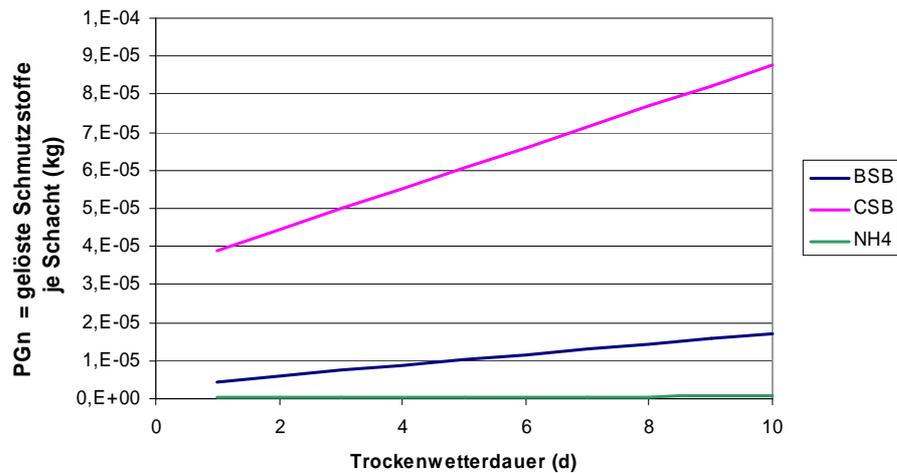
#### 4.2.1 Simulation der gelösten Stoffe auf der Oberfläche

Der Baustein für die Akkumulation und das Abtragen gelöster Stoffe von der angeschlossenen, befestigten Oberfläche geschieht über den sog. „Gully Pot“. „Gully Pot“ bezeichnet die am Straßenrand durch Rinnstein und Straßenabläufe (Gullis) gegebenen Vertiefungen. Er wird definiert über das Volumen V<sub>g</sub>, das jedem Kanalschacht zugeordnet wird und aus dem Produkt der an den Schacht angeschlossenen, befestigten Oberfläche und einer fiktiven Gulli-Tiefe besteht. Die Berechnung geht von einem zeitlinearen Anstieg jedes einzelnen Stoffes in diesem Gulli-Volumen aus. Die zugrunde liegenden Annahmen können Butler *et al.* (1995) und Morrison *et al.* (1995) entnommen werden.

$$PG_n(t) = \frac{(C + M ND) V_g}{1000} \quad (4-13)$$

mit:

- PG<sub>n</sub>(t) (kg) = Masse der gelösten Stoffe im Gullytopf  
C (mg/l) = Ausgangskonzentration des gelösten Stoffes, Voreinstellung: 6,3 mg/l für CSB  
M (mg/l d) = Gradient der linearen Akkumulation, Voreinstellung: 2,8 mg/(l d) für CSB  
ND (d) = Trockenwetter Dauer oder Dauer des Zeitschritts  
V<sub>g</sub> (m<sup>3</sup>) = Gulli-Volumen D<sub>g</sub> · A<sub>u</sub>, Voreinstellung: 0,0005 m<sup>3</sup> für CSB  
D<sub>g</sub> (m) = fiktive Gulli-Tiefe, wird zu Beginn der Berechnung festgelegt  
A<sub>u</sub> (m<sup>2</sup>) = an den Gulli angeschlossene, undurchlässige Oberfläche



**Bild 4-2** Anstieg des Schmutzpotentials der gelösten Stoffe im „gully pot“ (Schacht)

Die Höhe der aus dem Gulli herausgewaschenen gelösten Stoffe hängt vom vorhandenen Stoffpotential ab und wird unter Ansatz der Abflussmenge von der befestigten Oberfläche berechnet. Die Größe des Oberflächenabflusses wird nach dem Ansatz von Desbordes (Einzel-Linearspeicher) bestimmt.

Abfluss der gelösten Stoffe vom Gulli in den Kanal (kg/s):

$$F_n(t + dt) = \frac{Q(t + dt)}{Q(t + dt) + \frac{V_g}{dt}} \frac{P_n}{dt} \quad (4-14)$$

mit:

- $P_n(t)$  (kg) = Gesamtmasse des gelösten Schmutzstoffs im Gulli
- $Q(t + dt)$  (m<sup>3</sup>/s) = Oberflächenabfluss von befestigter Fläche (Surface-Index 1)
- $V_g$  (m<sup>3</sup>) = Gulli-Volumen  $D_g \cdot A_u$

Das Stoffpotential im nächsten Zeitschritt ergibt sich nach folgender Formel:

$$P_{n+1} = P_n - F_n + dPG_n \quad (4-15)$$

mit

- $P_{n+1}$  (kg) = Stoffpotential im nächsten Zeitschritt
- $P_n$  (kg) = Stoffpotential im aktuellen Zeitschritt
- $F_n$  (kg/s) = Abfluss der gelösten Stoffe vom Gulli in den Kanal im aktuellen Zeitschritt
- $dPG_n$  (kg) = Neuaufbau an gelösten Stoffen im Gulli im aktuellen Zeitschritt

Für Stoffe, denen eine konstante, ereignisunabhängige Konzentration zugeordnet werden soll, kann der Gradient der Akkumulation (M) zu Null gesetzt werden.

#### 4.2.2 Simulation der partikulären Stoffe auf der Oberfläche

Die Beschreibung der Akkumulation der Schmutzstoffe auf der Oberfläche als auch des Abtrags (engl. washoff) dieser partikulären Schmutzanteile wird über eine matrix-ähnliche Parameterliste definiert.

##### 4.2.2.1 Akkumulation der Sedimente auf der Oberfläche

Zur Beschreibung des Vorgangs der Schmutzstoffakkumulation wird angenommen, dass mit zunehmender Sedimentmasse auf der Oberfläche die Akkumulationsrate exponentiell abnimmt. Für die Berechnung wird die klassische SWMM-Gleichung zugrunde gelegt (Sartor und Boyd, 1972; Alley und Smith, 1981).

$$M_0 = M_d e^{-K_1 NJ} + \frac{P_s}{K_1} (1 - e^{-K_1 NJ}) \quad (4-16)$$

mit:

$M_0$  (kg/ha) = Sedimentmasse am Ende eines Zeitschrittes bzw. die maximal mögliche Sedimentmasse am Ende der Akkumulationsphase

$M_d$  (kg/ha) = vorhandene Sedimentmasse berechnet aus vorherigem Zeitschritt

$K_1$  ( $d^{-1}$ ) = Dämpfungsfaktor, Voreinstellung:  $0,08 d^{-1}$

$NJ$  (d) = Dauer der Trockenwetterphase oder des Zeitschrittes

$P_s$  (kg/(ha d)) = Faktor der Akkumulationsrate, Voreinstellung  $6 \text{ kg}/(\text{ha d})$  für Wohngebiete

$\frac{P_s}{K_1}$  (kg/ha) = maximale Sedimentmasse auf der Oberfläche, Voreinstellung:  $75 \text{ kg}/\text{ha}$

In der Software InfoWorks wird der oben dargestellte Berechnungsansatz unter Verwendung der Euler Approximation zu folgender Formel für die Stoffakkumulation innerhalb eines Zeitschrittes vereinfacht.

$$B = \frac{(P_s - K_1 M(t)) dt}{86400} \quad (4-17)$$

##### 4.2.2.2 Abtrag der Sedimente von der Oberfläche

Die Erosion der Sedimente (AFS) von der Oberfläche wird durch die Gleichung nach Jewell und Adrian (1978) und Alley (1981) beschrieben (Erosionsgleichung):

$$\frac{dM}{dt} = -K_a M(t) \quad (4-18)$$

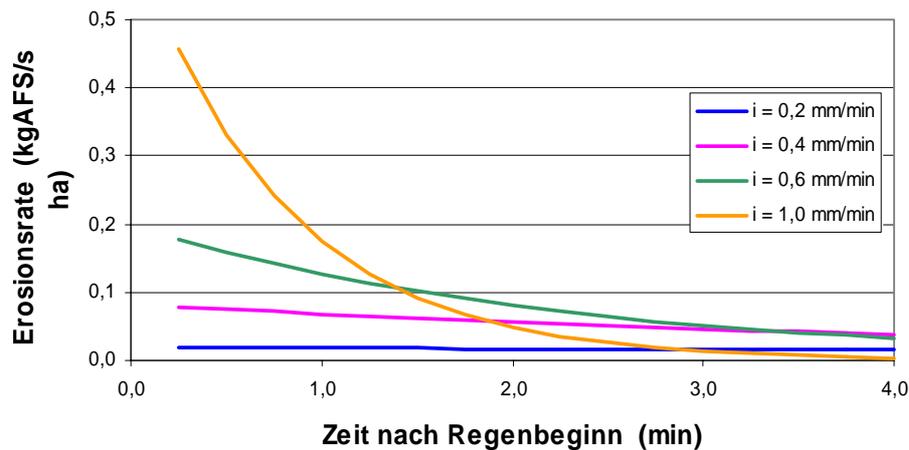
mit :

$$M \text{ (kg AFS/ha)} \quad = \text{Masse des Sediments auf der befestigten Fläche}$$

$$K_a(t) = C_1 i(t)^{C_2} - C_3 i(t) \quad = \text{Erosionskoeffizient in Abhängigkeit des Niederschlags mit den Standard-Koeffizienten } C_1 = 1000000, C_2 = 2,022, C_3 = 29,000 \text{ (Bujon, 1988)}$$

Die Integration der Erosionsgleichung zwischen den Zeitschritten  $t$  und  $t+dt$  ergibt die Erosionsrate.

$$E = M(t) \frac{(1 - e^{-K_a dt})}{dt} \quad (\text{kg AFS/ha s}) \quad (4-19)$$



**Bild 4-3** Zeitlicher Verlauf der Erosionrate für eine Ausgangsmasse  $M(t_0)$  von 25 kg/ha und verschiedene Regenintensitäten

Der Sedimentstrom von der Oberfläche wird ebenso wie die Abflussberechnung nach dem Einzel-Linear-speicher-Ansatz von Desbordes berechnet. Nach Einsetzen der Linear-speichergleichung in die Kontinuitätsgleichung und nach Integration ergibt sich die Gleichung zur Berechnung des Sedimentstroms wie folgt.

Linear-speichergleichung:

$$M_e = k f(t) \quad (4-20)$$

Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{dM_e}{dt} = E - f(t) \quad (4-21)$$

$$f(t + dt) = f(t)e^{-\frac{dt}{k}} + \left(1 - e^{-\frac{dt}{k}}\right)E \quad (4-22)$$

mit:

$f(t)$  (kg AFS/s ha) = spezifischer Sedimentstrom pro Zeiteinheit und befestigter Fläche  
 $k$  (s) = Linearspeicherkoeffizient

Der Sedimentstrom von einer Einzugsfläche errechnet sich schließlich aus dem Produkt der befestigten Fläche und dem spezifischen Sedimentstrom.

Über einen Faktor wird der Anteil der Schmutzstoffe bestimmt, der mit dem abgespülten AFS, also partikulär gebunden transportiert wird. Der Ansatz stammt ursprünglich aus der Software FLUPOL (Bujon, 1988; Bujon und Herremans, 1990).

$$F_n(t) = K_{pn}(i) F_m(t) \quad (4-23)$$

mit:

$F_n(t)$  (kg/(ha s)) = spezifische Schmutzfracht, an Sedimenten anhaftend  
 $K_{pn}$  = Faktor („potency factor“) zur Berechnung des Anteils partikulär gebundener Stoffe  
 $F_m$  (kg AFS/(ha s)) = spezifische Sedimentfracht

Der Anteil der an den Sedimenten anhaftenden Schmutzstoffe wird durch den Faktor  $K_{pn}$  mit der folgenden Gleichung beschrieben.

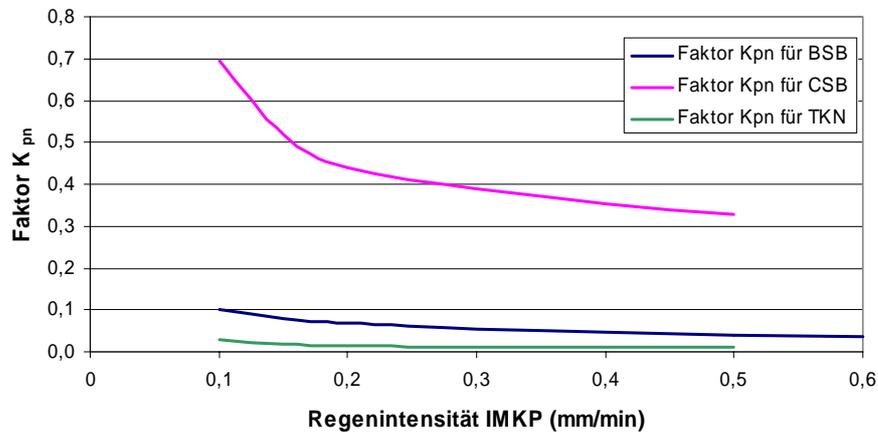
$$K_{pn} = C_1(IMKP - C_2)^{C_3} + C_4 \quad (4-24)$$

mit:

$K_{pn}$  = Faktor zur Beschreibung des Anteils der Schmutzstoffmasse eines Parameters an der Sedimentmasse  
 $IMKP$  (mm/h) = maximale Regenintensität innerhalb eines 5-Minuten-Intervalls  
 $C_1$  bis  $C_4$  = Koeffizienten

Unter Ansatz der Standardparameter liegt folgendes Modellverhalten vor: Je größer die Intensität des Regens, umso größer ist der Oberflächenabtrag von abfiltrierbaren Stoffen (siehe **Bild 4-4**). Zugleich nimmt mit zunehmender Regenintensität der relative Anteil der an AFS gebundenen Schmutzstoffe ab.

In der folgenden Grafik wird die Abhängigkeit des Faktors  $K_{pn}$  von der Niederschlagsintensität für die Stoffparameter BSB, CSB und TKN unter Ansatz der Standardkoeffizienten  $C_1$ - $C_4$  des Programms InfoWorks CS dargestellt.



**Bild 4-4** Faktor  $K_{pn}$  in Abhängigkeit von der Regenintensität für die Schmutzstoffparameter  $BSB_{5\ part}$ ,  $CSB_{part}$  und  $TKN_{part}$

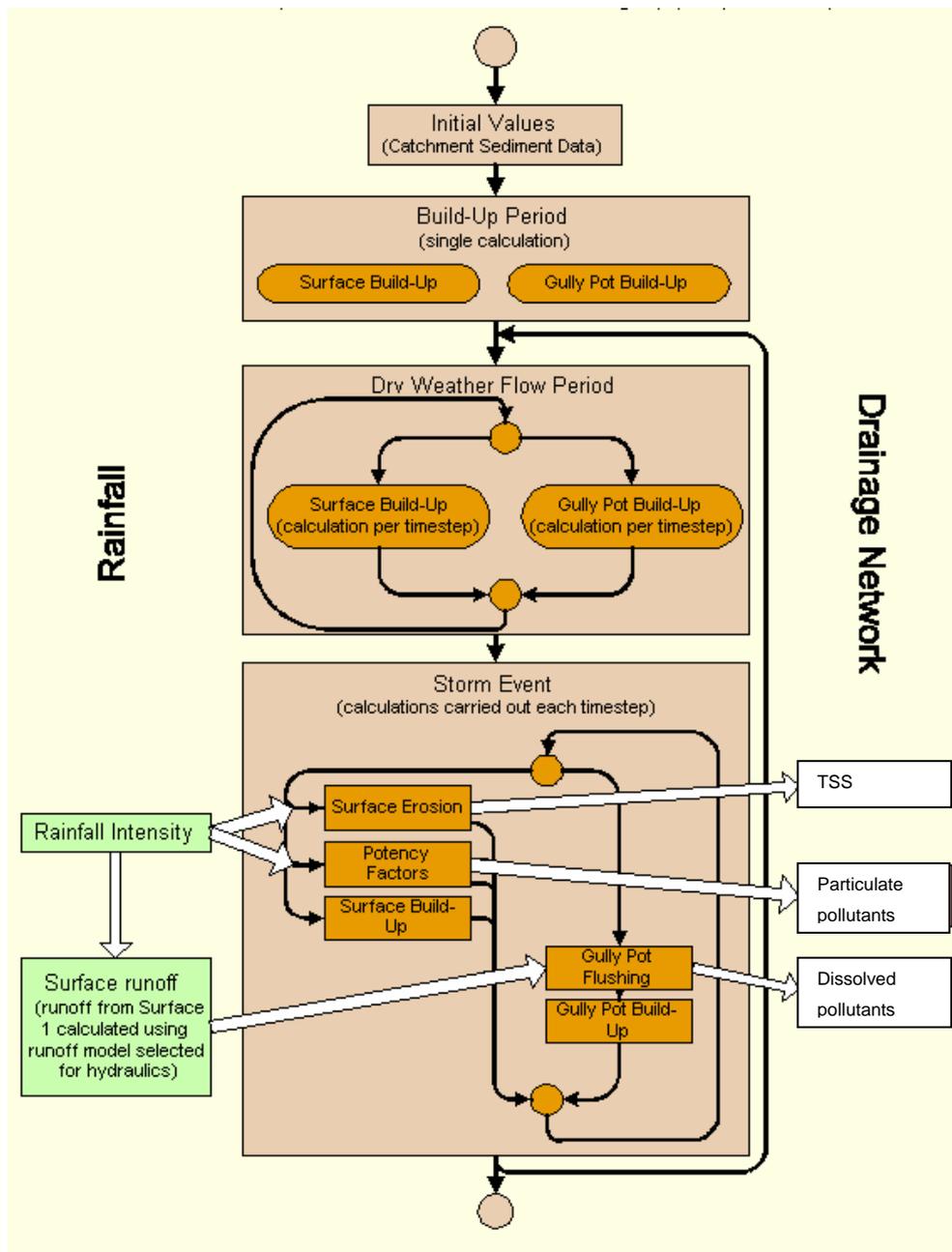
Während der Erosion läuft parallel der Prozess der Sedimentakkumulation weiter. Das AFS-Stoffpotential im nächsten Zeitschritt ergibt sich entsprechend nach folgender Formel:

$$M(t + dt) = M(t)e^{-K_a dt} + B \quad (4-25)$$

mit:

- $M(t)$  (kg AFS/ha) = Masse des Sediments auf der befestigten Fläche
- $K_a$  ( $s^{-1}$ ) = Erosionskoeffizient in Abhängigkeit des Niederschlags
- $B$  (kg/ha) = Stoffakkumulation

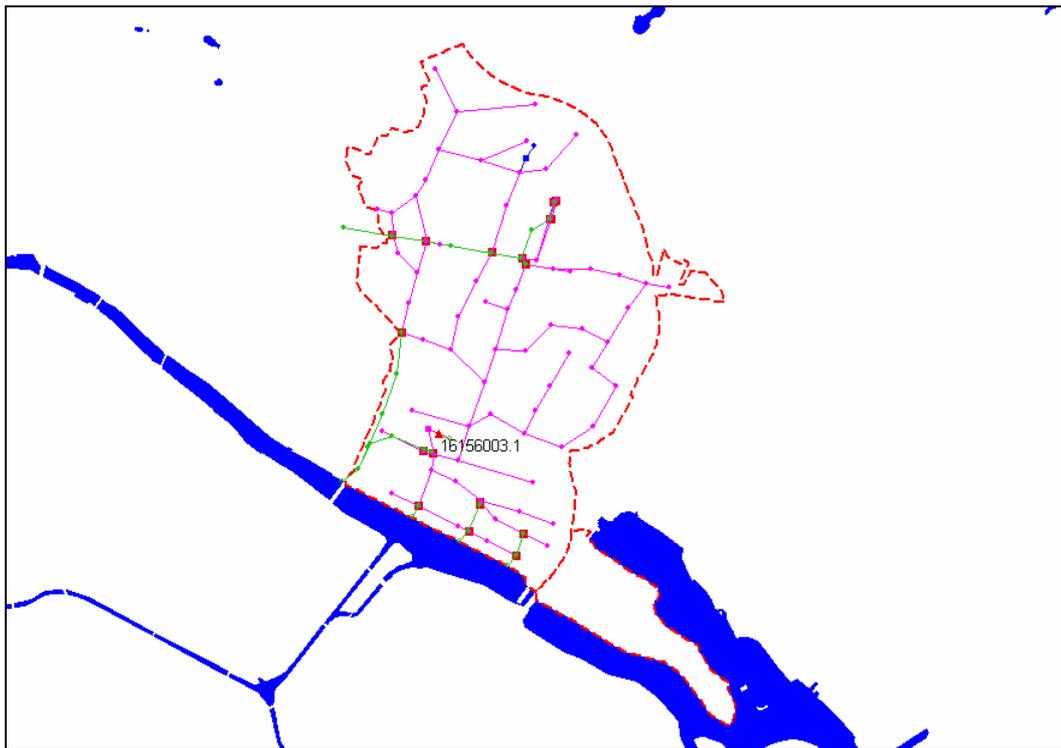
Die gesamte Berechnungsroutine zur Abbildung des Schmutzstoffaufbaus und -abtrags in der Software InfoWorks CS ist in **Bild 4-5** dargestellt.



**Bild 4-5** Routine zur Berechnung des Schmutzstoffaufbaus und -abtrags in der Software InfoWorks CS

## 5 Modellkalibrierung

Das Kanalnetz des Einzugsgebietes Berlin XII wird im numerischen Modell als Grobnetz abgebildet. Das bedeutet, dass nur die Kanalstränge und abwassertechnischen Anlagen im Modell Berücksichtigung finden, die einen relevanten Einfluss auf die Fließ- und Stofftransportvorgänge haben. Das Modell umfasst somit alle Hauptsammler und angeschlossenen Abflussflächen, alle Regenüberläufe und das Abwasserpumpwerk. Der mit dem Einzugsgebiet Berlin V gemeinsam genutzte Stauraumkanal in der Straße der Pariser Kommune wird im Modell vernachlässigt. Die Einleitung des Abwassers vom Teileinzugsgebiet Berlin XIIb (Stralauer Halbinsel) wird konzeptionell durch eine entsprechende Erhöhung der Einwohnerzahl am Knoten 15154.318 abgebildet. Außerdem wird der mittlere Wasserstand der Spree als Randbedingung berücksichtigt. Das Grobnetz besteht aus 109 Haltungen, 112 Konten (Schächten) und 77 Einzugsflächen. Einen Übersichtsplan des Modells zeigt **Bild 5-1**. Die Mischwassersammler sind in Magenta, die Entlastungssammler in Grün dargestellt, die Regenüberläufe als rote Quadrate und das Pumpwerk als rotes Dreieck.



**Bild 5-1** Kanalnetz des APw Berlin XII (Modellplan)

Für die Kalibrierung des Kanalnetzmodells wurden am Pumpwerk Berlin XII gemessene Wasserstände, Fördermengen und Niederschlagshöhen aus dem Prozessdaten-Archiv der Berliner Wasserbetriebe zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden eigene Durchfluss- und Wasserstandmessungen in der Danneckerstraße und Niederschlagsmessungen am Pumpwerk Berlin XII durchgeführt. Die Wasserstands- und Durchflussmessungen wurden im Hauptsammler der Danneckerstraße (Ei-Profil 1000) am Schacht 15151.312 durchgeführt

(Kanalsole: 32,48 müNN, siehe Anhang 2). Die Niederschlagsmessungen wurden auf dem Pumpwerksgelände in unmittelbarer Nähe zum Pumpwerks-Sandfang durchgeführt.

Stoffkonzentrationen des Abwassers in der Danneckerstraße wurden mittels automatischer Probenahme und Laboranalyse durch die Technische Universität Berlin erhoben und bereitgestellt. Auch diese Informationen wurden zur Modellkalibrierung genutzt.

## 5.1 Trockenwetterkalibrierung

Die Trockenwetterkalibrierung des numerischen Modells dient dazu, den Zufluss von Schmutz- und Fremdwasser während der regenfreien Perioden zum Abwasserpumpwerk entsprechend dem tatsächlichen Aufkommen abzubilden.

### 5.1.1 Kalibrierung der hydraulischen Prozesse während Trockenwetter

Für die Kalibrierung des Trockenwetterabflusses am APw Berlin XII lagen folgende Unterlagen vor:

- Pumpenkapazität Berlin XII
- Monatliche Mittelwerte der Fördermengen des APw Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) Oktober 2005 - September 2007
- Zulaufmengenmessung APw Berlin XII vom 05.11.2002 Dienstag
- Zulaufmengenmessung APw Berlin XII vom 16.11.2002 Samstag
- Zulaufmengenmessung APw Berlin XII vom 24.11.2002 Sonntag

Die Auswertung der Fördermengen von August und September 2007 für Berlin XII ergab eine mittlere Trockenwetterabflussmenge von 11.953 m<sup>3</sup>/Tag. Dies entspricht einem mittleren Trockenwetterabfluss von  $Q_{t,24} = 138$  l/s. Diese Trockenwetterabflussmengen wurden als Grundlage für die Modellkalibrierung verwendet.

Zudem wurden die Messdaten zum Wasserstand und Durchfluss in der Danneckerstraße von August 2007 bis Oktober 2007 verwendet. Eine Aufstellung der für die Kalibrierung verwendeten Messtage unter Angabe statistischer Kenngrößen findet sich in **Tabelle 5-1**. Die Auswertung dieser Durchflussmessungen ergab eine mittlere Trockenwetterabflussmenge von 912 m<sup>3</sup>/Tag. Das entspricht einem mittleren Trockenwetterabfluss von ca.  $Q_{t,24} = 10,6$  l/s. Der maximale Trockenwetterabfluss lag an Werktagen im Mittel bei 17,5 l/s und am Wochenende im Mittel bei 19,2 l/s. Der minimale Trockenwetterabfluss lag an Werktagen im Mittel bei 2,7 l/s und am Wochenende im Mittel bei 2,6 l/s.

**Tabelle 5-1** Aufstellung der für die Trockenwetterkalibrierung des Gebietes Süd / Danneckerstraße verwendeten Messtage

<b>Wochentag</b>	<b>Q<sub>min</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>max</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>mittel</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>ges</sub> in m<sup>3</sup>/d</b>
Fr, 21.09.2007	3,0	17,1	10,5	905
Mo, 24.09.2007	3,1	19,1	10,6	908
Mi, 26.09.2007	3,4	17,7	11,1	956
Di, 09.10.2007	1,2	17,5	10,3	893
Mi, 10.10.2007	2,6	16,2	10,4	900
<b>Mittel</b>	<b>2,7</b>	<b>17,5</b>	<b>10,6</b>	<b>913</b>

<b>Wochenendtag</b>	<b>Q<sub>min</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>max</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>mittel</sub> in l/s</b>	<b>Q<sub>ges</sub> in m<sup>3</sup>/d</b>
Sa, 22.09.2007	3,4	18,7	10,3	893
So, 23.09.2007	3,2	19,0	11,0	952
Sa, 06.10.2007	0,8	18,0	10,4	898
So, 07.10.2007	4,5	22,3	11,0	947
Sa, 13.10.2007	0,8	17,9	9,9	857
So, 14.10.2007	2,8	19,2	10,6	912
<b>Mittel</b>	<b>2,6</b>	<b>19,2</b>	<b>10,5</b>	<b>910</b>

Unter dem Ansatz der Nachtminimum-Methode (ATV-DVWK, 2004) wurde aus den Messwerten vom Abwasserpumpwerk ein über das Einzugsgebiet gemittelter Fremdwasserzufluss aus Grundwasserinfiltration berechnet und als konstanter Basisabfluss dem Modell zugrunde gelegt. In der **Tabelle 5-2** sind die Trockenwetterabflussdaten des Gebietes für den Zeitraum August bis September 2007 zusammengestellt.

