

# 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

Bewertung des Potenzials von Online-  
Niederschlagsmessung und  
Niederschlagsvorhersage aus Radardaten bezüglich  
der Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken  
Project acronym: EVA

by

Pascale Rouault, Kompetenzzentrum Wasser Berlin  
Erika Pawlowsky-Reusing, Berliner Wasserbetriebe

for

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Preparation of this report was financed in part through funds provided by



Berlin, Germany

2008

**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 It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications.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.

## **Abstract (English)**

### **EVA - Implementation of a decision support system for global control of sewage pump stations and analysis of advanced control concepts**

Contact at KWB: Kai Schroeder

### **Work Package 2 – Evaluation of the potential of online rainfall measurement and rainfall nowcasting based on radar information regarding global control of sewage pump stations**

In the frame of the ISM project (KWB, 2003-2007) a concept for global control of wastewater pump stations has been developed. The objective of the control was to reduce combined sewer overflows (CSO) from the sewer system into the receiving water of Berlin. By numerical simulation it could be demonstrated that at some pump stations a reduction of CSO was possible by a dynamic management of the storage capacities. The control potential originates from the non-uniform distribution of rainfall and storage capacities within the system. The control concept was based on simple water level measurements in the sewer system.

The objective of the study on hand was to develop and integrate additional functions into the available global control concept in order to further reduce CSO volumes. The additional functions/control modules covered:

- Runoff prognosis based on online rainfall measurements
- Rainfall prognosis (nowcasting) based on radar images

In praxis online rainfall data can be gained from existent rainfall gauges. If sufficient information on surface properties is available, rainfall runoff can be calculated at each time step and considered as additional load on the sewer system within the control algorithm (module Qprog).

Rainfall prognoses can be based on radar data and images available from meteorological associations (like DWD). Today reliable prognoses are available for up to one hour (nowcasting). At each time step the resulting rainfall volume can be calculated and considered as additional load within the control algorithm (module Rprog).

The study on hand concentrated on three catchments within the Berlin combined sewer system (Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX). Temporally and spatially highly distributed rainfall data from the year 2002 were preprocessed and provided by the Institute of Meteorology of Freie Universität Berlin (see project EVA, report „Analyse der zeitlich hochaufgelösten Niederschlagsdaten 2002 in Berlin“).

The potential of the modules Qprog and Rprog to further reduce CSO was evaluated by means of long term calculations with the dynamic runoff routing model InfoWorks CS. The provided rainfall data were used as input to the numerical simulations and also for the calculation of Qprog and Rprog. For the evaluation of the rainfall prognosis module Rprog a perfect prognosis (perfect prog) was assumed.

The consideration of Qprog (runoff prognosis) in the control of the wastewater pump stations led to a reduction of only 0.8 % in CSO volumes in the year 2002 compared to the original global control concept.

The consideration of Rprog (rainfall prognosis) too, does not lead to a big benefit. The CSO volumes could be reduced by 0.7 % compared to the original global control concept.

The biggest benefit could be gained from an early switch-over into the global control mode, as soon as rainfall was forecasted for the next hour. CSO volumes could be reduced by 2.8 %. Still, this is only a slight improvement. The result can be explained as follows: The sewer networks are emptied before a rainfall event starts. Hence, the storage capacities are fully available. The original control concept envisaged that the pump stations were controlled locally during dry weather. The switch-over into global control was done only, if the water level at a pump station exceeded a given rainwater level.

Actually, it was found that the reduction of CSO could mainly be ascribed to the early switch-over into global control before a rainfall event. The use of Qprog (runoff prognosis) and Rprog (rainfall prognosis) within the pump station control during rain events has only minor effects. The effort to implement such an “early warning system” seems to be relatively small, since only the quantitative signal “rainfall expected within the next hour” is needed.

In general, these results show that the levels in the pump wells and sewers should be kept low before rainfall events to make the storage capacities fully available.

The results of this study show that the potential of online rainfall measurement and rainfall forecast for the support of pump station operation in Berlin is very small. A reduction of CSO by consideration of rainfall information within pump station control cannot be expected. Following reasons can be given:

- The original global control concept without forecast-modules already leads to a very good utilisation of the storage capacities within the sewer system.
- Both, the maximum delivery of each individual pump station and the total delivery to the treatment plant are limited due to technical and process based boundary conditions. This reduces the flexibility of the control.
- Once the storage reservoirs are filled, the reaction time within the Berlin system is too short to improve the control of the pump stations by means of rainfall information. If there is a warning time of only one hour the pumpage of the pump stations is too low to significantly act on the wastewater volumes.

## Zusammenfassung

### **EVA - Umsetzung eines Entscheidungshilfesystems zur Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken und Analyse weitergehender Steuerungsvarianten**

Kontakt im KWB: Kai Schroeder

### **Arbeitspaket 2 – Bewertung des Potenzials von Online-Niederschlagsmessung und Niederschlagsvorhersage aus Radardaten bezüglich der Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken**

Im Rahmen des ISM-Projektes (KWB, 2003-2007) wurde ein Konzept zur globalen Steuerung der Abwasserpumpwerke in Berlin erarbeitet, mit dem Ziel, die Mischwasserüberlaufmengen in die Gewässer zu reduzieren. Es erfolgte der modelltechnische Nachweis, dass dies über die dynamische Bewirtschaftung des vorhandenen Kanalspeicherraumes gelingt. Das Steuerungspotenzial ist begründet in der ungleichmäßigen Verteilung des Niederschlages und der ungleichmäßigen Anordnung des verfügbaren Speichervolumens im System. Das Verbundsteuerungssystem basiert auf einfachen Wasserstandsmessungen in den Hauptsammlern der Kanalnetze.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, zusätzliche Funktionen in die globale Steuerung zu integrieren, um eine weitere Verbesserung der Entlastungssituation zu erzielen und das Potenzial dieser Funktionen auszuwerten. Bei den zusätzlichen Funktionen bzw. Steuerungsbausteinen handelt sich um:

- Abflussvorhersage aus Online-Niederschlagsmessung
- Niederschlagsvorhersage aus Radardaten (Nowcasting).

Online-Niederschlagsdaten können in der Praxis aus den schon vorhandenen Regenschreibern gewonnen werden. Der Abfluss aus dem gefallenem Regen kann bei Kenntnis der Flächeneigenschaften zu jedem Zeitschritt abgeschätzt und als zusätzliche Belastung für die Kanalspeicherräume in die Steuerung miteinbezogen werden (Baustein Qprog).

Niederschlagsvorhersagen können aus Radardaten des deutschen Wetterdienstes errechnet werden, eine verlässliche Prognose ist z.Z. für bis zu einer Stunde möglich (Nowcasting). Zu jedem Zeitschritt kann diese Prognose als zusätzliches Belastungsvolumen in die Steuerung integriert werden (Baustein Rprog).

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei Einzugsgebiete in der Berliner Mischwasserkanalisation gewählt (Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX). Zeitlich und räumlich hochaufgelöste Niederschlagsdaten aus dem Jahr 2002 wurden vom Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung aufbereitet und bereitgestellt (siehe Projekt EVA, Bericht „Analyse der zeitlich hochaufgelösten Niederschlagsdaten 2002 in Berlin“).

Das Potenzial von Qprog und Rprog, die Mischwasserüberläufe weiter zu reduzieren, wurde mittels Langzeitsimulationen mit dem Kanalnetzrechnungsmodell InfoWorks CS ermittelt. Die bereitgestellten Niederschlagsdaten dienten sowohl als Eingangsdaten für die numerische Simulation als auch zur Berechnung von Qprog und Rprog. Für den Ansatz von prognostizierten Niederschlagsdaten im Baustein Rprog galt die Annahme einer perfekten Prognose (perfect prog).

Die Berücksichtigung von Qprog (Abflussprognose aus Online-Niederschlagsdaten) in der Steuerung der Abwasserpumpwerke führte für das Jahr 2002 zu einer Reduktion der Entlastungsvolumina um lediglich 0,8 % gegenüber der ursprünglichen Verbundsteuerung.

Auch die Berücksichtigung von Rprog (Niederschlagsprognose aus Radardaten) brachte nur einen geringen Nutzen. Die Entlastungsvolumina konnten um 0,7 % reduziert werden.

Der größte Nutzen wurde erzielt durch einen frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung, sobald Niederschlag für die nächste Stunde prognostiziert wurde. Die Überlaufmengen konnten um 2,8 % reduziert werden, auch dies stellt nur eine geringe Verbesserung dar. Das ausgewiesene Ergebnis ist dadurch bedingt, dass die Kanalnetze geleert werden, bevor der Regen beginnt. Die Speicherräume sind somit voll nutzbar. Das ursprüngliche Steuerungskonzept sah vor, dass die Abwasserpumpwerke während Trockenwetter lokal gesteuert werden, das heißt unabhängig voneinander. Erst

wenn der Wasserstand an einem der Pumpwerke einen vorgegebenen Regenwetterpegel überschritt, fand der Wechsel in die globale Steuerung statt.

Es wurde tatsächlich deutlich, dass die Entlastungssituation größtenteils durch den frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung vor einem Regenereignis verbessert wird. Die Verwendung von Abflussprognose (Qprog) oder Regenprognose (Rprog) zur Aussteuerung der Abwasserpumpwerke während der Regenereignisse hat hingegen einen untergeordneten Effekt. Der Aufwand, um ein solches „Frühwarnsystem“ zu installieren scheint relativ gering, da allein das quantitative Signal „Niederschlag wird innerhalb der nächsten Stunde erwartet“ benötigt wird.

Im Allgemeinen kann aus diesem Ergebnis geschlossen werden, dass vor Niederschlagsereignissen die Pegel in den Saugräumen möglichst tief gehalten werden sollten, um die Speicherräume voll nutzen zu können.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass das Potenzial von Online-Niederschlagsmessung und Niederschlagsvorhersage aus Radardaten bezüglich der Unterstützung des Pumpwerkbetriebes in Berlin als vernachlässigbar gering einzustufen ist. Eine Reduktion von Mischwasserüberläufen durch Berücksichtigung der Niederschlagsinformationen bei der Steuerung der Pumpwerke ist nicht zu erwarten. Das hat mehrere Gründe:

- Die ursprüngliche globale Steuerung ohne Prognose-Baustein führt bereits zu einer sehr guten Ausnutzung des in den Kanalnetzen vorhandenen Speicherpotenzials.
- Sowohl die maximale Fördermenge der einzelnen Pumpwerke als auch der Gesamtförderstrom zur Kläranlage sind aufgrund von maschinen- und verfahrenstechnischen Randbedingungen begrenzt. Dies schränkt die Flexibilität der Steuerung ein.
- Bei gefüllten Speichern sind die Reaktionszeiten im Berliner System zu kurz, um mit Hilfe von Niederschlagsinformationen erfolgreich auf die Steuerung der Pumpwerke einzuwirken. Die Fördermengen der Abwasserpumpwerke sind zu gering, um bei einer Vorwarnzeit von einer Stunde die Speicherinhalte maßgebend zu beeinflussen.

## **Danksagung**

Die Autoren danken allen Mitarbeitern der Berliner Wasserbetriebe, die mit ihrer Unterstützung die Durchführung der Arbeit ermöglicht haben. Das Vorhaben wurde finanziert von Veolia Wasser und den Berliner Wasserbetrieben.

# Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Einführung.....   | 1  |
| 1.1   | Gliederung des Berichtes .....  | 2  |
| 2     | Material und Methodik.....  | 3  |
| 2.1   | Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS.....  | 3  |
| 2.2   | Beschreibung der Kanalnetzmodelle und der weiteren Modellvereinfachung ..   | 3  |
| 2.2.1 | Untersuchungsgebiet .....   | 3  |
| 2.2.2 | Weitergehende Modellvereinfachung .....   | 5  |
| 2.2.3 | Berlin VII - Tiergarten, Genthiner Straße.....  | 8  |
| 2.2.4 | Berlin VIII.....  | 12 |
| 2.2.5 | Berlin IX, Wedding, Seestraße .....   | 16 |
| 2.3   | Niederschlagsdaten 2002.....  | 19 |
| 2.3.1 | Die Anwendung von Radardaten in der Siedlungswasserwirtschaft .....   | 19 |
| 2.3.2 | Stationsdaten oder aufbereitete Niederschlagsdaten .....  | 21 |
| 2.3.3 | Wahl der Regendaten zur Prognoseermittlung .....  | 22 |
| 2.3.4 | Auswirkung der Wahl der Regendaten auf die Berechnung der<br>Entlastungssituation.....  | 26 |
| 2.4   | Die Prognosen.....  | 31 |
| 2.4.1 | Definition von Qprog.....   | 33 |
| 2.4.2 | Definition von Rprog.....   | 38 |
| 3     | Ergebnisse .....  | 40 |
| 3.1   | Einfluss Fördererhöhung einzelner Gebiete .....   | 44 |
| 3.2   | Nutzen der Prognose Qprog.....  | 47 |
| 3.3   | Nutzen der Prognose Rprog.....  | 55 |
| 3.3.1 | Variante A: Rprog als zusätzlicher Parameter in der globalen Steuerung  | 55 |
| 3.3.2 | Gleichzeitige Berücksichtigung von beiden Prognose-Bausteinen Qprog<br>und Rprog .....  | 58 |
| 3.3.3 | Variante B: Berücksichtigung von Rprog in der globalen Steuerung und<br>frühzeitiger Wechsel in die globale Steuerung bei prognostiziertem Niederschlag | 59 |
| 3.3.4 | Ansatz anderer Regenreihen im Gebiete des KW Ruhleben .....   | 64 |
| 4     | Zusammenfassung.....  | 66 |
| 5     | Literaturverzeichnis .....  | 69 |

## Bildverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Bild 2.1: Lage der Einzugsgebiete dieser Studie .....  | 4  |
| Bild 2.2: Kanäle eines Teilgebiets im Grobnetzmodell.....  | 5  |
| Bild 2.3: Ersatzkanäle des Teilgebietes aus dem Bild 2.2 .....   | 6  |
| Bild 2.4: Einzugsflächen eines Teilgebietes im Grobnetzmodell.....   | 6  |
| Bild 2.5: Gruppierung der Flächen eines Teilgebietes aus Bild 2.4 im Ersatzmodell.....   | 7  |
| Bild 2.6: Vergleich der Ganglinien zwischen Grobnetz und Ersatznetz eines Teilgebietes für einen Modellregen .....   | 8  |
| Bild 2.7: Grobnetz Berlin VII.....   | 9  |
| Bild 2.8: Ersatznetz Berlin VII.....   | 10 |
| Bild 2.9: Speicherkennlinie Berlin VII .....   | 11 |
| Bild 2.10: Grobnetz Berlin VIII.....   | 13 |
| Bild 2.11: Ersatznetz Berlin VIII.....   | 14 |
| Bild 2.12: Speicherkennlinie Berlin VIII .....   | 15 |
| Bild 2.13: Grobnetz Berlin IX.....   | 17 |
| Bild 2.14: Ersatznetz Berlin IX.....   | 17 |
| Bild 2.15: Speicherkennlinie Berlin IX .....   | 19 |
| Bild 2.16: Regenhöhen in Berlin in mm für den Monat August 2002 .....  | 22 |
| Bild 2.17: Regenhöhen in Berlin in mm für den Monat Februar 2002 .....   | 23 |
| Bild 2.18: Regenintensität für den Zeitraum 11.8.-13.8.2002 in Berlin VII, Stationsdaten (oben) und Flächendaten (unten), (ein Wert alle 5 Minuten) .....  | 25 |
| Bild 2.19: Regenintensität für den Zeitraum 11.8.-13.8.2002 in Berlin VIII, Stationsdaten (oben) und Flächendaten (unten), (Ein Wert alle 5 Minuten) ..... | 26 |
| Bild 2.20: Algorithmus der globalen Steuerung aus Schroeder et al. 2004.....   | 32 |
| Bild 2.21: Flächeneinteilung in Klassen .....  | 34 |
| Bild 2.22: Prinzipskizze zur Berechnung von $Q_{prog}$ .....   | 36 |
| Bild 2.23: Prinzipskizze zur Berechnung von $R_{prog}$ .....   | 38 |
| Bild 3.1: Niederschlagsintensität Berlin VII am 9.11.2002 .....  | 42 |
| Bild 3.2: Niederschlagsintensität Berlin VIII am 9.11.2002 .....   | 42 |
| Bild 3.3: Niederschlagsintensität Berlin IX am 9.11.2002 .....   | 43 |
| Bild 3.4: Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln VII $Q_{max}/ Q_{max-neu}$ .....   | 44 |
| Bild 3.5: Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln VIII $Q_{max}/ Q_{max-neu}$ .....  | 45 |
| Bild 3.6: Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln IX $Q_{max}/ Q_{max-neu}$ .....  | 45 |
| Bild 3.7: Vergleich der Förderströme aller Gebiete $Q_{max}/ Q_{max-neu}$ .....  | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Bild 3.8: Volumen, das bei der Steuerung mit Qprog*24 in allen Gebieten berücksichtigt wird .....   | 49 |
| Bild 3.9: Vergleich der Förderströme Globale Steuerung mit Qprog*24 .....   | 50 |
| Bild 3.10: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VII, Globale Steuerung und Qprog*24.....   | 51 |
| Bild 3.11: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VIII, Globale Steuerung und Qprog*24.....  | 52 |
| Bild 3.12: Entlastungsverlauf in Bln VIII .....   | 52 |
| Bild 3.13: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln IX, Globale Steuerung und Qprog*24.....  | 53 |
| Bild 3.14: Entlastungsverlauf in Bln IX .....   | 53 |
| Bild 3.15: Vergleich der Förderströme bei globaler Steuerung und bei Berücksichtigung von Rprog*6 .....                                     | 57 |
| Bild 3.16: Vergleich Förderströme Rprog*0,5 und Rprog*0,5 mit Wechsel in die Steuerung, sobald Regen prognostiziert wird (Rprog*0,5#) ..... | 60 |
| Bild 3.17: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VII für die Szenarien Rprog*0,5 und Rprog*0,5#.....                                    | 61 |
| Bild 3.18: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VIII für die Szenarien Rprog*0,5 und Rprog*0,5#.....                                   | 62 |
| Bild 3.19: Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln IX für die Szenarien Rprog*0,5 und Rprog*0,5#.....                                     | 62 |
| Bild 3.20: Regenschreiber der Gebiete Spandau I, Wilmersdorf und Bln X.....   | 64 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 2.1: Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin VII für verschiedene Modellregen .....   | 11 |
| Tabelle 2.2: Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin VIII für verschiedene Modellregen .....  | 15 |
| Tabelle 2.3: Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin IX für verschiedene Modellregen .....  | 19 |
| Tabelle 2.4: Korrelationskoeffizienten zwischen den Regenreihen der drei Gebiete Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX für das Jahr 2002, basierend auf a) den Stationsdaten und b) den Flächendaten .....  | 23 |
| Tabelle 2.5: Korrelationskoeffizienten zwischen den Stations- und den Flächendaten für die einzelnen Gebiete. ....  | 24 |
| Tabelle 2.6: Regenhöhen im Jahr 2002 für die Gebiete Bln VII, Bln VIII und Bln IX (Stationsdaten und Flächendaten) .....  | 24 |
| Tabelle 2.7: Nutzen einer globalen Pumpwerkssteuerung gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 simuliert mit den Stationsregendaten und den Flächenregendaten. ....   | 28 |
| Tabelle 2.8: Erfolg der globalen Steuerung gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 mit den Stationsregendaten und den Flächenregendaten. Ergebnis von Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS ohne August 2002 .....                         | 29 |
| Tabelle 2.9: Neue Definition der maximalen Förderung der Einzugsgebiete $Q_{\max}$ zur Kläranlage.....  | 30 |
| Tabelle 2.10: Nutzen der globalen Steuerung, gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 mit den Stationsdaten und mit den Flächendaten, Ergebnis von Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS ohne den Monat August, $Q_{\max}$ neu definiert. . | 30 |
| Tabelle 2.11: Flächeneinteilung in Abhängigkeit der Verweildauer der Niederschläge im Netz, Zeitabstand zwischen Niederschlags- und Abflussspitze am Pumpwerk .....   | 35 |
| Tabelle 2.12: Definition der Auslastungszeiträume $T_i$ zur Berechnung der Abflussprognose einer Flächenklasse .....  | 35 |
| Tabelle 3.1: Niederschlagsereignisse mit Entlastung im Jahr 2002.....   | 41 |
| Tabelle 3.2: Reduktion der Entlastungsvolumina unter Berücksichtigung von $Q_{\text{prog}}$ bei der Steuerung aus Simulation für das Jahr 2002 mit Flächenregendaten (Ergebnis exklusiv August) .....   | 48 |
| Tabelle 3.3: Reduktion der Entlastungsvolumina unter Berücksichtigung von $R_{\text{prog}}$   |    |

|  |    |
|--|----|
| (Variante A) aus Simulationen für das Jahr 2002 mit Flächenregendaten (Ergebnis<br>exklusiv August).....   | 56 |
| Tabelle 3.4: Erfolg erzielt durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Qprog*24 und<br>Rprog*6.....  | 58 |
| Tabelle 3.5: Reduktion des Entlastungsvolumens unter Berücksichtigung von Rprog,<br>Variante B, Wechsel in die globale Steuerung, sobald ein Regen innerhalb der<br>nächsten Stunde prognostiziert wird..... | 59 |
| Tabelle 3.6: Nutzen eines frühzeitigen Wechsels in die globale Steuerung .....   | 63 |
| Tabelle 3.7: Untersuchungsgebiete mit ihren neu zugewiesenen Niederschlagsreihen<br>.....  | 65 |
| Tabelle 3.8: Nutzen erzielt durch die Berücksichtigung von Regenreihen andere<br>Einzugsgebiete .....  | 65 |