**Tabelle 5-2** Trockenwetterabflussdaten APw Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) im Zeitraum August bis September 2007

Einzugsgebiet		Bln XII Nord	Bln XII Danneckerstr. (inkl. Stralau)	Bln XII gesamt
mittl. Trockenwetteranfall	m <sup>3</sup> /d	11040	913	11953
mittl. Trockenwetterabfluss Q <sub>t,24</sub>	l/s	127,8	10,6	138,4
mittl. Schmutzwasserabfluss Q <sub>s,24</sub>	l/s	126,0	10,5	136,5
Basisabfluss Fremdwasser	l/s	1,8	0,1	1,9
Einwohnerzahl	E	63142	5488	68630
Schmutzwasserspense q <sub>s,24</sub>	l/(E*d)	172,4	164,6	171,8

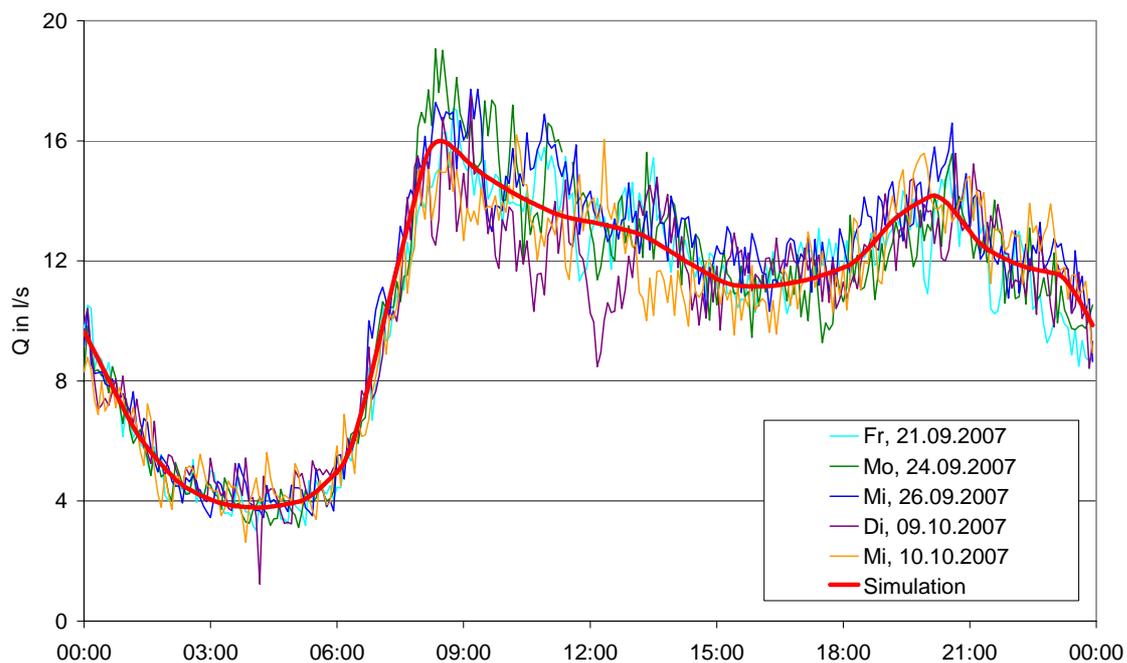
Durch Anpassung der im Modell verwendeten spezifischen Abwasserspense für das Gebiet Nord und das Gebiet Süd / Danneckerstraße konnten die Abwassermengen während Trockenwetter akkurat nachgebildet werden. Durch Variation der zeitlichen Verteilung der

Abwassereinleitung konnten zudem sehr gute Simulationsergebnisse für den Abfluss- und den Wasserstandsgang erzielt werden.

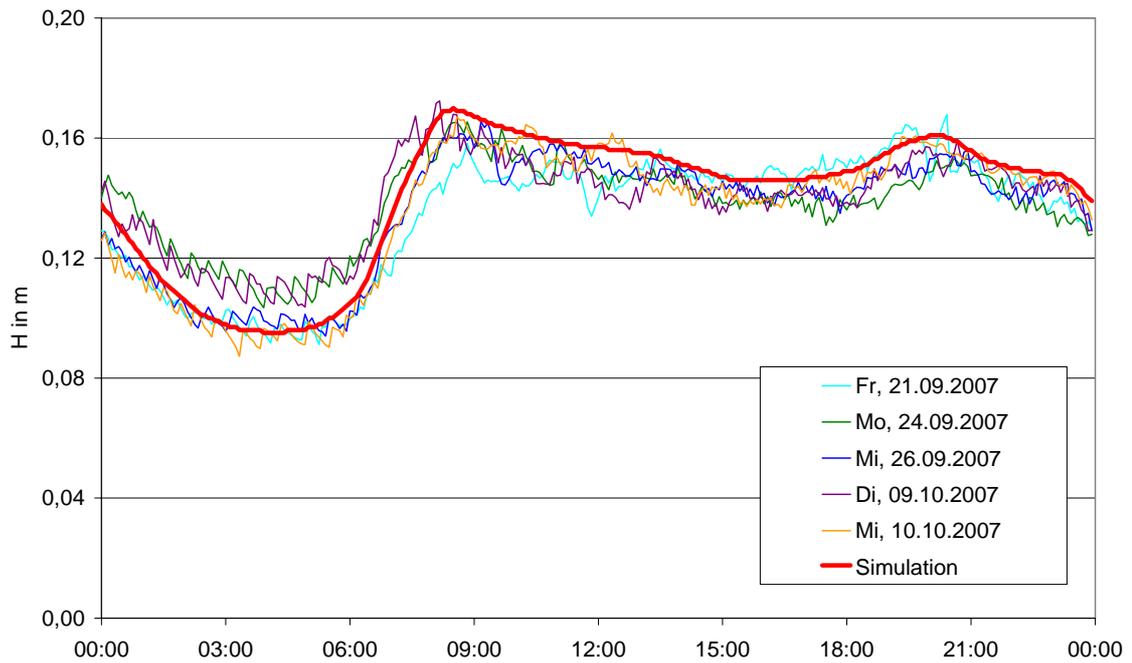
**Bild 5-2** zeigt eine Schar an Wochentagen gemessener Durchflussganglinien im Schacht 15151.312 der Danneckerstraße und die vom kalibrierten Modell wiedergegebene Durchflussganglinie. **Bild 5-3** zeigt für die selben Tage die gemessenen Wasserstandsganglinien und die simulierte Wasserstandsganglinie.

**Bild 5-4** und **Bild 5-5** zeigen die gemessenen und simulierten Durchfluss- und Wasserstandsganglinien für Wochenendtage.

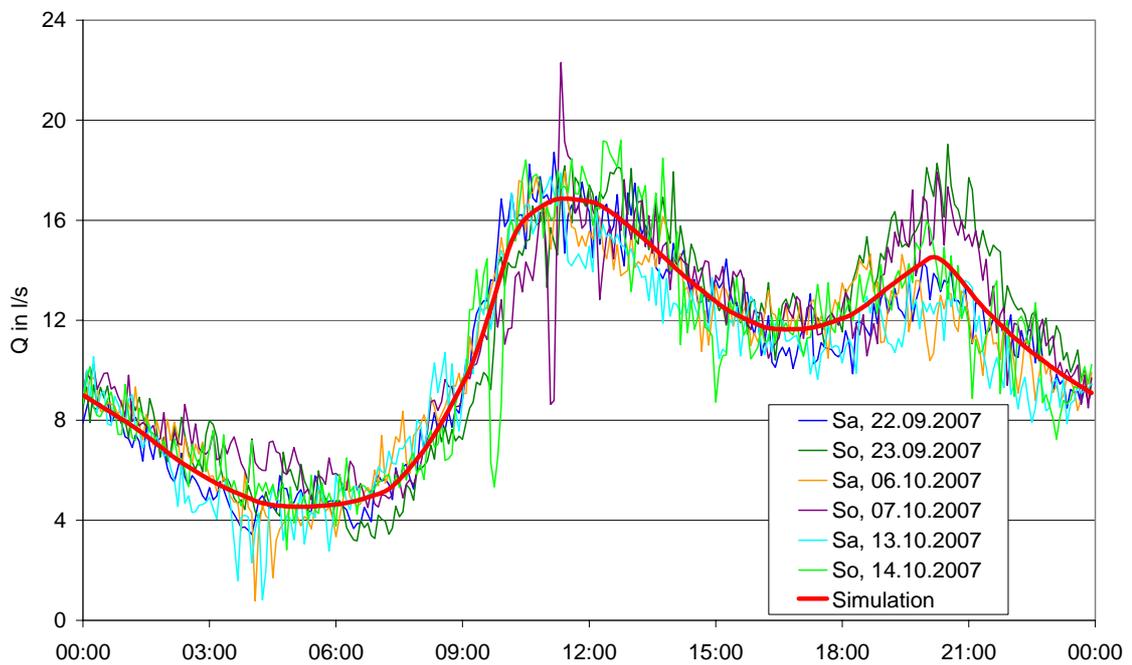
Die Bewertung der Kalibrierungsergebnisse erfolgte mittels des Modelleffizienz-Koeffizienten (Nash and Sutcliffe, 1970). Für dieses Gütemaß ergab sich ein Wert von 0,89 für den Vergleich der simulierten Durchflussganglinie mit dem Mittel der an Wochentagen gemessenen Durchflussganglinien. Für den Vergleich der Ganglinien an Wochenendtagen ergab sich ein Wert von 0,95. Beides entspricht sehr guten Kalibrierungsergebnissen.



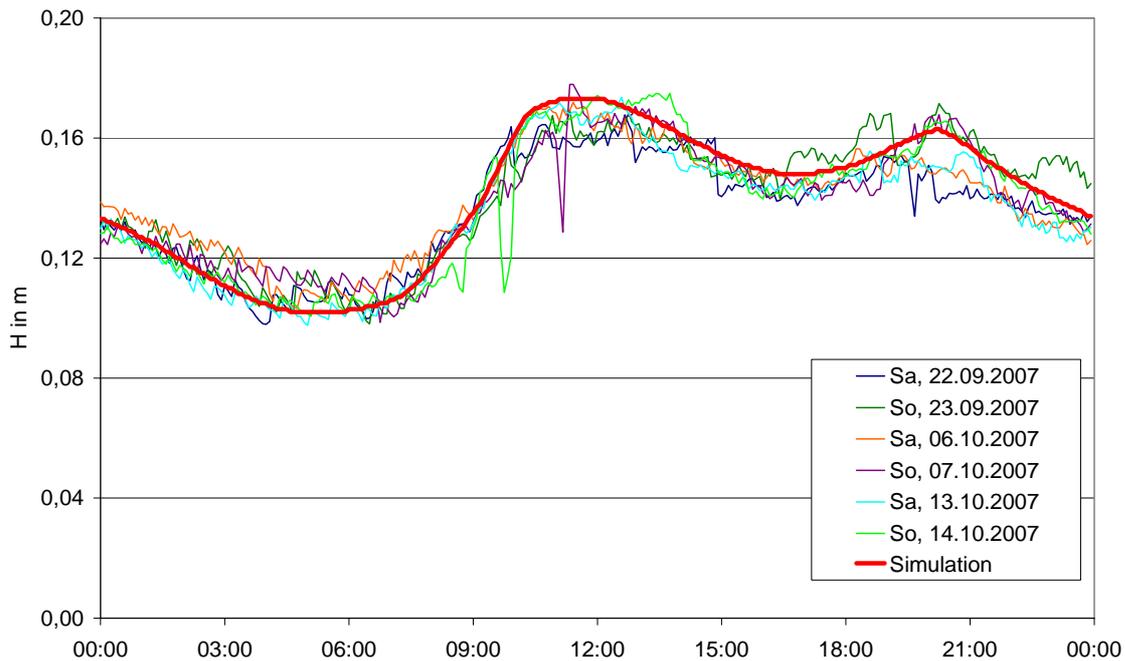
**Bild 5-2** Gemessener und simulierter Durchfluss im Schacht Danneckerstraße an Wochentagen



**Bild 5-3** Gemessener und simulierter Wasserstand im Schacht Danneckerstraße an Wochentagen



**Bild 5-4** Gemessener und simulierter Durchfluss im Schacht Danneckerstraße an Wochenendtagen



**Bild 5-5** Gemessener und simulierter Wasserstand im Schacht Danneckerstraße an Wochenendtagen

### 5.1.2 Kalibrierung der stofflichen Prozesse während Trockenwetter

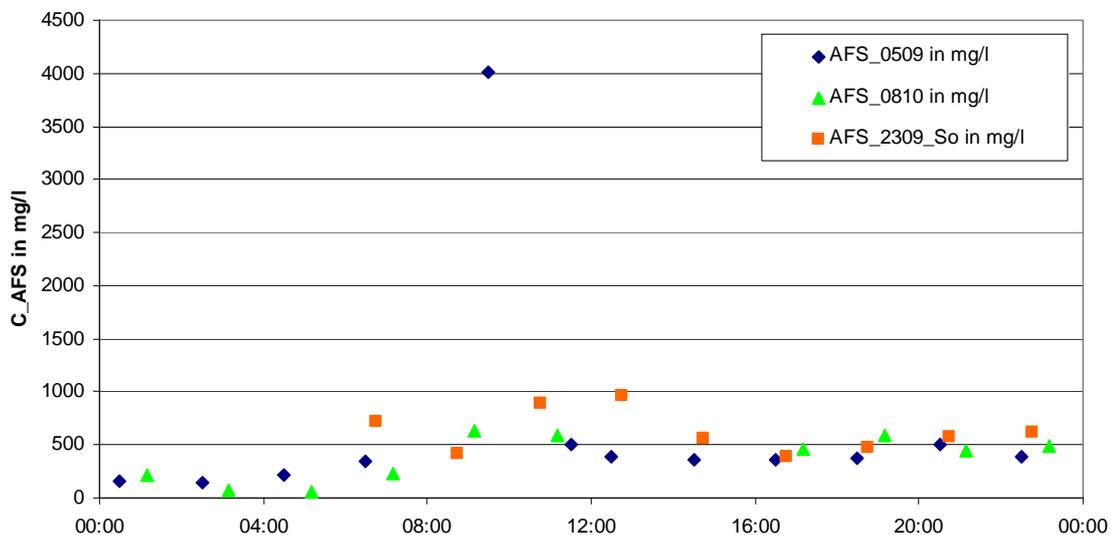
Biochemische Abbau- und Umsetzungsprozesse sowie Reaktionen der Stoffe untereinander werden durch das vorliegende Modell nicht berücksichtigt. Wie weiter oben beschrieben, wird auch der Modellbaustein für Partikel-Sedimentation und Remobilisierung aufgrund der Unsicherheiten weitestgehend unterdrückt. Die im Kanal vorhandenen gelösten und suspendierten Stoffe unterliegen somit alleine dem Transport durch die jeweilige mittlere Fließgeschwindigkeit. Die Kalibrierung des Stofftransportes während Trockenwetter erfolgte über eine Anpassung der eingeleiteten Stofffrachten sowie deren Variation über den Tag.

Für die Untersuchungen im Rahmen des Projektes SPREE2011 wurden drei Leitparameter ausgewählt, für die eine Kalibrierung erfolgte:

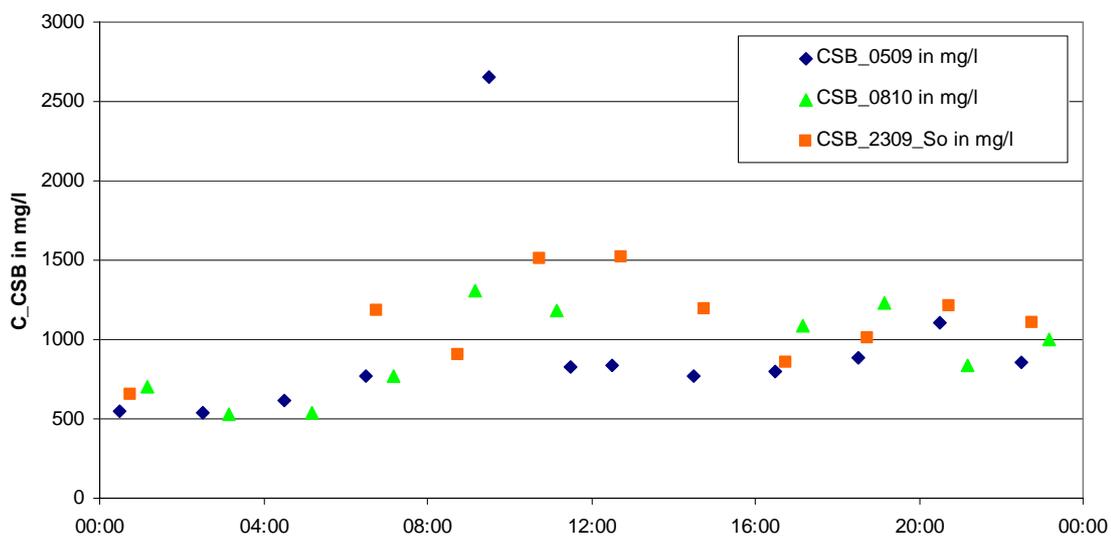
- Abfiltrierbare Stoffe, AFS
- Chemischer Sauerstoffbedarf, CSB
- Ammonium-Stickstoff,  $\text{NH}_4\text{-N}$

Als Grundlage für die Kalibrierung wurden Stoffkonzentrationen des Abwassers in der Danneckerstraße an drei Trockenwettertagen (Mittwoch, 05.09.2007, Sonntag, 23.09.2007 und Montag, 08.10.2007) mittels automatischer Probenahme und Laboranalyse durch die Technische Universität Berlin erhoben und der KWB zur Verfügung gestellt. **Bild 5-6**, **Bild 5-7** und **Bild 5-8** zeigen den Tagesverlauf der gemessenen Stoffkonzentrationen für die drei

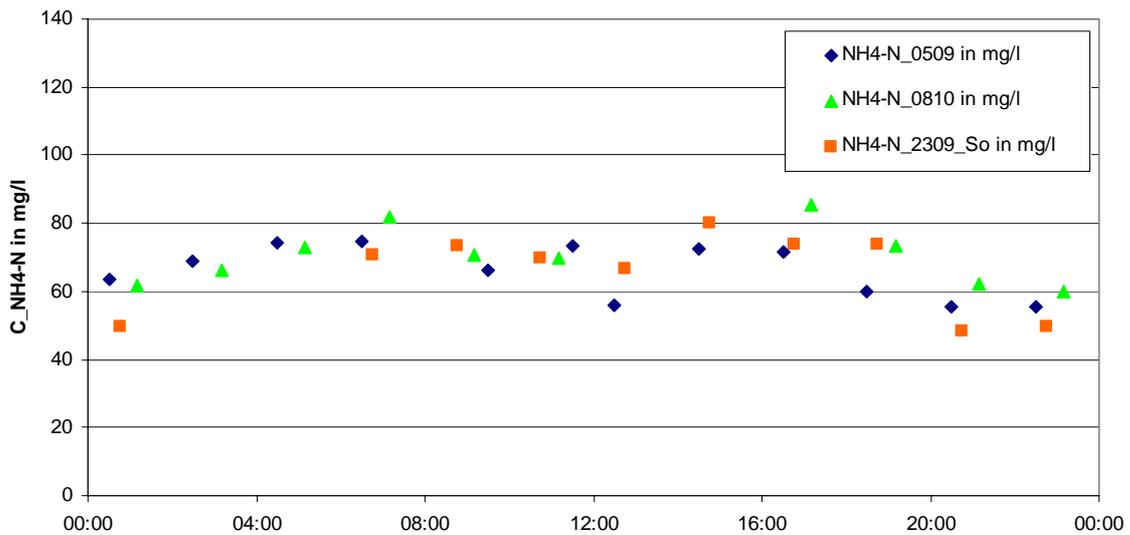
gewählten Parameter. Jeder dargestellte Wert entspricht einer 2h-Mischprobe à 24 Probenahmen.



**Bild 5-6** Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen AFS Konzentrationen an drei Trockenwettertagen



**Bild 5-7** Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen CSB Konzentrationen an drei Trockenwettertagen



**Bild 5-8** Darstellung der in der Danneckerstraße gemessenen  $\text{NH}_4\text{-N}$  Konzentrationen an drei Trockenwettertagen

In der am 05.09.2007 von 08:30 – 10:30 Uhr entnommenen Mischprobe wurden überdurchschnittlich hohe Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen und damit verbunden auch an Chemischem Sauerstoffbedarf gemessen. Diese Stoffkonzentrationen wurden womöglich durch die Remobilisierung von zuvor akkumulierten Kanalablagerungen verursacht. Aufgrund der geringen Anzahl beprobter Trockenwettertage konnte nicht belegt werden, ob es sich hierbei um ein wiederkehrendes Phänomen oder ein singuläres Ereignis handelte. Folglich wurden diese Werte für die Kalibrierung des Modells nicht berücksichtigt.

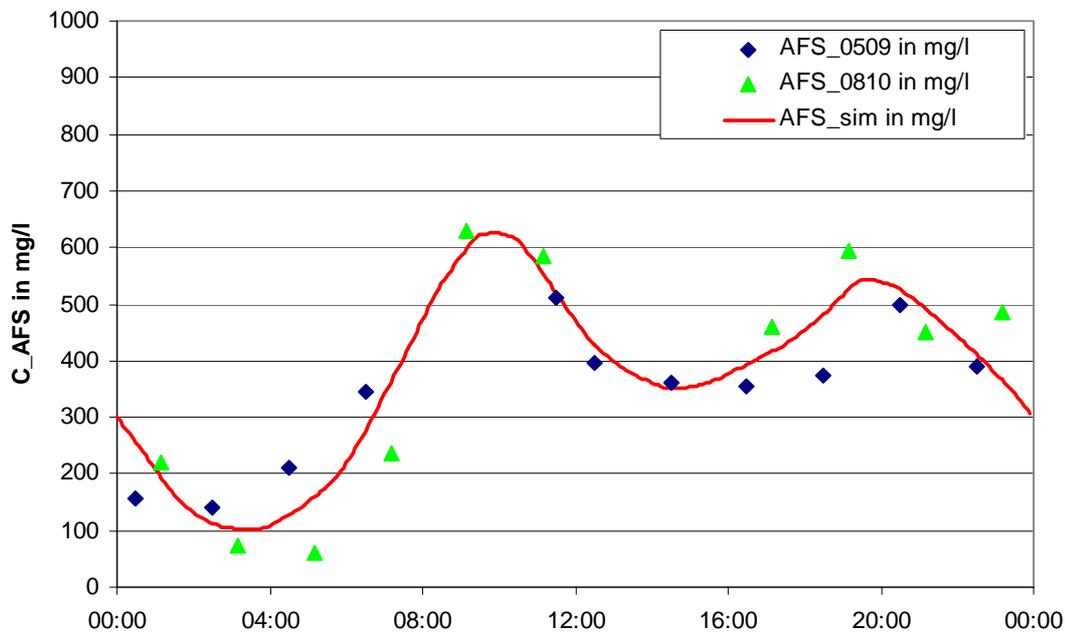
Im Mittel ergeben sich aus den vorliegenden Analysewerten für Wochentage die in **Tabelle 5-3** dargestellten Trockenwetter- und Schmutzwasserkonzentrationen im Kanal der Danneckerstraße.

**Tabelle 5-3** Mittlere Stoffkonzentrationen der gewählten Leitparameter AFS, CSB und  $\text{NH}_4\text{-N}$  in der Danneckerstraße während Trockenwetter (aus Messungen)

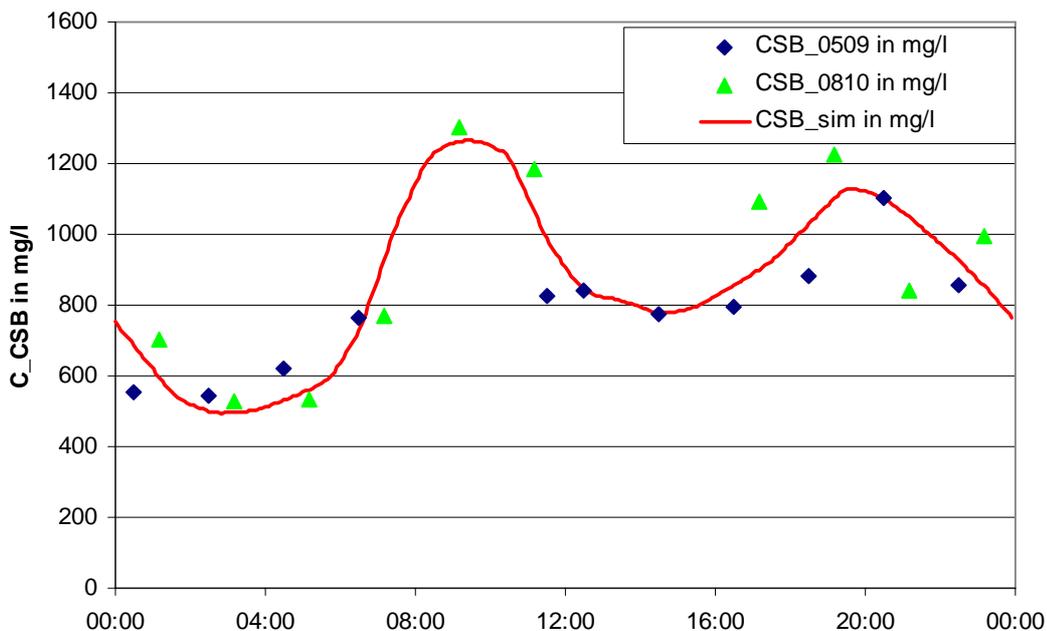
	AFS	CSB	$\text{NH}_4\text{-N}$
<b>Werktag</b>			
TW Konzentration in mg/l	428	948	68
SW Konzentration in mg/l	432	957	69

Durch Anpassung der Modellparameter für das Gebiet Süd / Danneckerstraße konnten sowohl die durch die Messungen erhobenen mittleren Stoffkonzentrationen als auch die Konzentrationsverläufe gut nachgebildet werden. Die CSB-Konzentrationen wurden dabei getrennt nach den Fraktionen „gelöst vorliegend“ bzw. „partikulär gebunden vorliegend“ simuliert (Annahme eines Verhältnisses von 1 / 2 aus der Literatur). Für Wochenendtage wurden unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten mittlere Stoffkonzentrationen geschätzt und der Modellkalibrierung zugrunde gelegt. **Bild 5-9**, **Bild 5-10** und **Bild 5-11**

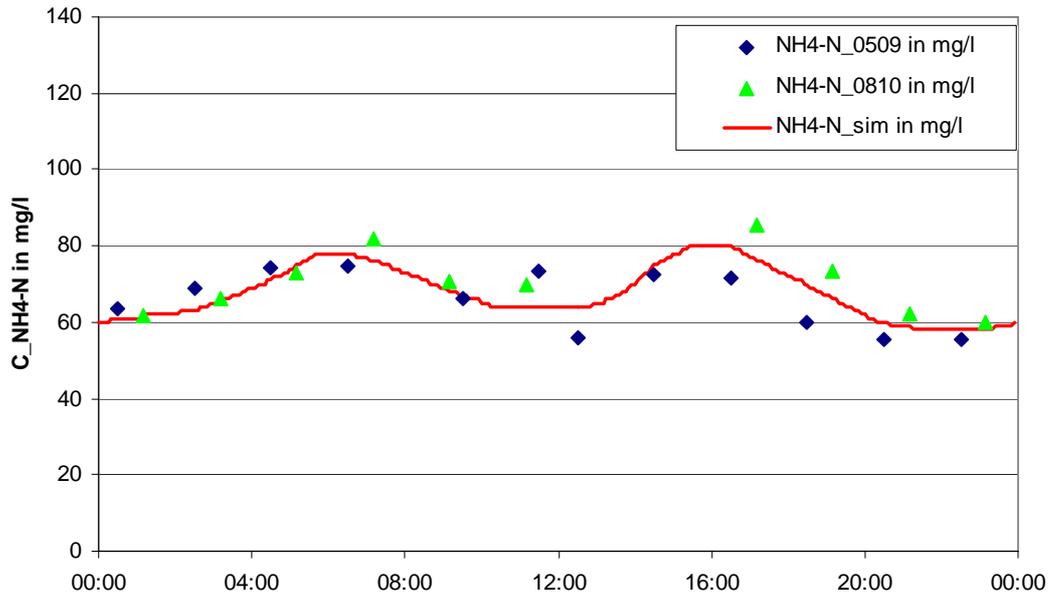
zeigen die simulierten Konzentrationsverläufe für AFS, CSB und NH<sub>4</sub>-N an Wochentagen im Vergleich zu den Messergebnissen vom 05.09.2007 und 08.10.2007. **Bild 5-12**, **Bild 5-13** und **Bild 5-14** zeigen die entsprechenden Konzentrationsverläufe an Wochenendtagen im Vergleich zu den Messergebnissen vom 23.09.2007 (Sonntag).