## Abkürzungsverzeichnis

| <b>Abkürzung</b> | <b>Bedeutung</b>   | <b>Einheit</b> |
|------------------|--|----------------|
| a                | Anzahl der Gebiete   |                |
| APW              | Anschlusspumpwerk  |                |
| BIn              | Berlin   |                |
| BWB              | Berliner Wasserbetriebe  |                |
| $D_i$            | Auslastungsdauer einer Flächengruppe i   | s              |
| $F_i$            | Größe der befestigten Fläche einer Flächenklasse   | $m^2$          |
| $F_G$            | Größe der befestigten Fläche eines Einzugsgebietes   | $m^2$          |
| ISM              | Integrated Sewage Management - Projekt des KWB   |                |
| KWB              | KompetenzZentrum Wasser Berlin gGmbH   |                |
| $N_t$            | Niederschlagshöhe  | m              |
| Pw               | Pumpwerk   |                |
| $Q_{t,16}$       | Trockenwetterförderung   | $m^3/s$        |
| $Q_{max}$        | Maximale Pumpwerksförderung  | $m^3/s$        |
| $Q_{prog}$       | Prognostiziertes Abflussvolumen aus dem bereits<br>gefallenen Niederschlag                   | $m^3/s$        |
| $Q_{prog_G}$     | $Q_{prog}$ eines Gebietes G  | $m^3/s$        |
| $R_{prog}$       | Prognostiziertes Niederschlagsvolumen aus einer<br>Vorhersage für die darauf folgende Stunde | $m^3/s$        |
| $R_{prog_G}$     | $R_{prog}$ eines Gebietes G  | $m^3/s$        |
| RÜ               | Regenüberlauf  |                |
| $t_{radar}$      | Prognosedauer aus Radardaten   | s              |
| $V_i$            | Auslastungsvolumen einer Flächenklasse   | $m^3/s$        |
| $V_G$            | Prognostiziertes Abflussvolumen für ein Gebiet   | $m^3/s$        |
| $V(Q_{prog_G})$  | Berücksichtigtes Abflussvolumen aus $Q_{prog}$ für die<br>Steuerung des Gebietes G           | $m^3/s$        |
| $V(R_{prog_G})$  | Berücksichtigtes Abflussvolumen aus $R_{prog}$ für die<br>Steuerung des Gebietes G           | $m^3/s$        |

## 1 Einführung

In Siedlungsgebieten fallen häusliches, gewerbliches und industrielles Schmutzwasser, sowie in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad erhebliche Mengen an Niederschlagswasser an. Seit Mitte der 1970er Jahre wurde vorrangig in den USA, dann auch in Europa die Abflusssteuerung angewandt, um gezielt vorhandene Entwässerungseinrichtungen zu bewirtschaften und somit die Kapazität der zuvor rein statischen Systeme möglichst vollständig zu nutzen. Die Entwicklung der integrierten Steuerung von Kanalnetz und Kläranlage wurde in den letzten 10 Jahren vorangetrieben, wenn gleich eine betriebliche Umsetzung der Konzepte für große, komplexe Systeme nach wie vor kaum realisiert wurde. Aus diesem Grund wird in Berlin das Forschungsprojekt EVA durchgeführt, das die Umsetzung eines Entscheidungshilfesystems zur Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken zum Ziel hat. Es ist ein Folgeprojekt des ISM-Projektes (KWB, 2006), in dem ein Konzept für eine Pumpwerksverbundsteuerung erarbeitet wurde. Ziel war es, die Kanalnetze dynamisch zu bewirtschaften, um den ungleichmäßig fallenden Niederschlag und die anschließende ungleichmäßige Auslastung der Netze auszugleichen und somit Mischwasserüberlaufmengen zu reduzieren (Pawlowsky-Reusing, Schroeder, 2006).

Das Arbeitspaket 2 des EVA Projektes hat das Ziel, das Potenzial von Online-Niederschlagsmessungen und Niederschlagsvorhersagen aus Radardaten bezüglich der Unterstützung der Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken zu bewerten. Hierfür wurden Funktionen erarbeitet, die in die globale Steuerung der Abwasserpumpwerke integriert werden können.

Der Nutzen dieser zusätzlichen Funktionen wird innerhalb des Einzugsgebietes der Kläranlage Ruhleben in Berlin getestet. Als Testgebiet werden die drei Einzugsgebiete Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX gewählt, die über eine Mischwasserkanalisationen verfügen und über Pumpwerke entwässert werden. Die Studie wird auf der Basis von Langzeitsimulationen unter der Anwendung des hydrodynamischen Kanalnetzberechnungsprogramms Infoworks CS durchgeführt. Zur Berücksichtigung des Niederschlags in der Steuerung werden zwei Arten von Prognosen unterschieden.

Die Prognose  $Q_{prog}$  berechnet in jedem Rechenschritt basierend auf Echtzeit-Niederschlagsmessungen, welche Zuflussvolumina aus Niederschlag an den Pumpwerken zu erwarten sind. Diese Vorhersage berücksichtigt den schon gefallenen Niederschlag, der sich in den Gebieten bzw. Netzen befindet und

noch nicht an den Pumpwerken angekommen ist. Die Prognose *Rprog* stellt eine optimale Niederschlagsvorhersage aus Radardaten für die nächste Stunde dar (PerfectProg). Die Prognosen werden für jedes Gebiet einzeln ermittelt.

Als Referenzjahr wird das Jahr 2002 (Elbehochwasser) berücksichtigt. Für dieses Jahr sind umfangreiche, gut aufbereitete Regen- und Radarinformationen im Untersuchungsgebiet vorhanden. Alle Regendaten wurden von der Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung des Instituts für Meteorologie der FU Berlin aufbereitet (Kontakt: Dr. Reimer).

Der Nutzen der Integration von *Qprog* und von *Rprog* in eine globale Steuerung wird an der Reduzierung der Mischwasserüberlaufvolumina in den untersuchten Gebieten im Vergleich zu einer globalen Steuerung ohne Berücksichtigung von Niederschlag im Berechnungszeitraum 2002 gemessen.

## **1.1 Gliederung des Berichtes**

Im zweiten Kapitel wird die Methodik der Studie vorgestellt. Dazu gehören die Vorstellung des gewählten Untersuchungsgebietes, die Erklärung der Vorgehensweise zur Vereinfachung des vorhandenen Modells, die Beschreibung der Regendaten und die Form ihrer Aufbereitung sowie das Konzept der Integration von Niederschlags- und Abflussprognosen in die Steuerung.

Das dritte Kapitel dient der Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen und der Ergebnisse.

Im vierten Kapitel erfolgt eine Zusammenfassung der Studie.

## **2 Material und Methodik**

Diese Studie ist eine theoretische Studie und basiert auf Langzeitsimulationen mit einem numerischen Modell. In Berlin gemessene Niederschlagsdaten aus dem Jahr 2002 dienen als Modellinput. Das Modell bildet ein Teilgebiet der Berliner Mischwasserkanalisation ab.

### **2.1 Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS**

Die Langzeitsimulationen werden mit dem Kanalnetzrechnungsprogramm Infoworks CS von Wallingford Software Limited durchgeführt, um den Effekt der Berücksichtigung von Niederschlagsmessung und Niederschlagsvorhersage in der Pumpwerksverbundsteuerung zu bewerten. InfoWorks CS ermöglicht die hydrodynamische Berechnung des Abflussgeschehens in Kanalnetzen.

Kanalnetzmodelle der betrachteten Gebiete sind aus dem vorangegangenen ISM Projekt als sogenannte „Grobnetze“ vorhanden. Ein Grobnetz ist eine Reduktion der vollständigen Kanalnetzstruktur auf eine für die Langzeitsimulation angepasste Modellgröße zum Zweck der Verringerung von Rechenzeiten und Speicherbedarf. Das Grobnetz beinhaltet die Hauptsammler und alle Regenüberlaufbauwerke und Pumpanlagen. Grobnetze für die Berliner Mischwassergebiete wurden im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe (BWB) von dem Ingenieurbüro bpi Hannover, Beratende Ingenieure im Rahmen der Mischwassersanierungskonzeption aufbereitet.

Die verwendeten Kanalnetzmodelle werden für diese Studie an den „Sanierungszustand“ der Mischwassergebiete angepasst, d.h. den Zustand der Netze gemäß der wasserbehördlichen Erlaubnis zur Einleitung von Mischwasser in die Berliner Gewässer von 1998.

### **2.2 Beschreibung der Kanalnetzmodelle und der weiteren Modellvereinfachung**

#### **2.2.1 Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet besteht aus drei Pumpwerkseinzugsgebieten, die zum Einzugsgebiet des Klärwerkes Ruhleben gehören. Die drei Pumpwerkseinzugsgebiete dieser Studie werden in den weiteren Kapiteln näher beschrieben, die Erläuterungen dazu stammen teilweise aus den Erläuterungsberichten zur Kanalnetz- und Schmutzfrachtberechnung von bpi

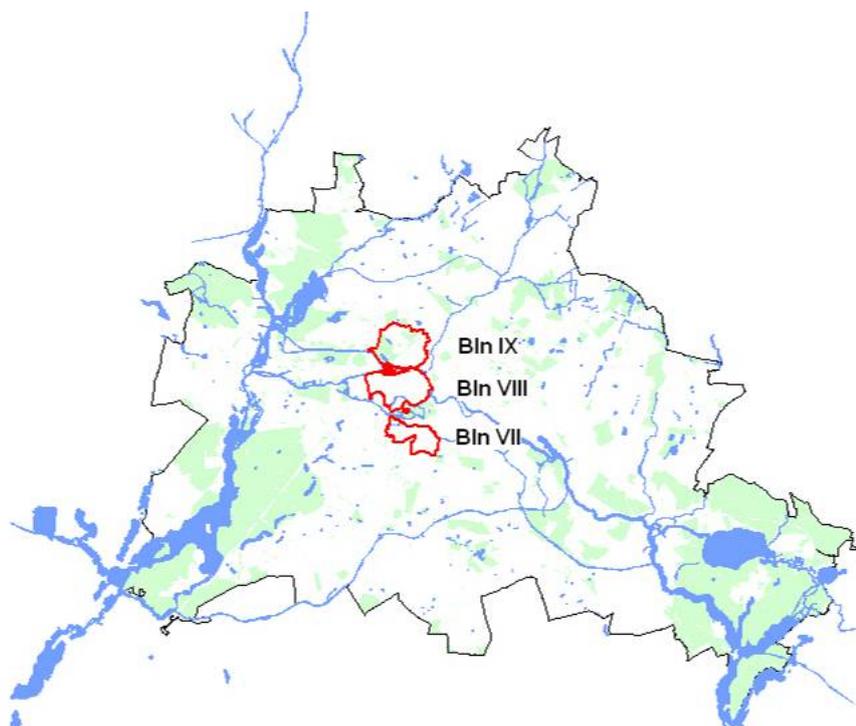
Hannover, Beratende Ingenieure, bpi (1992), bpi (2002), bpi (1997) und bpi (1989).

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Ruhleben liegt im Zentrum von Berlin, es ist ein sehr flaches Gebiet mit 1800 km Kanallänge. Das Abwasser fließt in der Freispiegelkanalisation Abwasserpumpwerken zu und wird von dort durch Abwasserdruckleitungen zum Klärwerk gepumpt. Die Trockenwetterkapazität der Kläranlage Ruhleben beträgt 240000 m<sup>3</sup>/Tag, die maximale Regenwetterkapazität 600000 m<sup>3</sup>/Tag. Bei Regenereignissen werden aus den Mischwassereinzugsgebieten in der Regel  $2 \cdot Q_{t,16}$  gefördert mit der Ausnahme von Berlin VIII, Berlin Tiergarten, bei dem  $3 \cdot Q_{t,16}$  gefördert werden.

Die Studie berücksichtigt drei Gebiete aus dem Einzugsgebiet Ruhleben, die über eine Mischkanalisation verfügen, siehe Bild 2.1:

- Berlin VII, Tiergarten Genthiner Straße (Kapitel 2.2.3),
- Berlin VIII, Tiergarten Alt-Moabit (Kapitel 0) und
- Berlin IX Wedding Seestraße (0).

In diesem Untersuchungsgebiet leben insgesamt 192 000 Einwohner, die befestigte Fläche beträgt ca.1 300 ha.



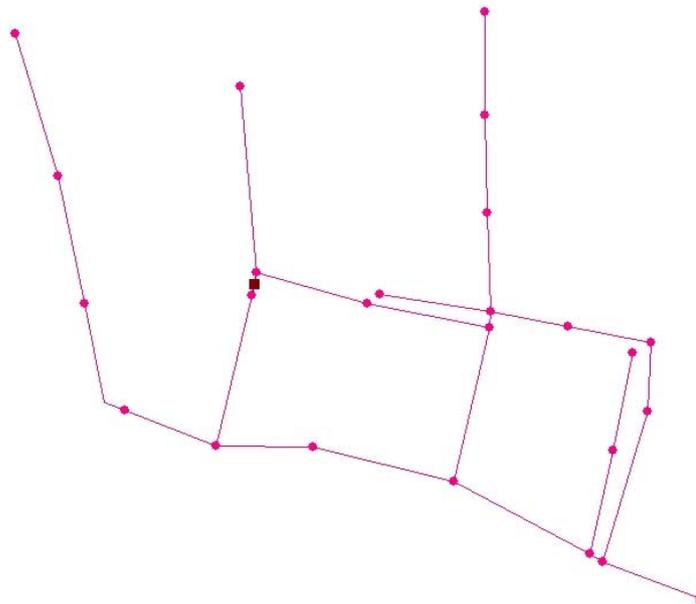
**Bild 2.1:** Lage der Einzugsgebiete dieser Studie

### 2.2.2 Weitergehende Modellvereinfachung

Die Langzeitsimulationen nehmen selbst bei Verwendung von Grobnetzmodellen große Rechenzeiten in Anspruch. Um die Rechenzeiten weiter zu reduzieren und somit eine hohe Zahl von Simulationen zu ermöglichen, werden die Modelle zu so genannten „Ersatznetzen“ vereinfacht.

Es wurde eine Methode entwickelt, die es erlaubt, Ersatznetze zu erstellen, mit denen auch komplexe hydraulische Prozesse, wie Einstau oder Fließumkehr abgebildet werden können:

Die Kanalnetze werden in Abhängigkeit ihrer Topologie und Netzeigenschaften in Teilgebiete unterteilt (2 bis 5 Teilgebiete pro Einzugsgebiet). Das Kanalnetz eines Teilgebietes (Bild 2.2) wird in einem Ersatznetz zusammengefasst, das aus einem einfachen Kanalsystem von wenigen Kanäle und Speichern besteht (Bild 2.3). Die Speicherkennlinie des Ersatznetzes entspricht dabei der des zu ersetzenden Teilgebietes. Sonderbauwerke wie Regenüberläufe und Regenbecken bleiben an ihrer ursprünglichen Stelle mit ihren ursprünglichen Eigenschaften erhalten.

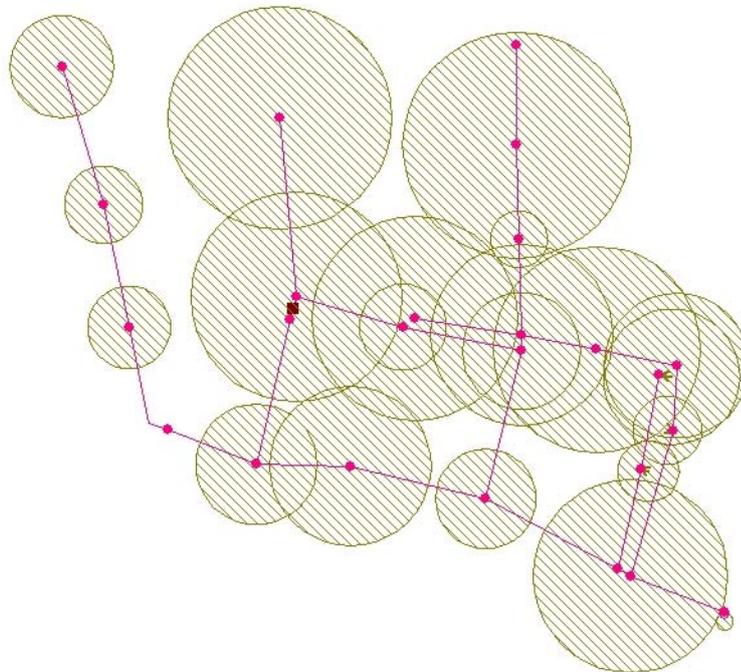


**Bild 2.2:** Kanäle eines Teilgebiets im Grobnetzmodell

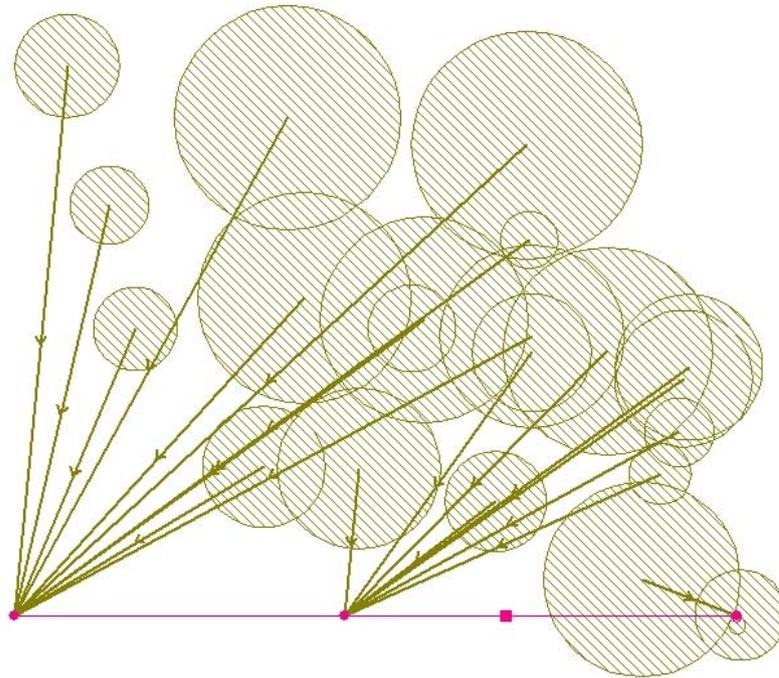


**Bild 2.3:** Ersatzkanäle des Teilgebietes aus dem Bild 2.2

Die Entwässerungsflächen (Bild 2.4) werden gruppiert in Abhängigkeit ihrer Entfernung zum Teilgebietsende (Bild 2.5).

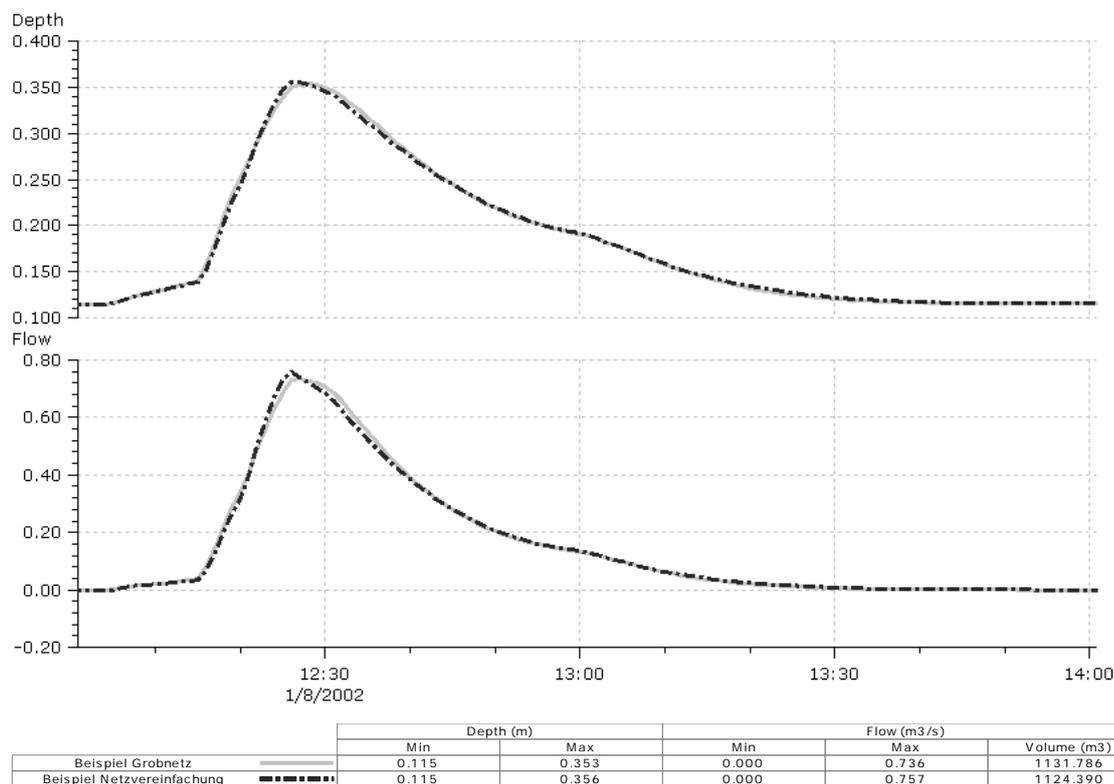


**Bild 2.4:** Einzugsflächen eines Teilgebietes im Grobnetzmodell



**Bild 2.5:** Gruppierung der Flächen eines Teilgebietes aus Bild 2.4 im Ersatzmodell

Die Überprüfung der Nachbildung der Prozesse im Ersatzmodell erfolgt anhand eines Vergleichs der Durchfluss- und Wasserstandsganglinien am Auslauf der Teilgebieten für drei verschiedene Modellregen (Bild 2.6). Die strenge Kontrolle der Wasserstandsganglinien für verschiedene Lastfälle ist dadurch begründet, dass die vorhandenen Regenüberlaufbecken über pegelgesteuerte Pumpen beschickt werden, eine korrekte Abbildung der Wasserstände also unerlässlich für die Abbildung des Systemverhaltens ist.



**Bild 2.6:** Vergleich der Ganglinien zwischen Grobnetz und Ersatznetz eines Teilgebietes für einen Modellregen

Zum Schluss werden die Ganglinien an den Pumpwerken und die Entlastungsvolumina der Regenüberläufe miteinander verglichen. Darüber hinaus werden die Zeitpunkte der Beschickung und der Entleerung der Regenüberlaufbecken und die emittierten Volumina überprüft.

Das gesamte Untersuchungsgebiet wurde mit dieser Methode vereinfacht. In den folgenden Kapiteln wird der Unterschied im Entlastungsverhalten zwischen Grobnetz und Ersatznetz für die drei berücksichtigten Modellregen dargestellt.

### 2.2.3 Berlin VII - Tiergarten, Genthiner Straße

Das Einzugsgebiet Tiergarten, Genthiner Straße, weist eine relativ homogene Struktur auf. Das gesamte Gebiet wird im Mischverfahren entwässert und weist nur sehr geringe Geländegefälle auf. Dementsprechend gering ist das Gefälle der Hauptsammler im Einzugsgebiet. Sämtliche Regenüberläufe des Einzugsgebietes entlasten entweder direkt oder über eine Entlastungsleitung zum Landwehrkanal. Die Entlastungsleitung nimmt auch Abflüsse aus anderen Gebieten auf. Am Lützowplatz befindet sich eine Regenbeckenanlage, die aus drei unabhängigen Regenüberlaufbecken besteht, die jeweils über eine eigene

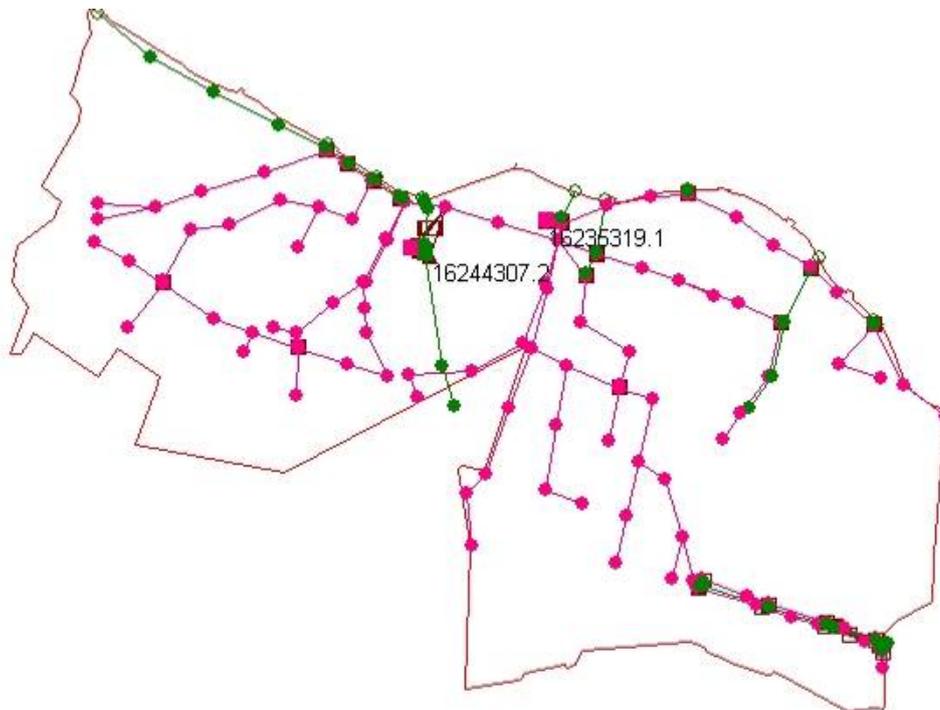
Pumpe beschickt werden. Nur ein Becken von den drei steht für die Mischwasserabflüsse aus dem Einzugsgebiet Pw Tiergarten zur Verfügung.

Das Grobnetz Berlin VII musste gegenüber dem Stand im ISM-Projekt auf den Sanierungszustand angepasst werden (gemäß bpi, 2002).

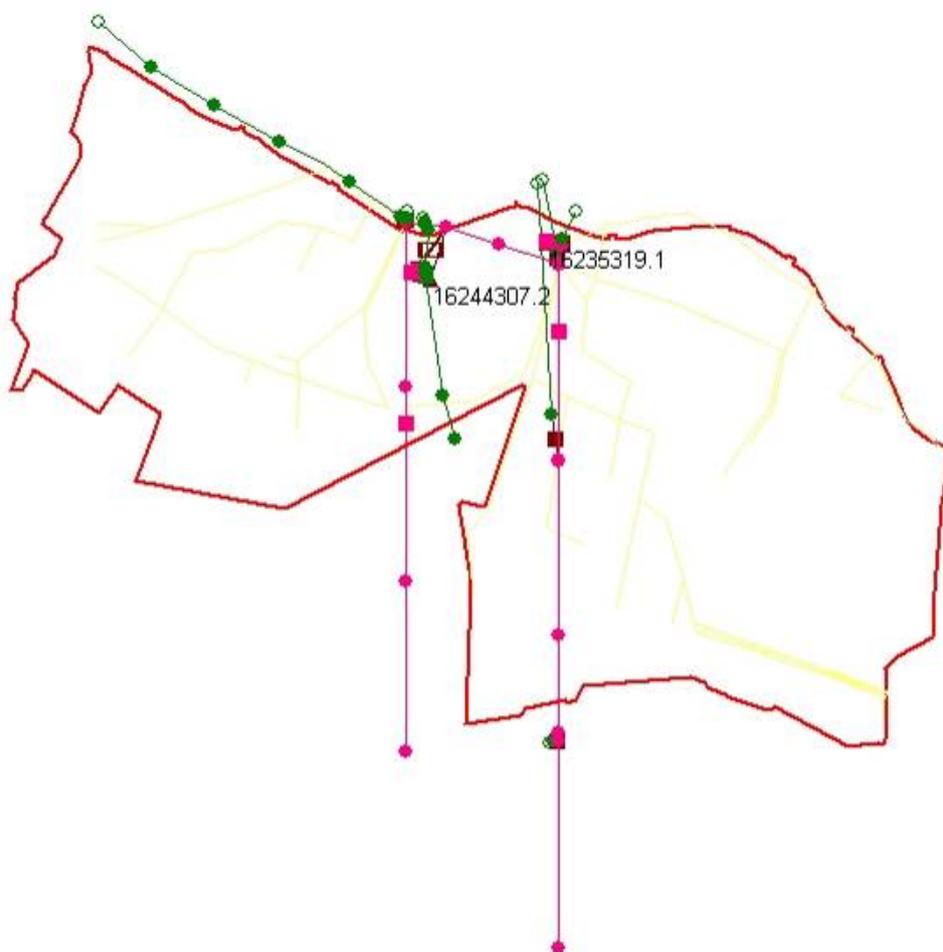
- Anhebung von vier Regenüberlaufschwelen RÜ 2, RÜ 3, RÜ 8 und RÜ 11 auf 32,40 mNN.
- Anpassung der Schaltpunkte des Schützes zur Befüllung des Regenüberlaufbeckens am Lützowplatz  
Öffnen  $\geq 32,20$  mNN  
Schließen  $\leq 32,00$  mNN

#### Gebietseigenschaften APw Berlin VII:

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Einzugsgebiet:     | Berlin VII      |
| Befestigte Fläche: | 311 ha          |
| Einwohneranzahl:   | 41935 Einwohner |



**Bild 2.7:** Grobnetz Berlin VII

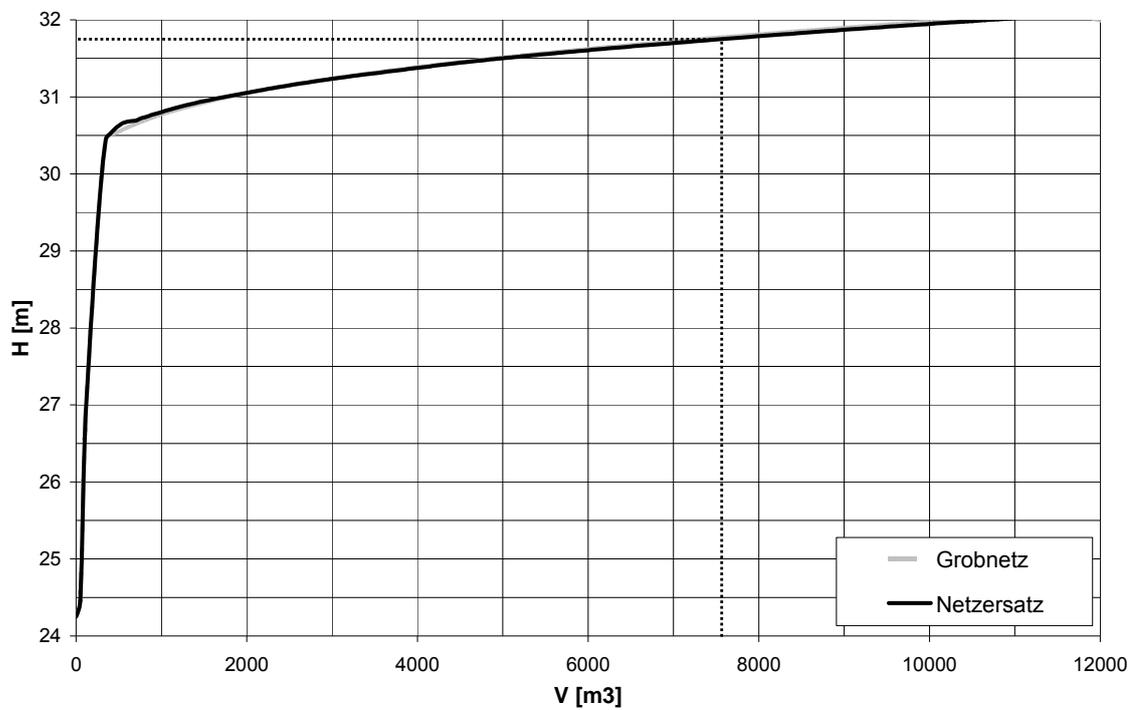


**Bild 2.8:** Ersatznetz Berlin VII

| <b>Modelleigenschaften:</b> | <b>Grobnetz</b>                      | <b>Ersatznetz</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Kanallänge:                 | 21,04 km                             | 9,16 km           |
| Anzahl Haltungen:           | 145                                  | 38                |
| Anzahl Knoten:              | 159                                  | 50                |
| Pumpwerk                    | APw Berlin VII, Genthiner Str        |                   |
| Knoten Bezeichnung:         | 16235319                             |                   |
| Maximale Förderung:         |                                      |                   |
| Lokale Steuerung:           | 0,420 m <sup>3</sup> /s              |                   |
| Globale Steuerung:          | 0,500 m <sup>3</sup> /s              |                   |
| Regenüberlaufbecken:        | RUEB Lützowplatz                     |                   |
| Volumen:                    | 1000 m <sup>3</sup>                  |                   |
| Füllung:                    | über Pumpe (0,833 m <sup>3</sup> /s) |                   |

|                            |                      |                      |
|----------------------------|----------------------|----------------------|
| Anzahl Regenüberläufe:     | 14                   | 7                    |
| Anzahl interner Überläufe: | 3                    | 0                    |
| Speichervolumen:           | 10000 m <sup>3</sup> | 10000 m <sup>3</sup> |
| Einschaltpegel             |                      |                      |
| Beckenbefüllung:           | 31,95 mNN            | 31,95 mNN            |

**Speicherkenlinie:**



**Bild 2.9:** Speicherkenlinie Berlin VII

**Tabelle 2.1:** Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin VII für verschiedene Modellregen

| <b>Abweichung Entlastungsvolumina<br/>Ersatznetz / Grobnetz [%]</b> |       |
|---|-------|
| Modellregen n=0,5   | + 0,1 |
| Modellregen n=1   | - 0,1 |
| Modellregen n=2   | - 4,1 |

### 2.2.4 Berlin VIII

Das Einzugsgebiet Tiergarten, Alt-Moabit, hat eine inhomogenere Struktur. Das gesamte Gebiet wird meistens im Mischverfahren entwässert und weist auch nur sehr geringe Geländegefälle auf. Im Einzugesgebiet überwiegt eine dichte Wohnbebauung mit Befestigungsgraden bis zu 90%. Im westlichen Bereich sind größere Gewerbeflächen (Berliner Großmarkt, Gaswerk Charlottenburg) vorhanden. Im südlichen Bereich gehören Teile des Tiergartens zum Einzugsgebiet. Über 19 Regenüberläufe entlasten die Kanalisation in die Spree, in den Charlottenburger Verbindungskanal, in den Berlin-Spandauer Schifffahrtskanal sowie in den Humboldthafen. Da die Regenüberläufe im Allgemeinen nicht direkt an den Gewässern liegen, existieren im Gebiet eine Reihe von Mischwasserentlastungskanälen. Am Pumpwerk befindet sich ein Regenüberlaufbecken, das mit Pumpen beschickt wird.

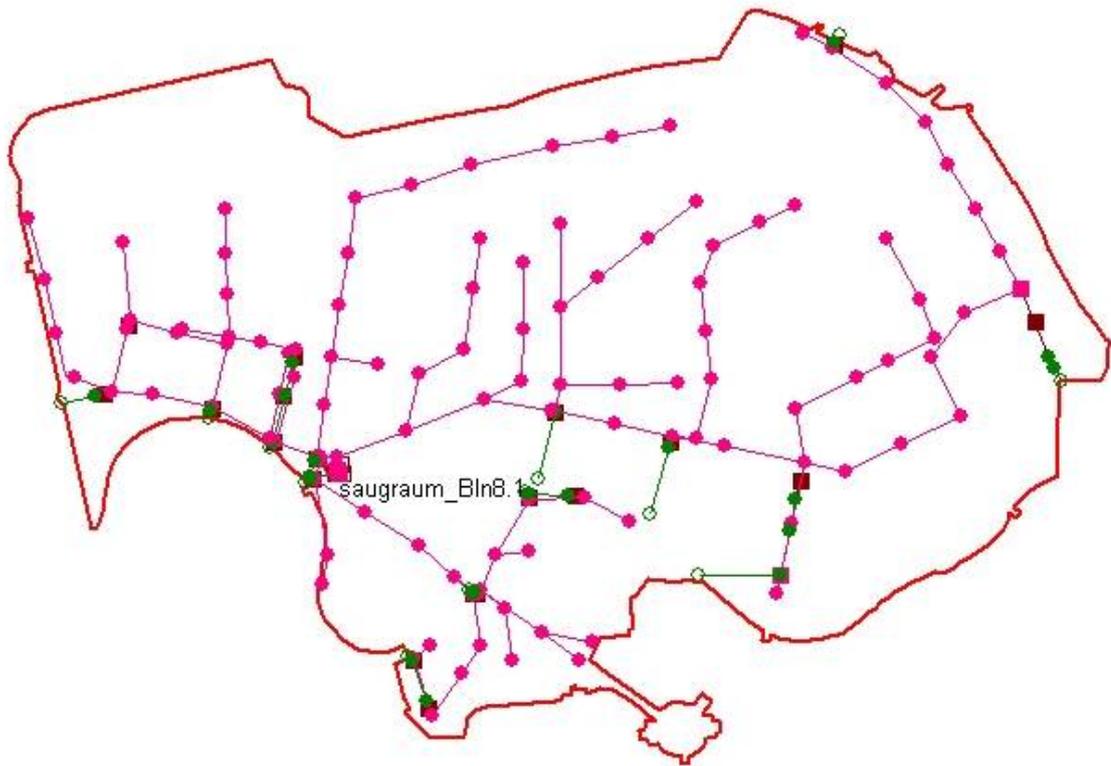
Das Grobnetz Berlin VIII musste gegenüber dem Stand im ISM-Projekt auf den Sanierungszustand angepasst werden (gemäß Kurzbericht EKB/SFB APw Tiergarten, Alt-Moabit, Bereich Sickingerstr., 2002, bpi Hannover, Beratende Ingenieure):

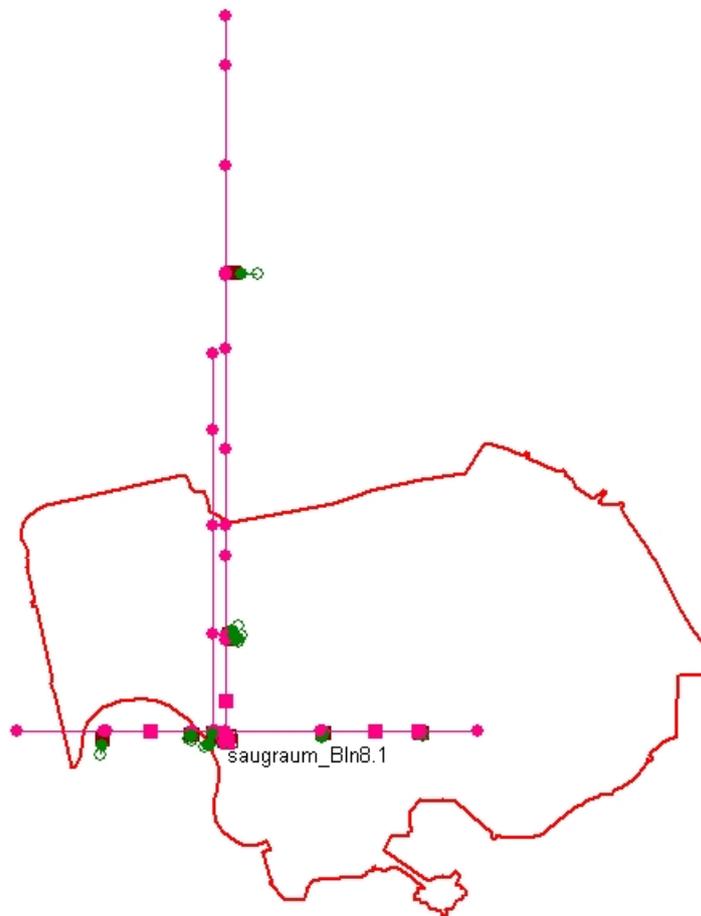
- Anhebung Regenüberlaufschwelle RÜ 13 auf 32,45 mNN, Verbreiterung auf 1,1m.
- Anhebung Überlaufschwelle RÜ 21 auf 31,30 m, Verbreiterung auf 3 m.
- Aufweitung des dazugehörigen E-Kanals von Schacht 20265.E01 bis Schacht 20265.002 auf ein Profil DN1200 (Länge 41,5 m).
- Neubau MW-Kanal an der Kreuzung Huttenstr./ Berlichingerstr. Von Schacht 20264.304 bis Schacht 20263.309 mit Profil DN1200 (Länge 20 m).
- Aufweitung MW-Kanal in der Reuchlinstr. In der westlichen Straßenhälfte von Schacht 20263.309 bis Schacht 20265.001 auf ein Profil DN1200 (Länge 275,09 m).
- Aufweitung neu geplanter MW-Kanal in der Berlichingenstr. Von Schacht 21263.M01 bis Schacht 21265.301 von NE1100 auf ein Profil NE1200 (Länge 165 m).