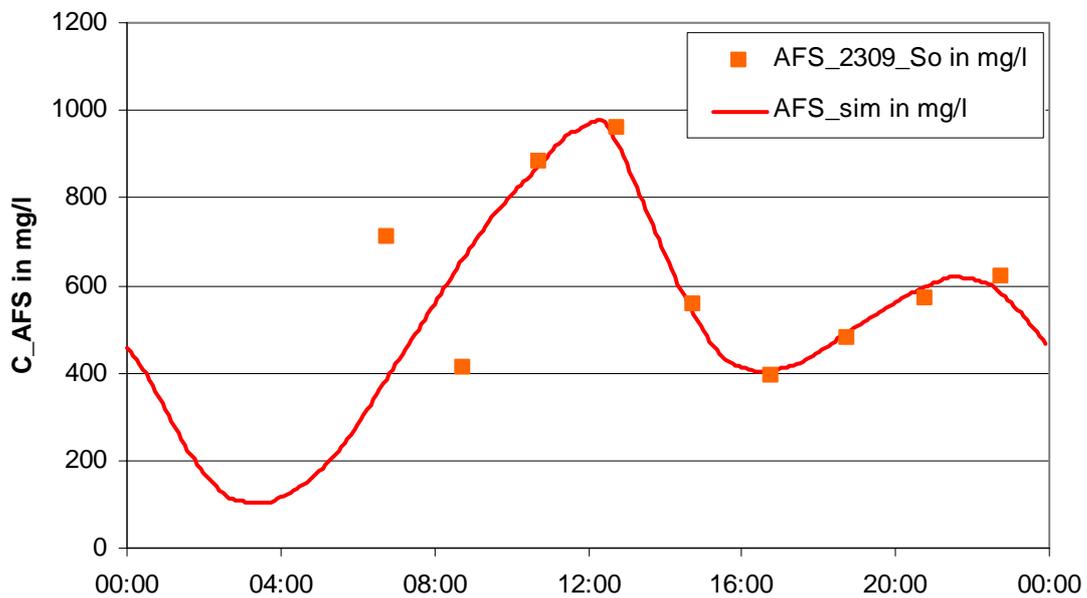
**Bild 5-9** Gemessene und simulierte AFS Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße



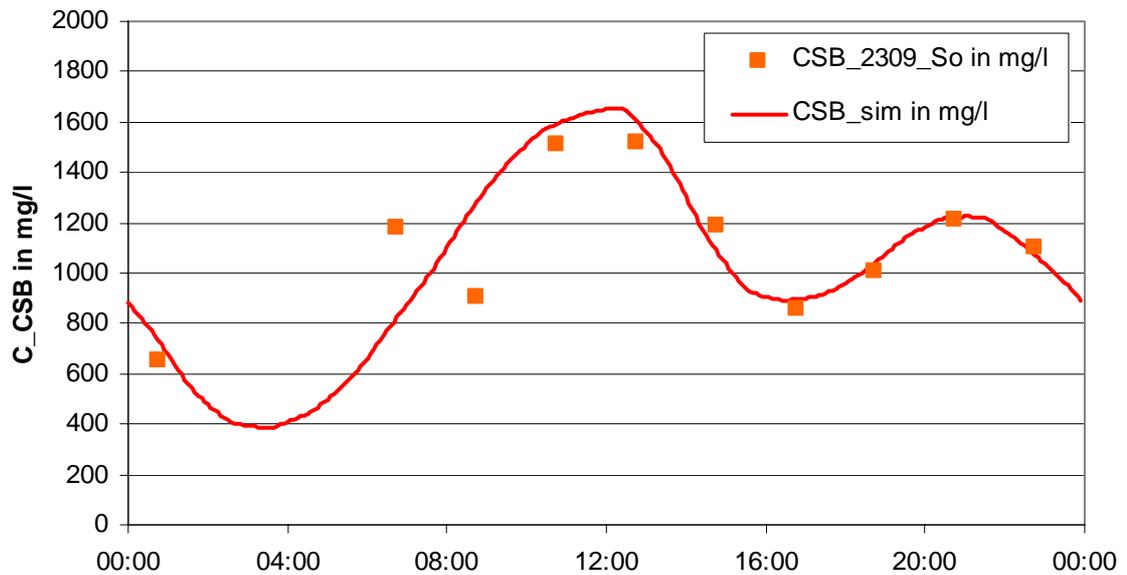
**Bild 5-10** Gemessene und simulierte CSB Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße



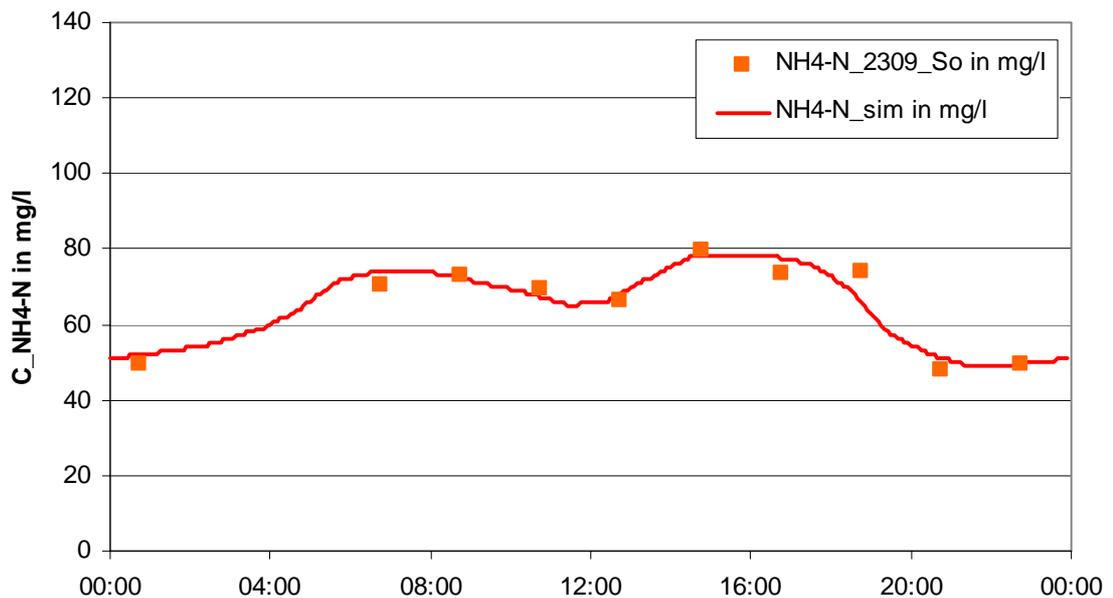
**Bild 5-11** Gemessene und simulierte NH<sub>4</sub>-N Konzentrationen an Wochentagen in der Danneckerstraße



**Bild 5-12** Gemessene und simulierte AFS Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße



**Bild 5-13** Gemessene und simulierte CSB Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße



**Bild 5-14** Gemessene und simulierte NH<sub>4</sub>-N Konzentrationen an Wochenendtagen in der Danneckerstraße

Für die Beschreibung des Stofftransports in den Kanälen des nördlichen Einzugsgebietes, für das keine Messwerte vorlagen, wurden die Erkenntnisse und Parameter, die bei der oben beschriebenen Kalibrierung des Gebietes Danneckerstraße gewonnen wurden, direkt übertragen.

## 5.2 Regenwetterkalibrierung

Die Regenwetterkalibrierung des numerischen Modells dient dazu, den Zufluss von Regenwasser zum Abwasserpumpwerk während Niederschlagsperioden in Menge und zeitlicher Verteilung entsprechend dem tatsächlichen Vorkommen abzubilden. Eine detaillierte Kalibrierung der stofflichen Prozesse während der Niederschlagsereignisse wurde aufgrund der unzureichenden Datenverfügbarkeit nicht durchgeführt. Die Simulation der entsprechenden Stoffprozesse basiert somit auf Standardannahmen und Standardparametern.

Bei der Auswahl der für die Regenwetterkalibrierung zu verwendenden Niederschlagsereignisse wurde auf die am Abwasserpumpwerk Berlin XII vom 20.08.2007 bis 18.10.2007 aufgenommene Messreihe zurückgegriffen. In diesem Zeitraum wurde an 22 Tagen Niederschlag registriert. Es wurden 45 Niederschlagsereignisse (Trennkriterium: mindestens eine Stunde kein Niederschlag) mit einer Gesamtniederschlagshöhe von 149,5 mm gemessen. Das in diesem Zeitraum stärkste Niederschlagsereignis ereignete sich am 21.08.2007 in der Zeit von 03:30 Uhr bis 09:40 Uhr. Die Dauer des Ereignisses betrug 370 Minuten, die Niederschlagshöhe betrug 22,1 mm.

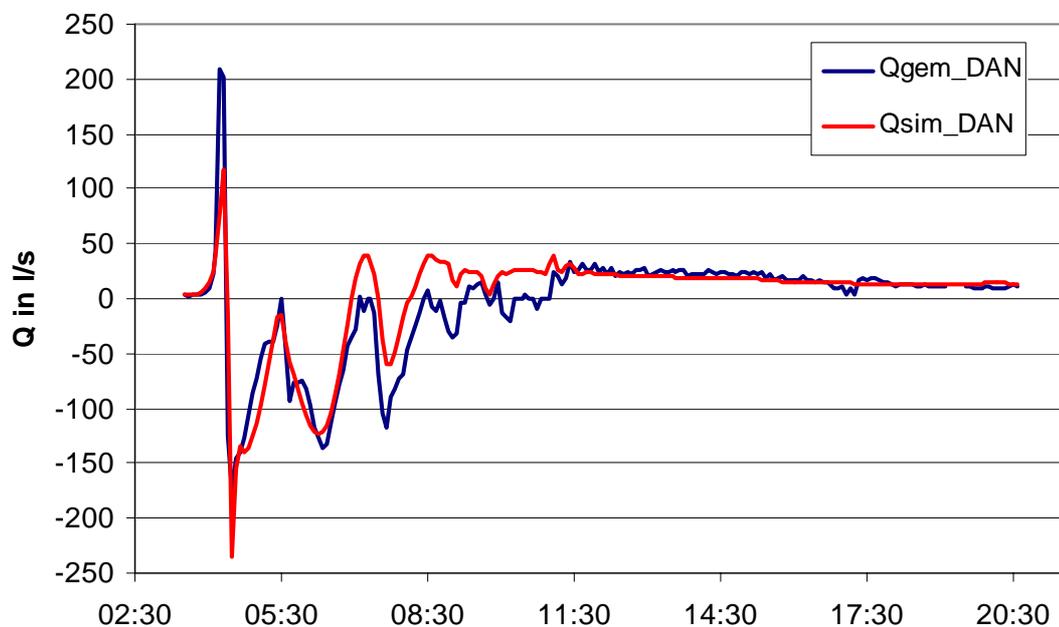
Da nur ein Niederschlagsschreiber im Einzugsgebiet des Abwasserpumpwerks Berlin XII zur Verfügung stand, konnte räumlich ungleichmäßiges Niederschlagsgeschehen, wie es etwa bei sommerlichen Gewittern auftritt, nicht erfasst und auch das entsprechende Abflussverhalten in der Kanalisation nicht adäquat simuliert werden. Räumlich ungleichmäßige Niederschlagsereignisse wurden folglich nicht zur Modellkalibrierung herangezogen. Als Hinweis darauf, ob Niederschlag räumlich ungleichmäßig verteilt war, dienten Messungen der Berliner Wasserbetriebe an den nahe gelegenen Abwasserpumpwerken Berlin V, Berlin XI und Lichtenberg. Als Auswahlkriterium, ob ein Niederschlagsereignis für die Modellkalibrierung geeignet war, wurde die Übereinstimmung der Niederschlagsverläufe an diesen Messstationen verwendet (siehe Anhang 3). Die Bewertung erfolgte mittels der Koeffizienten der hydrologischen Deviation DEVS und DEVM (Schultz, 1968; Euler, 1974; Engel, 1994).

**Tabelle 5-4** Für die Modellkalibrierung ausgewählte Niederschlagsereignisse aus dem Messzeitraum vom 20.08.2007 bis 18.10.2007

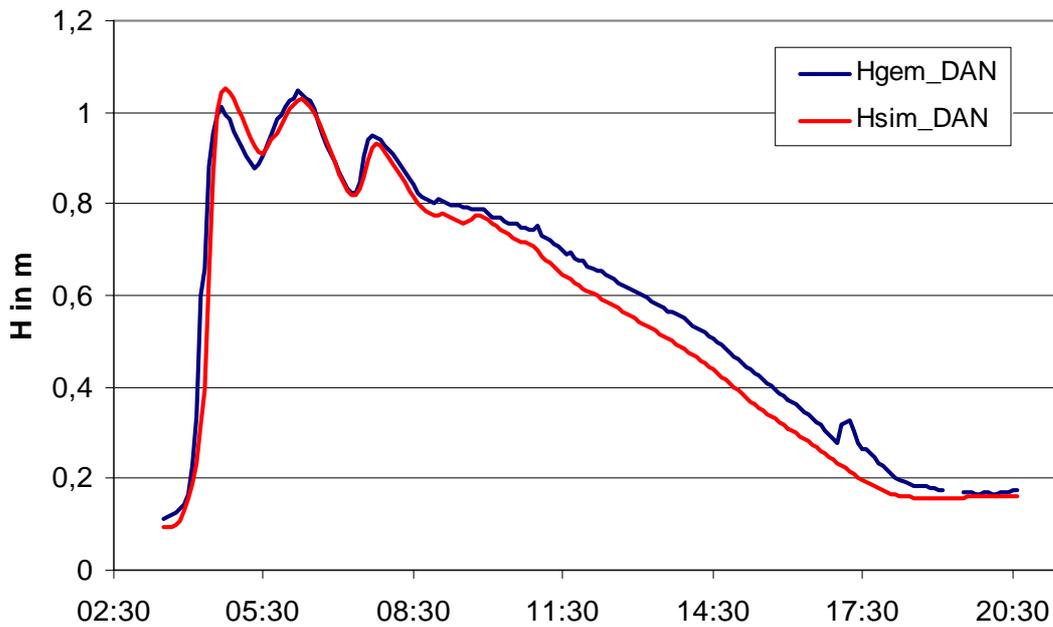
Nr.	Regenbeginn	Dauer (min)	N <sub>ges</sub> (mm)
1	21.08.2007 03:30	370	22,1
2	27.09.2007 18:45	290	12,6
3	28.09.2007 16:00	385	9,4
4	10.09.2007 11:05	225	6,6
5	18.10.2007 00:00	170	1,8

Zielgrößen der Modellkalibrierung waren der Durchfluss und der Wasserstand im Hauptsammler der Danneckerstraße sowie der Wasserstand im Zulauf zum Abwasserpumpwerk. Diese Größen wurden über den Messzeitraum mit Ausnahme weniger Messaussetzer durchgängig erfasst (89 % Datenverfügbarkeit) und standen in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten der Kalibrierung zur Verfügung.

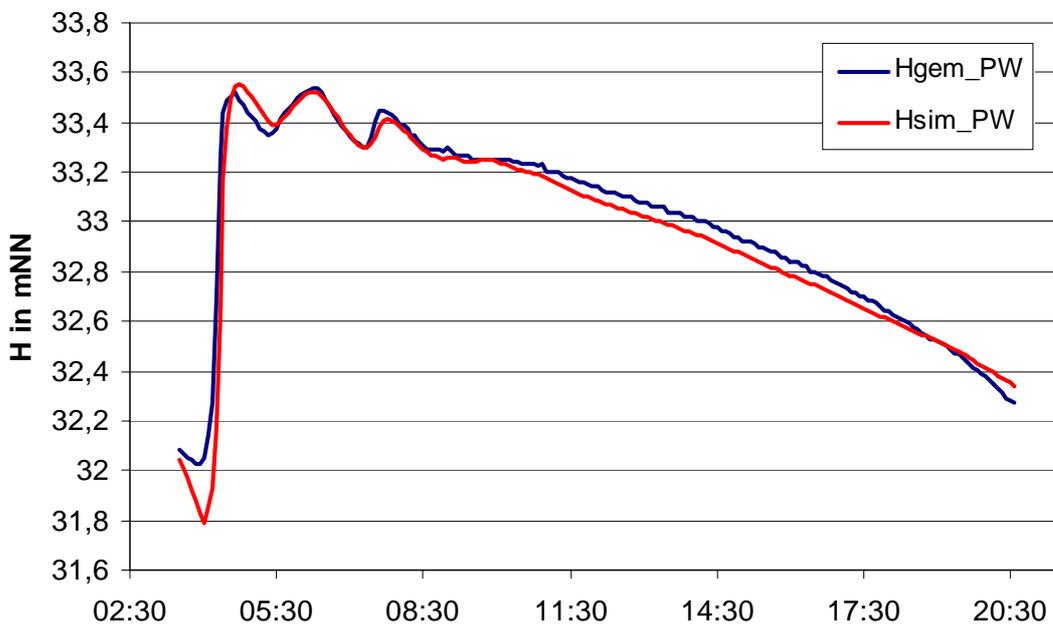
Durch Anpassung der Modellparameter für die Anfangsverluste, den Abflussbeiwert und die Abflusskonzentration auf der Oberfläche wurden weitestgehend zufrieden stellende Ergebnisse für die Abbildung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses erzielt. **Bild 5-15**, **Bild 5-16** und **Bild 5-17** zeigen exemplarisch für das Niederschlagsereignis vom 21.08.2007 den Vergleich zwischen den gemessenen und simulierten Größen. Eine Darstellung der Ganglinien aller Kalibrierungsereignisse findet sich in Anhang 4.



**Bild 5-15** Vergleich von gemessenem und simuliertem Durchfluss im Hauptsammler der Danneckerstraße für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007



**Bild 5-16** Vergleich von gemessenem und simuliertem Wasserstand im Hauptsammler der Danneckerstraße für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007



**Bild 5-17** Vergleich von gemessenem und simuliertem Wasserstand im Zufluss zum Abwasserpumpwerk Berlin XII für das Niederschlagsereignis Nr. 1 vom 21.08.2007

Aufgrund der hydraulischen Situation im untersuchten Kanalnetz kommt es bei Niederschlagsereignissen ab einer Gesamtniederschlagshöhe von ca. 2 mm zeitweise zur Fließumkehr im Hauptsammler Danneckerstraße. Das im nördlichen Einzugsgebiet gesammelte Schmutz- und Niederschlagswasser durchfließt dann diesen Sammler von

Norden nach Süden und entlastet bei entsprechendem Wasserstand über die Regenüberläufe 2, 9 und 10. Der Effekt der Fließumkehr ist in **Bild 5-15** deutlich zu erkennen. Um die hydraulische Situation im gegebenen Kanalnetz realistisch abzubilden, war es notwendig unterschiedliche Parametersätze für das Gebiet Nord und das Gebiet Süd / Danneckerstraße zu verwenden. Die durch die Kalibrierung angepassten Werte sind in **Tabelle 5-5** dargestellt.

**Tabelle 5-5** Nach der Kalibrierung festgelegte Werte für die Parameter des Niederschlags-Abfluss-Prozesses

	Anfangsverluste (Initial loss value)	Abflussbeiwert (Fixed runoff coefficient)	Abflusskonzentration (Runoff routing value)
EZG Nord	0,00005	0,95	2,0
EZG Süd	0,00002	0,55	2,0

Die Bewertung der Kalibrierungsergebnisse erfolgte mittels des Modelleffizienz-Koeffizienten  $R_{eff}$  (Nash and Sutcliffe, 1970) und den Koeffizienten der hydrologischen Deviation DEVS und DEVM (Schultz, 1968; Euler, 1974; Engel, 1994). Für den Modelleffizienz-Koeffizienten ergaben sich Werte zwischen 0,98 und 0,54 beim Vergleich der simulierten Ganglinien mit den gemessenen Ganglinien. Dies entspricht sehr guten bis brauchbaren Kalibrierungsergebnissen (siehe **Tabelle 5-6**).

**Tabelle 5-6** Bewertung der Kalibrierungsergebnisse (++ sehr gut, + gut, o brauchbar, - schlecht)

Regen Nr.	1	2	3	4	5
<b>Wasserstand Danneckerstraße</b>					
DEVM	++	++	++	++	++
DEVS	+	+	+	++	+
$R_{eff}$	++	++	++	-	++
<b>Wasserstand Pumpwerk</b>					
DEVM	++	++	++	++	+
DEVS	+	+	+	+	-
$R_{eff}$	++	++	++	++	o
<b>Durchfluss Danneckerstraße</b>					
DEVM	++	++	++	++	++
DEVS	++/+	+	+	++	++/+
$R_{eff}$	+	o	o	-	++

## 6 Schmutzfrachtberechnung, Ist-Zustand

Die Quantifizierung von Volumen- und Stoffströmen in der Kanalisation des Einzugsgebietes Berlin XII erfolgte mittels Schmutzfrachtsimulation auf der Basis langjähriger Niederschlagsaufzeichnungen. Die Bestimmung der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken, der Entlastungsvolumina und -frachten sowie weiterer wasserbehördlich relevanter Größen erfolgte durch die statistische Auswertung dieser Schmutzfrachtsimulationen. Die Simulationen wurden zunächst für den aktuellen Zustand des Einzugsgebietes und des Kanalnetzes im Jahr 2007 durchgeführt (Ist-Zustand, Erläuterungen in diesem Kapitel). Außerdem erfolgten Simulationen für den zukünftigen Zustand des Einzugsgebietes und des Kanalnetzes nach Sanierung der Mischwasserkanalisation (Sanierungs-Zustand, Erläuterungen in Kapitel 7).

### 6.1 Vorgabe von Niederschlagsdaten

Für die Schmutzfrachtberechnung standen mit der Station Berlin-Neukölln langjährige, kontinuierliche Niederschlagsaufzeichnungen zur Verfügung. Hieraus wurden die Jahre 1974 bis 2003 ausgewählt. Die Niederschlagsdaten lagen bereits in Form diskreter Niederschlagshöhen in 5-Minuten-Intervallen vor. **Tabelle 6-1** gibt einen Überblick über die jährlichen Kennwerte der verwendeten Niederschlagsreihe. Für die Bestimmung der Anzahl der Ereignisse wurde als Trennkriterium eine Trockendauer von 60 Minuten zwischen zwei Niederschlagsereignissen gewählt.

Sämtliche Niederschlagsereignisse des genannten Zeitraums wurden in ihrer tatsächlichen zeitlichen Aufeinanderfolge betrachtet, um insbesondere die folgenden Prozesse zu erfassen:

- Entleerung der Speicherräume nach Ende eines Abflussereignisses bzw. Berücksichtigung vorhandener Vorfüllung der Speicher infolge unvollständiger Entleerung zwischen zwei Niederschlagsereignissen
- Veränderung der Abflussbereitschaft der Abflussflächen während niederschlagsfreier Zeit durch Verdunstung
- Schmutzstoffakkumulation auf der Oberfläche
- Abflussbildung und Abflusskonzentration während der Niederschlagsereignisse (= Oberflächenabfluss)
- Stoffabtrag infolge Niederschlagsabfluss entsprechend dem verfügbaren Schmutzpotential und Abtragsvermögen des Regenereignisses.

**Tabelle 6-1** Jährliche Niederschlagshöhen und Anzahl der Niederschlagsereignisse der Jahre 1974 bis 2003 an der Messstation Berlin-Neukölln

Jahr	N <sub>gesamt</sub> in mm	Anzahl der Ereignisse
1974	684	272
1975	487	195
1976	382	208
1977	567	275
1978	548	244
1979	490	249
1980	577	269
1981	563	259
1982	348	186
1983	539	252
1984	510	246
1985	427	268
1986	607	273
1987	621	289
1988	504	278
1989	399	228
1990	571	257
1991	369	192
1992	510	235
1993	548	268
1994	616	306
1995	612	303
1996	422	240
1997	463	262
1998	585	348
1999	385	286
2000	510	320
2001	556	395
2002	643	280
2003	391	221
Mittelwert	514	263

## 6.2 Randbedingungen der Schmutzfrachtsimulation für den Ist-Zustand

Das Modell zur Abbildung des Ist-Zustandes der Kanalisation wurde in der Form, wie bei der Kalibrierung verwendet, übernommen (siehe Kapitel 5). Das Modell umfasst somit alle Hauptsammler und angeschlossenen Abflussflächen, alle Regenüberläufe und das Abwasserpumpwerk.