**Gebietseigenschaften APW Berlin VIII:**

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Einzugsgebiet:     | Berlin VIII |
| Befestigte Fläche: | 516 ha      |
| Einwohneranzahl:   | 79114       |

---

**Bild 2.10:** Grobnetz Berlin VIII

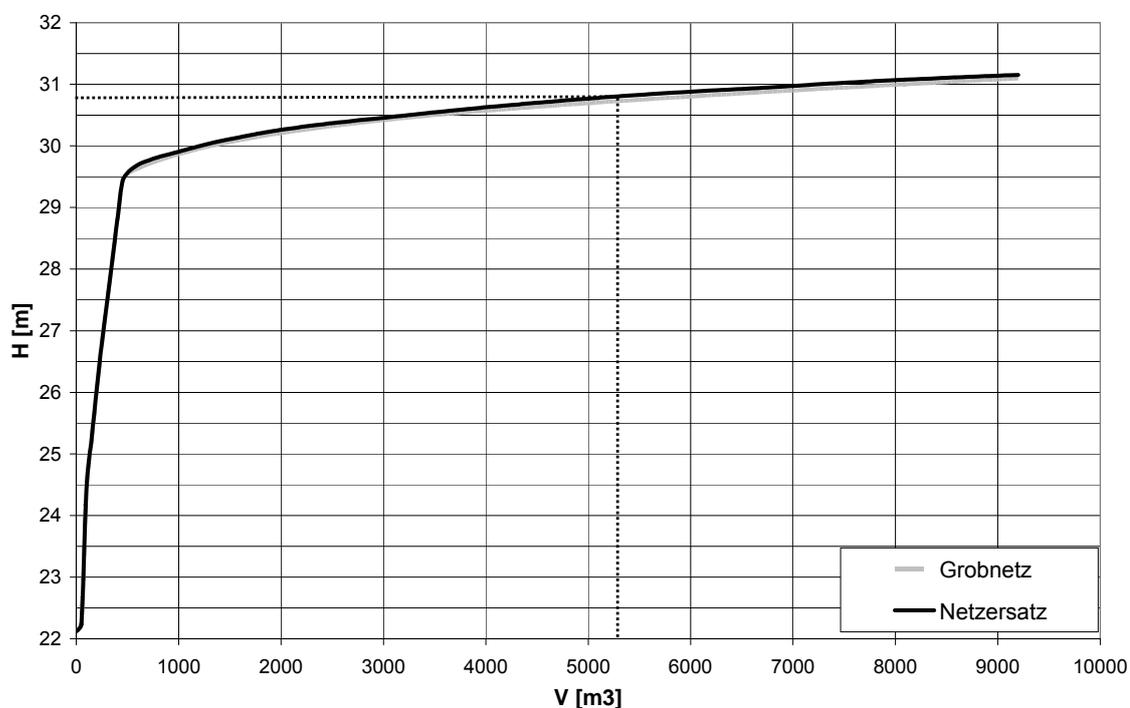


**Bild 2.11:** Ersatznetz Berlin VIII

| <b>Modelleigenschaften:</b> | <b>Grobnetz</b>                      | <b>Ersatznetz</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Kanallänge:                 | 25,64 km                             | 11,61 km          |
| Anzahl Haltungen:           | 145                                  | 50                |
| Anzahl Knoten:              | 158                                  | 66                |
| Pumpwerk                    | APw Berlin VIII, Alt-Moabit          |                   |
| Knoten Bezeichnung:         | Rub_Bln8                             |                   |
| Maximale Förderung:         |                                      |                   |
| Lokale Steuerung:           | 0,690 m <sup>3</sup> /s              |                   |
| Globale Steuerung:          | 1,000 m <sup>3</sup> /s              |                   |
| Regenbecken:                | Rub_Bln8                             |                   |
| Volumen:                    | 1466 m <sup>3</sup>                  |                   |
| Füllung:                    | über Pumpe (1,050 m <sup>3</sup> /s) |                   |
| Anzahl Regenüberläufe:      | 20                                   | 16                |

|                            |                     |                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Anzahl interner Überläufe: | 1                   | 0                   |
| Speichervolumen:           | 6000 m <sup>3</sup> | 5300 m <sup>3</sup> |
| Einschaltpegel             |                     |                     |
| Beckenbefüllung:           | 30,80 mNN           | 30,80 mNN           |

**Speicherkenlinie:**



**Bild 2.12:** Speicherkenlinie Berlin VIII

**Tabelle 2.2:** Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin VIII für verschiedene Modellregen

| <b>Abweichung Entlastungsvolumina<br/>Ersatznetz / Grobnetz [%]</b> |       |
|---|-------|
| Modellregen n=0,5   | - 0,5 |
| Modellregen n=1   | + 1,5 |
| Modellregen n=2   | + 6,2 |

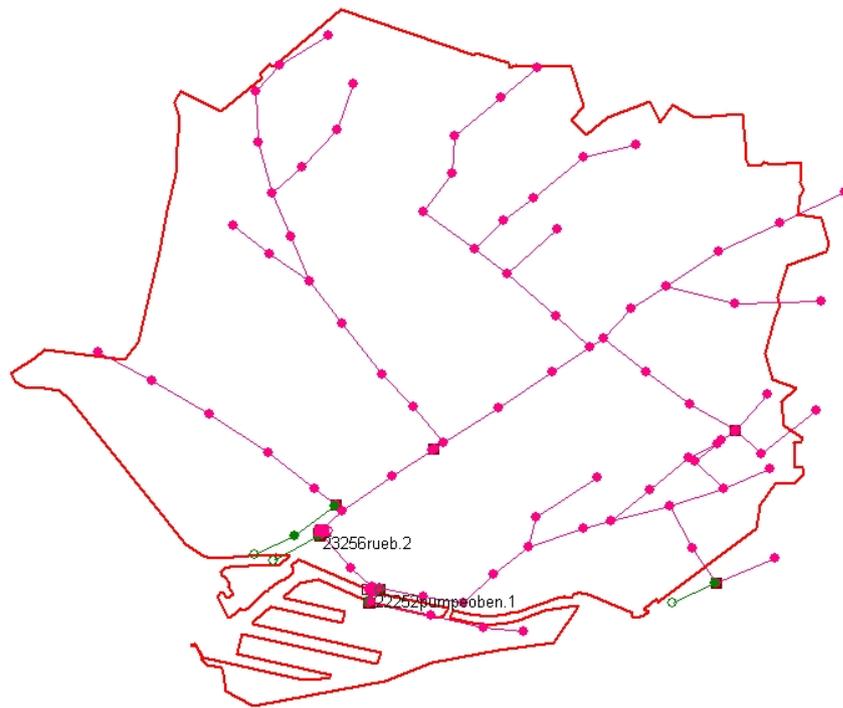
### **2.2.5 Berlin IX, Wedding, Seestraße**

Das Einzugsgebiet des Hauptpumpwerks Wedding, Seestraße, umfasst ein Gebiet von ca. 480 ha. Im Einzugsgebiet ist überwiegend dichte Wohnbebauung vorhanden. Der Anteil an Gewerbegebietsflächen ist sehr gering. Das gesamte Einzugsgebiet wird im Mischverfahren entwässert. Die Regenüberläufe entlasten in den Spandauer Schifffahrtskanal. Am Pumpwerk befindet sich ein Regenüberlaufbecken, welches im Freigefälle gefüllt wird. Dem Pumpwerk fließen die Abflüsse über zwei Hauptsammler zu, einerseits von Norden über den Hauptsammler in der Seestraße und andererseits von Osten über den Hauptsammler Nordufer. Südlich des Spandauer Schifffahrtskanals befindet sich im Hafengebiete ein kleines Teileinzugsgebiet, das über einen Düker an das sonstige Entwässerungsnetz angeschlossen ist. Berlin IX besitzt als Sonderbauwerk ein gesteuertes Stauwehr. Das Stauwehr wird lokal gesteuert und von der Pumpwerksverbundsteuerung nicht berührt.

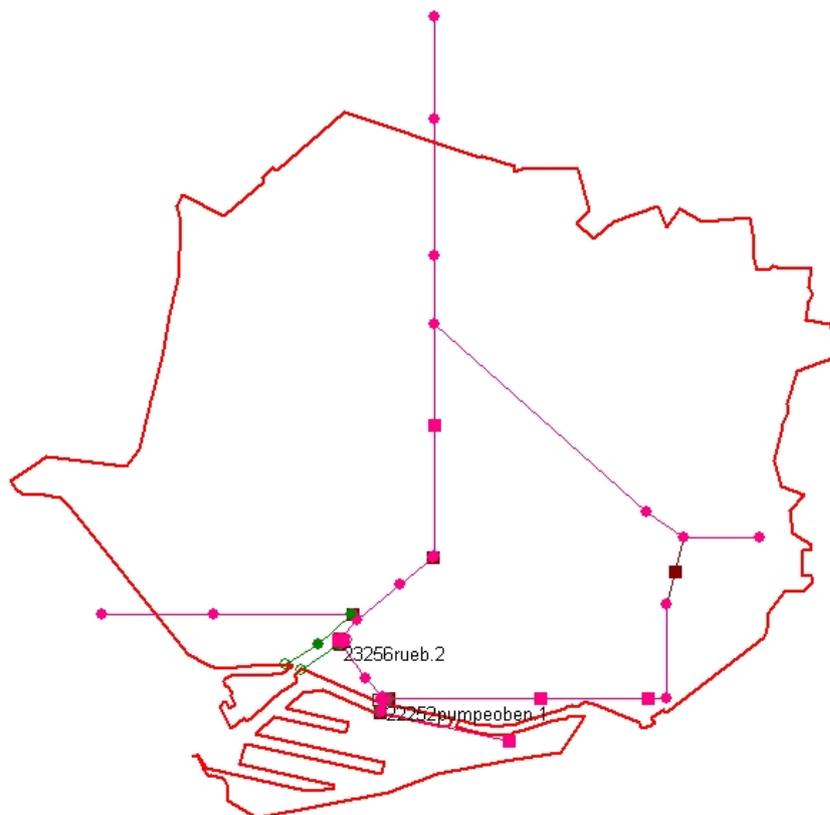
Das Grobnetz Berlin IX wurde bereits im Rahmen der ISM-Studie auf den Sanierungszustand angepasst und konnte für diese Untersuchung übernommen werden.

#### **Gebietseigenschaften APW Berlin IX:**

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Einzugsgebiet:     | Berlin IX       |
| Befestigte Fläche: | 478 ha          |
| Einwohneranzahl:   | 70874 Einwohner |



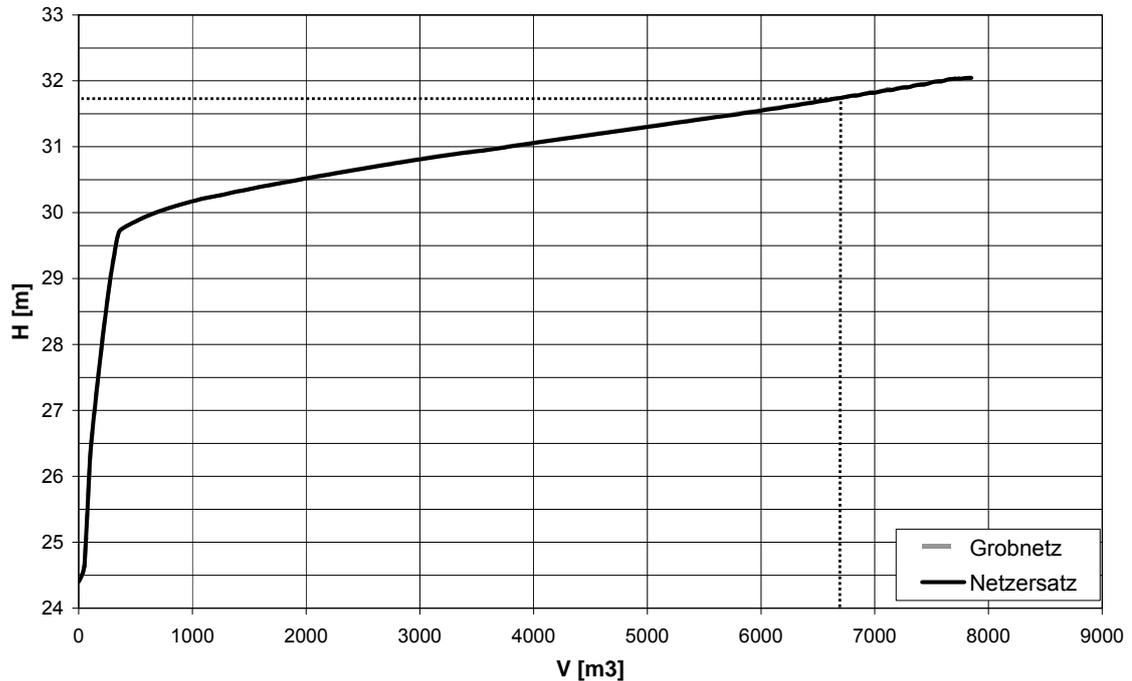
**Bild 2.13:** Grobnetz Berlin IX



**Bild 2.14:** Ersatznetz Berlin IX

| <b>Modelleigenschaften:</b> | <b>Grobnetz</b>          | <b>Netzersatz</b>   |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------|
| Kanallänge:                 | 18,08 km                 | 8,81 km             |
| Anzahl Haltungen:           | 100                      | 37                  |
| Anzahl Knoten:              | 106                      | 47                  |
| Pumpwerk                    | APw Berlin IX, Seestraße |                     |
| Knoten Bezeichnung:         | saugraum_Bln9            |                     |
| Maximale Förderung:         |                          |                     |
| Lokale Steuerung:           | 0,450 m <sup>3</sup> /s  |                     |
| Globale Steuerung:          | 0,600 m <sup>3</sup> /s  |                     |
| Regenbecken:                | RUEB Lützowplatz         |                     |
| Volumen:                    | 2000 m <sup>3</sup>      |                     |
| Füllung:                    | Freigefälle              |                     |
| Anzahl Regenüberläufe:      | 7                        | 5                   |
| Anzahl interner Überläufe:  | 4                        | 5                   |
| Speichervolumen:            | 6700 m <sup>3</sup>      | 6700 m <sup>3</sup> |
| Höhe Beckenfüllung:         | 31,75 mNN                | 31,75 mNN           |

(Bei diesen Netzen handelt es sich um das Speichervolumen ohne das Gebiet hinter dem Stauwehr)

**Speicherkenlinie:****Bild 2.15:** Speicherkenlinie Berlin IX**Tabelle 2.3:** Vergleich der Entlastungsvolumina zwischen Grobnetz und Ersatznetz Berlin IX für verschiedene Modellregen

| <b>Abweichung Entlastungsvolumen<br/>Ersatznetz / Grobnetz [%]</b> |       |
|--|-------|
| Modellregen n=0,5  | - 0,3 |
| Modellregen n=1  | - 0,2 |
| Modellregen n=2  | - 0,4 |

**2.3 Niederschlagsdaten 2002****2.3.1 Die Anwendung von Radardaten in der  
Siedlungswasserwirtschaft**

Radardaten zur Vorhersage von Niederschlägen finden vermehrt eine Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft, insbesondere für die Planung und den Betrieb von Abwassernetzen. Einfalt (2005) fasst die verschiedenen Anwendungen von Radardaten in der Hydrologie mit ihren Vor- und Nachteilen zusammen.

Ein Ziel der vorliegenden Studie ist es zu untersuchen, in wie fern eine

Prognose des Niederschlagsgeschehens die MW-Entlastungssituation verbessern könnte. Die Untersuchung wird anhand von vorhandenen Niederschlagsdaten (Kapitel 2.3.2) aus dem Jahr 2002 durchgeführt. In der Praxis müssten für die Berechnung der Niederschlagsprognose Radardaten verwendet werden.

Radardaten haben den Vorteil, eine räumliche Verteilung von Niederschlagsdaten wiederzugeben. Nachteilig ist die Fehlerquote, die aus der indirekten Messung entsteht. Investitionen in Radardaten lohnen sich nur, wenn der Nutzen, der dadurch erzielt wird, größer ist als die Investition. Dieser muss vorher abgeschätzt werden.

Einfalt (2005) unterscheidet zwei Arten von Anwendungen:

- **Die offline Anwendung zur**
  - generellen Beschreibung von Niederschlägen,
  - Analyse von extremen Niederschlagsereignissen (z.B. für Versicherungszwecke)
  - Design und Verbesserung von Abwassernetzen und Regenwasser-Rückhaltebecken.
  
- **Die online Anwendung zur**
  - Warnung,
  - qualitativen Steuerung, z.B. einer Kläranlage oder eines Hochwasserrückhaltebeckens,
  - quantitativen Steuerung, z.B. eines Abwasserkanalisationsnetzes
  - quantitativen Vorhersage für Flusseinzugsgebiete.

Die meisten Untersuchungen erfolgen zurzeit im Rahmen von Forschungsprojekten. Betriebliche Umsetzungen sind selten, damit sind die gesammelten Erfahrungen gering. Es liegen leider noch zu wenige Erfahrungen über den ökonomischen Nutzen vor und es wurden auch keine Standards zur Anwendung von Radardaten in der Siedlungswasserwirtschaft entwickelt. Begründet ist dieses dadurch, dass jedes System einzigartig ist und dass der Nutzen für jedes Netz überprüft werden muss.

### 2.3.2 Stationsdaten oder aufbereitete Niederschlagsdaten

Folgende Regenreihen, stehen in Berlin für das Jahr 2002 zur Verfügung:

- **Stationsdaten**

Es handelt sich um die ursprünglichen Niederschlagsdaten, die mit Regenschreibern gewonnen werden. Die Regenschreiber sind an Abwasserpumpwerken der Berliner Wasserbetriebe aufgestellt. Mittels Thysen-Polygonen wird festgelegt, welche Flächen von welchen Niederschlagsdaten theoretisch betroffen werden. Für das untersuchte Gebiet werden die drei Regenschreiber aus den Pumpwerken von Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX berücksichtigt.

- **Flächendaten**

Dies sind Daten, die von der Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung des Instituts für Meteorologie der FU Berlin erarbeitet wurden.

Bei der Ermittlung dieser Regenreihen wurden Regenschreiber der BWB, der FU und des deutschen Wetterdienstes aus dem gesamten Berliner Stadtgebiet berücksichtigt. Es handelt sich um 55 Datenserien mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten. Zusätzlich standen Tageswerte von 60 Stationen und Radarbilder aus dem BALTRAD Zentrum zur Verfügung. Nachdem die Daten überprüft, mit den Tageswerten verglichen und korrigiert wurden, wurden Regenreihen mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten für ein Raster von 500 x 500 m<sup>2</sup> definiert.

Pro Einzugsgebiet wurde eine Regenreihe berechnet. Die bebauten Flächen der Einzugsgebiete wurden als Polygon mit geographischen Koordinatenpunkten vorgegeben. Über ein hochaufgelöstes Gitter wurde für jedes dieser polygonumrandeten Felder der mittlere Flächenniederschlag bestimmt.

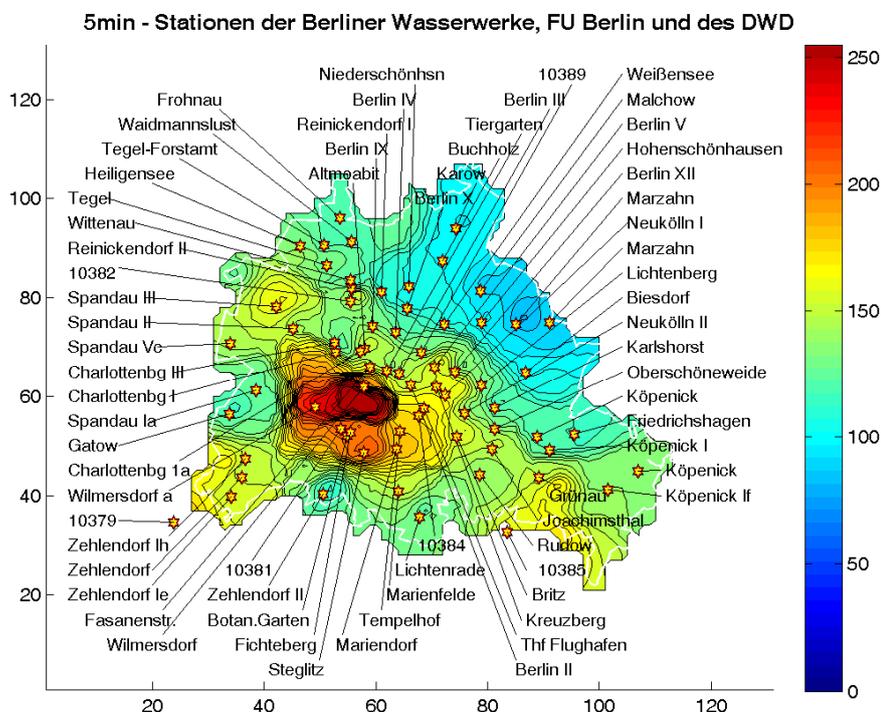
Die Flächendaten geben die tatsächlichen Regenereignisse besser wieder als die Stationsdaten, da bei ihrer Ermittlung die Morphologie der Gebiete und die räumliche Verteilung des Regens berücksichtigt werden.

Dagegen geben die Stationsdaten lokale Verhältnisse ausschließlich an den Pumpwerken wieder. Bei den Stationsdaten besteht das Risiko, dass lokal auftretende Regenereignisse, wie z.B. Sommergewitter, nicht berücksichtigt werden, wenn ein Regenschreiber von dem Ereignis nicht betroffen ist, das

zugeordnete Einzugsgebiet aber durch dieses Ereignis belastet wird.

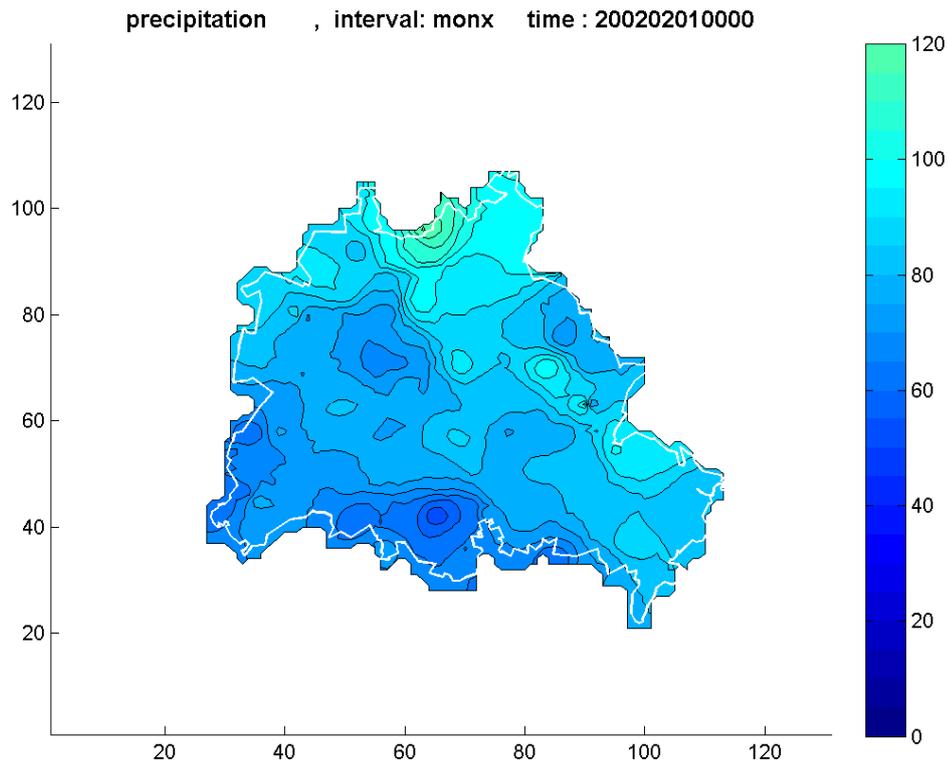
### 2.3.3 Wahl der Regendaten zur Prognoseermittlung

Die folgenden Radarbilder zeigen, wie unterschiedlich verteilt Regenereignisse auftreten können. In Bild 2.16 sind die Regenhöhen für den Monat August 2002 in Berlin dargestellt zusammen mit der Lage der Messstationen. Eine hohe Inhomogenität in der Regenverteilung ist zu erkennen, die maximalen Intensitäten sind auf wenige Quadratkilometer konzentriert. Für solche Ereignisse sind Flächendaten vorteilhaft.