Der Trockenwetterabfluss für die Schmutzfrachtberechnung wurde abweichend von den in der Kalibrierung verwendeten Werten (August bis September 2007) entsprechend den in Messungen von Oktober 2006 bis September 2007 ermittelten Tagesmittelwerten angesetzt (siehe **Tabelle 6-2**). Somit wurden für den Trockenwetterabfluss die mittleren Verhältnisse des genannten Zeitraums ( $Q_t = 10823 \text{ m}^3/\text{d}$ ) berücksichtigt. Eine Veränderung der Parameter für die Verschmutzung des Trockenwetterabflusses gegenüber den in der Kalibrierung verwendeten Parametern erfolgte nicht.

**Tabelle 6-2** Trockenwettermengen am Abwasserpumpwerk Berlin XII von Oktober 2006 bis September 2007

Monat	Trockenwettermenge in $\text{m}^3/\text{Monat}$	Tagesmittelwert in $\text{m}^3/\text{Tag}$
Okt 06	297700	9603
Nov 06	289840	9661
Dez 06	303340	9785
Jan 07	326200	10523
Feb 07	298640	10666
Mrz 07	352020	11355
Apr 07	318330	10611
Mai 07	341520	11017
Jun 07	342850	11428
Jul 07	350790	11316
Aug 07	361030	11646
Sep 07	367770	12259
Jahresmittel	329169	10823

Die maximale Förderleistung für das Abwasserpumpwerk Berlin XII wurde für die Simulation des Ist-Zustandes auf 300 l/s festgesetzt. Dies entspricht dem aktuellen Spitzenförderwert (Mitteilung der BWB, Hr. Buchholz vom 16.11.2007). Die Schaltstufen des Pumpwerks wurden wie in **Tabelle 6-3** dargestellt im Modell berücksichtigt.

**Tabelle 6-3** Im Modell hinterlegte Schaltstufen des Abwasserpumpwerks Berlin XII

Ordinate in müNN	Förderleistung in m <sup>3</sup> /s
31,17 – 31,50	0,000
32,15 – 32,30	0,180
32,30 – ∞	0,300

Als Randbedingung an den Auslässen der Regenüberlaufkanäle in die Spree wurde der mittlere Wasserstand der Spree von 32,35 müNN (Berlin Oberschleuse OP, MW 1996-2005) angesetzt.

### 6.2.1 Annahmen für das geplante Regenbecken

Abweichend von der ursprünglichen Zielstellung des Arbeitspaketes 1.2, nämlich eine Speicherbemessung für das Regenbecken für die Entlastungshäufigkeit  $n=1$  durchzuführen, wurde im Laufe des Projektes vereinbart, Volumen- und Stoffströme für ein zu bauendes Beckenvolumen von 1000 m<sup>3</sup> zu berechnen und zu bewerten (siehe Projekt-Dokument S\_071024\_Speichergroesse\_01KA.pdf).

Da zum Zeitpunkt der Durchführung der hier beschriebenen Arbeiten noch keine detaillierten Angaben zu Ausführung und Wirkungsweise des Regenbeckens vorlagen, wurden für die Abbildung des Beckens in der Schmutzfrachtberechnung folgende Annahmen getroffen:

- Beckenvolumen,  $V_{\text{Becken}} = 1000 \text{ m}^3$
- Ordinate des Klärüberlaufs,  $H_{\text{KÜ}} = 32,85 \text{ müNN}$
- Gesamtlänge des Klärüberlaufs,  $L_{\text{KÜ}} = 6 \text{ m}$
- Keine Reinigungswirkung des Beckens, etwa durch Sedimentation

Durch die Anordnung der Klärüberlaufschwelle bei einer Ordinate von 32,85 müNN kommt es ab einem Beckenwasserstand von 32,25 müNN (= Kanalsole des ankommenden Regenüberlaufkanals) zum Rückstau in den Regenüberlaufkanal. Der bei Beckenvollfüllung hierdurch zusätzlich aktivierte Kanalspeicherraum im Regenüberlaufkanal hat ein Volumen von etwa 11 m<sup>3</sup>.

Der Nachweis, dass sich das Becken bei einer solchen Ausführung der Klärüberlaufschwelle nicht nachteilig auf die Leistung des Regenüberlaufs 2 auswirkt, erfolgt nicht im Rahmen dieser Arbeit.

Nach Information der Berliner Wasserbetriebe (E-Mail von Hr. Nebauer vom 30.10.2007) ist die Entleerung des geplanten Speichers mit maximal 50 l/s in den Mischwasserkanal in der Danneckerstraße bei Trockenwetter möglich. Die Einleitung ist bei einem Wasserstand von über 33,05 müNN im genannten Mischwasserkanal zu unterbrechen.

Die Entleerungspumpe des Regenbeckens wurde im Modell entsprechend den oben genannten Vorgaben abgebildet (siehe **Tabelle 6-4**).

**Tabelle 6-4** Abbildung der Entleerungspumpe des Regenbeckens im numerischen Modell

Wasserstand Danneckerstraße in müNN	Status der Entleerungspumpe
32,51 – 32,85	AN
33,05 – $\infty$	AUS

### 6.3 Bewertungskriterien

Für die Interpretation der Simulationsergebnisse wurden Kriterien gewählt, die eine Bewertung der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken und eine Abschätzung der Wirkung des Regenbeckens ermöglichen. Bei der Wahl der Bewertungskriterien wurden vor allem die für die Wasserbehördliche Erlaubnis notwendigen Kenngrößen berücksichtigt (siehe Projekt-Dokument C-070702-SenGesUmV Barz Protokoll-01GD.doc):

- Spitzenzufluss zum Becken,  $Q_{\max}$
- Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen unterschieden nach Vollfüllungen und Teilfüllungen,  $n_{\text{voll}}$ ,  $n_{\text{teil}}$
- minimale Dauer des Füllvorgangs,  $T_{\text{Befüllung,min}}$
- maximale, minimale und mittlere Leerstandszeiten des Beckens zwischen zwei Niederschlagsereignissen,  $T_{\text{Leerstand,max}}$ ,  $T_{\text{Leerstand,min}}$ ,  $T_{\text{Leerstand,mittel}}$
- maximale, minimale und mittlere Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken,  $T_{\text{Speicherung,max}}$ ,  $T_{\text{Speicherung,min}}$ ,  $T_{\text{Speicherung,mittel}}$
- jährlich entlastete Wassermengen,  $V_e$
- jährlich entlastete Frachten,  $B_e$  (AFS, CSB,  $\text{NH}_4\text{-N}$ )
- jährliche Entlastungshäufigkeiten,  $n_e$
- jährliche Entlastungsdauern,  $T_e$
- Entleerungsdauer des Beckens bei Vollfüllung,  $T_{\text{Leerung}}$
- jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII durch das im Becken gespeicherte und nach Ende der Niederschlagsereignisse ins Kanalnetz zurückgeführte Mischwasser,  $V_{\text{Rückleitung}}$

### 6.4 Interpretation der Ergebnisse

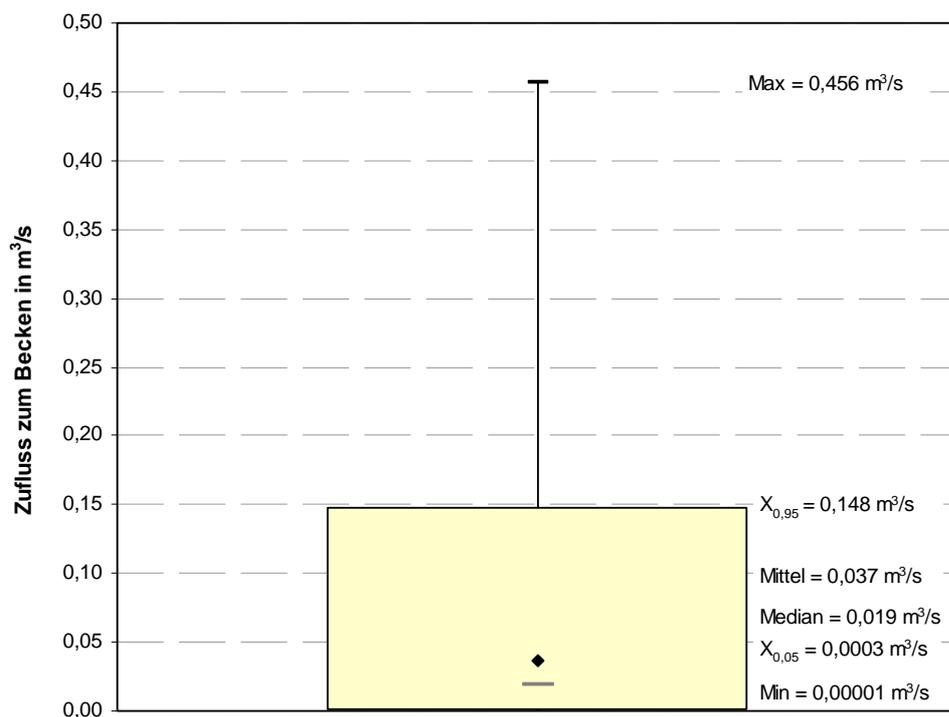
Für die in Kapitel 6.3 genannten Bewertungskriterien werden im Folgenden die in der Simulation berechneten Werte dargestellt und diskutiert. Der Gesamtdatensatz, der dieser

Auswertung zugrunde liegt, umfasst die 30-jährige Zeitreihe von 1974 bis 2003 in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten.

### 6.4.1 Zuflusssituation zum Becken

Der Zufluss zum Becken erfolgt durch den Kanal im Osthafengelände (DN 480 und DN 500) und ist abhängig von der Abflussmenge, die während Starkregenereignissen über den Regenüberlauf 2 aus dem Kanalnetz entlastet wird. Ab einem Wasserstand von 32,25 müNN im Becken kommt es zum Rückstau aus dem Becken in den Regenüberlaufkanal, wodurch das Zuflussverhalten beeinflusst wird. In Abhängigkeit von den hydraulischen Randbedingungen kommt es so zu unterschiedlichen Zuflüssen zum Becken. Die Zuflüsse variieren sowohl zwischen den verschiedenen Ereignissen als auch innerhalb der Ereignisse.

Eine Darstellung der Bandbreite von Zuflüssen zum Becken, die für die 30-jährige Niederschlagsreihe berechnet wurden, zeigt **Bild 6-1**. Der maximale Zufluss ergab sich zu 456 l/s.



**Bild 6-1** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die möglichen Zuflüsse zum Regenbecken

### 6.4.2 Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen

Ein Füll- und Entleerungszyklus wurde definiert als ein Ereignis, bei dem das Becken infolge Niederschlags entweder teilweise oder vollständig gefüllt und anschließend durch die Entleerungspumpe wieder vollständig entleert wurde. Füll- und Entleerungsvorgang können

kontinuierlich erfolgen oder auch in Etappen, falls mehrere Niederschlagsereignisse in Folge auftreten.

**Tabelle 6-5** Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen (F/E-Zyklen) des Beckens unterschieden nach Vollfüllung und Teilfüllung

Jahr	F/E-Zyklen gesamt	Anzahl Vollfüllungen	Anzahl Teilfüllungen
1974	35	6	29
1975	26	3	23
1976	24	2	22
1977	32	2	30
1978	21	3	18
1979	28	4	24
1980	30	4	26
1981	28	2	26
1982	20	1	19
1983	26	4	22
1984	33	1	32
1985	24	2	22
1986	37	5	32
1987	34	5	29
1988	28	2	26
1989	19	3	16
1990	30	3	27
1991	18	1	17
1992	26	2	24
1993	33	1	32
1994	30	7	23
1995	24	7	17
1996	26	2	24
1997	29	3	26
1998	37	4	33
1999	22	1	21
2000	28	4	24
2001	31	4	27
2002	31	5	26
2003	27	0	27
Mittel	27,9	3,1	24,8

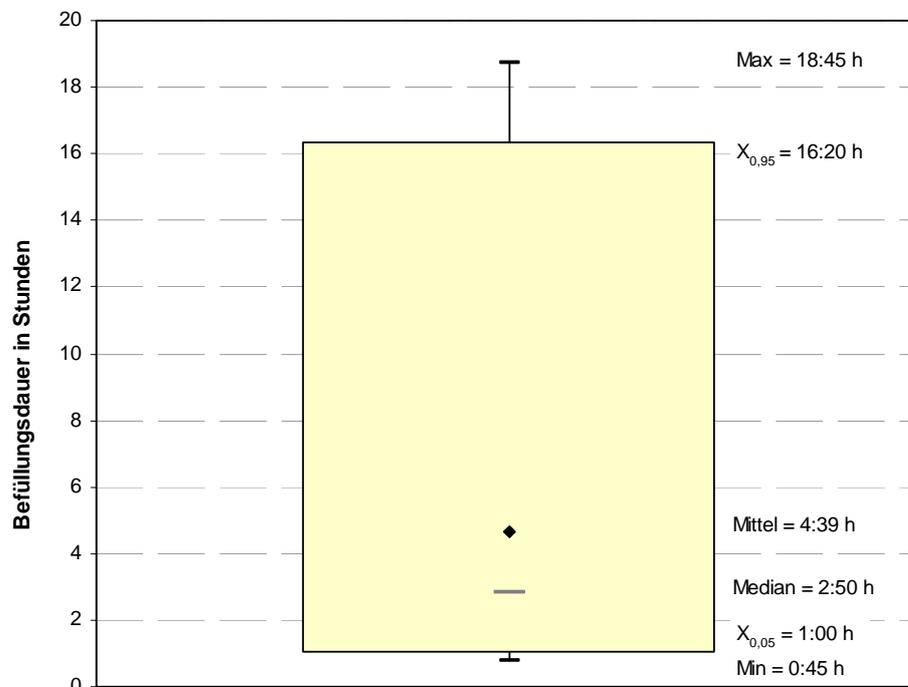
Bei der Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen muss unterschieden werden nach Vollfüllung und Teilfüllung des Beckens. Die Vollfüllung wurde definiert als ein Befüllungs-Ereignis, in dessen Verlauf es zur vollständigen Füllung des Beckens und zum Klärüberlauf kam, Mischwasser also aus dem Becken in die Spree austrat. Bei der Becken-Teilfüllung handelt es sich entsprechend um ein Befüllungs-Ereignis, bei dem das Becken nur teilweise gefüllt wurde.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass das Becken im Mittel 27,9 mal pro Jahr befüllt und wieder entleert wurde. Im Mittel waren dies 3,1 Vollfüllungen und 24,8 Teilfüllungen. **Tabelle 6-5** gibt einen Überblick über die berechneten Jahreswerte.

### 6.4.3 Dauer des Becken-Füllvorgangs

In Abhängigkeit vom Zufluss zum Becken füllt sich dieses mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Aus der Berechnung des maximalen Beckenzuflusses (laut Kapitel 6.4.1) und unter Ansatz des Beckenvolumens von 1000 m<sup>3</sup> lässt sich eine theoretische minimale Befüllungsdauer von ca. 37 Minuten ableiten.

$$T_{\text{Befüllung, min}} = \frac{V_{\text{Becken}}}{Q_{\text{max}}} = \frac{1000 \text{ m}^3}{0,456 \text{ m}^3/\text{s}} = 2193 \text{ s} = 36,55 \text{ min} \quad (6-1)$$



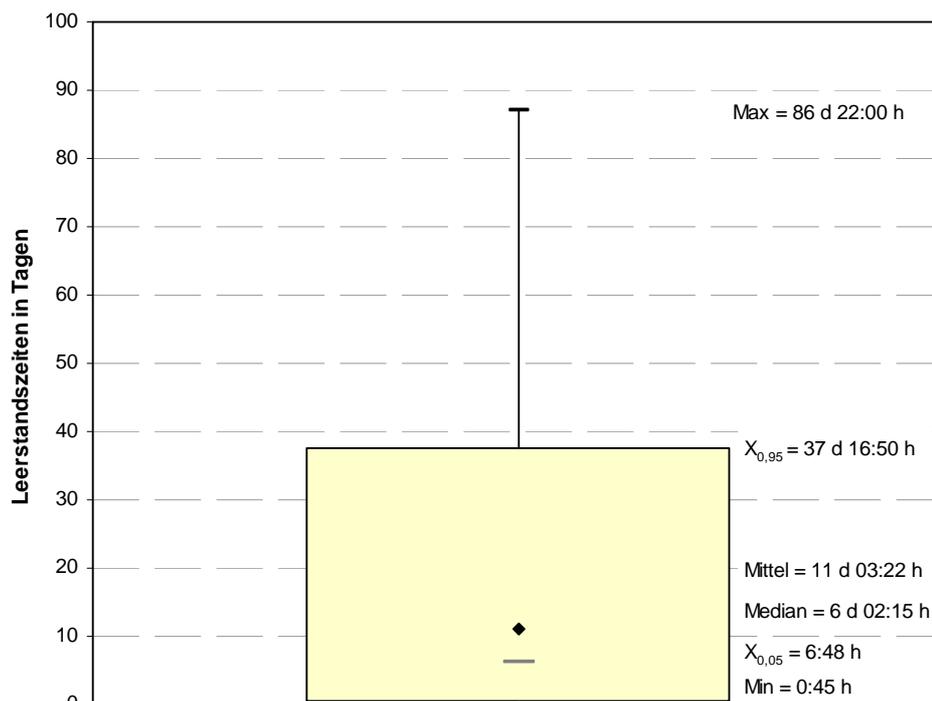
**Bild 6-2** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Befüllungsdauern des Beckens

Diese theoretische minimale Befüllungsdauer wurde tatsächlich jedoch nicht erreicht, da der berechnete Spitzenzufluss nur für wenige Minuten vorlag. Für Becken-Vollfüllungen wurden die in **Bild 6-2** dargestellten Befüllungsdauern ermittelt. Die minimale Befüllungsdauer ergab sich zu 45 Minuten.

#### 6.4.4 Leerstandszeiten des Beckens

Die Leerstandszeit des Beckens wurde definiert als die Zeitdauer zwischen vollständiger Entleerung des Beckens nach einem Niederschlagsereignis und dem Beginn der erneuten Befüllung infolge des nächsten relevanten Niederschlagsereignisses.

**Bild 6-3** zeigt die Bandbreite der Leerstandszeiten, die für die 30-jährige Niederschlagsreihe berechnet wurden. Die minimale Leerstandszeit ergab sich zu 45 Minuten, die mittlere Leerstandszeit zu 11 Tagen und ca. 3 Stunden und die maximale Leerstandszeit zu 86 Tagen und 22 Stunden (vom 02.02.1985, 14:20 Uhr bis 30.04.1985, 12:15 Uhr).



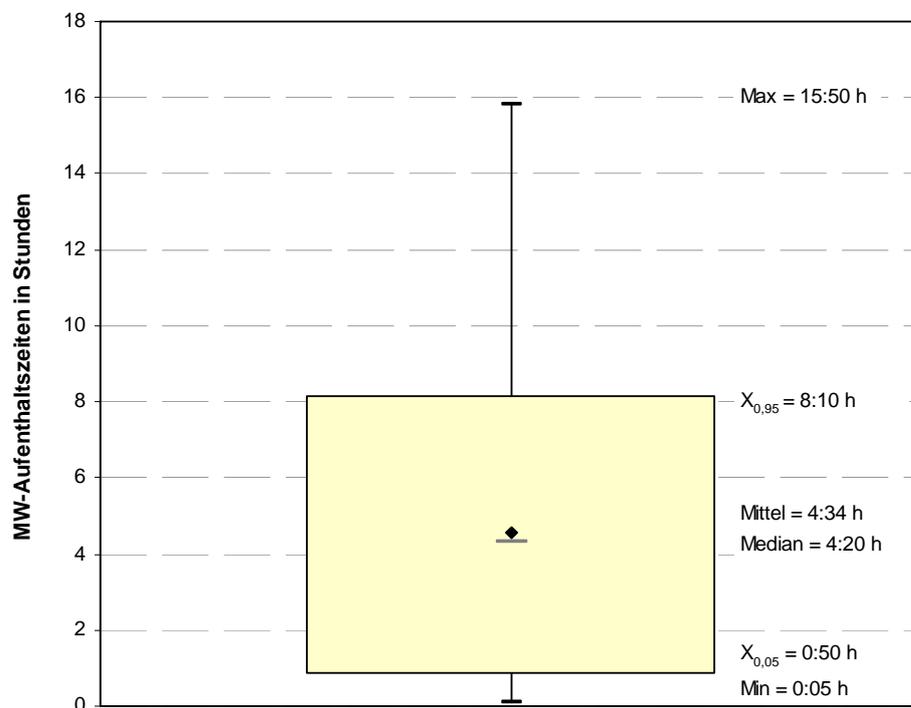
**Bild 6-3** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Leerstandszeiten des Beckens

#### 6.4.5 Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken

Da die Entleerung des geplanten Regenbeckens, wie in Kapitel 6.2.1 beschrieben, nur dann erfolgen kann, wenn im Mischwasserkanal der Danneckerstraße eine ausreichende Ableitungskapazität zur Verfügung steht, kann es zu längeren Stand- und Aufenthaltszeiten des Mischwassers im Becken kommen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf anaerobe

Prozesse im stehenden Abwasserkörper und hiermit verbundene Korrosionsvorgänge und Geruchsbildung von Bedeutung.

Die Aufenthaltszeit von Mischwasser im Becken wurde definiert als die Zeitspanne zwischen dem Abklingen des Beckenzuflusses und der vollständigen Entleerung des Beckens bzw. der erneuten Beschickung des Beckens infolge eines weiteren Niederschlagsereignisses. **Bild 6-4** zeigt die Bandbreite der Mischwasseraufenthaltszeiten, die für die 30-jährige Niederschlagsreihe berechnet wurden. Die minimale Aufenthaltszeit ergab sich zu 5 Minuten, die mittlere Aufenthaltszeit zu ca. 4,5 Stunden und die maximale Aufenthaltszeit zu ca. 16 Stunden (20.11.1995, 03:30 Uhr bis 20.11.1995, 19:15 Uhr).



**Bild 6-4** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken

#### 6.4.6 Entlastungskennwerte

Die jährlich über den Klärüberlauf des geplanten Beckens emittierten Volumina und Stofffrachten ergaben sich bei einem Beckenvolumen von 1000 m<sup>3</sup> wie in **Tabelle 6-6** dargestellt. Das mittlere jährliche Entlastungsvolumen lag bei 3126 m<sup>3</sup>, die mittlere jährliche Entlastungsdauer bei 23 Stunden und 16 Minuten. Die mittlere jährliche Entlastungsfracht für den Parameter AFS lag bei 834 kg, für den Parameter CSB bei 895 kg und für den Parameter NH<sub>4</sub>-N bei 22 kg. Im Mittel kam es zu 3,4 Entlastungen pro Jahr. Als Trennkriterium für die Abgrenzung zweier Entlastungsereignisse wurde eine minimale Entlastungspause von 60 Minuten gewählt.

**Tabelle 6-6** Jährlich über das geplante Regenbecken entlastete Abwassermengen und -frachten, Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern

Jahr	$V_e$ in m <sup>3</sup> /a	$B_{e,AFS}$ in kg/a	$B_{e,CSB}$ in kg/a	$B_{e,NH4-N}$ in kg/a	$n_e$ in 1/a	$T_e$ in min/a
1974	4849	1101	1161	40	6	2685
1975	6745	1117	1377	44	4	1680
1976	959	386	315	7	2	440
1977	968	312	214	4	2	480
1978	10405	1402	1547	43	4	1980
1979	1188	453	472	10	5	1270
1980	3393	787	850	21	4	1310
1981	1981	229	321	26	2	1380
1982	186	127	124	2	1	210
1983	5140	1821	2074	46	4	1905
1984	1821	884	857	15	1	720
1985	864	488	451	2	2	465
1986	3171	1069	1210	22	5	2155
1987	3212	978	1183	32	5	2435
1988	1784	868	831	7	2	490
1989	2270	407	427	17	3	1240
1990	8500	1600	1797	58	4	3885
1991	365	31	43	4	1	305
1992	2483	876	737	9	3	985
1993	2748	625	653	25	1	960
1994	6813	1717	1938	62	8	3375
1995	6130	1836	1916	40	8	2905
1996	691	566	662	5	2	420
1997	3029	865	846	16	3	1060
1998	999	297	288	6	4	1010
1999	437	418	384	1	1	245
2000	1945	874	791	13	4	1115
2001	1438	589	629	9	4	1095
2002	9270	2298	2758	65	6	3685
2003	0	0	0	0	0	0
Mittel	3126	834	895	22	3,4	1396

#### 6.4.7 Entleerungsdauer des Beckens

Die Entleerungsdauer des Beckens bei Vollfüllung ergibt sich unter Ansatz des Beckenvolumens von 1000 m<sup>3</sup> und einer Leistung der Entleerungspumpe von 50 l/s (siehe Kapitel 6.2.1) zu 5 Stunden und ca. 30 Minuten. Der Entleerungsvorgang kann sich jedoch bei eingeschränkter Kapazität im Mischwasserkanal infolge weiteren Niederschlags und Unterbrechung des Entleerungsvorgangs verlängern.

$$T_{\text{Leerung}} = \frac{V_{\text{Becken}}}{Q_{\text{Entleerung}}} = \frac{1000 \text{ m}^3}{0,0050 \text{ m}^3/\text{s}} = 20000 \text{ s} = 5,56 \text{ h} \quad (6-2)$$

#### 6.4.8 Wirkung des Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen des Einzugsgebietes Berlin XII

In diesem Kapitel werden die in der Langzeitsimulation ermittelten Emissionen aller Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII vergleichend gegenübergestellt. Um die Wirkung des geplanten Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen bewerten zu können, werden die Entlastungsvolumina für den Zustand ohne Becken den Entlastungsvolumina für den Zustand mit Becken gegenübergestellt.

Um die Entlastungsvolumina am Regenüberlauf 2 für den Zustand ohne Becken abzuschätzen, wurde keine eigene Simulation durchgeführt. Stattdessen wurden die Abflussmengen über den Regenüberlauf 2 aus der Simulation des Zustandes mit Becken ausgelesen. Dieser Auswertung liegt die Annahme zugrunde, dass der Rückstau aus dem Becken das Abflussverhalten über den Regenüberlauf 2 nicht maßgeblich verändert.

Bei der Bewertung ist zu beachten, dass das über die internen Regenüberläufe im nördlichen Einzugsgebiet entlastete Mischwasser zu einem Teil im Stauraumkanal „Straße der Pariser Kommune“ aufgefangen und anschließend dem Abwasserpumpwerk Berlin V zugeführt wird. Nur bei stärkeren Niederschlagsereignissen kommt es hier zum Überlauf in die Spree. Der im Einzugsgebiet Berlin V liegende Stauraumkanal und dessen Wirkung wurden im verwendeten Modell nicht abgebildet. Daher wurde der im Folgenden verwendete Begriff des Gesamtentlastungsvolumens definiert als das aus der Kanalisation des Einzugsgebietes Berlin XII über alle Regenüberläufe (inklusive der internen) emittierte Mischwasser.