**Bild 2.16:** Regenhöhen in Berlin in mm für den Monat August 2002

Eine andere typische Regenverteilung in Berlin ist in Bild 2.17 dargestellt. Im Winter sind die Regenintensitäten sehr homogen verteilt. Für solche Ereignisse sind Stationsdaten wahrscheinlich ausreichend.



**Bild 2.17:** Regenhöhen in Berlin in mm für den Monat Februar 2002

Der Monat August 2002 war in Bezug auf die Regensituation außergewöhnlich, sehr starke lokale Regenereignisse wurden registriert (Elbehochwasser).

Durch die Berücksichtigung der geomorphologischen Verteilung des Niederschlags in den Flächendaten sind hier geringere Unterschiede zwischen den Gebieten zu erwarten als bei den Stationsdaten.

Diese Annahme wird durch die Korrelationswerte der Regenreihen zwischen den Gebieten bestätigt (siehe Tabelle 2.4).

**Tabelle 2.4:** Korrelationskoeffizienten zwischen den Regenreihen der drei Gebiete Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX für das Jahr 2002, basierend auf a) den Stationsdaten und b) den Flächendaten

| <b>Einzugsgebiete</b> | <b>Stationsdaten</b> | <b>Flächendaten</b> |
|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Bln7-Bln8             | 0,26                 | 0,89                |
| Bln9-Bln8             | 0,67                 | 0,86                |
| Bln7-Bln9             | 0,26                 | 0,89                |

Bei den Stationsdaten sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den Gebieten gering, obwohl diese teils nahe beieinander liegen. Sie variieren zwischen 0,26

und 0,67. Dagegen sind sie bei den Flächendaten besonders hoch und schwanken nur gering zwischen 0,86 und 0,89.

**Tabelle 2.5:** Korrelationskoeffizienten zwischen den Stations- und den Flächendaten für die einzelnen Gebiete.

| <b>Gebiet</b> | <b>Korrelationskoeffizienten<br/>Flächen-/ Stationsdaten</b> |
|---------------|--|
| Bln7          | 0,35   |
| Bln8          | 0,41   |
| Bln9          | 0,51   |

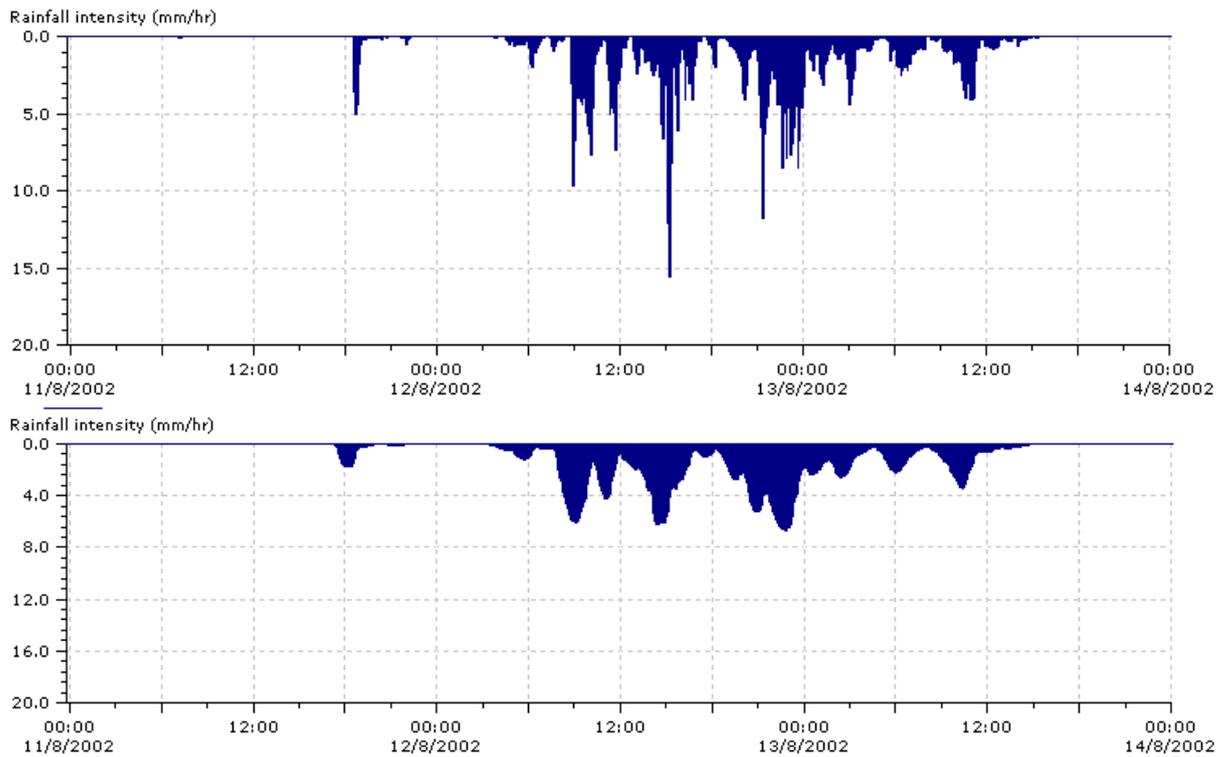
Zwischen den Reihen für die einzelnen Gebiete (Flächen- gegen Stationsdaten) sind die Korrelationskoeffizienten eher niedrig. Sie sind aber für alle Gebiete in der gleichen Größenordnung. Die Überarbeitung der Stationsdaten in Flächendaten führt zu großen Änderungen der einzelnen Regenintensitäten.

Die gesamten Regenhöhen für das Jahr 2002 sind dafür unterschiedlicher bei den Flächendaten als bei den Stationsdaten. Bei den Flächendaten ist Bln VII das regenreichste Gebiet, wogegen es bei den Stationsdaten Bln VIII ist. Die Regensmengen für ganz Berlin sind für beide Serien identisch.

**Tabelle 2.6:** Regenhöhen im Jahr 2002 für die Gebiete Bln VII, Bln VIII und Bln IX (Stationsdaten und Flächendaten)

|                    | <b>Berlin VII</b> | <b>Berlin VIII</b> | <b>Berlin IX</b> |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Stationsdaten [mm] | 657               | 665                | 608              |
| Flächendaten [mm]  | 765               | 592                | 577              |

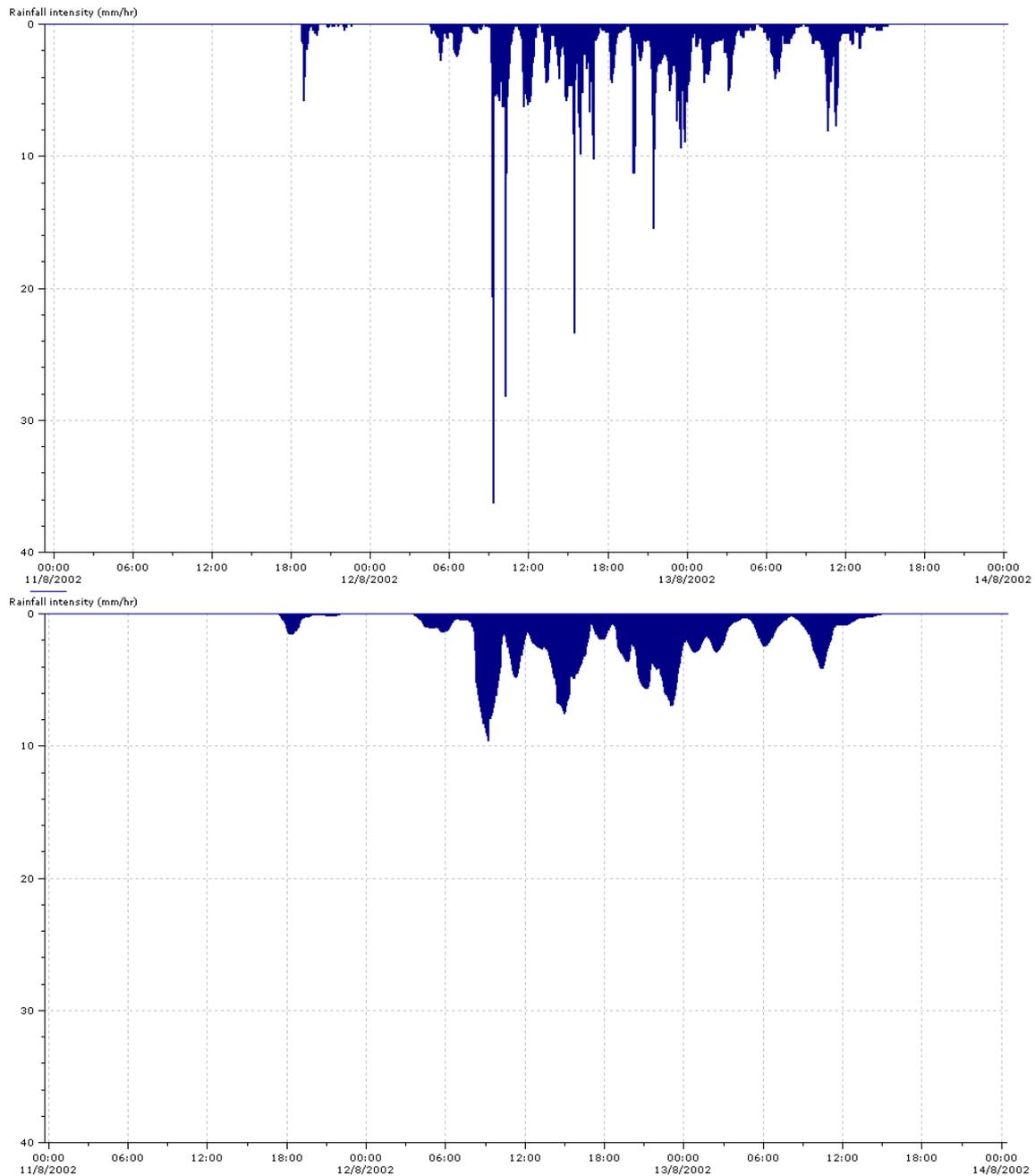
Die Auswirkung der Überarbeitung der Regendaten kann anhand eines Beispiels für das Ereignis am 11. bis 13. August 2002 gezeigt werden. In Bild 2.18 sind die Regenintensitäten für Berlin VII dargestellt. Die Überarbeitung führt zu einer räumlichen und zeitlichen Homogenisierung der Daten.



**Bild 2.18:** Regenintensität für den Zeitraum 11.8.-13.8.2002 in Berlin VII, Stationsdaten (oben) und Flächendaten (unten), (ein Wert alle 5 Minuten)

In Berlin VIII sind für denselben Zeitraum die in Bild 2.19 dargestellten Regenintensitäten aufgenommen worden. Die sehr hohen Intensitäten verschwinden bei den Flächendaten, da es sich um integrierte Werte über die Fläche handelt. Die Unterschiede zwischen den Gebieten werden durch die Überarbeitung eindeutig verringert.

Die Flächendaten sind die Regendaten, die die reale Situation am besten nachbilden. Lokale Ereignisse werden damit genauer wiedergegeben. Die Bewertung des Nutzens von online Niederschlagsdaten und von Prognosen aus Radardaten wird aus diesem Grund mit den Flächendaten durchgeführt. In Kapitel 2.3.4 wird gezeigt, welche Folge diese Entscheidung auf die Entlastungssituation in 2002 haben kann.



**Bild 2.19:** Regenintensität für den Zeitraum 11.8.-13.8.2002 in Berlin VIII, Stationsdaten (oben) und Flächendaten (unten), (Ein Wert alle 5 Minuten)

### 2.3.4 Auswirkung der Wahl der Regendaten auf die Berechnung der Entlastungssituation

Die beiden zuvor beschriebenen Niederschlagsreihen (Stationsdaten bzw. Flächendaten) führen zu unterschiedlichen Entlastungssituationen in den Untersuchungsgebieten.

Der Nutzen einer Steuerung begründet sich in der ungleichmäßigen Verteilung des Niederschlags, der auf das System trifft, und der ungleichmäßigen Anordnung des verfügbaren Speichervolumens im System. Es wird angenommen, dass die Bewertung unter Ansatz der Flächendaten negativer ausfallen wird, als eine Bewertung unter Ansatz der Stationsdaten. Der Ansatz der Flächendaten ist aber der realitätsnähere.

Um diese Annahme zu belegen, werden Langzeitsimulationen für das Jahr 2002 mit dem Kanalnetzrechnungsmodell InfoWorks CS mit beiden Niederschlagsreihen durchgeführt. Der Einfluss der unterschiedlichen Niederschlagsdaten auf die Entlastungssituation wird anhand der simulierten Jahresentlastungsvolumina ausgewertet.

Die Langzeitsimulationen erfolgen unter Anwendung zweier Steuerungskonzepte:

- lokale Steuerung
- globale Steuerung.

Die lokale Steuerung ist eine Abflusssteuerung, bei der alle Pumpwerke unabhängig von einander gesteuert werden. Jedes Pumpwerk wird nach eigenen Regeln gesteuert, unabhängig von den weiteren Pumpwerken, die zu derselben Kläranlage fördern.

Aufgrund der Bestrebungen nach einer Reduktion der Gewässerverschmutzung, die durch die Wasserrahmrichtlinien (EU, 2000) gefordert wird, sind die Kanalnetze so zu betreiben, dass ihre Kapazität in ihrer Vollständigkeit genutzt wird. Dies ist möglich durch die Anwendung einer so genannten „globalen Steuerung“. Ein globales Steuerungskonzept wurde im ISM-Projekt (Pawlowsky-Reusing und Schoeder, 2006) entwickelt. Dort erfolgte der modelltechnische Nachweis, dass für ausgewählte Einzugsgebiete eine Verbesserung der Entlastungssituation durch eine globale Steuerung möglich ist. Diese Abflusssteuerung erfolgt gemäß dem Merkblatt DWA-M 180 (2005).

Bei Trockenwetter werden die Pumpwerke generell lokal gesteuert. Wenn ein gegebener Pegel im Stauraum eines Pumpwerkes erreicht wird - direkte Folge eines Regenereignisses - werden die Pumpwerke global gesteuert. Das bedeutet, dass die Förderung eines Pumpwerks in Abhängigkeit der Netzauslastung im Vergleich zur Auslastung der anderen Netze erfolgt. Vollständig gefüllte Netze fördern verhältnismäßig mehr Mischwasser in die

Kläranlage als geringer gefüllte Netze. Dadurch wird angestrebt, verfügbare Speicherkapazitäten in den Netzen möglichst gleichmäßig zu nutzen. Maximal dürfen bei der globalen Steuerung  $2 \cdot Q_{t,16}$  zur Kläranlage gefördert werden (nach Regelverteilung). Für die drei untersuchten Gebiete sind das in der Summe  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die Entlastungsvolumina für das Jahr 2002 sind in der Tabelle 2.7 zusammengefasst. Der Erfolg einer Steuerung wird über die Reduktion des Entlastungsvolumens ausgedrückt.

**Tabelle 2.7:** Nutzen einer globalen Pumpwerkssteuerung gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 simuliert mit den Stationsregendaten und den Flächenregendaten.

|   | Stationsdaten | Flächendaten |
|---|---------------|--------------|
| Entlastung Lokale Steuerung [m3]                      | 749.575       | 740.762      |
| Entlastung Globale Steuerung [m3]                     | 705.320       | 721.304      |
| Reduktion Entlastung globale/<br>lokale Steuerung [%] | 5,9           | 2,6          |

Bei einer lokalen Steuerung stellt sich unter Ansatz der Stationsregendaten für das Jahr 2002 die Entlastungssituation schlechter dar als unter Ansatz der Flächenregendaten.  $749.575 \text{ m}^3$  Mischwasser fließen in die Berliner Gewässer bei einer Simulation mit den Stationsdaten, mit den Flächendaten sind es ca.  $9.000 \text{ m}^3$  weniger.

Wie vermutet führt die globale Steuerung mit den Stationsdaten zu einem größeren Nutzen als mit den Flächendaten.

Der Nutzen der globalen Steuerung ist für die hier untersuchten Gebiete insgesamt geringer als erwartet und geringer als im ISM-Projekt ermittelt. Das kann zwei Gründe haben:

- Das simulierte Jahr: Im ISM-Projekt wurde mit Niederschlagsreihen aus 2005-2006 gearbeitet, wogegen die vorliegende Studie Niederschläge aus dem Jahr 2002 berücksichtigt.
- Die Unterschiede zwischen den betrachteten Kanalnetzen im ISM-Projekt und in der vorliegenden Studie: Im ISM-Projekt wurde mit unsanierten Netzen gearbeitet, wohingegen der vorliegenden Studie

ausschließlich sanierte Netze zugrunde gelegt wurden, das heißt in den betrachteten Netzen liegen ähnlichen Speicherkapazitäten vor.

### **Erfolgsminderung der globalen Steuerung gegenüber dem Ergebnis im ISM-Projekt durch die Wahl der Niederschlagsdaten**

Im Jahr 2002 (Jahr des Elbe-Hochwassers) waren die Niederschläge im Monat August sehr hoch und großflächig verteilt. Bei extremen Ereignissen, wie im August 2002, bringt die globale Steuerung keinen Nutzen mehr für die Entlastungssituation, da es in allen Netzen zum Überstau kommt. Die Entlastungsvolumina sind auch so hoch, dass sie die Jahresmenge dominieren. Dieselbe Auswertung, aber ohne Berücksichtigung der Entlastungsvolumina im Niederschlagsreichen Monat August 2002, wird in Tabelle 2.8 dargestellt.

**Tabelle 2.8:** Erfolg der globalen Steuerung gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 mit den Stationsregendaten und den Flächenregendaten. Ergebnis von Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS ohne August 2002

|                                    | <b>Stationsdaten</b> | <b>Flächendaten</b> |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Entlastung Lokale Steuerung [m3]   | 406.737              | 239.243             |
| Entlastung Globale Steuerung [m3]  | 361.811              | 220.336             |
| Nutzen Verbesserung Entlastung [%] | 11,1                 | 7,9                 |

Im August finden die größten Entlastungen statt. Unter Ansatz der Stationsdaten kommen ca. 50% des Jahresentlastungsvolumens im August zum Überlauf, bei den Flächendaten sind es ca. 70%. Das gesamte Netz ist bei den Regenereignissen im August so überlastet, dass keine Steuerung mehr möglich ist.

Alle weiteren Untersuchungen werden ohne den Monat August ausgewertet, damit eine aussagekräftige Bewertung des Einflusses der Prognosen erfolgen kann.

### **Erfolgsminderung der globalen Steuerung durch die Verwendung von sanierten Netzen**

Im ISM-Projekt wurden unsanierte Netze in Betracht gezogen, wobei für die aktuelle Untersuchung nur noch mit sanierten Netzen gearbeitet wird. Die Berliner Wasserbetriebe planen für ganz Berlin, eine Sanierung des

Kanalnetzes durchzuführen, mit dem Ziel, die Emissionen zu reduzieren. Die Sanierung führt zu einer Vergleichmäßigung der Speicherkapazitäten der Netze. Der Nutzen einer globalen Steuerung wird dadurch gemindert und ist ausschließlich durch die Unterschiede in der Überregnung bedingt.

### Erhöhung von $Q_{\max}$ einzelner Gebiete

Bei der globalen Steuerung wird eine maximale Förderung zur Kläranlage pro Pumpwerk vorgegeben. Die maximale Förderung  $Q_{\max}$  der einzelnen Pumpwerke wird für diese theoretische Studie neu definiert, damit alle drei betrachteten Gebiete die gleiche Steuerungskapazität besitzen. Der maximale Förderstrom zur Kläranlage bleibt dabei unverändert.

Das Verhältnis von  $Q_{\max}$  zur Regelförderung  $2 \cdot Q_{t,16}$  (bzw.  $3 \cdot Q_{t,16}$  in Bln VIII) wird in allen Gebieten für diese Untersuchung gleich gesetzt und entspricht dem Faktor von 1,45, so dass  $Q_{\max}$  von Bln VII und Bln IX erhöht werden.

**Tabelle 2.9:** Neue Definition der maximalen Förderung der Einzugsgebiete  $Q_{\max}$  zur Kläranlage

|                 | $Q_{\max}$ [l/s] | $2 \cdot Q_{t,16}$ [l/s] | $Q_{\max\text{-neu}}$ [l/s] |
|-----------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Bln VII</b>  | 500              | 420                      | 610                         |
| <b>Bln VIII</b> | 1.000            | 690                      | 1.000                       |
| <b>Bln IX</b>   | 600              | 450                      | 650                         |

Langzeitsimulationen der globalen Steuerung für 2002 werden mit den neuen Werten für  $Q_{\max}$  durchgeführt. Die Entlastungsvolumen sind in Tabelle 2.10 zusammengefasst.

**Tabelle 2.10:** Nutzen der globalen Steuerung, gemessen am Entlastungsvolumen für das Jahr 2002 mit den Stationsdaten und mit den Flächendaten, Ergebnis von Langzeitsimulationen mit InfoWorks CS ohne den Monat August,  $Q_{\max}$  neu definiert.

|  | <b>Stations-</b><br><b>daten</b> | <b>Flächen-</b><br><b>daten</b> |
|--|----------------------------------|---------------------------------|
| Entlastung Lokale Steuerung [m <sup>3</sup> ]                            | 406.738                          | 239.243                         |
| Entlastung Globale Steuerung mit $Q_{\max\text{-neu}}$ [m <sup>3</sup> ] | 349.635                          | 210.371                         |
| Nutzen durch Entlastungsreduzierung [%]                                  | 14,0                             | 12,1                            |

Die Reduktion der Entlastungsmengen von 14% unter Ansatz der Stationsdaten entspricht der aus dem ISM-Projekt.