**Tabelle 6-7** kann entnommen werden, dass das mittlere jährliche Entlastungsvolumen am Regenüberlauf 2 durch das geplante Becken von 13305 m<sup>3</sup> auf 3126 m<sup>3</sup>, also um 77 % reduziert wird. Aufgrund des geringen Anteils des Regenüberlaufs 2 am Gesamtentlastungsvolumen von 2,7 % (siehe **Tabelle 6-7**, Zustand ohne Regenbecken), bedeutet dies jedoch lediglich einen Rückgang des mittleren jährlichen Gesamtentlastungsvolumens aus dem Einzugsgebiet Berlin XII um 2 % (von 493668 m<sup>3</sup> auf 483489 m<sup>3</sup>).

**Tabelle 6-7** Zusammenstellung der mittleren jährlichen Entlastungsvolumina der Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII für den Systemzustand ohne Becken und den Zustand mit Becken

Regenüberlauf	Zustand ohne Regenbecken		Zustand mit Regenbecken	
	Volumen in m <sup>3</sup> /a	Anteil an Gesamtentlastung in %	Volumen in m <sup>3</sup> /a	Anteil an Gesamtentlastung in %
RÜ 1	356578	72,2	356578	73,8
RÜ 2 bzw. KÜ Becken	13305	2,7	3126	0,6
RÜ 3/1	94337	19,1	94337	19,5
RÜ 3/2	14316	2,9	14316	3,0
RÜ 9	3095	0,6	3095	0,6
RÜ 10	139	0,0	139	0,0
RÜ 11	820	0,2	820	0,2
RÜ 5 intern	2975	0,6	2975	0,6
RÜ 6 intern	1283	0,3	1283	0,3
RÜ 7 intern	1163	0,2	1163	0,2
RÜ 8 intern	628	0,1	628	0,1
RÜ 9 M intern	3734	0,8	3734	0,8
RÜ 12/1 intern	124	0,0	124	0,0
RÜ 12/2 intern	214	0,0	214	0,0
RÜ 13 intern	373	0,1	373	0,1
RÜ 13/1 intern	585	0,1	585	0,1
Summe	493668	100,0	483489	100,0

#### 6.4.9 Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII

Durch die Rückförderung des im Becken gespeicherten Mischwassers in das Kanalnetz nach Ende von Niederschlagsereignissen kommt es zu einem erhöhten Mischwasseranfall am Abwasserpumpwerk Berlin XII und schließlich am von dort aus beschickten Klärwerk (zur Zeit KW Schönerlinde).

Die jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII wird in **Tabelle 6-8** ausgewiesen. Im Mittel erhöht sich die zu fördernde Abwassermenge am Pumpwerk um 0,22 %.

**Tabelle 6-8** In der Langzeitsimulation ermittelte jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII

Jahr	Rückförderung aus Becken in m <sup>3</sup>	Gesamtförderung Pumpwerk Berlin XII in m <sup>3</sup>	Erhöhung gegenüber Zustand ohne Becken in %
1974	14971	4746096	0,32
1975	10320	4463694	0,23
1976	7080	4464828	0,16
1977	13905	4633308	0,30
1978	6585	4573422	0,14
1979	10635	4574376	0,23
1980	13005	4603122	0,28
1981	10275	4669146	0,22
1982	5565	4461228	0,12
1983	12045	4550022	0,27
1984	9780	4621464	0,21
1985	6840	4493484	0,15
1986	14040	4673592	0,30
1987	13980	4699026	0,30
1988	7380	4640490	0,16
1989	7020	4421916	0,16
1990	9870	4564350	0,22
1991	5970	4432698	0,13
1992	8655	4600674	0,19
1993	9512	4662234	0,20
1994	13890	4646412	0,30
1995	13635	4609404	0,30
1996	9570	4458294	0,22
1997	9826	4478346	0,22
1998	13080	4629546	0,28
1999	4845	4502106	0,11
2000	10245	4623930	0,22
2001	10440	4628178	0,23
2002	13380	4625568	0,29
2003	8730	4444344	0,20
Mittel	10169	4573177	0,22

## 7 Schmutzfrachtberechnung, Sanierungs-Zustand

In diesem Kapitel erfolgt eine Darstellung der Simulationsergebnisse für den zukünftigen Zustand des Einzugsgebietes und des Kanalnetzes nach Sanierung der Mischwasserkanalisation (Sanierungs-Zustand).

### 7.1 Randbedingungen der Schmutzfrachtsimulation für den Sanierungs-Zustand

Für die Berechnungen des Sanierungs-Zustandes wurde, identisch zur Berechnung des Ist-Zustandes, die 30-jährige Niederschlagsreihe (1974 bis 2003) der Station Berlin-Neukölln verwendet (siehe **Tabelle 6-1**).

Zur Abbildung des Sanierungs-Zustandes der Kanalisation wurde das Modell des Ist-Zustandes um die bis 2020 geplanten Sanierungsmaßnahmen erweitert. Dieser Vorgang erfolgte in Absprache mit den Berliner Wasserbetrieben. Bei den abgebildeten Sanierungsmaßnahmen handelt es sich um:

- Anpassung der Schwellenhöhen der Regenüberläufe im Einzugsgebiet des APw Friedrichshain, Rudolphstraße (Berlin XII). Anhebung der Schwellenhöhen der Überläufe RÜ 2, RÜ 3/1, RÜ 3/2 auf ein gemeinsames Stauniveau von 33,30 müNN. Anhebung der Schwellenhöhen der Überläufe RÜ 1, RÜ 8 sowie RÜ 9/M.
- Aufweitung der Schwellenlänge des RÜ 2 und des RÜ 8 auf jeweils 3,00 m. Aufweitung der Schwellenlänge des RÜ 1 auf 20,00 m. Aufweitung der Schwellenlänge des RÜ 10 und des RÜ 11 auf jeweils 0,60 m.
- Aufweitung des Regenüberlaufkanals hinter dem RÜ 2 auf den Durchmesser DN 800. Absenkung der Sohle des Regenüberlaufkanals auf 32,60 müNN am Schacht 15153.E02.
- Bewirtschaftung des Mischwasserkanals in der Modersohnstraße. Einrichtung einer Drosselvorrichtung im Bereich der Modersohnstraße am Schacht 16156.001 (RÜ 1), um den Zufluss zum Pumpwerk aus dem südlichen Teilbereich zu gewährleisten. Der Zufluss zum Pumpwerk aus dem nördlichen Teileinzugsgebiet wurde auf 330 l/s gedrosselt.
- Hydraulische Abkopplung des tiefer gelegenen südlichen Teileinzugsgebietes vom nördlichen Teilgebiet. Dazu wurde die Verbindung vom Schacht 16156.901 zum Schacht 16156.001 abgebrochen und stattdessen eine neue Verbindung vom Schacht 16156.901 über den Schacht 16155.368 direkt zum Pumpwerk geschaffen.
- Bewirtschaftung des Mischwasserkanals oberhalb des ehemaligen (geschlossenen) Regenüberlaufes RÜ 4. Einrichtung einer Drosselvorrichtung oberhalb des ehemaligen RÜ 4 zur Bewirtschaftung des oberhalb liegenden Kanalnetzes. Der weiterführende Abfluss wurde auf 200 l/s gedrosselt.

Der Trockenwetterabfluss für die Schmutzfrachtberechnung wurde an den für das Einzugsgebiet Berlin XII für das Jahr 2020 prognostizierten Wert von 11500 m<sup>3</sup> pro Tag angepasst. Hierdurch wurde eine leichte Erhöhung des Abwasseranfalls gegenüber der aktuellen Situation, bedingt durch eine Erhöhung der Einwohnerdichte und eine Zunahme der gewerblichen Tätigkeit im Einzugsgebiet, berücksichtigt. Eine Veränderung der Parameter für die Verschmutzung des Trockenwetterabflusses gegenüber den in der Kalibrierung verwendeten Parametern erfolgte nicht.

Die maximale Förderleistung für das Abwasserpumpwerk Berlin XII wurde für die Simulation des Sanierungs-Zustandes auf 400 l/s festgesetzt. Dies entspricht dem Bemessungswert für Regenwetterförderung von  $Q_{RW} = 2 \cdot Q_{t,16}$ .

$$Q_{t,16} = \frac{24}{16} \cdot 11500 \text{ m}^3/\text{d} = \frac{24}{16} \cdot 133 \text{ l/s} = 200 \text{ l/s} \quad (7-1)$$

Die zukünftige Förderautomatik des Pumpwerks und der zukünftige Soll-Pegel von 31,00 müNN wurden im Modell mittels eines entsprechenden Regelungsbausteins (PID-Regler) berücksichtigt.

Als Randbedingung an den Auslässen der Regenüberlaufkanäle in die Spree wurde, wie für den Ist-Zustand, der mittlere Wasserstand der Spree von 32,35 müNN (Berlin Oberschleuse OP, MW 1996-2005) angesetzt.

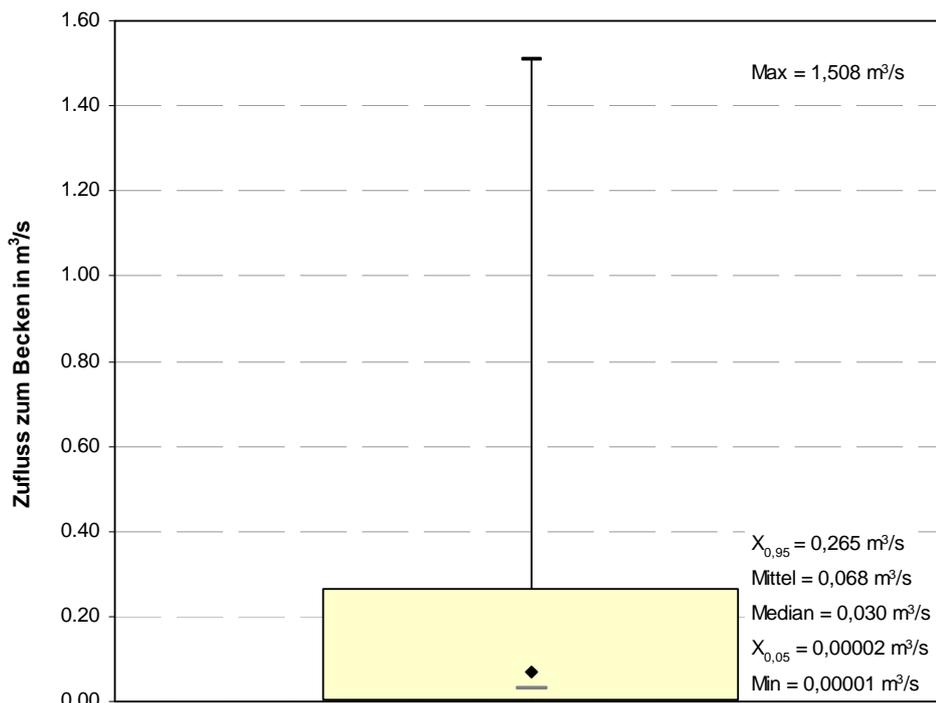
Die Abbildung des geplanten Regenbeckens im numerischen Modell für die Berechnung des Sanierungs-Zustandes ist identisch zu der im Ist-Zustand (siehe Kapitel 6.2.1).

## 7.2 Interpretation der Ergebnisse

Für die in Kapitel 6.3 genannten Bewertungskriterien werden im Folgenden die für den Sanierungs-Zustand der Mischwasserkanalisation berechneten Werte dargestellt und diskutiert. Der Gesamtdatensatz, der dieser Auswertung zugrunde liegt, umfasst die 30-jährige Zeitreihe von 1974 bis 2003 in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten.

### 7.2.1 Zuflusssituation zum Becken

Eine Darstellung der Bandbreite von Zuflüssen zum Becken, die für den Sanierungs-Zustand berechnet wurden, zeigt **Bild 7-1**. Der maximale Zufluss ergab sich zu 1508 l/s. Aufgrund der Aufweitung der Schwellenlänge des Regenüberlaufs 2 und des sich anschließenden Regenüberlaufkanals im Sanierungs-Zustand kommt es demnach zu einer deutlichen Erhöhung des maximalen Beckenzuflusses (um 230 %) gegenüber dem Ist-Zustand.



**Bild 7-1** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die möglichen Zuflüsse zum Regenbecken im Sanierungs-Zustand

### 7.2.2 Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen

Ein Füll- und Entleerungszyklus wurde definiert als ein Ereignis, bei dem das Becken infolge Niederschlags entweder teilweise oder vollständig gefüllt und anschließend durch die Entleerungspumpe wieder vollständig entleert wurde. Füll- und Entleerungsvorgang können kontinuierlich erfolgen oder auch in Etappen, falls mehrere Niederschlagsereignisse in Folge auftreten.

Bei der Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen wurde analog zur Interpretation der Ergebnisse für den Ist-Zustand unterschieden nach Vollfüllung und Teilfüllung des Beckens.

Die Ergebnisse der Simulation für den Sanierungs-Zustand zeigen, dass das Becken im Mittel 19,2 mal pro Jahr befüllt und wieder entleert wurde. Es ist also eine Verringerung der Anzahl von Füll- und Entleerungszyklen gegenüber dem Ist-Zustand (um 31 %) zu beobachten. Zurückzuführen ist diese Verringerung auf die Sanierungs-Maßnahmen, wie die Anhebung der Schwelle des Regenüberlaufs 2 auf 33,30 müNN und die hydraulische Entkopplung des südlichen Einzugsgebietes vom nördlichen Gebiet.

Im Mittel kam es im Sanierungs-Zustand zu 6,9 Vollfüllungen und 12,3 Teilfüllungen. Das Regenbecken wurde demnach häufiger vollständig gefüllt als im Ist-Zustand. Bezogen auf die Gesamtzahl der Beckenfüllungen kam es in 36 % der Fälle zur Vollfüllung gegenüber 11 %

im Ist-Zustand. Diese Verschiebung ist eine logische Folge der erhöhten Beckenzuflüsse (siehe Kapitel 7.2.1) und demnach zurückzuführen auf die Aufweitung der Schwellenlänge des Regenüberlaufs 2 und des sich anschließenden Regenüberlaufkanals.

**Tabelle 7-1** Anzahl der jährlichen Füll- und Entleerungszyklen des Beckens im Sanierungs-Zustand unterschieden nach Vollfüllung und Teilfüllung

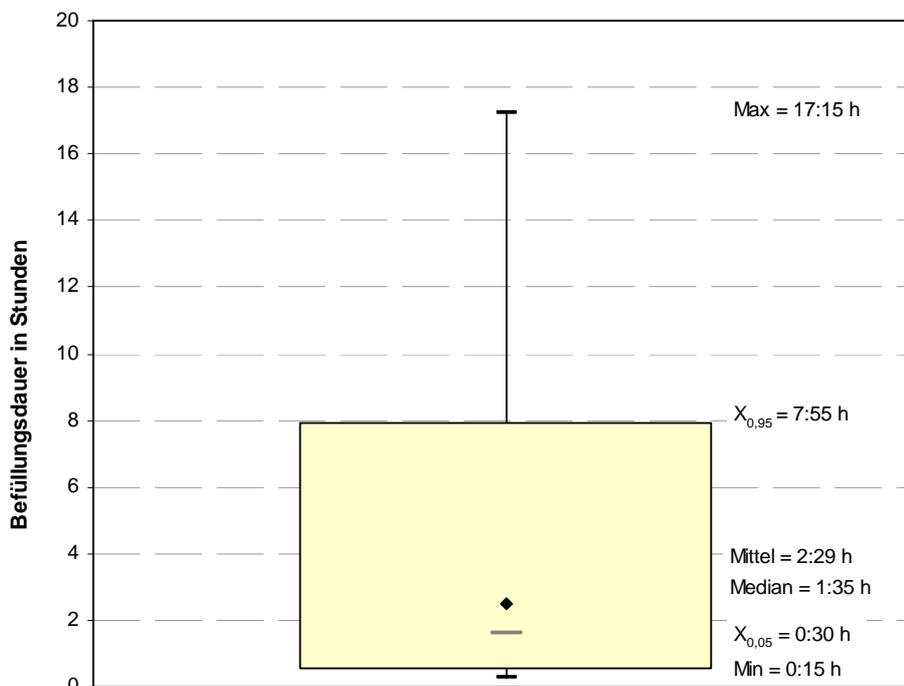
Jahr	F/E-Zyklen gesamt	Anzahl Vollfüllungen	Anzahl Teilfüllungen
1974	24	12	12
1975	16	8	8
1976	17	2	15
1977	25	12	13
1978	10	5	5
1979	21	7	14
1980	23	10	13
1981	21	6	15
1982	13	2	11
1983	21	10	11
1984	19	5	14
1985	12	4	8
1986	25	13	12
1987	27	10	17
1988	18	2	16
1989	13	7	6
1990	19	6	13
1991	10	5	5
1992	14	6	8
1993	19	5	14
1994	19	11	8
1995	21	13	8
1996	21	5	16
1997	24	5	19
1998	25	10	15
1999	13	2	11
2000	19	6	13
2001	22	6	16
2002	24	8	16
2003	21	3	18
Mittel	19,2	6,9	12,3

### 7.2.3 Dauer des Becken-Füllvorgangs

In Abhängigkeit vom Zufluss zum Becken füllt sich dieses mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Aus der Berechnung des maximalen Beckenzuflusses (laut Kapitel 7.2.1) und unter Ansatz des Beckenvolumens von 1000 m<sup>3</sup> lässt sich eine theoretische minimale Befüllungsdauer von ca. 11 Minuten ableiten.

$$T_{\text{Befüllung, min}} = \frac{V_{\text{Becken}}}{Q_{\text{max}}} = \frac{1000 \text{ m}^3}{1,508 \text{ m}^3/\text{s}} = 663 \text{ s} = 11,05 \text{ min} \quad (7-2)$$

Diese theoretische minimale Befüllungsdauer wurde tatsächlich jedoch nicht erreicht, da der berechnete Spitzenzufluss nur für wenige Minuten vorlag. Für Becken-Vollfüllungen wurden die in **Bild 7-2** dargestellten Befüllungsdauern ermittelt. Die minimale Befüllungsdauer ergab sich zu 15 Minuten und ist somit deutlich geringer als die Befüllungsdauer im Ist-Zustand.

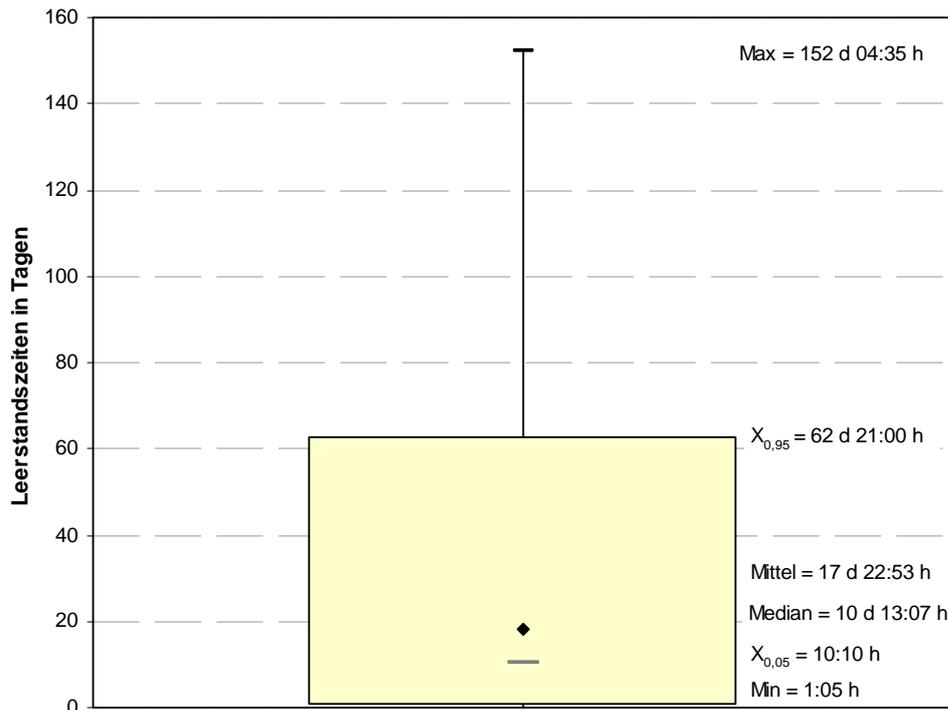


**Bild 7-2** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Befüllungsdauern des Beckens für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation

### 7.2.4 Leerstandszeiten des Beckens

Die Leerstandszeit des Beckens wurde definiert als die Zeitdauer zwischen vollständiger Entleerung des Beckens nach einem Niederschlagsereignis und dem Beginn der erneuten Befüllung infolge des nächsten relevanten Niederschlagsereignisses.

**Bild 7-3** zeigt die Bandbreite der Leerstandszeiten, die für den Sanierungs-Zustand berechnet wurden. Infolge der geringeren Anzahl von Beckenbeschickungen (siehe Kapitel 7.2.2) ist auch eine Erhöhung der Leerstandszeiten gegenüber dem Ist-Zustand zu beobachten. Die minimale Leerstandszeit ergab sich zu ca. 1 Stunde, die mittlere Leerstandszeit zu 17 Tagen und ca. 23 Stunden und die maximale Leerstandszeit zu ca. 152 Tagen.

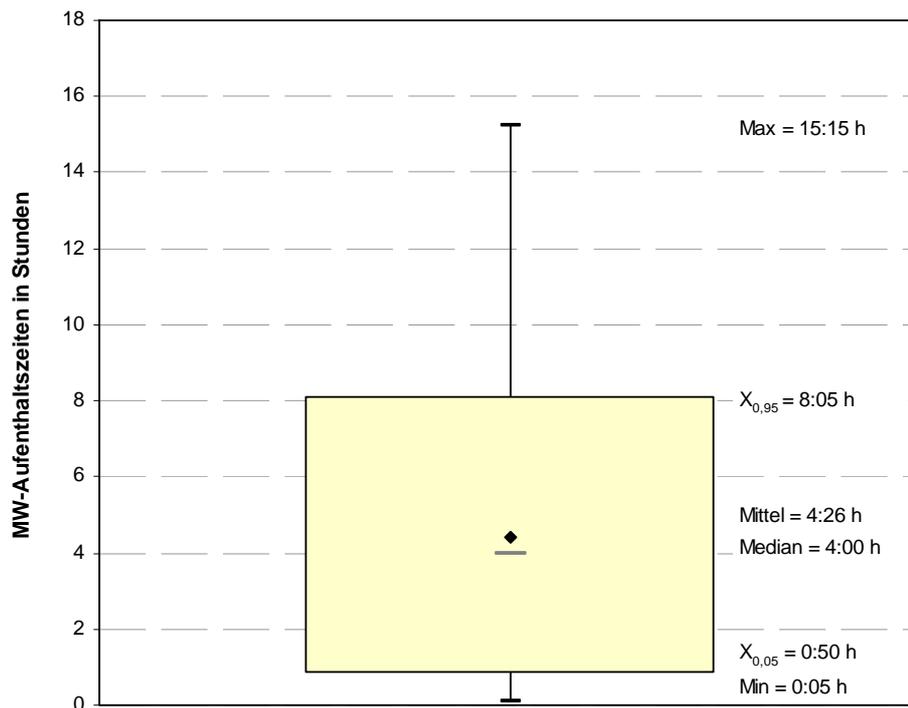


**Bild 7-3** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Leerstandszeiten des Beckens im Sanierungs-Zustand

### 7.2.5 Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken

Die Aufenthaltszeit von Mischwasser im Becken wurde definiert als die Zeitspanne zwischen dem Abklingen des Beckenzuflusses und der vollständigen Entleerung des Beckens bzw. der erneuten Beschickung des Beckens infolge eines weiteren Niederschlagsereignisses.

**Bild 7-4** zeigt die Bandbreite der Mischwasseraufenthaltszeiten, die für den Sanierungs-Zustand berechnet wurden. Die minimale Aufenthaltszeit ergab sich zu 5 Minuten, die mittlere Aufenthaltszeit zu ca. 4,5 Stunden und die maximale Aufenthaltszeit zu ca. 15 Stunden. Diese Werte unterscheiden sich kaum von den Ergebnissen für den Ist-Zustand. Das ist plausibel, da die im Sanierungs-Zustand berücksichtigten Maßnahmen zur Bewirtschaftung des Kanalnetzes keinen direkten Einfluss auf die Beckenentleerung und somit auf die Aufenthaltszeiten des Mischwassers im Becken haben.



**Bild 7-4** Aus der Langzeitsimulation gewonnene statistische Kennwerte für die Aufenthaltszeiten von Mischwasser im Becken für den Sanierungs-Zustand

### 7.2.6 Entlastungskennwerte

Die jährlich über den Klärüberlauf des geplanten Beckens emittierten Volumina und Stofffrachten ergaben sich für den Sanierungs-Zustand wie in **Tabelle 7-2** dargestellt. Das mittlere jährliche Entlastungsvolumen lag bei 11688 m<sup>3</sup>, die mittlere jährliche Entlastungsdauer bei 52 Stunden und 16 Minuten. Die mittlere jährliche Entlastungsfracht für den Parameter AFS lag bei 1867 kg, für den Parameter CSB bei 1712 kg und für den Parameter NH<sub>4</sub>-N bei 64 kg. Im Mittel kam es zu 7,5 Entlastungen pro Jahr. Als Trennkriterium für die Abgrenzung zweier Entlastungsereignisse wurde eine minimale Entlastungspause von 60 Minuten gewählt.

Trotz der geringeren Anzahl von Beckenbeschickungen (siehe Füll- und Entleerungszyklen, Kapitel 7.2.2) liegen die Entlastungswerte deutlich über denen im Ist-Zustand. Das Entlastungsvolumen des geplanten Regenbeckens erhöht sich beispielsweise um ca. 270 %. Der Anstieg der Emissionen ist auf die bereits erläuterte Erhöhung der Beckenzuflüsse im Sanierungszustand zurückzuführen (siehe Kapitel 7.2.1).

**Tabelle 7-2** Jährlich über das geplante Regenbecken entlastete Abwassermengen und -frachten, Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern im Sanierungs-Zustand

Jahr	$V_e$ in m <sup>3</sup> /a	$B_{e,AFS}$ in kg/a	$B_{e,CSB}$ in kg/a	$B_{e,NH_4-N}$ In kg/a	$n_e$ in 1/a	$T_e$ In min/a
1974	22650	3450	3442	149	14	7035
1975	19585	2051	2312	88	9	3815
1976	4055	1084	729	21	2	550
1977	7344	1996	1628	27	12	3135
1978	24632	2137	1992	104	6	3505
1979	8206	1309	1076	47	8	2725
1980	12429	2432	2400	50	10	3320
1981	9471	1111	1099	76	6	3265
1982	1465	557	553	5	3	790
1983	17335	3016	2718	112	12	4765
1984	7172	1722	1263	41	6	2215
1985	4296	1304	1053	10	4	1280
1986	14470	2188	1850	74	15	5220
1987	15189	2170	2355	129	10	5870
1988	6035	1109	999	14	2	640
1989	9200	1597	1329	53	7	3040
1990	24284	2510	2618	135	8	5440
1991	4197	468	471	33	6	2165
1992	9956	1677	1329	44	7	2570
1993	8581	1051	1079	51	6	2570
1994	24349	3385	3219	146	12	5560
1995	22114	4373	4022	98	14	5075
1996	4761	1604	1257	27	5	1510
1997	10394	1317	1205	53	6	2450
1998	10316	2146	2087	52	10	3195
1999	2114	728	498	4	2	580
2000	8125	2255	1797	44	6	1965
2001	8221	2035	1590	29	6	2060
2002	27690	3000	3080	171	9	6610
2003	2001	223	309	23	3	1250
Mittel	11688	1867	1712	64	7,5	3139

### 7.2.7 Entleerungsdauer des Beckens

Die Entleerungsdauer des Beckens bei Vollfüllung ergibt sich unverändert gegenüber dem Ist-Zustand zu 5 Stunden und ca. 30 Minuten (siehe Kapitel 6.4.7). Der Entleerungsvorgang kann sich jedoch bei eingeschränkter Kapazität im Mischwasserkanal infolge weiteren Niederschlags und Unterbrechung des Entleerungsvorgangs verlängern.

### 7.2.8 Wirkung des Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen des Einzugsgebietes Berlin XII

Im Folgenden werden die in der Langzeitsimulation für den Sanierungs-Zustand ermittelten Emissionen aller Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII vergleichend gegenübergestellt. Um die Wirkung des geplanten Regenbeckens im Kontext der Gesamtemissionen bewerten zu können, werden die Entlastungsvolumina für den Zustand ohne Becken den Entlastungsvolumina für den Zustand mit Becken gegenübergestellt.

Um die Entlastungsvolumina am Regenüberlauf 2 für den Zustand ohne Becken abzuschätzen, wurde keine eigene Simulation durchgeführt. Stattdessen wurden die Abflussmengen über den Regenüberlauf 2 aus der Simulation des Zustandes mit Becken ausgelesen. Dieser Auswertung liegt die Annahme zugrunde, dass der Rückstau aus dem Becken das Abflussverhalten über den Regenüberlauf 2 nicht maßgeblich verändert.

Bei der Bewertung ist zu beachten, dass das über die internen Regenüberläufe im nördlichen Einzugsgebiet entlastete Mischwasser zu einem Teil im Stauraumkanal „Straße der Pariser Kommune“ aufgefangen und anschließend dem Abwasserpumpwerk Berlin V zugeführt wird. Nur bei stärkeren Niederschlagsereignissen kommt es hier zum Überlauf in die Spree. Der im Einzugsgebiet Berlin V liegende Stauraumkanal und dessen Wirkung wurden im verwendeten Modell nicht abgebildet. Daher wurde der im Folgenden verwendete Begriff des Gesamtentlastungsvolumens definiert als das aus der Kanalisation des Einzugsgebietes Berlin XII über alle Regenüberläufe (inklusive der internen) emittierte Mischwasser.

Aufgrund der erläuterten Sanierungsmaßnahmen in der Mischwasserkanalisation kommt es gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Reduktion des mittleren jährlichen Gesamtentlastungsvolumens um 39 %. Zugleich erhöht sich das mittlere jährliche Entlastungsvolumen des Regenüberlaufs 2 auf 23875 m<sup>3</sup> (siehe **Tabelle 7-3**, Zustand ohne Regenbecken). Der Anteil am Gesamtentlastungsvolumen beträgt nun 7,9 % gegenüber 2,7 % im Ist-Zustand.

Das mittlere jährliche Entlastungsvolumen des Regenüberlaufs 2 wird im Sanierungs-Zustand durch das Regenbecken von 23875 m<sup>3</sup> auf 11688 m<sup>3</sup>, also um 51 % reduziert. Das führt zu einer Verminderung des Gesamtentlastungsvolumens des Einzugsgebietes Berlin XII um 4 %. Aufgrund der veränderten Abflusscharakteristik am Regenüberlauf 2, zurückzuführen

auf die Sanierungsmaßnahmen in der Mischwasserkanalisation, hat das Becken also einen gegenüber dem Ist-Zustand größeren Einfluss auf das Gesamtentlastungsvolumen des Einzugsgebietes. Die Wirkung des Beckens auf die Mischwasserentlastungen des RÜ 2 ist im Sanierungs-Zustand jedoch geringer als im Ist-Zustand, für den eine Reduktion um 77 % ermittelt wurde (siehe Kapitel 6.4.8).

**Tabelle 7-3** Zusammenstellung der mittleren jährlichen Entlastungsvolumina der Regenüberläufe des Einzugsgebietes Berlin XII für den Sanierungs-Zustand

Regenüberlauf	Zustand ohne Regenbecken		Zustand mit Regenbecken	
	Volumen in m <sup>3</sup> /a	Anteil an Gesamtentlastung in %	Volumen in m <sup>3</sup> /a	Anteil an Gesamtentlastung in %
RÜ 1	80668	26,9	80668	28,0
RÜ 2 bzw. KÜ Becken	23875	7,9	11688	4,1
RÜ 3/1	13255	4,4	13255	4,6
RÜ 3/2	3091	1,0	3091	1,1
RÜ 9	3140	1,0	3140	1,1
RÜ 10	613	0,2	613	0,2
RÜ 11	1032	0,3	1032	0,4
RÜ 5 intern	10830	3,6	10830	3,8
RÜ 6 intern	42162	14,0	42162	14,6
RÜ 7 intern	1076	0,4	1076	0,4
RÜ 8 intern	41822	13,9	41822	14,5
RÜ 9 M intern	77516	25,8	77516	26,9
RÜ 12/1 intern	125	0,0	125	0,0
RÜ 12/2 intern	216	0,1	216	0,1
RÜ 13 intern	374	0,1	374	0,1
RÜ 13/1 intern	586	0,2	586	0,2
Summe	300381	100,0	288194	100,0

### 7.2.9 Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII

Durch die Rückförderung des im Becken gespeicherten Mischwassers in das Kanalnetz nach Ende von Niederschlagsereignissen kommt es zu einem erhöhten Mischwasseranfall am Abwasserpumpwerk Berlin XII und schließlich am von dort aus beschickten Klärwerk.

Die jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII wird in **Tabelle 7-4** ausgewiesen. Im Mittel erhöht sich die zu fördernde Abwassermenge am Pumpwerk um 0,24 %.

**Tabelle 7-4** In der Langzeitsimulation ermittelte jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII im Sanierungs-Zustand

Jahr	Rückförderung aus Becken in m <sup>3</sup>	Gesamtförderung Pumpwerk Berlin XII in m <sup>3</sup>	Erhöhung gegenüber Zustand ohne Becken In %
1974	18451	5296127	0,35
1975	12075	4897026	0,25
1976	8805	4889345	0,18
1977	18750	5122486	0,37
1978	7020	4981755	0,14
1979	11356	5024044	0,23
1980	16350	5079235	0,32
1981	13365	5156959	0,26
1982	6705	4855708	0,14
1983	15331	5028848	0,31
1984	10905	5107132	0,21
1985	7005	4884827	0,14
1986	16515	5203224	0,32
1987	16800	5227031	0,32
1988	8430	5085046	0,17
1989	9585	4820180	0,20
1990	10907	5039247	0,22
1991	7950	4825152	0,17
1992	9885	5056412	0,20
1993	12195	5131326	0,24
1994	15660	5137188	0,31
1995	16680	5066238	0,33
1996	11820	4888918	0,24
1997	11925	4949499	0,24
1998	14385	5143557	0,28
1999	4710	4900403	0,10
2000	11850	5074154	0,23
2001	11625	5097566	0,23
2002	16246	5138872	0,32
2003	11850	4886882	0,24
Mittel	12171	5033146	0,24

## 8 Zusammenfassung

Ziel der im Rahmen des Projektes SPREE2011 durchgeführten Arbeiten war die Analyse der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken, eine Abschätzung der Wirkung des Beckens und die Bewertung der Rückbelastung auf das Abwassersystem. Die Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB) hat im Rahmen ihres Projekts „ISM - Integrated Sewage Management“ (Schroeder and Pawlowsky-Reusing, 2006) in enger Kooperation mit den Berliner Wasserbetrieben ein numerisches Modell des Berliner Entwässerungssystems erstellt, welches von der KWB für die Bearbeitung der genannten Aufgaben verwendet werden konnte. Das Modell ist darauf ausgelegt, für verschiedene Entwicklungsszenarien Volumen- und Stoffströme in der Kanalisation bis hin zum Gewässer abzubilden. Die Bewertung der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken und seiner Wirkung erfolgte durch die statistische Auswertung von Schmutzfrachtsimulationen über einen repräsentativen Zeitraum von 30 Jahren (1974-2003).

In den Kapiteln 2 und 3 erfolgte zunächst eine Beschreibung des untersuchten Einzugsgebietes des Abwasserpumpwerks Friedrichshain, Rudolfstraße (Berlin XII) und der für die Arbeiten verwendeten Bestands- und Prozessdaten. Eine detaillierte Beschreibung des verwendeten hydrologisch-hydrodynamischen Schmutzfrachtmodells ist Kapitel 4 zu entnehmen.

Für die Kalibrierung des Modells wurden am Pumpwerk Berlin XII gemessene Wasserstände, Fördermengen und Niederschlagshöhen aus dem Prozessdaten-Archiv der Berliner Wasserbetriebe zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden eigene Durchflussmessungen im Mischwasserkanal der Danneckerstraße in der Nähe des für das geplante Regenbecken relevanten Regenüberlaufs 2 durchgeführt. Außerdem wurden Stoffkonzentrationen des Abwassers in der Danneckerstraße an drei Trockenwettertagen mittels automatischer Probenahme und Laboranalyse erhoben. Die Erläuterung der Modellkalibrierung und der Kalibrierungsergebnisse erfolgte in Kapitel 5.

Die Quantifizierung der Volumen- und Stoffströme in der Kanalisation des Einzugsgebietes Berlin XII erfolgte mittels Schmutzfrachtsimulation auf der Basis der 30-jährigen Niederschlagsreihe der Station Berlin-Neukölln (1974-2003). Die Bestimmung der Zulaufsituation zum geplanten Regenbecken, der Entlastungsvolumina und -frachten sowie weiterer wasserbehördlich relevanter Größen erfolgte durch die statistische Auswertung dieser Schmutzfrachtsimulationen.

Die Simulationen wurden zunächst für den aktuellen Zustand des Einzugsgebietes und des Kanalnetzes im Jahr 2007 durchgeführt (Ist-Zustand, Kapitel 6). Außerdem erfolgten Simulationen für den zukünftigen Zustand des Einzugsgebietes und des Kanalnetzes nach der bis 2020 geplanten Sanierung der Mischwasserkanalisation (Sanierungs-Zustand, Kapitel 7).

Beiden Simulationen lag die Annahme zugrunde, dass das geplante Regenbecken über ein Speichervolumen von 1000 m<sup>3</sup> verfügt.

Für den Ist-Zustand lag das mittlere jährliche Entlastungsvolumen des Regenbeckens bei 3126 m<sup>3</sup>, die mittlere jährliche Entlastungsdauer bei 23 Stunden und 16 Minuten. Die mittlere jährliche Entlastungsfracht für den Parameter AFS lag bei 834 kg, für den Parameter CSB bei 895 kg und für den Parameter NH<sub>4</sub>-N bei 22 kg. Im Mittel kam es zu 3,4 Entlastungen pro Jahr.

Für den Sanierungs-Zustand lag das mittlere jährliche Entlastungsvolumen bei 11688 m<sup>3</sup>, die mittlere jährliche Entlastungsdauer bei 52 Stunden und 16 Minuten. Die mittlere jährliche Entlastungsfracht für den Parameter AFS lag bei 1867 kg, für den Parameter CSB bei 1712 kg und für den Parameter NH<sub>4</sub>-N bei 64 kg. Im Mittel kam es zu 7,5 Entlastungen pro Jahr. Der Anstieg der Emissionen gegenüber dem Ist-Zustand ist auf die baulichen Maßnahmen in der Mischwasserkanalisation (Aufweitung der Schwelle des Regenüberlaufs 2) zurückzuführen.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse für den Ist-Zustand, dass das geplante Regenbecken bezogen auf die Einleitungsstelle am Regenüberlauf 2 eine große Wirkung erzielt. Das mittlere jährliche Entlastungsvolumen am Regenüberlauf 2 kann durch das Becken um 77 % reduziert werden. Aufgrund des geringen Anteils des Regenüberlaufs 2 am Gesamtentlastungsvolumen des Einzugsgebietes Berlin XII (Definition Gesamtentlastungsvolumen siehe Kapitel 6.4.8) bedeutet dies jedoch lediglich einen Rückgang des mittleren jährlichen Gesamtentlastungsvolumens um 2 %.

Im Sanierungs-Zustand kommt es durch die baulichen Maßnahmen in der Mischwasserkanalisation gegenüber dem Ist-Zustand zu einer deutlichen Reduktion des Gesamtentlastungsvolumens des Einzugsgebietes. Zugleich führt das Sanierungskonzept zu einer deutlichen Erhöhung des mittleren jährlichen Entlastungsvolumens des Regenüberlaufs 2. Der Anteil am Gesamtentlastungsvolumen des Einzugsgebietes Berlin XII beträgt nun 7,9 %.

Das mittlere jährliche Entlastungsvolumen des Regenüberlaufs 2 wird im Sanierungs-Zustand durch das Regenbecken um 51 % reduziert. Das führt zu einer Verminderung des Gesamtentlastungsvolumens des Einzugsgebietes Berlin XII um 4 %. Aufgrund der veränderten Abflusscharakteristik am Regenüberlauf 2, zurückzuführen auf die Sanierungsmaßnahmen in der Mischwasserkanalisation, hat das Becken also einen gegenüber dem Ist-Zustand größeren Einfluss auf das Gesamtentlastungsvolumen des Einzugsgebietes.

Die Wirkung des Beckens auf die Mischwasserentlastungen des Regenüberlaufs 2 ist im Sanierungs-Zustand jedoch geringer als im Ist-Zustand (51 % gegenüber 77 %

Entlastungsreduktion bezogen auf das Volumen). Sollte eine langfristige Nutzung des Regenbeckens an der geplanten Einleitungsstelle erfolgen, ist eine Abstimmung des Sanierungskonzeptes der Berliner Wasserbetriebe auf die veränderte Situation unter Berücksichtigung der Wirkung des Beckens zu empfehlen. Durch ein abgestimmtes Konzept könnte eine Verbesserung sowohl des Wirkungsgrades des Beckens als auch der übergeordneten Bewirtschaftungsstrategie der Berliner Wasserbetriebe erreicht werden. Gleiches gälte für weitere Becken, sollten solche in der Zukunft geplant werden.

Eine tabellarische Darstellung der (wasserbehördlich) relevanten Simulationsergebnisse findet sich für den Ist-Zustand der Kanalisation in Anhang 5 und für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation in Anhang 6.

## 9 Literaturverzeichnis

Ackers, P. (1991). Sediment aspects of drainage and outfall design. International Symposium on Environmental Hydraulics, Hong Kong, edited by A.A. Balkema.

Alley, W. M. (1981). Estimation of impervious area washoff parameters. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 121, NO. 2, pp 171-183

Alley, W. M. und Smith, P. E. (1981). Estimation of accumulation Parameters for urban runoff quality modelling. Water Resources Research, Vol. 17, NO. 6, pp 1657-1664, December 1981

Ashley, R., Hvitved-Jacobsen, T. and Bertrand-Krajewski, J.-L. (1999). Quo vadis sewer process modelling. Water Science & Technology 39(9): 9-22.

ATV (1986). Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6: "Hydrologie der Stadtentwässerung". Die Berechnung des Oberflächenabflusses in Kanalnetzen, Teil 1 - Abflussbildung. Korrespondenz Abwasser 33(2): 157-162.

ATV (1987). Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6: "Hydrologie der Stadtentwässerung". Die Berechnung des Oberflächenabflusses in Kanalnetzen, Teil 2 - Abflusskonzentration. Korrespondenz Abwasser 34(3): 263-269.

ATV (1992). Arbeitsblatt ATV-A 128 "Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen". Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (GFA). St. Augustin.

ATV-DVWK (2004). ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES 1.3. Arbeitsbericht. Auswirkung von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserverhältnisse. Korrespondenz Abwasser 51(6), 664-667.

Bertrand-Krajewski, J.-L., Bardin, J.-P. and Gibello, C. (2006). Long term monitoring of sewer sediment accumulation and flushing experiments in a man-entry sewer. Water Science & Technology 54(6-7): 109-117.

Bouteligier, R., Vaes, G. and Berlamont, J. (2002). Deposition-Erosion Criterion for Sediment Transport in Sewers based on Shear Stress Calculations. Katholieke Universiteit Leuven.

Bujon, G. (1988). Prévission des débits et des flux polluants transités par les réseaux d'égouts par temps de pluie. Le modèle FLUPOL. La Houille Blanche, N°1, pp 11-23

Bujon, G., Herremans, L. (1990). FLUPOL : Modèle de prévision des débits et des flux polluants en réseaux d'assainissement par temps de pluie : Calage et validation, La Houille Blanche, N°2, pp 124-137

Butler, D., Xiao, Y., Karunaratne, H.P.G, Thedchanamoorthy, S. (1995). The gully pot as a physical, chemical and biological reactor. Water Science and Technology, 31(7), pp 219-228

Cunge, J.A., Holly Jr, F.M. and Verwey, A. (1980). Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Pitman, London

Desbordes, M. (1984). Modélisation en hydrologie Urbaine. Recherches et applications. LHM: 183 p.

DWA (2006). Arbeitsblatt DWA-A 100 "Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)", DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.

Engel, N. (1994). Hydrologische Simulation der Abflusstransformation in Kanalisationsnetzen. Technische Berichte über Ingenieurhydrologie und Hydraulik, Institut für Wasserbau, TH Darmstadt. 52.

Euler, G. (1974). Die Simulation der Niederschlagsaufteilung für Hochwasserabfluß-Modelle. Fachbereich 13 - Wasser und Verkehr, TH Darmstadt.

Frehmann, T. and Geiger, W. F. (2000). Simulation von Schmutzstoffen in der Kanalisation. 3. Rostocker Abwassertage, 18.-19.09.2000.

Gruber, G., Winkler, S. and Pressl, A. (2004). Quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies by means of online techniques. Water Science & Technology 50(11): 73-80.

Hobrecht, J. (1884). Die Canalisation von Berlin. Berlin, Ernst & Korn.

House, M., Ellis, J. B., Herricks, E. E., Hvitved-Jacobsen, T. and Seager, J. (1993). "Urban drainage - impacts of receiving water quality." Water Science & Technology 27: 117-158.

Jewell, T. K. und Adrian, D. D. (1978). SWMM stormwater pollutant washoff functions. Journal of the Environment Engineering Division, 1978, vol 104, n°5, pp 489-499

Koussis, A. (1975). Ein verbessertes Näherungsverfahren zur Berechnung von Hochwasserabläufen. Technischer Bericht Nr. 15 aus dem Institut für Hydraulik und Hydrologie der TH Darmstadt.

Langeveld, J. G., Clemens, F., van der Graaf, J. H. J. M., Flamink, C. and Guymer, I. (2004). Transport of dissolved compounds in sewer systems: verification of models by tracer experiments. Novatech - 5ème conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie, Lyon, France.

Morrison, G. M., Revitt, D. M. and Ellis, J. B. (1995). The gully pot as a biochemical reactor. *Water Science & Technology* 31(7): 229-236.

Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models - Part 1 - A discussion of principals." *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.

Preissmann, A. (1961). Propagation des intumescences dans les canaux et rivières. Presented at the 1st Congress of the French Association for Computation, Grenoble, France, 1961.

Sartor, J. D. und Boyd, G. B. (1972). Water pollution aspects of street surfaces contaminants. In EPA-R2-72-081.

Schroeder, K. and Pawlowsky-Reusing, E. (2006). Adapted integrated modelling of drainage systems dominated by wastewater pump stations. 7th International Conference on Urban Drainage Modelling and 4th International Conference on Water Sensitive Urban Design, Melbourne, Australia.

Schröder, R.C.M. (1972). Grundgleichungen für die Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen. Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen. Lehrgangssymposium des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München.

Schultz, G. A. (1968). Bestimmung theoretischer Abflussganglinien durch elektronische Berechnung von Niederschlagskonzentration und Retention (HYREUN-Verfahren). Versuchsanstalt für Wasserbau, TH München. Bericht Nr. 11.

Schumacher, F., Pawlowsky-Reusing, E., Schroeder, K., Gebauer, U., Leszinski, M. und Heinzmann, B. (2007). Gewässergütesimulation der Stauhaltung Charlottenburg (Spree und Kanäle) unter Berücksichtigung der Mischwasserentlastungen am Beispiel eines Starkregenereignisses im September 2005. Bericht zum Projekt ISM. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.

Uhl, M. (1993). Genauigkeit von Messungen - Grundlagen und Beispiele aus der Stadtentwässerung. Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz. Heft 7. Hannover.

UNESCO (2006). Urban water management, UNESCO International hydrological programme. Paris.

Velikanov, M. A. (1954). Principle of the gravitational theory of the movement of sediments. USSR Academy of Sciences Bulletin, Geophysical Series 4: 349-359.

Wallingford Software Ltd. (2004). InfoWorks CS User Manual. Wallingford Software Ltd. Copyright 1997 – 2004.

Zug, M., Bellefleur, D., Phan, L. and Scrivener, O. (1998). Sediment transport model in sewer networks - a new utilisation of the Velikanov model. Water Science and Technology 37(1): 187-196.



## Anhang

Anhang 1: Übersichtsplan des Einzugsgebietes Berlin XII

Anhang 2: Messschacht 15151.312, Danneckerstraße, Berlin

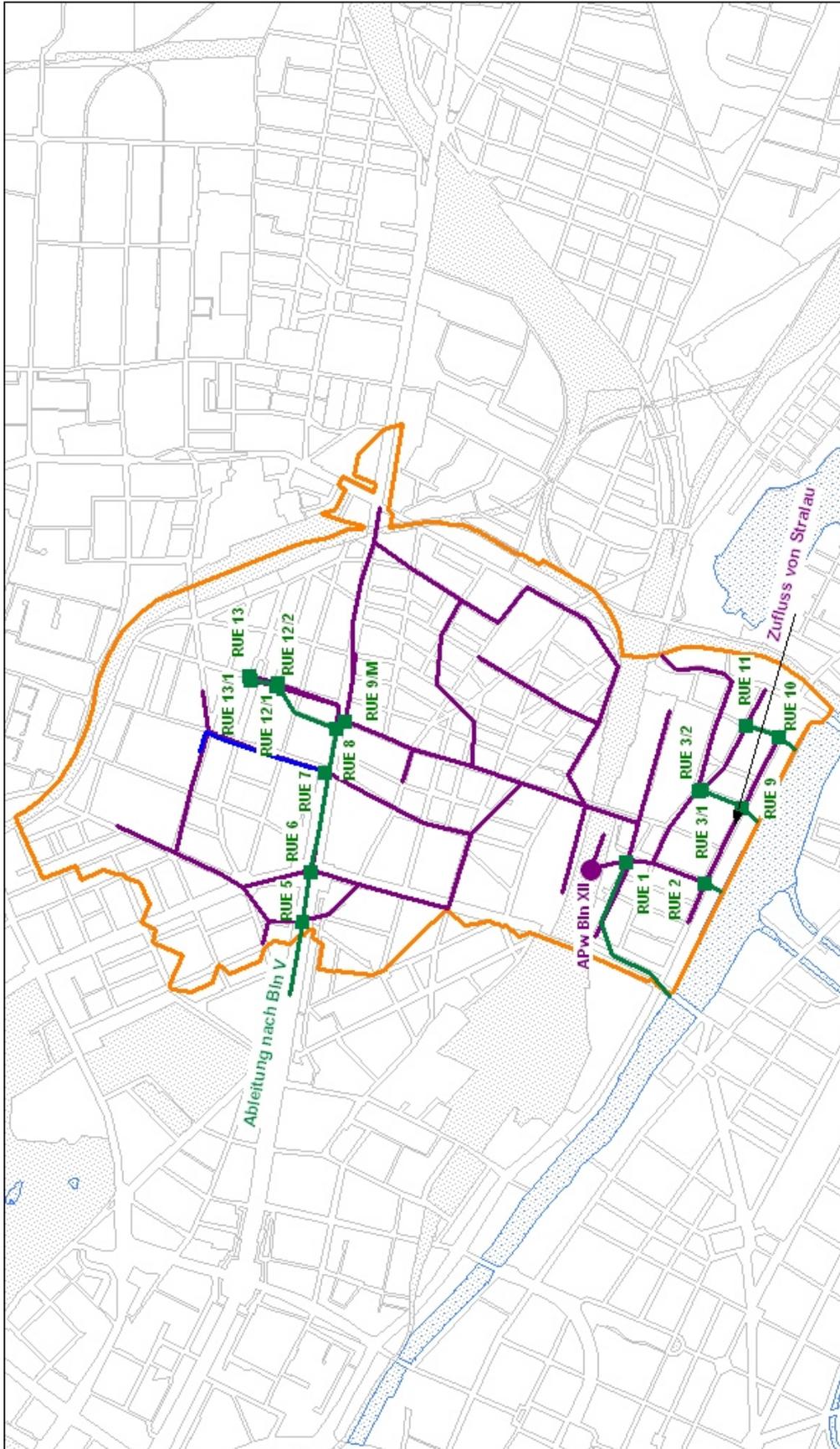
Anhang 3: Auswahl der Regenereignisse für die Regenwetterkalibrierung

Anhang 4: Darstellung der gemessenen und simulierten Ganglinien nach Regenwetterkalibrierung

Anhang 5: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Ist-Zustand der Kanalisation

Anhang 6: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation

## Anhang 1: Übersichtsplan des Einzugsgebietes Berlin XII



## Anhang 2: Messschacht 15151.312, Danneckerstraße, Berlin



Schacht 15151.312 vor Einbau der Messgeräte



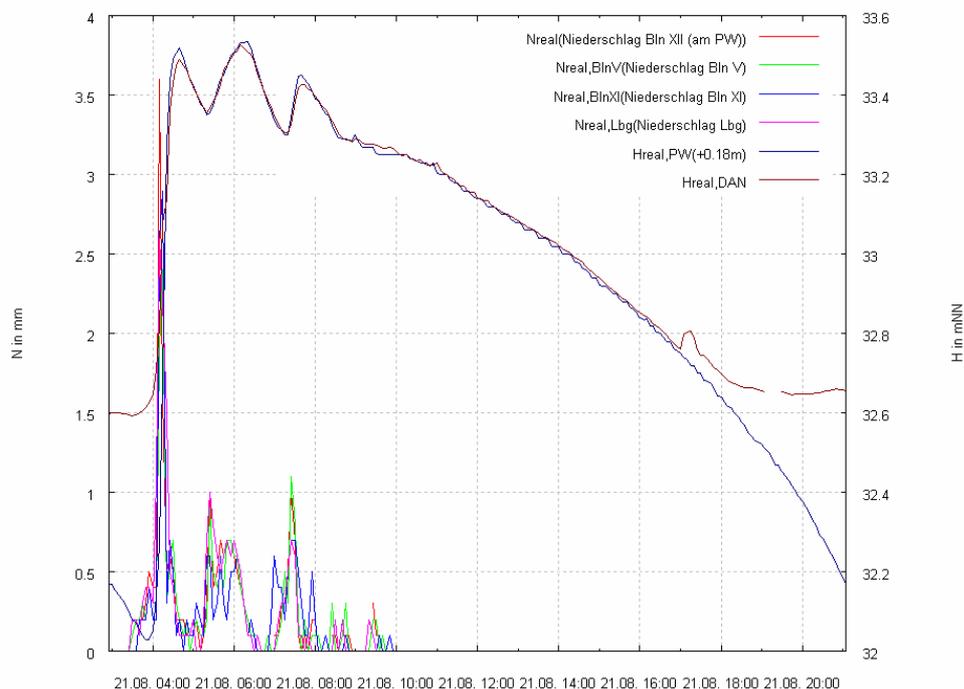
Schacht 15151.312 nach Einbau des Durchfluss-Messgerätes

## Anhang 3: Auswahl der Regenereignisse für die Regenwetterkalibrierung

Der Simulationszeitraum zwischen Simulationsbeginn und Simulationsende wurde ermittelt, indem abgeprüft wurde, ab wann vor bzw. nach dem Regenereignis der Pegel im Saugraum die Marke von 32,10 mNN zum letzten Mal noch bzw. zum ersten Mal wieder unterschritten hat. Dabei wurde der Originalmesswert als Vergleichsgröße herangezogen.