Die Untersuchungen der Niederschlagsdaten haben für das Projekt zu den folgenden Entscheidungen geführt:

- Es werden die Flächenregendaten berücksichtigt, da sie die Realität besser beschreiben und somit realistischere Kanalnetzrechnungen ermöglichen.
- Der Nutzen der Integration von Online Niederschlagsdaten bzw. von Prognosen aus Radardaten wird ohne den Monat August beurteilt, da in diesem Monat außergewöhnliche Regenereignisse stattgefunden haben, die eine Beurteilung verfälschen würden.
- Bei der globalen Steuerung werden für einzelne Gebiete die Werte für  $Q_{\max}$  in  $Q_{\max\text{-neu}}$  erhöht, um ein gleichmäßiges Steuerungsvermögen in den Gebieten zu simulieren.

Inwiefern eine Verbesserung der Entlastungssituation durch die Integration von Niederschlags- oder Niederschlagsprognose-Informationen erzielbar ist, wird im Kapitel 3 diskutiert.

## 2.4 Die Prognosen

In dieser Studie wird untersucht, inwiefern online verfügbare Niederschlagsinformationen aus Regenschreibern ( $Q_{\text{prog}}$ ) und/oder Prognosen aus Radardaten ( $R_{\text{prog}}$ ) die Steuerung der Abwaspumpwerke und somit die Entlastungssituation verbessern können. Dafür werden zwei Arten von Prognosen untersucht und in die globale Steuerung integriert:

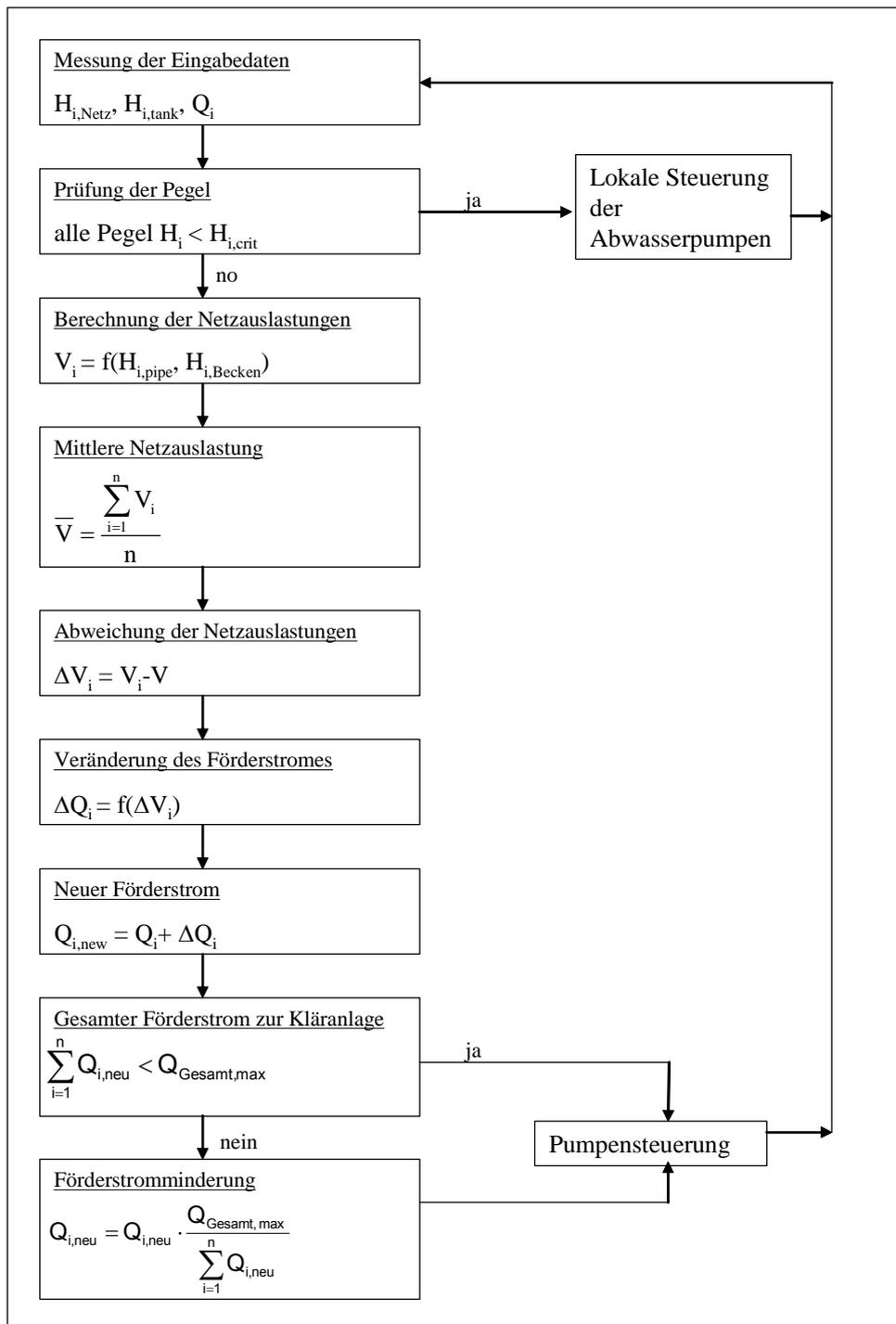
- **$Q_{\text{prog}}$ :**

$Q_{\text{prog}}$  ist das Volumen aus dem Niederschlag, welcher schon gefallen ist, aber noch nicht am Pumpwerk eingetroffen ist. Die Niederschlagsinformationen können in der Praxis aus der Online-Übertragung von Regenschreibermessungen gewonnen werden.

- **$R_{\text{prog}}$ :**

$R_{\text{prog}}$  ist das Volumen des prognostizierten Niederschlags, welches innerhalb der kommenden Stunde erwartet wird. Zu seiner Ermittlung ist eine Niederschlagsvorhersage notwendig. Niederschlagsvorhersagen können aus Radarmessungen stammen, deren Genauigkeit und Auflösung

vom Stand der Technik abhängt. Zurzeit ist eine sichere quantitative Prognose auf maximal eine Stunde begrenzt. Im Rahmen der hier durchgeführten Simulationen wurden für Rprog die vorhandenen Niederschlagsdaten und die Annahme einer perfekten Prognose (perfect prog) zugrunde gelegt.



**Bild 2.20:** Algorithmus der globalen Steuerung aus Schroeder et al. 2004

Für diese Studie werden für die Ermittlungen von Qprog und Rprog als Niederschlagsinformationen die Flächendaten aus dem Jahr 2002 verwendet. Die Prognosen werden in den aus dem ISM Projekt verfügbaren Algorithmus der globalen Steuerung integriert (Bild 2.20).

Die „Berechnung der Netzauslastung“ erfolgt bei der globalen Steuerung (Bild 2.20) unter Berücksichtigung der Auslastung des Kanalnetzes und der Auslastung des Regenüberlaufbeckens eines Gebietes, d.h. für ein Einzugsgebiet i:

$$V_i = f(H_{i,Netz}, H_{i,Becken})$$

Die Prognosen werden nun bei der Berechnung der Netzauslastung zusätzlich berücksichtigt. Für jedes Gebiet wird ein prognostiziertes Volumen bestimmt, das der Differenz zwischen der Prognose für dieses Gebiet und der mittleren Prognose aller Gebiete entspricht. Dieses Volumen kann  $V(Qprog_i)$  für die Prognose aus Qprog bzw.  $V(Rprog_i)$  für die Prognose aus Rprog genannt werden. Diese Volumina können daher positiv oder negativ sein, so dass sie zu einer virtuellen zusätzlichen Belastung bzw. Entlastung des Einzugsgebietes führen.

Der Schritt „Berechnung der Netzauslastung“ aus dem Algorithmus der globalen Steuerung (Bild 2.20) wird ersetzt durch:

$$V_i = f(H_{i,Netz}, H_{i,Becken}) + \alpha * V(Qprog_i) \quad \text{für die Prognose Qprog}$$

$$V_i = f(H_{i,Netz}, H_{i,Becken}) + \beta * V(Rprog_i) \quad \text{für die Prognose Rprog}$$

$\alpha$  und  $\beta$  sind Wichtungskoeffizienten. Sie werden heuristisch ermittelt, d.h. in Abhängigkeit der erzielten Überlaufmengenreduzierung.

Genauere Erläuterungen zu diesen Prognosen werden in den folgenden Kapiteln gegeben.

### 2.4.1 Definition von Qprog

Zur Berechnung von Qprog müsste für jede Fläche und jedes Niederschlagsereignis vorhergesagt werden, welche Verweildauer ein Regentropfen im Netz hat.

Die Dauer zwischen dem Zeitpunkt, in dem der Niederschlag fällt und der

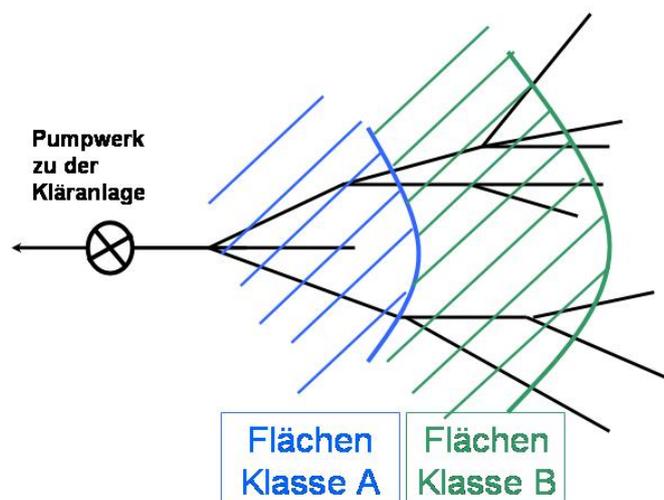
Ankunft des Regenwassers am Pumpwerk (Verweildauer), hängt von vielen verschiedenen Parametern ab, u.a.:

- den Bodeneigenschaften,
- dem Gebietsgefälle,
- der Kanalnetzgeometrie,
- der Kanallänge,
- aber auch vom Füllstand des Kanalnetzes.

Aufgrund der vielen, verschiedenen Einflussfaktoren ist eine genaue Ermittlung der Verweildauer nicht möglich. Zur groben Ermittlung der Verweildauer von Niederschlägen im Netz, werden für jede einzelne Fläche Simulationen mit InfoWorks CS durchgeführt, für die die Ausladungsdauer berechnet wird. Mehrere Lastfälle werden für jede Fläche simuliert:

- Zwei verschiedene Netzauslastungen:
  - das Netz ist am Anfang der Simulation leer
  - das Netz ist teilgefüllt
- Drei Modellregen der Häufigkeiten  $n=0,5$ ,  $n=1$  und  $n=2$

Die Verweildauer wird ermittelt als der Zeitabstand zwischen der Niederschlagsspitze und der Abflussspitze am Pumpwerk. Eine mittlere Verweildauer über die Ergebnisse der simulierten Lastfälle wird dann berechnet.



**Bild 2.21:** Flächeneinteilung in Klassen

Die Flächen werden in Abhängigkeit der ermittelten Verweildauer, der Differenz zwischen Niederschals- und Abflussspitze, in Klassen eingeteilt (s. Tabelle 2.11). Sie werden einer festen Auslastungsdauer  $D_i$  für die Berechnung von  $Q_{prog}$  zugeordnet.

**Tabelle 2.11:** Flächeneinteilung in Abhängigkeit der Verweildauer der Niederschläge im Netz, Zeitabstand zwischen Niederschlags- und Abflussspitze am Pumpwerk

| Flächenklasse | Verweildauer zur<br>Flächenaufteilung in<br>min:ss | zugeordnete<br>Auslastungsdauer $D_i$ zur<br>$Q_{prog}$ -Berechnung |
|---------------|--|---|
| A             | 0 – 9:59   | 1 min.  |
| B             | 10 – 29: 59  | 10 min.   |
| C             | 30 – 49:59   | 30 min.   |
| D             | 50 – 79:59   | 50 min.   |
| E             | > 80 min.  | 80 min.   |

Die Bestimmung des Volumens  $Q_{prog}$  erfolgt, wie folgt:

Zu einem Zeitpunkt  $t_0$  werden alle Flächen einem Zeitraum  $T_i$  (Auslastungszeitraum) zugeordnet.  $T_i$  entspricht der unteren Grenze der Verweildauer einer Flächenklasse.

Die  $T_i$  -Werte der verschiedenen Flächenklassen dieser Studie sind in Tabelle 2.12 eingegeben.

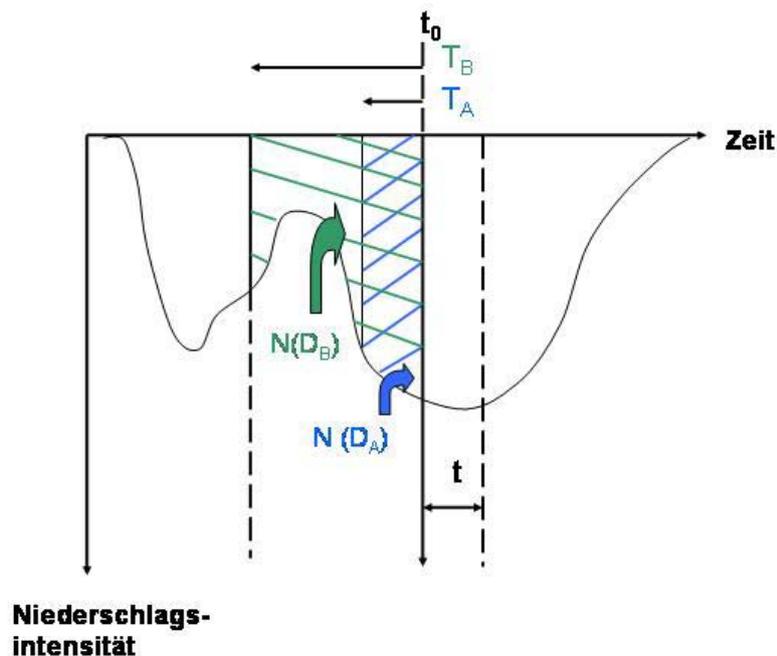
**Tabelle 2.12:** Definition der Auslastungszeiträume  $T_i$  zur Berechnung der Abflussprognose einer Flächenklasse

| Flächenklasse | Abflussvolumen<br>der<br>Flächenklasse | Auslastungsdauer | Auslastungszeitraum<br>$T_i$ zur Berechnung<br>Abflussvolumen |
|---------------|--|------------------|---|
| A             | $V_A$                                  | $D_A$            | $t_0-t$   |
| B             | $V_B$                                  | $D_B$            | $t_0-9:59$ bis $t_0$  |
| C             | $V_C$                                  | $D_C$            | $t_0-29:59$ bis $t_0$   |
| D             | $V_D$                                  | $D_D$            | $t_0-49:59$ bis $t_0$   |
| E             | $V_E$                                  | $D_E$            | $t_0-79:59$ s bis $t_0$                                       |

Das Auslastungsvolumen  $V_i$  einer Flächenklasse wird für einen gegebenen Zeitschritt (Rechenzeitschritt) als das Volumen berechnet, das zur

Netzauslastung aus dieser Flächenklasse beiträgt. Es ist die Summe des Niederschlagsvolumens über den zugeordneten Zeitraum  $T_i$ .

Beispiel:  $V_B$  ist der Abflussvolumen aus dem Niederschlag der letzten 10 Minuten für eine Fläche der Klasse B.



**Bild 2.22:** Prinzipskizze zur Berechnung von  $Q_{prog}$

Das Auslastungsvolumen einer Flächenklasse  $i$  beträgt:

$$V_i = \left( \sum_{t=t_0}^{T_i} N_t \right) \times F_i$$

$V_i$  Auslastungsvolumen einer Flächenklasse  $i$  in  $[m^3]$

$N_t$  Niederschlag aus dem Zeitraum  $T_i$  in  $[m]$

$F_i$  Größe der befestigten Fläche der Klasse  $i$  in  $[m^2]$

$Q_{prog_G}$  ist die Summe der Auslastungsvolumen aller Teilflächen eines Pumpwerkeinzugsgebietes. Damit alle Flächen dieselbe Gewichtung innerhalb  $Q_{prog}$  erhalten, werden die Flächenvolumen durch die Auslaufsdauer der Flächen geteilt.

$$Q_{\text{prog}_G} = \sum_i \left( \frac{V_i}{T_i} \right) \times t$$

|                     |   |
|---------------------|---|
| $Q_{\text{prog}_G}$ | Auslastungsvolumen eines Pumpwerkeinzugsgebietes in [m <sup>3</sup> ] |
| $V_i$               | Auslastungsvolumen einer Flächenklasse in [m <sup>3</sup> ]           |
| $T_i$               | Zeitraum in [Minuten]   |
| $t$                 | Länge des Berechnungsschrittes in [Minuten]                           |

Das Auslastungsvolumen  $Q_{\text{prog}}$  für das gesamte untersuchte Gebiet beträgt:

$$Q_{\text{prog}} = \sum_G \frac{Q_{\text{prog}_G}}{a}$$

|                     |  |
|---------------------|--|
| $Q_{\text{prog}}$   | Mittleres Auslastungsvolumen aller Pumpwerksgebiete in [m <sup>3</sup> ] |
| $Q_{\text{prog}_G}$ | Auslastungsvolumen eines Pumpwerksgebietes in [m <sup>3</sup> ]          |
| $a$                 | Anzahl der Gebiete   |

### **Berücksichtigung von $Q_{\text{prog}}$ in der globalen Steuerung:**

Für die Steuerung wird für ein gegebenes Pumpwerkseinzugsgebiet die Differenz der Prognose dieses Gebietes  $Q_{\text{prog}_G}$  und der Prognose  $Q_{\text{prog}}$  des gesamten Untersuchungsgebietes berechnet.

Für die Gebiete dieser Studie:

- Für Berlin VII:  $V(Q_{\text{prog}_{\text{Berlin VII}}}) = Q_{\text{prog}_{\text{Berlin VII}}} - Q_{\text{prog}}$
- Für Berlin VIII:  $V(Q_{\text{prog}_{\text{Berlin VIII}}}) = Q_{\text{prog}_{\text{Berlin VIII}}} - Q_{\text{prog}}$
- Für Berlin IX:  $V(Q_{\text{prog}_{\text{Berlin IX}}}) = Q_{\text{prog}_{\text{Berlin IX}}} - Q_{\text{prog}}$

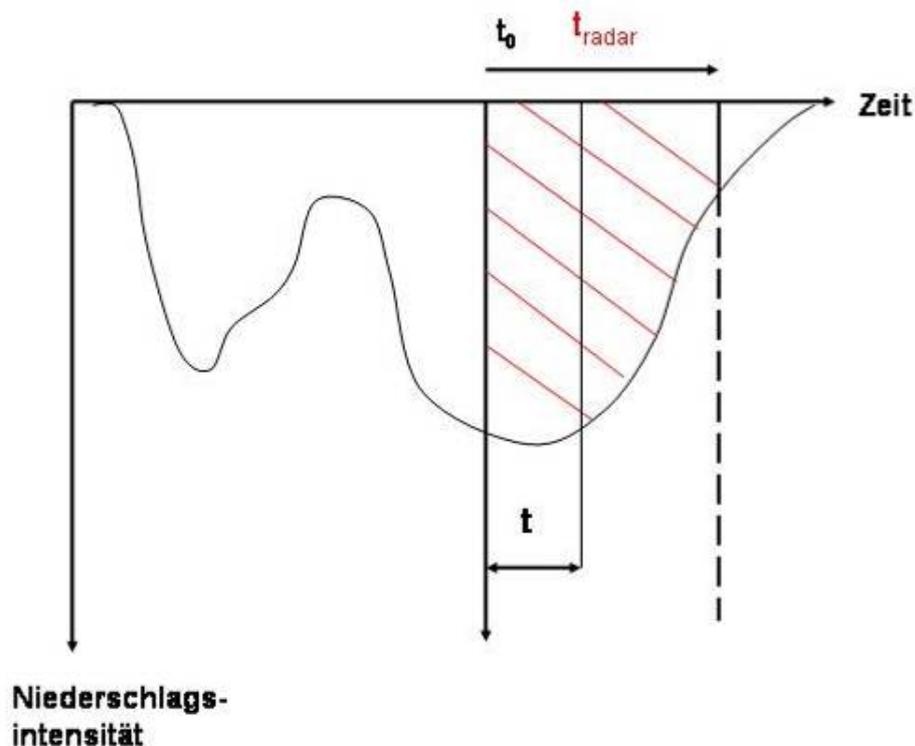
Diese Differenzen werden zu dem aktuellen gemessenen Füllstand eines Gebietes addiert. Je nach dem, ob die Differenz positiv oder negativ ist, wird das Netz virtuell zusätzlich belastet bzw. entlastet. Zu jedem Rechenzeitschritt wird  $Q_{\text{prog}}$  neu berechnet.

### 2.4.2 Definition von Rprog

Bei Rprog wird der Niederschlag berücksichtigt, der für die darauf folgende Stunde des Berechnungszeitpunktes prognostiziert wird.

Die Abflussvolumina aus dem prognostizierten Niederschlag fließen, wie bei Qprog, in die Steuerung mit ein, indem der aktuelle gemessene Füllstand durch die Prognose virtuell belastet bzw. entlastet wird.

Bei dieser Prognose Rprog wird die Verzögerung zwischen dem Regenzeitpunkt des Regens und der Ankunft des Abflusses am Pumpwerk nicht berücksichtigt. Qprog und Rprog werden unabhängig voneinander betrachtet.