### 1. Ereignis

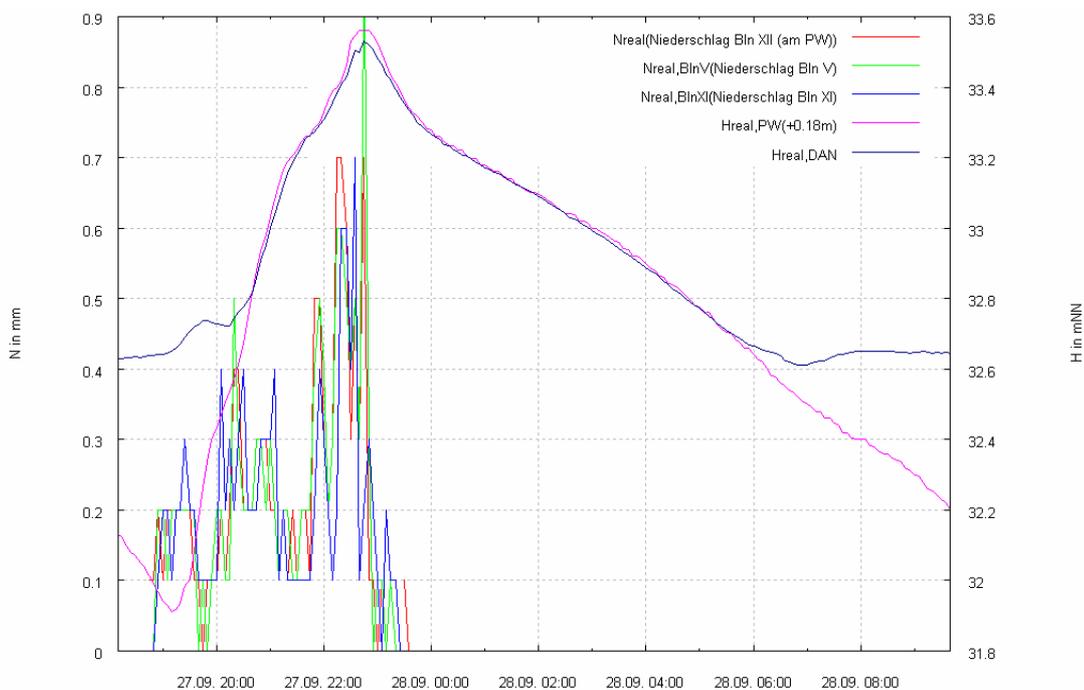
Station	Regenanfang	Regenende	Dauer	N_ges	DEVS	DEVM
Bln XII (PW)	21.08.2007 03:30	21.08.2007 09:35	370	22,1		
Bln V	21.08.2007 03:30	21.08.2007 09:40	375	20,9	~ 2: sehr gut	~ 22: gut
Bln XI	21.08.2007 03:40	21.08.2007 09:50	375	21,1	~ 2: sehr gut	~ 21: gut
Lbg	21.08.2007 03:30	21.08.2007 09:25	360	22,7	~ 2: sehr gut	~ 18: gut
Simulations- zeitraum	21.08.2007 03:30	21.08.2007 20:35				



## 2. Ereignis

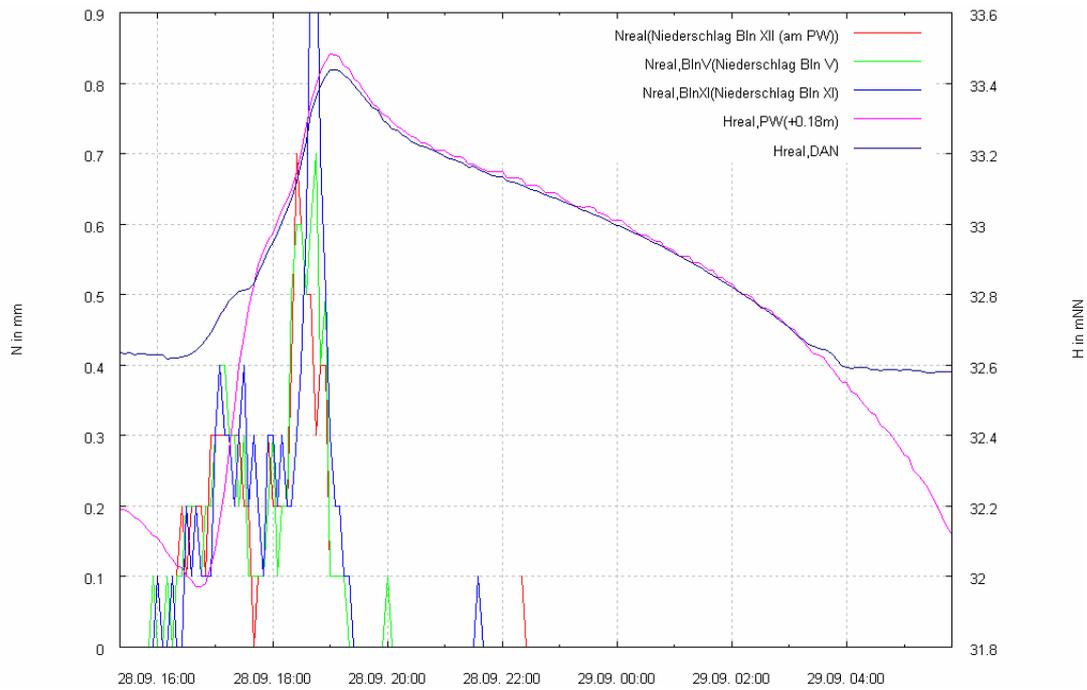
Bewertung ohne Lichtenberg, da dort Fehlsignal vorlag.

Station	Regenanfang	Regenende	Dauer	N_ges	DEVS	DEVM
Bln XII (PW)	27.09.2007 18:45	27.09.2007 23:30	290	12,6		
Bln V	27.09.2007 18:55	27.09.2007 23:15	265	12,8	~ 6: gut	~ 19: gut
Bln XI	27.09.2007 18:55	27.09.2007 23:20	270	11,8	~ 13: brauchbar	~ 40: brauchbar
Lbg	-	-	-	-		
Simulations- zeitraum	27.09.2007 18:45	28.09.2007 09:10				



### 3. Ereignis

Station	Regenanfang	Regenende	Dauer	N_ges	DEVS	DEVM
Bln XII (PW)	28.09.2007 16:00	28.09.2007 22:20	385	9,4		
Bln V	28.09.2007 15:55	28.09.2007 20:00	250	10	~ 5: gut	~ 19: gut
Bln XI	28.09.2007 16:00	28.09.2007 21:35	340	11,2	~ 13: brauchbar	~ 48: brauchbar
Lbg	-	-	-	-		
Simulations- zeitraum	28.09.2007 16:00	29.09.2007 05:20				

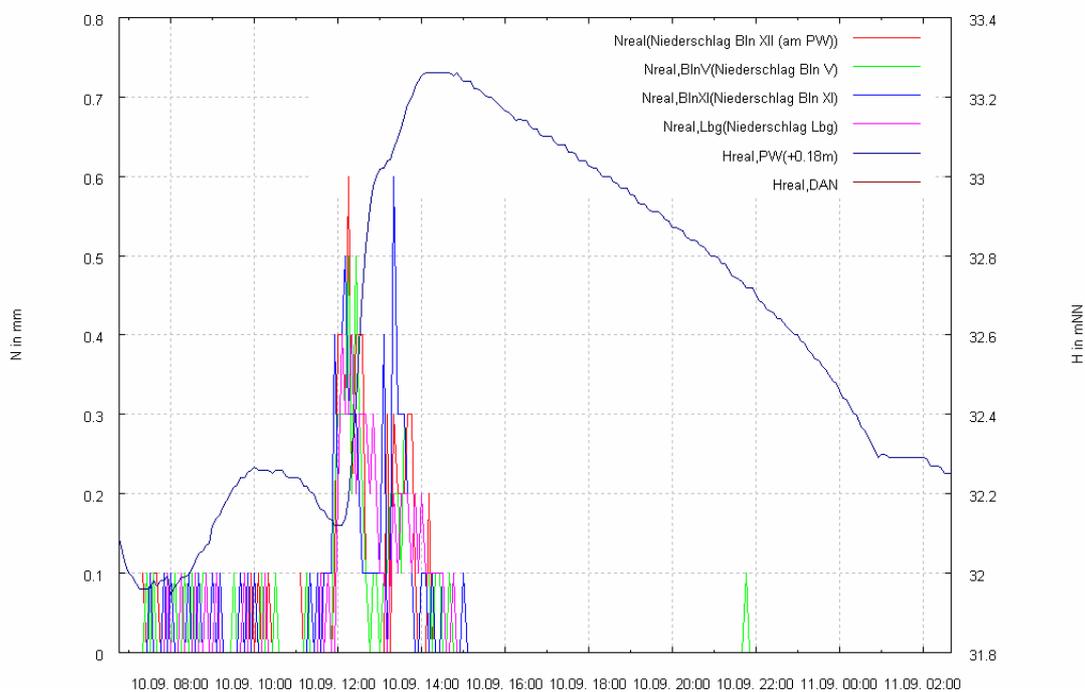


#### 4. Ereignis

Der Nieselregen bis 11 Uhr wird ignoriert, es sollten dann keine Anfangsverluste mehr auftreten.

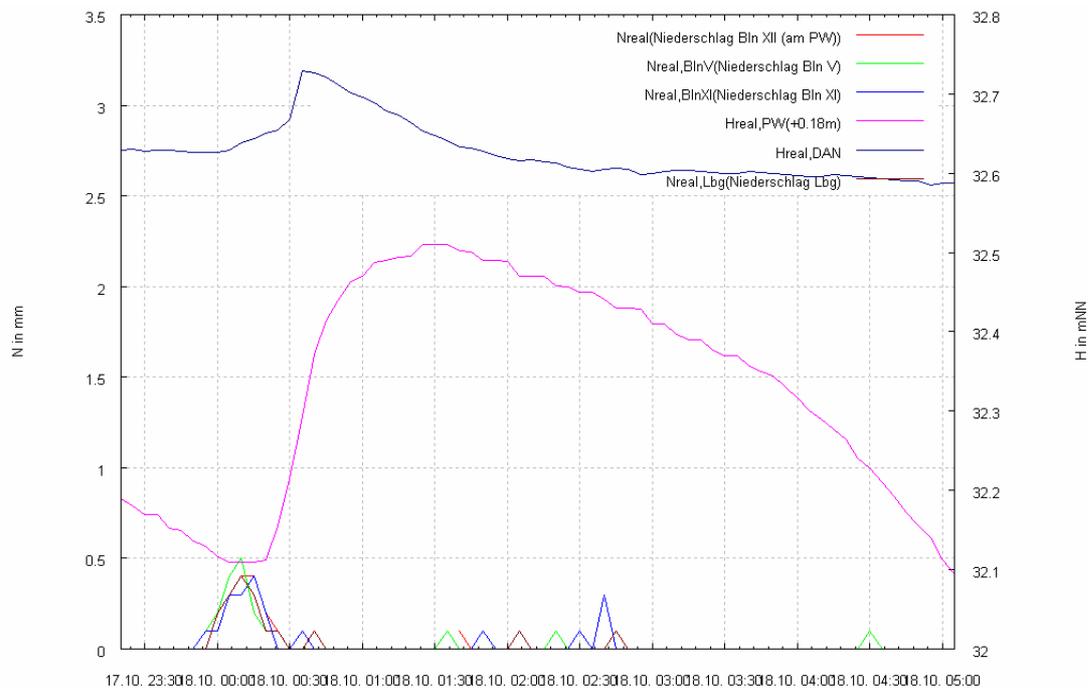
Keine verfügbaren Daten von der Danneckerstraße.

Station	Regenanfang	Regenende	Dauer	N_ges	DEVS	DEVM
Bln XII (PW)	10.09.2007 11:05	10.09.2007 14:45	225	6,6		
Bln V	10.09.2007 11:15	10.09.2007 14:40	210	5,5	~ 8: gut	~ 31: brauchbar
Bln XI	10.09.2007 11:20	10.09.2007 15:00	225	6,5	~ 13: brauchbar	~ 53: schlecht
Lbg	10.09.2007 11:35	10.09.2007 14:45	195	6,1	~ 11: brauchbar	~ 41: brauchbar
Simulations- zeitraum	10.09.2007 11:05	11.09.2007 02:10	240			



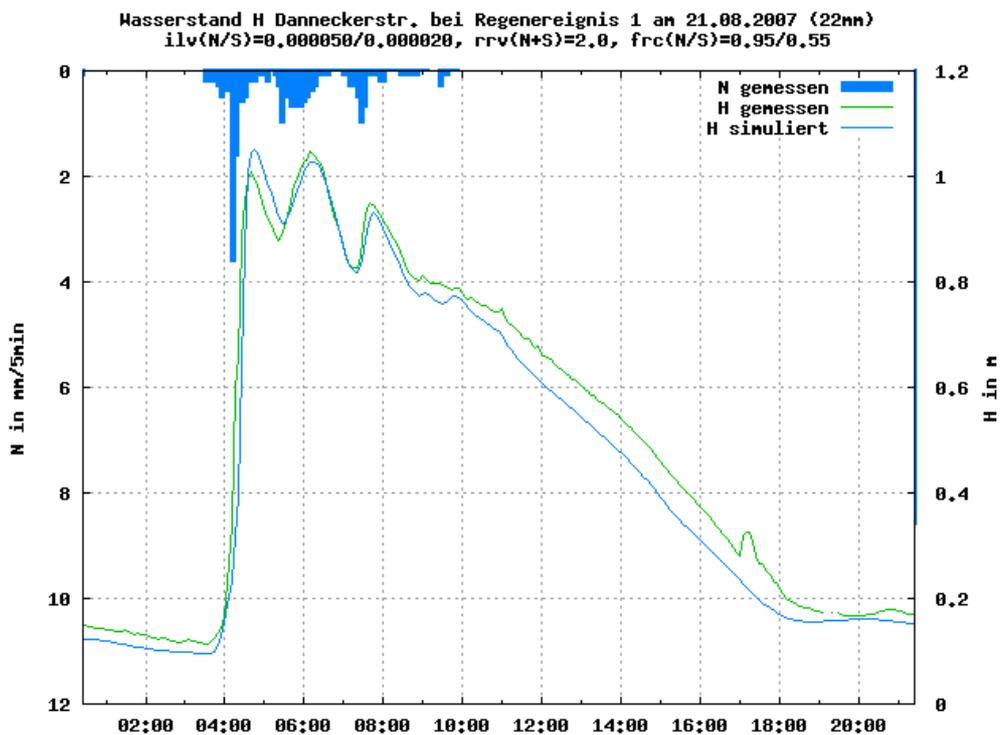
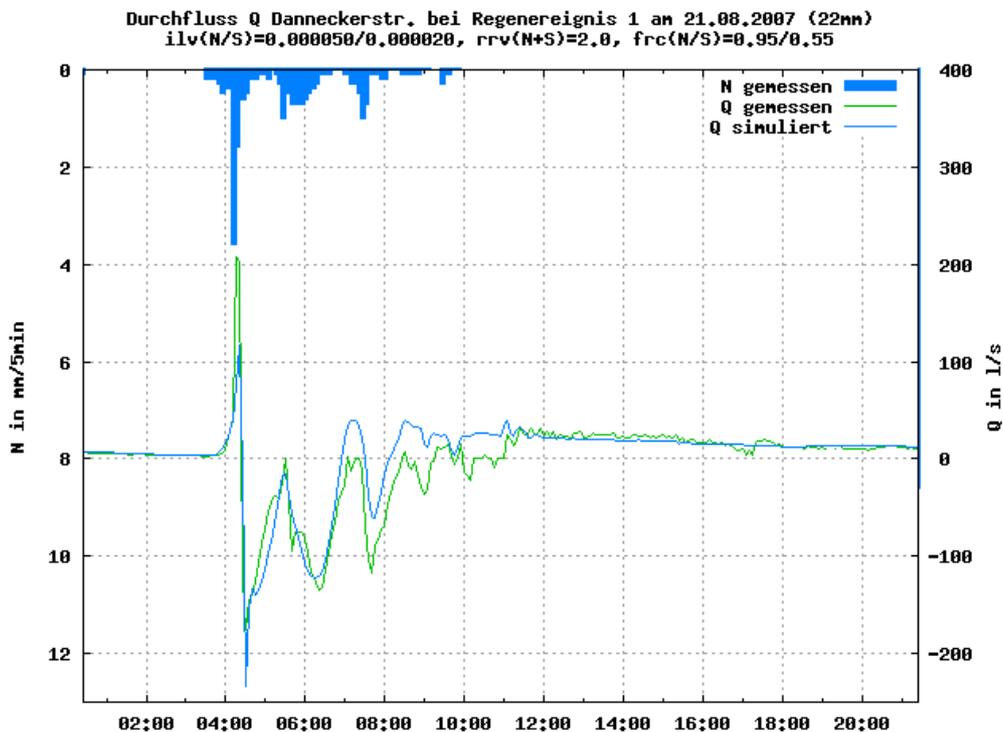
### 5. Ereignis

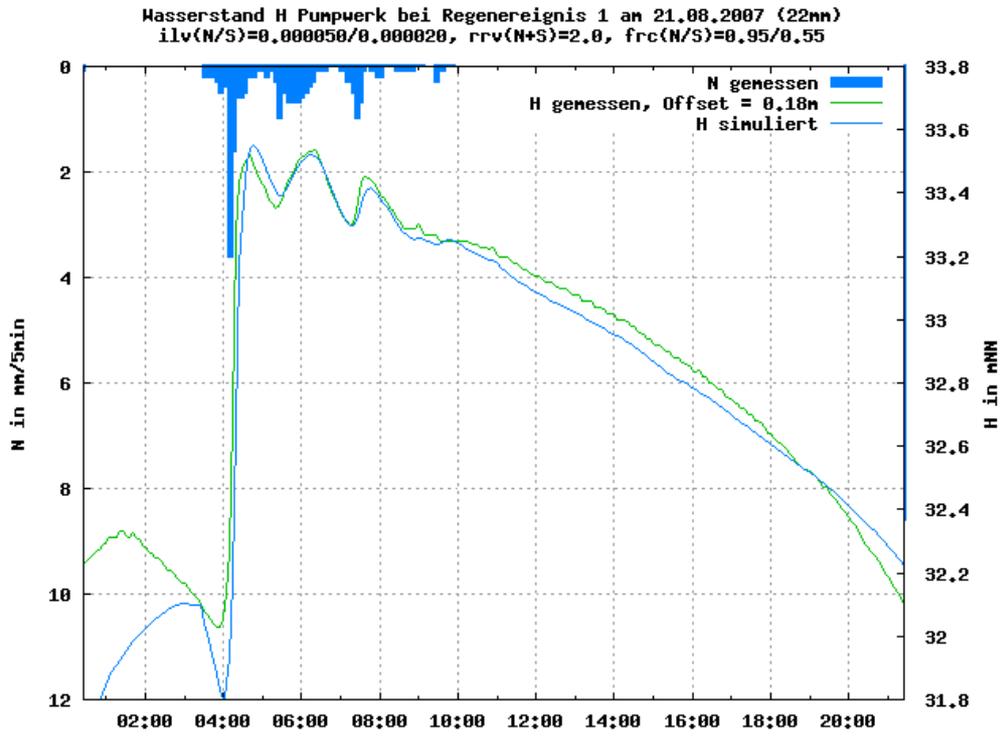
Station	Regenanfang	Regenende	Dauer	N_ges	DEVS	DEVM
Bln XII (PW)	18.10.2007 00:00	18.10.2007 02:45	170	1,8		
Bln V	17.10.2007 23:55	18.10.2007 04:30	280	2,1	~ 13: brauchbar	~ 53: schlecht
Bln XI	17.10.2007 23:55	18.10.2007 02:40	170	2,0	~ 5: gut	~ 21: gut
Lbg	18.10.2007 00:00	18.10.2007 02:45	170	1,7	~ 6: gut	~ 24: gut
Simulations- zeitraum	18.10.2007 00:00	18.10.2007 04:30				



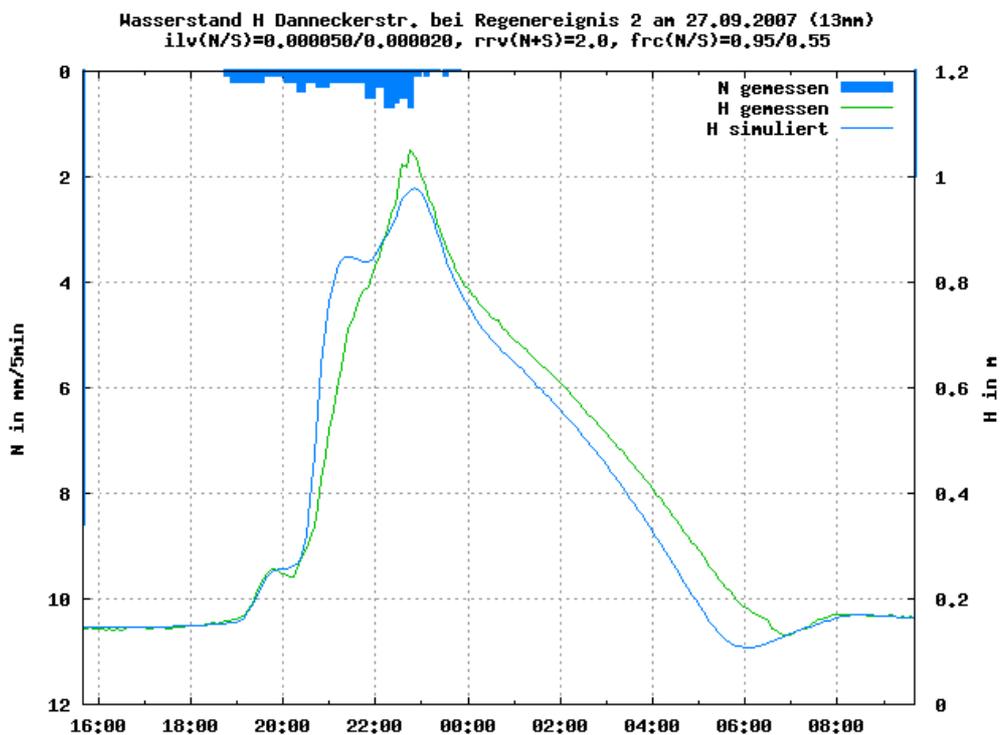
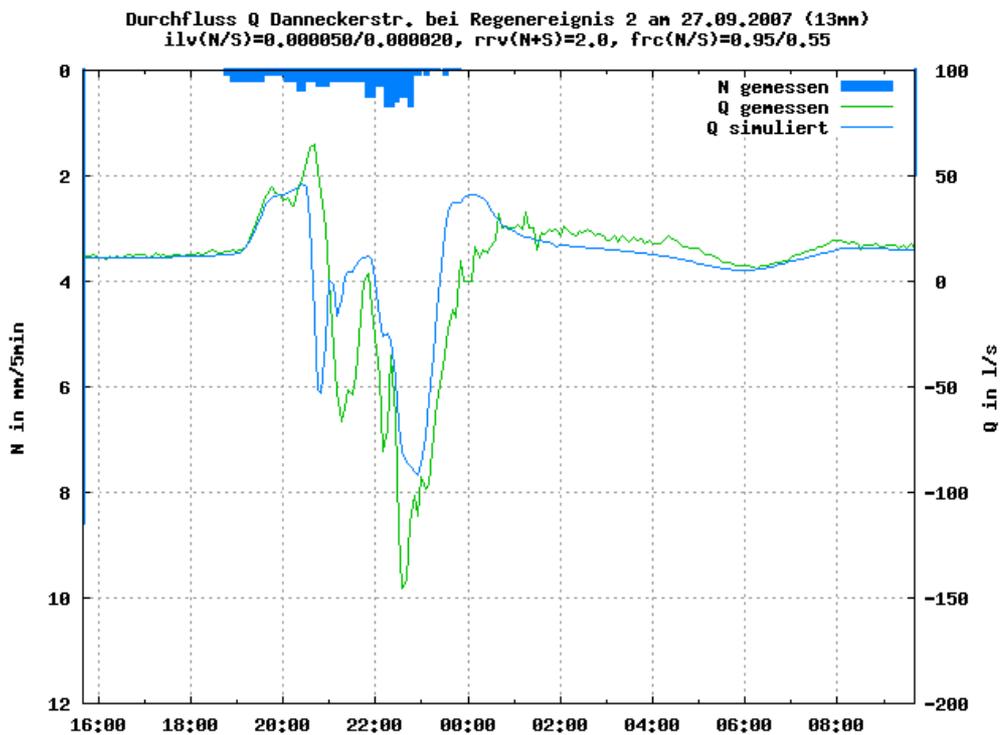
## Anhang 4: Darstellung der gemessenen und simulierten Ganglinien nach Regenwetterkalibrierung