**Bild 2.23:** Prinzipskizze zur Berechnung von Rprog

Das prognostizierte Abflussvolumen  $V_G$  eines Gebietes beträgt:

$$V_G = \left( \sum_{t=0}^{t_{\text{radar}}} N_t \right) \times F_G$$

$V_G$  prognostiziertes Abflussvolumen eines Gebietes in  $[m^3]$

$N_t$  Prognostizierter Niederschlag zum Zeitpunkt  $t$  in  $[m]$

$F_G$  Größe der befestigten Fläche eines Gebietes in  $[m^2]$

Das prognostizierte Volumen  $R_{\text{prog}_G}$  für einen gegebenen Zeitschritt beträgt:

$$R_{\text{prog}_G} = \frac{V_G}{t_{\text{radar}}} \times t$$

|                     |   |
|---------------------|---|
| $R_{\text{prog}_G}$ | Prognostiziertes Auslastungsvolumen für einen Zeitschritt in $[\text{m}^3]$ |
| $V_G$               | prognostiziertes Abflussvolumen eines Gebietes in $[\text{m}^3]$            |
| $t_{\text{radar}}$  | Zeitraum der Prognose in [s], hier 1 Stunde (3600 s)                        |
| $t$                 | Länge des Rechenzeiteschrittes in [s]                                       |

Das prognostizierte  $R_{\text{prog}}$  aller Pumpwerkeinzugsgebiete beträgt:

$$R_{\text{prog}} = \sum_G \frac{R_{\text{prog}_G}}{a}$$

|                     |  |
|---------------------|--|
| $R_{\text{prog}}$   | Mittleres prognostiziertes Auslastungsvolumen aller Pumpwerksgebiete in $[\text{m}^3]$ |
| $R_{\text{prog}_G}$ | Prognostiziertes Auslastungsvolumen eines Gebietes in $[\text{m}^3]$                   |
| $a$                 | Anzahl der Gebiete   |

### **Berücksichtigung von $R_{\text{prog}}$ in die Steuerung:**

Für die Steuerung wird die Differenz zwischen der Prognose eines gegebenen Gebietes  $R_{\text{prog}_G}$  und der Prognose für das gesamte Untersuchungsgebiet  $R_{\text{prog}}$  berechnet.

Für die Gebiete dieser Studie:

- Für Berlin VII:  $V(R_{\text{prog}_{\text{Berlin VII}}}) = R_{\text{prog}_{\text{Berlin VII}}} - R_{\text{prog}}$
- Für Berlin VIII:  $V(R_{\text{prog}_{\text{Berlin VIII}}}) = R_{\text{prog}_{\text{Berlin VIII}}} - R_{\text{prog}}$
- Für Berlin IX:  $V(R_{\text{prog}_{\text{Berlin IX}}}) = R_{\text{prog}_{\text{Berlin IX}}} - R_{\text{prog}}$

Diese Differenzen werden zu den aktuellen gemessenen Füllständen eines Gebietes addiert. Je nach dem, ob die Differenz positiv oder negativ ist, wird das Netz virtuell zusätzlich belastet bzw. entlastet. Zu jedem Rechenzeiteschritt wird  $R_{\text{prog}}$  neu berechnet.

### 3 Ergebnisse

Bei der Auswertung der Langzeitsimulationen wird zuerst das Gesamtentlastungsvolumen aller Regenüberläufe im Jahr 2002 ermittelt. Das Volumen, das sich aus der Simulation unter Berücksichtigung der Prognose-Bausteine ergibt, wird mit dem aus der globalen Steuerung ohne Berücksichtigung der Prognose-Bausteine verglichen. Somit kann der Nutzen der beiden Prognosen Qprog und Rprog bewertet werden.

Dann werden die einzelnen Ereignisse, während der es zu Entlastungen kommt, im Detail ausgewertet.

Im Jahr 2002 finden bei einer *lokalen Steuerung* der Pumpwerke insgesamt 18 Mischwasserentlastungen statt. Bei einer *globalen Steuerung* sind es nur noch 16 Ereignisse. Wenn das Netz global gesteuert wird und der maximal mögliche Förderstrom einzelner Gebiete  $Q_{\max}$  auf  $Q_{\max\text{-neu}}$  erhöht wird, sind es nur noch 14 Niederschlagsereignisse, die zu einer Entlastung führen.

Die Berücksichtigung der *Prognosen Qprog und Rprog* verbessert die Entlastungssituation zwar geringfügig, reduziert die Anzahl der Entlastungsereignisse aber nicht weiter.

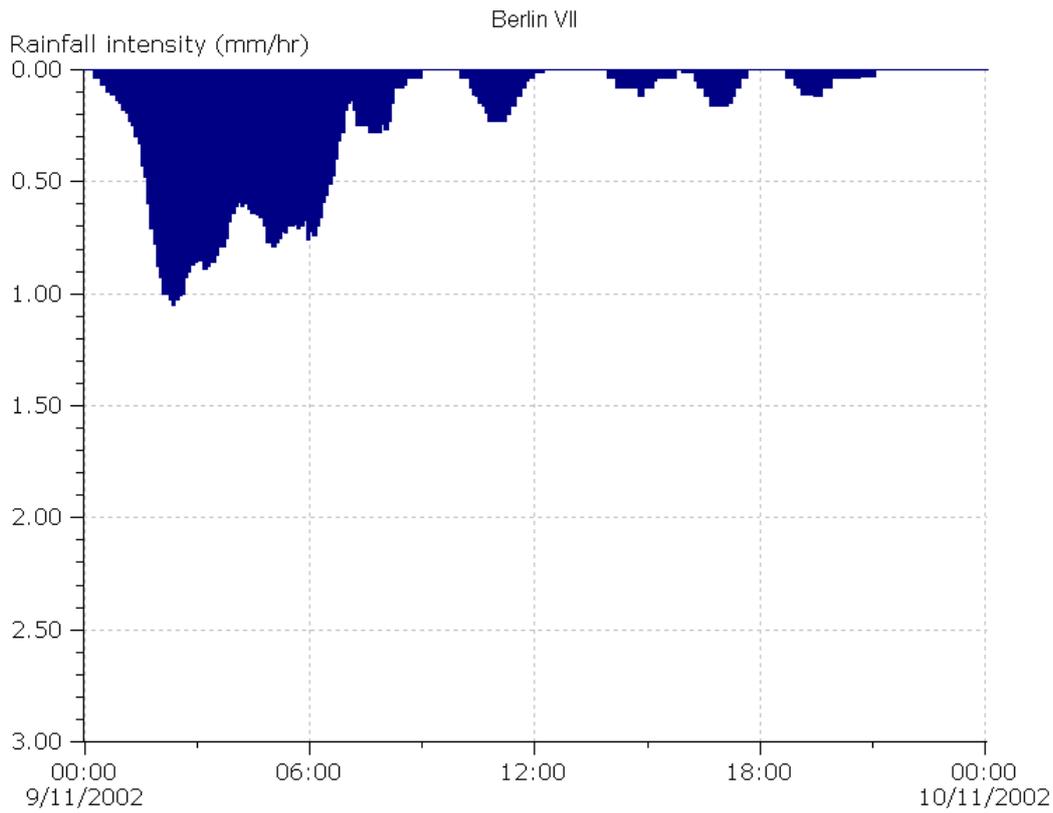
Die zugehörigen Kennzahlen der Niederschläge, die zu einer Entlastung führen, sind in Tabelle 3.1 dargestellt. Es sind nur 16 Niederschlagsereignisse aufgeführt, da zwei Ereignisse zu einer 2-fachen Entlastung geführt haben.

Die größten Reduktionen werden bei mittleren Niederschlagsereignissen erzielt, die auf den Gebieten ungleichmäßig verteilt sind. Bei sehr starken Regen, die in allen drei Gebieten zu Entlastungen führen, wirkt die Prognose bzw. die Steuerung nicht mehr, da die Steuerung in Abhängigkeit der im Netz noch vorhandenen Speichervolumen erfolgt. Bei Ereignissen mit ähnlichen Niederschlagsprofilen in den Teilgebieten können die Speicherräume in den Netzen nicht ausgesteuert werden, da sie ähnlich belastet sind.

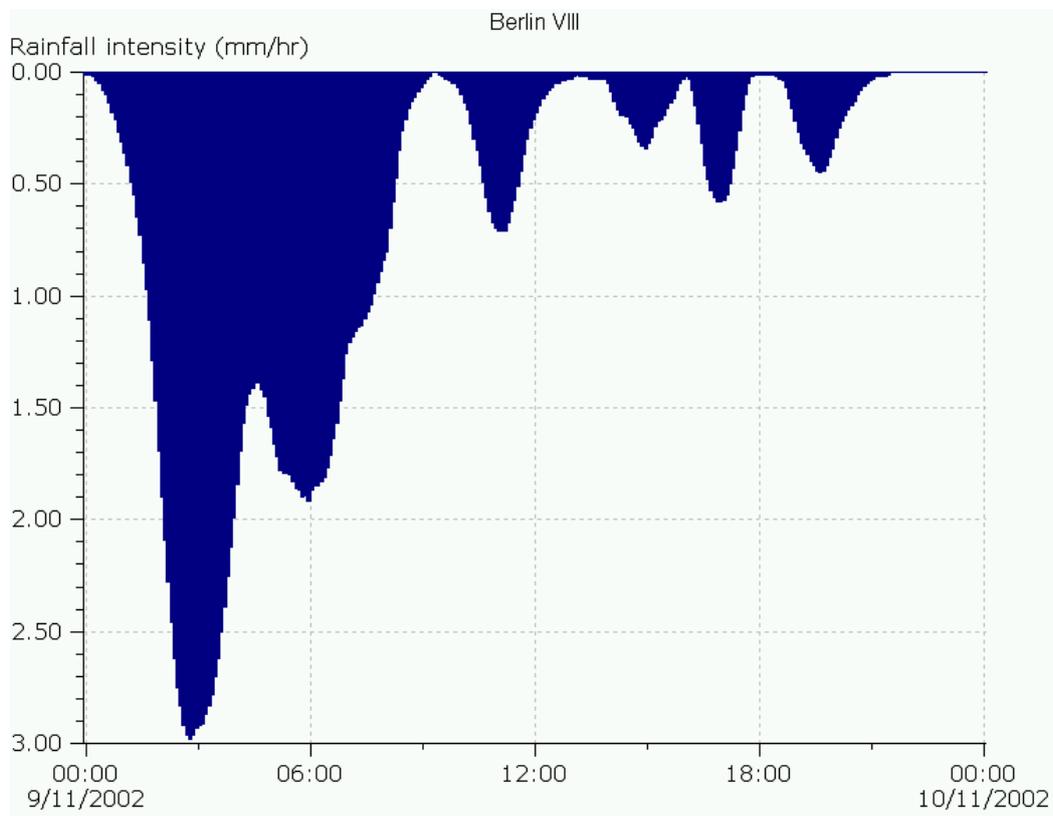
**Tabelle 3.1:** Niederschlagsereignisse mit Entlastung im Jahr 2002

|     | Regenbeginn |       | Regenende |       | Regen<br>Bln VII | Regen<br>Bln VIII | Regen<br>Bln IX |
|-----|-------------|-------|-----------|-------|------------------|-------------------|-----------------|
|     |             |       |           |       | [mm]             | [mm]              | [mm]            |
| R1  | 25.02       | 19:25 | 26.02     | 19:15 | 21.2             | 19.4              | 20.6            |
| R2  | 14.04       | 23:05 | 15.04     | 20:25 | 18.4             | 12.8              | 11.4            |
| R3  | 23.05       | 15:00 | 24.05     | 14:40 | 28.              | 14.7              | 9.7             |
| R4  | 10.06       | 11:10 | 10.06     | 20:45 | 6.9              | 4.4               | 7.0             |
| R5  | 02.07       | 10:05 | 02.07     | 22:30 | 9.0              | 6.8               | 6.7             |
| R6  | 21.07       | 10:05 | 21.07     | 23:00 | 12.1             | 7.9               | 6.2             |
| R7  | 22.07       | 07:45 | 22.07     | 16:30 | 7.4              | 3.6               | 9.9             |
| R8  | 05.08       | 00:00 | 05.08     | 22:30 | 46.5             | 39.0              | 39.9            |
| R9  | 12.08       | 02:45 | 13.08     | 16:10 | 72.2             | 86.9              | 64.1            |
| R10 | 28.08       | 17:20 | 29.08     | 00:05 | 23.6             | 8.2               | 1.3             |
| R11 | 21.09       | 13:10 | 23.09     | 17:25 | 43.1             | 41.5              | 17.9            |
| R12 | 05.10       | 02:35 | 06.10     | 14:25 | 46.1             | 23.4              | 40.1            |
| R13 | 13.10       | 02:10 | 15.10     | 08:05 | 15.0             | 7.2               | 14.2            |
| R14 | 25.10       | 15:20 | 26.10     | 18:40 | 18.0             | 7.3               | 17.4            |
| R15 | 27.10       | 05:30 | 28.10     | 16:30 | 14.8             | 5.8               | 13.9            |
| R16 | 08.11       | 23:30 | 10.11     | 02:35 | 5.2              | 15.2              | 16.4            |

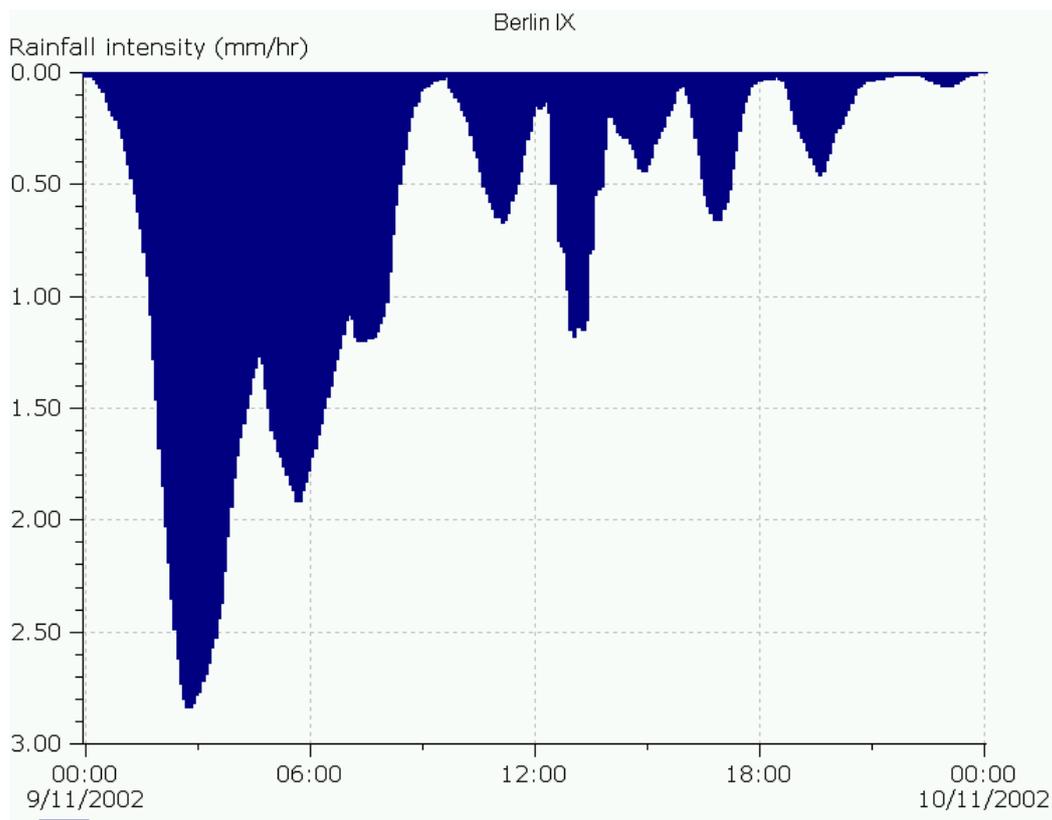
**Das Ereignis am 9.11.2002** wird in diesem Kapitel genauer betrachtet; der Einfluss der beiden Prognose-Bausteine Qprog und Rprog auf die globale Steuerung und den Pumpwerksbetrieb wird anhand dieses Beispiels illustriert. Die Niederschläge der drei untersuchten Gebieten Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX vom 9.11.2002 sind in Bild 3.1, Bild 3.2 und Bild 3.3 dargestellt.



**Bild 3.1:** Niederschlagsintensität Berlin VII am 9.11.2002



**Bild 3.2:** Niederschlagsintensität Berlin VIII am 9.11.2002



**Bild 3.3:** Niederschlagsintensität Berlin IX am 9.11.2002

Bei diesem Ereignis ist Bln VII das Gebiet mit den geringsten Niederschlägen. Es fiel 5 mm Regen zwischen dem 8.11.2002, um 23:30 Uhr und dem 10.11.2002, um 2:35 Uhr. Die gefallenen Regenmengen in Bln VIII und Bln IX sowie die Profile sind sich sehr ähnlich. In Berlin VIII fielen in demselben Zeitraum ca. 15 mm Regen, in Bln IX sind es 16 mm.

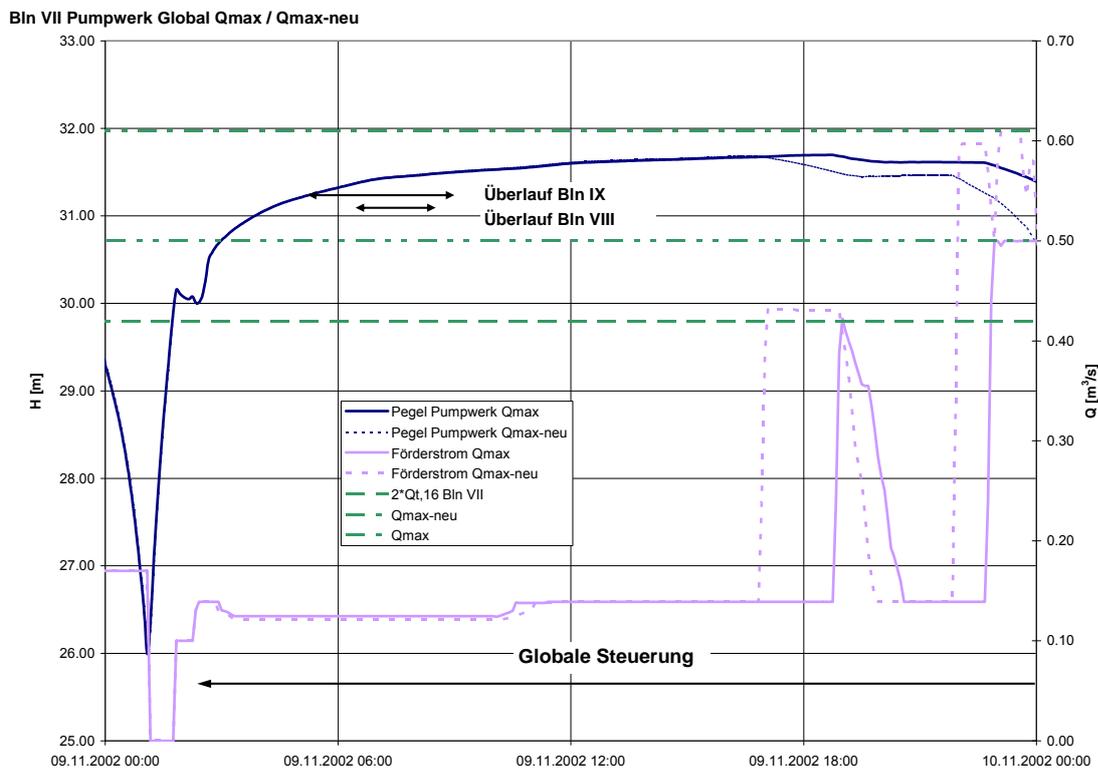
Am 9.11.2002 beträgt die gesamte Mischwasserentlastung  $17.282 \text{ m}^3$  bei lokaler Steuerung. Diese Entlastung wird durch die globale Steuerung um  $8.400 \text{ m}^3$  reduziert. Sie findet ausschließlich in den Gebieten Bln VIII und Bln IX statt.

Durch die ungleichmäßige Verteilung des Regens zwischen den Gebieten und aufgrund der „mittlere Regenstärke“ dieses Ereignisses wird ein Nutzen durch die Integration von Qprog und Rprog in der globalen Steuerung erwartet.

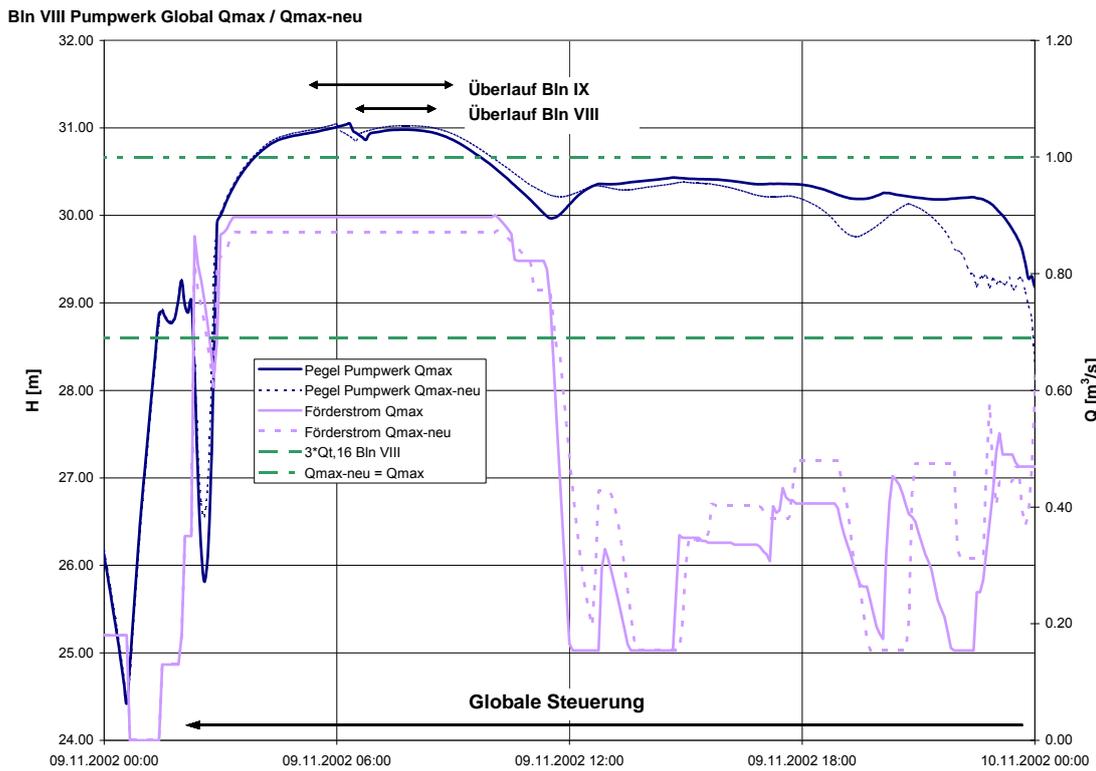
### 3.1 Einfluss Fördererhöhung einzelner Gebiete

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie die in Kapitel 2.3.4 beschriebene Erhöhung des Förderstromes  $Q_{\max}$  in  $Q_{\max\text{-neu}}$  (Erhöhung des maximalen Förderstroms der Pumpwerke von Bln VII und Bln IX) zu Veränderungen des Pumpwerkbetriebes führt. Die Auswirkung dieser Erhöhung wird nur einmal, an dieser Stelle diskutiert.