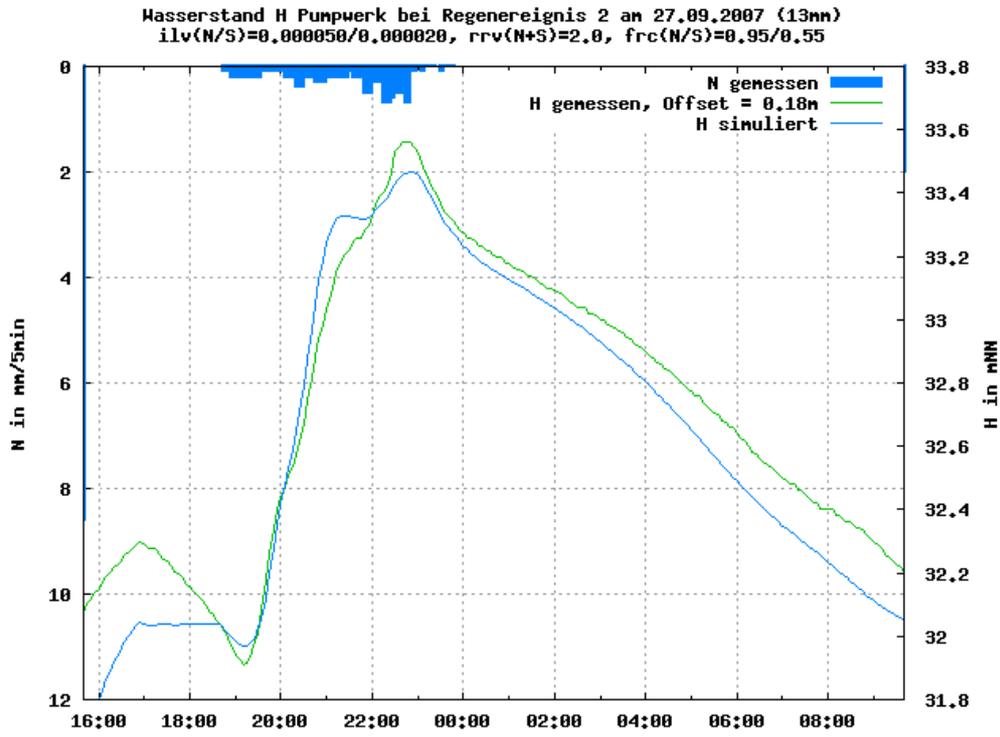
### 1. Ereignis



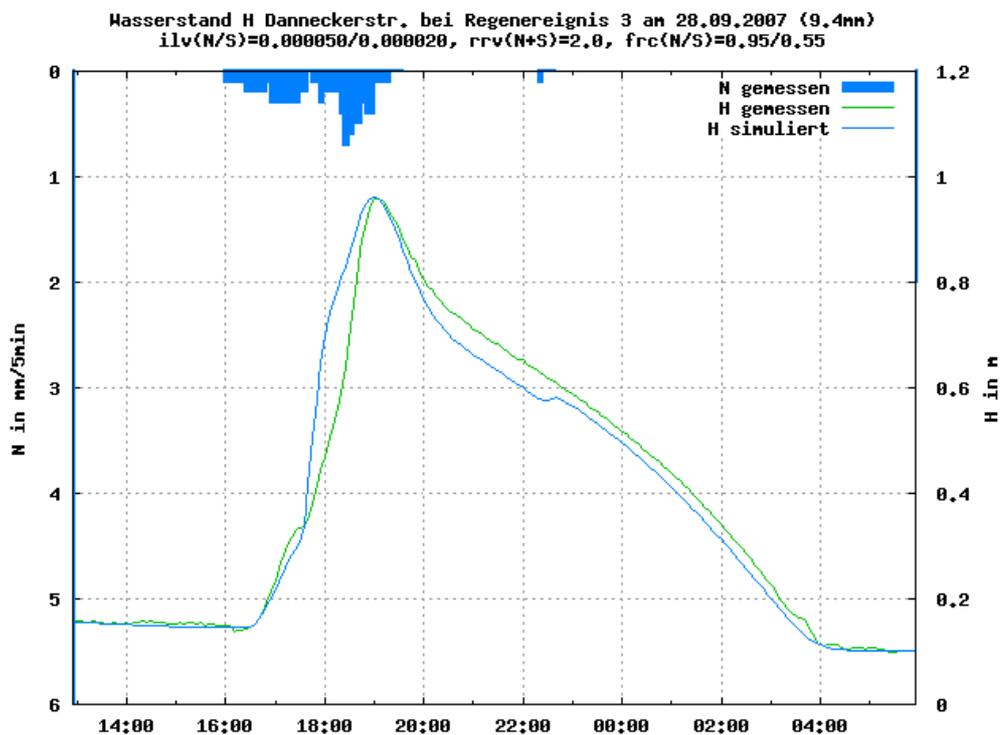
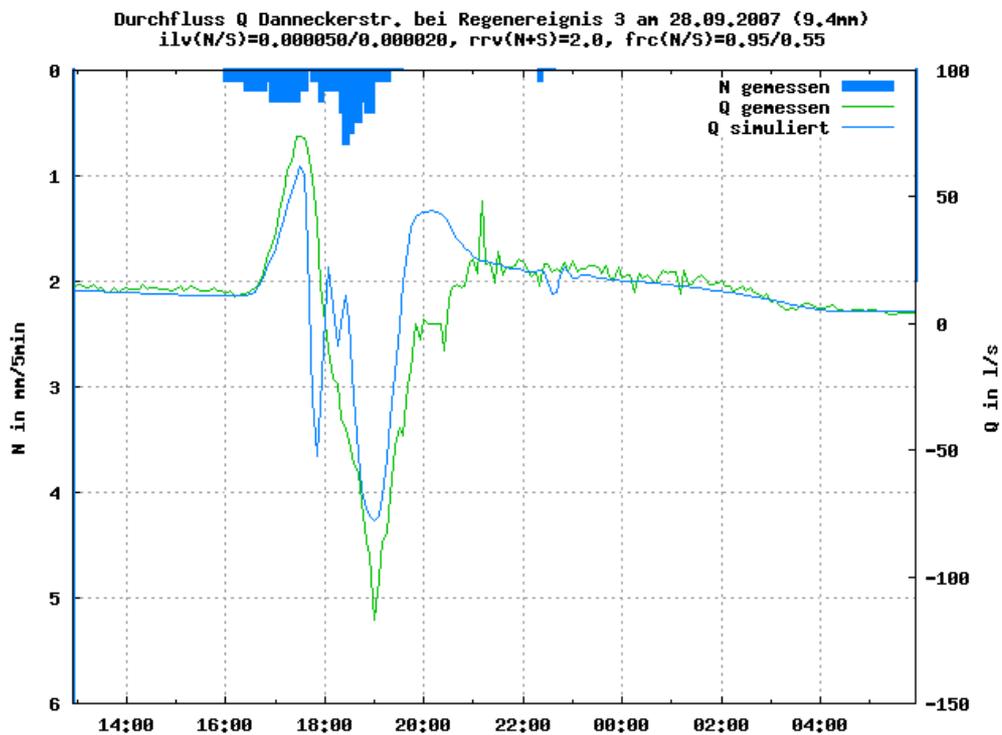


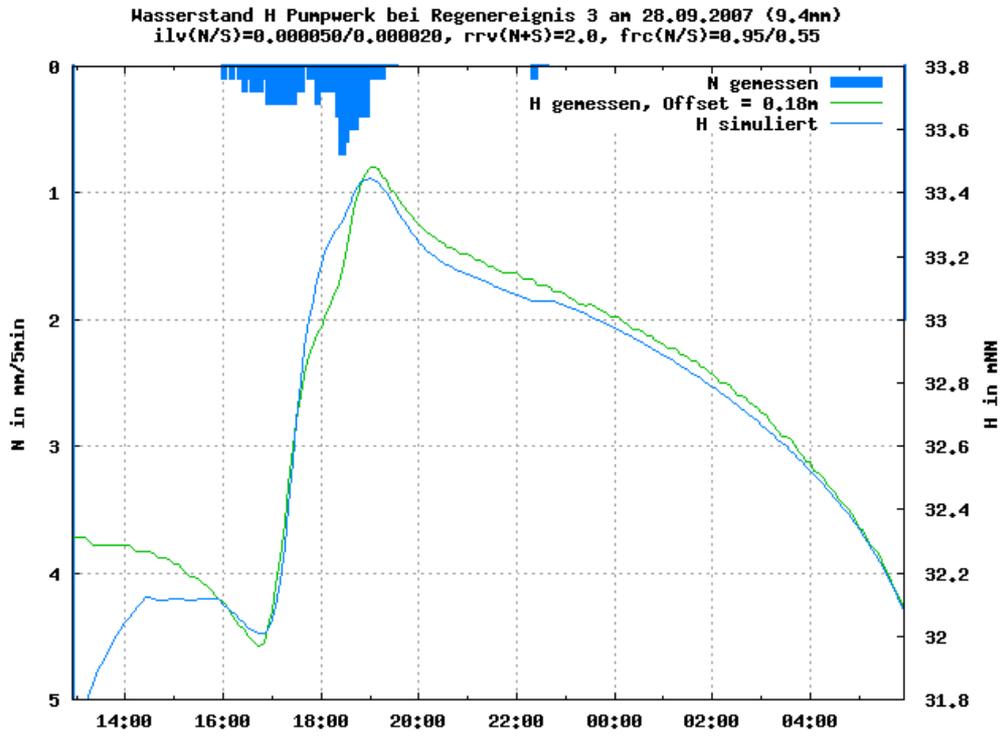
2. Ereignis



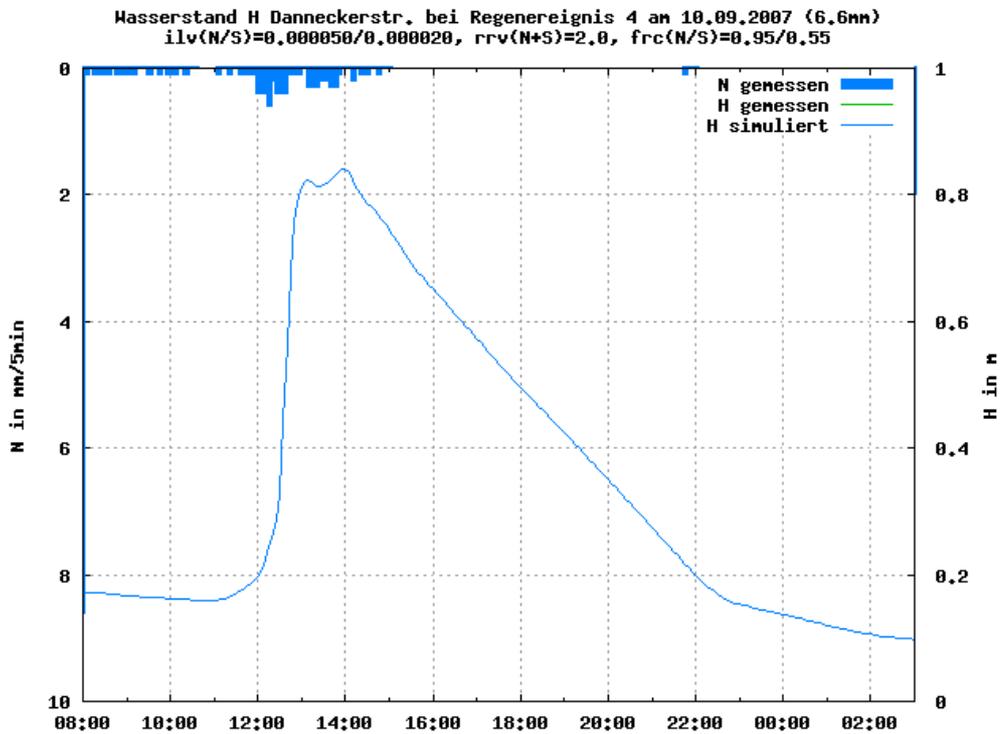
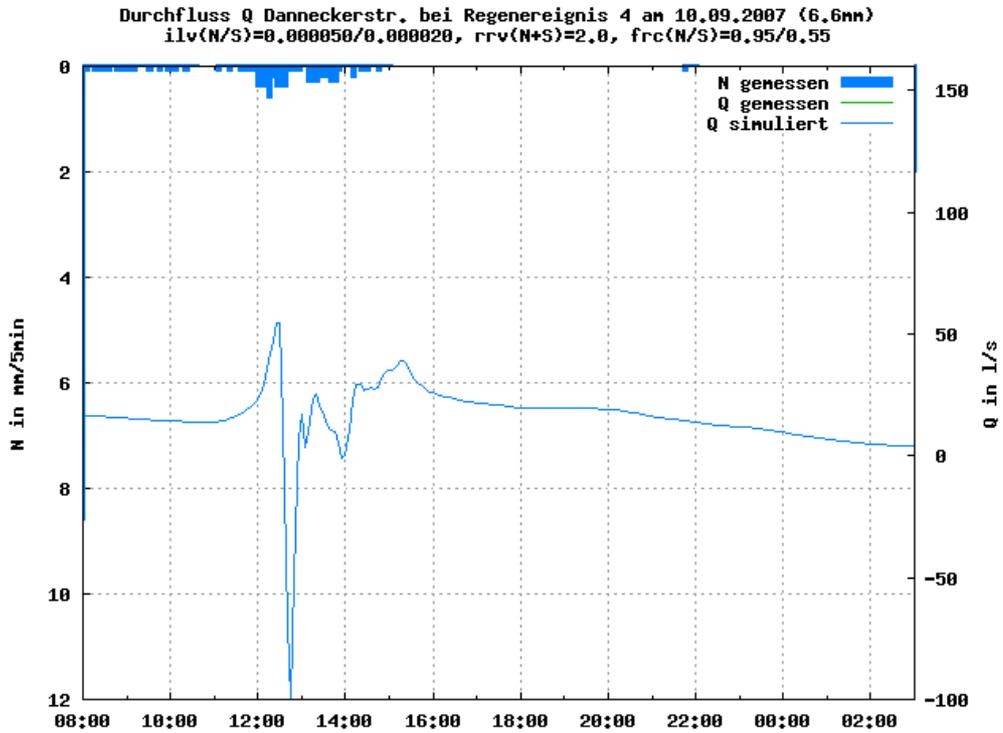


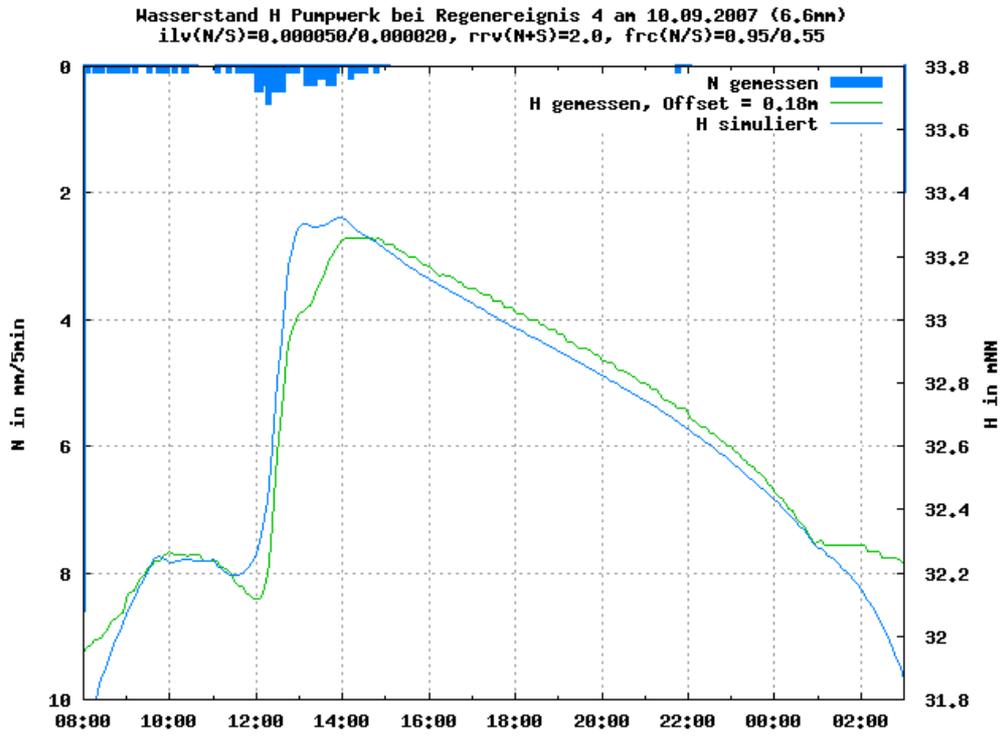
### 3. Ereignis



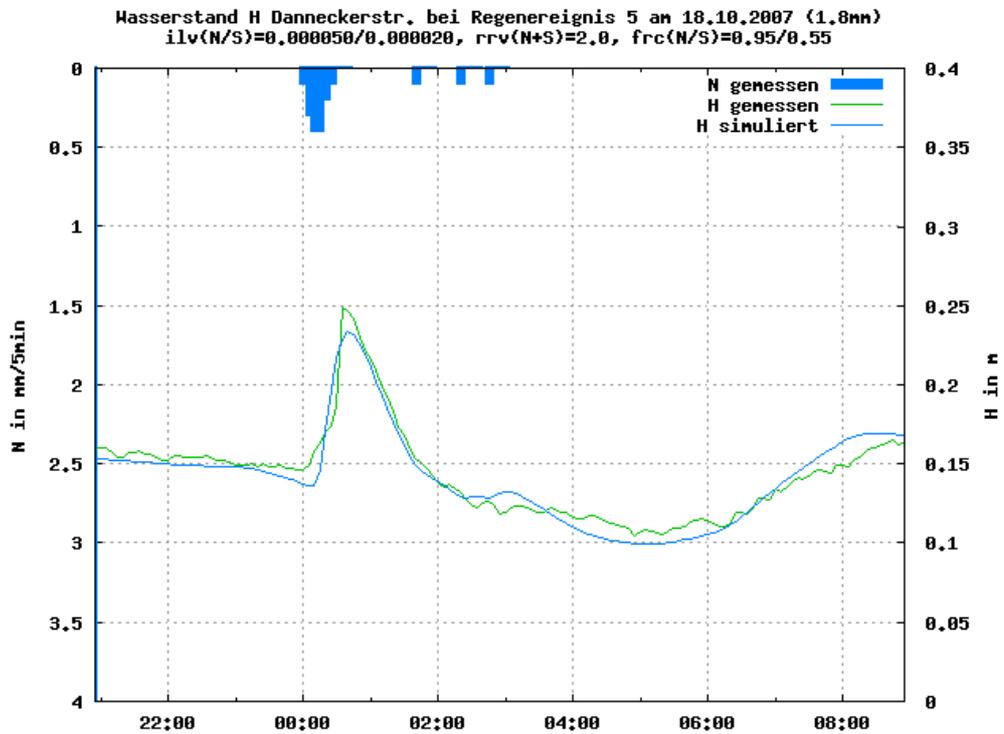
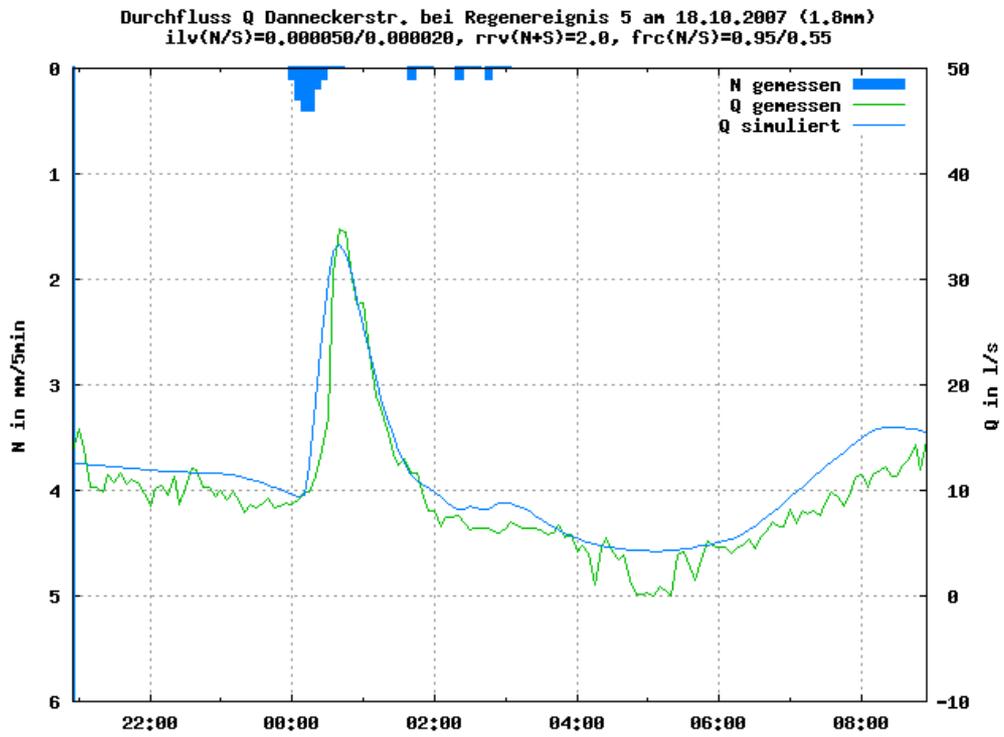


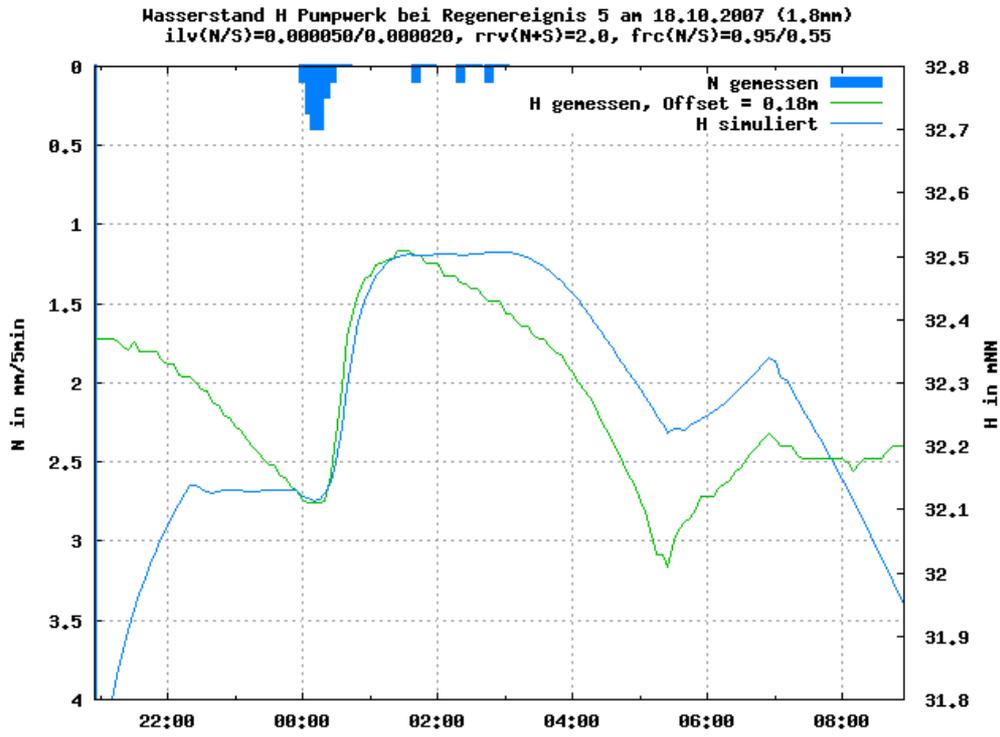
4. Ereignis (keine Messdaten an der Danneckerstraße)





5. Ereignis





## Anhang 5: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Ist-Zustand der Kanalisation

Kriterium	max	min	mittel
Zufluss zum Becken	456 l/s	0,01 l/s	37 l/s
Jährliche Füll- und Entleerungszyklen			
Gesamtzahl	37 (1986, 1998)	18 (1991)	27,9
Vollfüllungen	7 (1994, 1995)	0 (2003)	3,1
Teilfüllungen	33 (1998)	16 (1989)	24,8
Dauer Beckenfüllvorgang	18:45 h	0:45 h	4:39 h
Leerstandszeiten des Beckens	86 d 22:00 h	0:45 h	11 d 3:22 h
Aufenthaltszeiten MW im Becken	15:50 h	0:05 h	4:34 h
Jährliche Entlastungskennwerte			
Entlastungsvolumen	10405 m <sup>3</sup> (1978)	0 m <sup>3</sup> (2003)	3126 m <sup>3</sup>
Entlastungsfracht AFS	2298 kg (2002)	0 kg (2003)	834 kg
Entlastungsfracht CSB	2758 kg (2002)	0 kg (2003)	895 kg
Entlastungsfracht NH <sub>4</sub> -N	65 kg (2002)	0 kg (2003)	22 kg
Entlastungshäufigkeit	8 (1994, 1995)	0 (2003)	3,4
Entlastungsdauer	3885 min (1990)	0 min (2003)	1396 min
Entleerungsdauer bei Vollfüllung	-	5:30 h	-
Jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII			
Volumen	14971 m <sup>3</sup> (1974)	4845 m <sup>3</sup> (1999)	10169 m <sup>3</sup>
Erhöhung der Förderung	0,32 %	0,11 %	0,22 %

Die (wasserbehördlich) relevanten Kennwerte sind grün hinterlegt.

## Anhang 6: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für den Sanierungs-Zustand der Kanalisation

Kriterium	max	min	mittel
Zufluss zum Becken	1508 l/s	0,01 l/s	68 l/s
Jährliche Füll- und Entleerungszyklen			
Gesamtzahl	27 (1987)	10 (1978, 1991)	19,2
Vollfüllungen	13 (1986, 1995)	2 (1976, 1982, 1988, 1999)	6,9
Teilfüllungen	19 (1997)	5 (1978, 1991)	12,3
Dauer Beckenfüllvorgang	17:15 h	0:15 h	2:29 h
Leerstandszeiten des Beckens	152 d 4:35 h	1:05 h	17 d 22:53 h
Aufenthaltszeiten MW im Becken	15:15 h	0:05 h	4:26 h
Jährliche Entlastungskennwerte			
Entlastungsvolumen	27690 m <sup>3</sup> (2002)	1465 m <sup>3</sup> (1982)	11688 m <sup>3</sup>
Entlastungsfracht AFS	4373 kg (1995)	223 kg (2003)	1867 kg
Entlastungsfracht CSB	4022 kg (1995)	309 kg (2003)	1712 kg
Entlastungsfracht NH <sub>4</sub> -N	171 kg (2002)	4 kg (1999)	64 kg
Entlastungshäufigkeit	15 (1986)	2 (1976, 1988, 1999)	7,5
Entlastungsdauer	7035 min (1974)	550 min (1976)	3139 min
Entleerungsdauer bei Vollfüllung	-	5:30 h	-
Jährliche Mehrbelastung des Abwasserpumpwerks Berlin XII			
Volumen	18750 m <sup>3</sup> (1977)	4710 m <sup>3</sup> (1999)	12171 m <sup>3</sup>
Erhöhung der Förderung	0,37 %	0,10 %	0,24 %

Die (wasserbehördlich) relevanten Kennwerte sind grün hinterlegt.