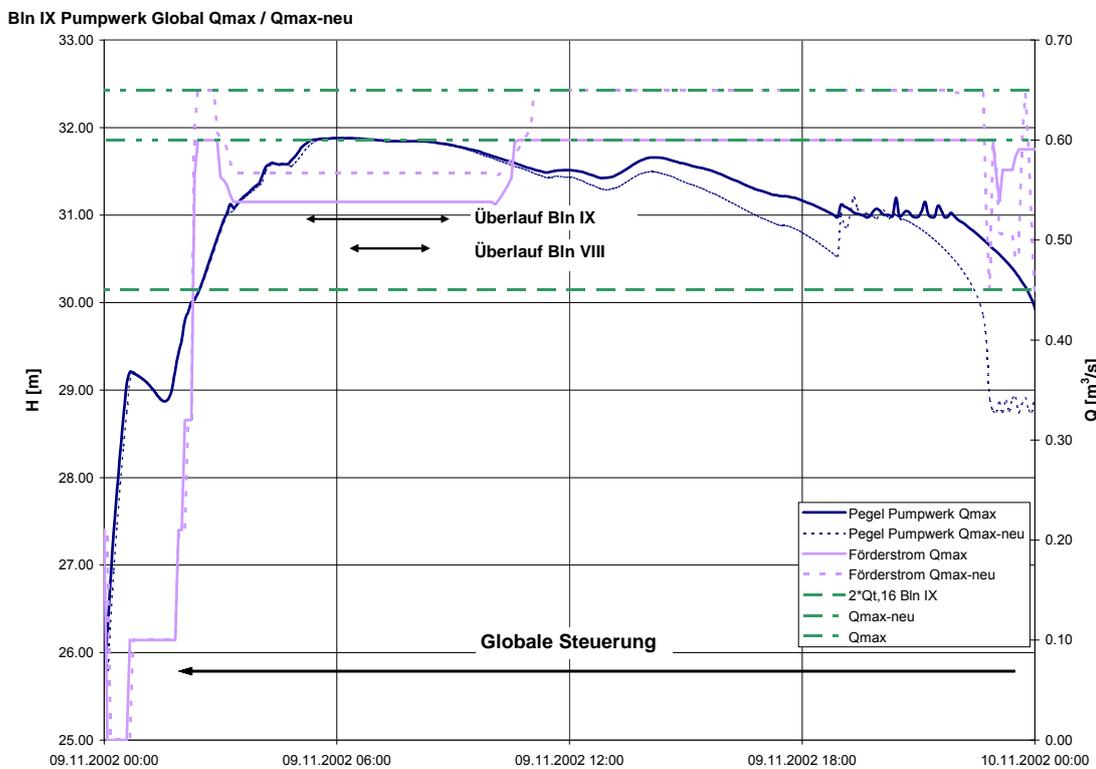
Die aus  $Q_{\max\text{-neu}}$  resultierenden Einstellungen der Förderströme aller drei Pumpwerke sind in Bild 3.4, Bild 3.5 und Bild 3.6 als Vergleich zu den Förderströmen aus der globalen Steuerung mit dem alten Förderstrom  $Q_{\max}$  zu sehen.



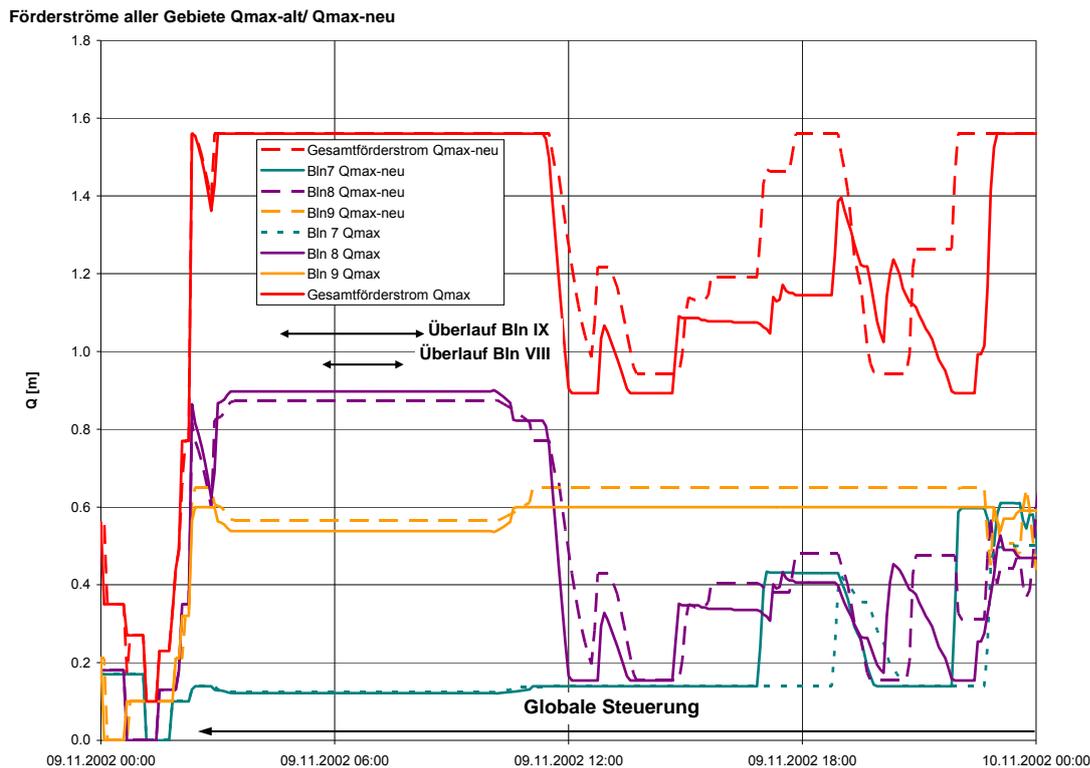
**Bild 3.4:** Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln VII  $Q_{\max}$  /  $Q_{\max\text{-neu}}$



**Bild 3.5:** Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln VIII  $Q_{max}$ /  $Q_{max-neu}$



**Bild 3.6:** Vergleich der Stauhöhen/ Förderströme Bln IX  $Q_{max}$ /  $Q_{max-neu}$



**Bild 3.7:** Vergleich der Förderströme aller Gebiete  $Q_{\max}$  /  $Q_{\max\text{-neu}}$

Die Erhöhung der Förderströme in den einzelnen Gebieten auf  $Q_{\max\text{-neu}}$  ermöglicht eine gleichmäßige Belastungskapazität aller Gebiete, das heißt bei gleicher Beregnung würden alle Gebiete zum gleichen Zeitpunkt überlaufen. Für das dargestellte Niederschlagsereignis in Bild 3.7 hat dieses zur Folge, dass die maximale Förderung zur Kläranlage häufiger stattfindet, als unter Ansatz des alten  $Q_{\max}$ . Das ist z.B. zu erkennen im Zeitraum um 18:00 Uhr, in dem das Pumpwerk Bln VII mehr fördert. In den Zeiträumen, in denen der maximale Förderstrom zu der Kläranlage schon erreicht war, z.B. zwischen 3:00 und 11:30 Uhr, führt es zu einer Umverteilung der Förderströme.

Bln IX kann nach der  $Q_{\max}$  Erhöhung mehr fördern. Nach der  $Q_{\max}$  Erhöhung ist das Entlastungsvolumen in Bln VIII größer und beträgt  $324 \text{ m}^3$  anstatt  $170 \text{ m}^3$ , und wird dafür in Bln IX von  $2641 \text{ m}^3$  auf  $3435 \text{ m}^3$  reduziert. Die Gesamtentlastung der Untersuchungsgebiete wird um  $800 \text{ m}^3$  kleiner. Für das Jahr 2002 wird die Entlastungsvolumen um 1,7% reduziert bzw. um 4,5% für das Jahr ohne August.

Unterschiede in der Auslastung der Gebiete sind dann nur von der unterschiedlichen Überregnung der Gebiete abhängig.

Die oben beschriebene Anpassung der maximalen Fördermengen der Pumpwerke ist notwendig für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung. So wird gewährleistet, dass die Steuerung nur von einem einzigen Parameter beeinflusst wird, nämlich der Differenz der Niederschläge zwischen den Gebieten. Ansonsten wäre es schwierig, die Wirkung der Zusatzfunktionen Qprog und Rprog isoliert zu beurteilen.

Die globale Steuerung mit der maximalen Fördermenge  $Q_{\max\text{-neu}}$  gilt als Grundlage bzw. als Vergleichssituation für alle weiteren Untersuchungen zum Einfluss von Qprog und Rprog auf den Steuerungserfolg.  $Q_{\max\text{-neu}}$  erhält im Weiteren die Bezeichnung  $Q_{\max}$ .

### **3.2 Nutzen der Prognose Qprog**

Der Nutzen der Maßnahme „Berücksichtigung von Qprog in der Steuerung“ wird anhand der Ergebnisse von Langzeitsimulationen mit Infoworks CS für das Jahr 2002 ermittelt.

Das aus Qprog resultierende Prognosevolumen wird zunächst ohne Gewichtung (siehe Kapitel 2.4) in der globalen Steuerung berücksichtigt, später wird es gewichtet. Mit der Gewichtung wird dann versucht, das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, d.h. die bestmögliche Reduzierung des Überlaufvolumens. Die Berücksichtigung von Qprog in der Simulation mit Infoworks CS erfolgt durch entsprechende Programmierung des RTC-Files (real time control).

Mehrere Gewichtungen werden getestet. Diejenige, die die größte Entlastungsreduktion in 2002 bewirkt, wird gewählt und für eine eingehende Auswertung verwendet.

Eine Übersicht der Entlastungsreduktion durch die Integration unterschiedlich gewichteter Qprog in die Steuerung gegenüber der ursprünglichen globalen Steuerung ist in der Tabelle 3.2 dargestellt. Der maximale Erfolg wird mit der Gewichtung Qprog\*24 erreicht (in grau markiert) und beträgt für das Jahr 2002 0,79%.

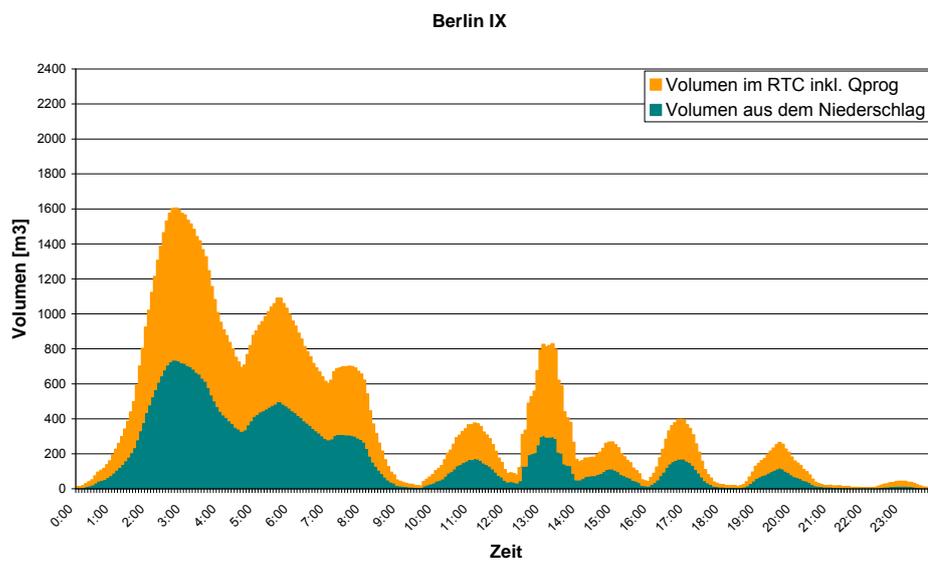
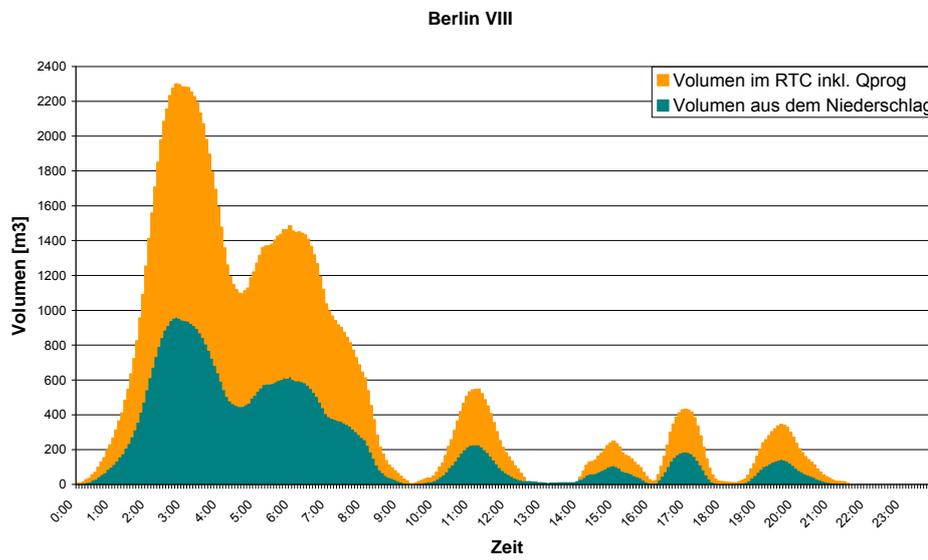
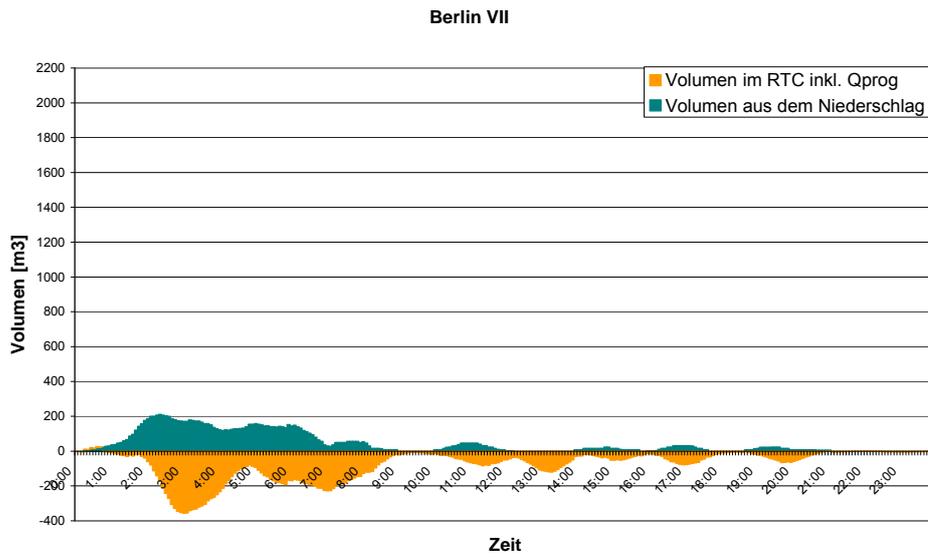
**Tabelle 3.2:** Reduktion der Entlastungsvolumina unter Berücksichtigung von Qprog bei der Steuerung aus Simulation für das Jahr 2002 mit Flächenregendaten (Ergebnis exklusiv August)

|                   | Entlastungs-<br>volumen<br>[m <sup>3</sup> ] | Reduktion<br>Qprog gegenüber<br>lokaler Steuerung<br>[%] | Reduktion<br>Qprog gegenüber<br>globaler Steuerung<br>[%] |
|-------------------|--|--|---|
| Lokale Steuerung  | 239.242,62                                   |  |   |
| Globale Steuerung | 210.371,14                                   | 10,83  |   |
| Qprog*0,1         | 210.252,70                                   | 12,12  | 0,06  |
| Qprog             | 210.272,04                                   | 12,11  | 0,05  |
| Qpro*5            | 210.043,28                                   | 12,20  | 0,16  |
| Qprog*10          | 209.889,25                                   | 12,27  | 0,23  |
| Qprog*20          | 209.180,16                                   | 12,57  | 0,57  |
| Qprog*24          | 208.718,65                                   | 12,76  | 0,79  |
| Qprog*26          | 209.175,92                                   | 12,57  | 0,57  |
| Qprog*28          | 208.805,92                                   | 12,72  | 0,74  |
| Qprog*30          | 208.957,46                                   | 12,66  | 0,67  |
| Qprog*40          | 209.602,60                                   | 12,39  | 0,37  |
| Qprog*55          | 210.655,43                                   | 11,95  | -0,14   |
| Qprog*100         | 209.512,82                                   | 12,43  | 0,41  |
| Qprog*200         | 210.439,07                                   | 12,04  | -0,03   |

In Bild 3.8 wird für das Ereignis am 9.9.2002 dargestellt, welches Volumen in jedem Gebiet berücksichtigt wird:

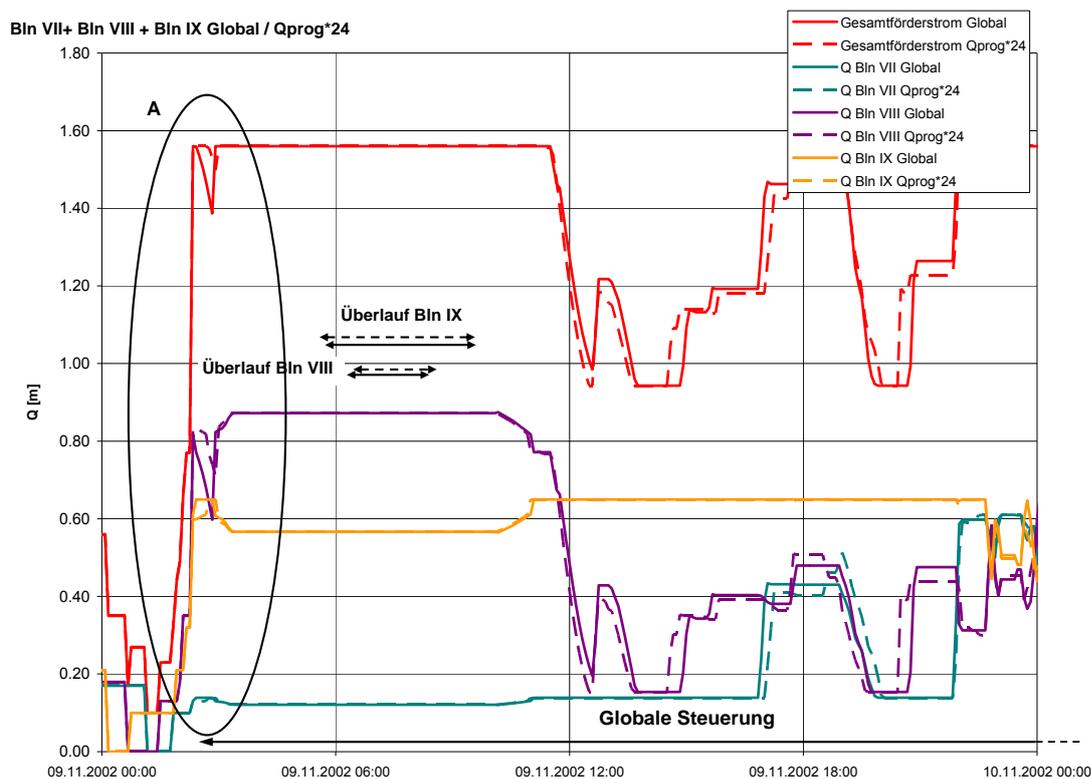
- Volumen aus dem Niederschlag
- 24\*(QprogG – Qprog) (Die Gewichtung 24\* führte zur besten Reduzierung der Regenüberlaufmenge)

Die Niederschläge in Bln VIII und in Bln IX sind intensiver als in Bln VII. Daher erfährt Bln VII eine negative Prognose und die Förderung kann zusätzlich gedrosselt werden. Bln VII wird am meisten von der Prognose beeinflusst. Bln VIII erfährt die intensivsten Niederschläge und muss gegenüber den anderen Gebieten entlastet werden (Erhöhung der Förderung). Zwischen 13:00 und 14:00 Uhr erfährt dafür Bln IX das größte Prognose-Volumen.



**Bild 3.8:** Volumen, das bei der Steuerung mit Qprog\*24 in allen Gebieten berücksichtigt wird

Wie diese Prognose Qprog auf die Steuerung wirkt und wie sich die Förderströme zu der Kläranlage durch diese Prognose verändern, wird anhand der folgenden Bild 3.9 dargestellt. Die Darstellung der entsprechenden Wasserstandsganglinien an den Pumpwerken erfolgt in den Bildern Bild 3.10, Bild 3.11 und Bild 3.13.



**Bild 3.9:** Vergleich der Förderströme Globale Steuerung mit Qprog\*24

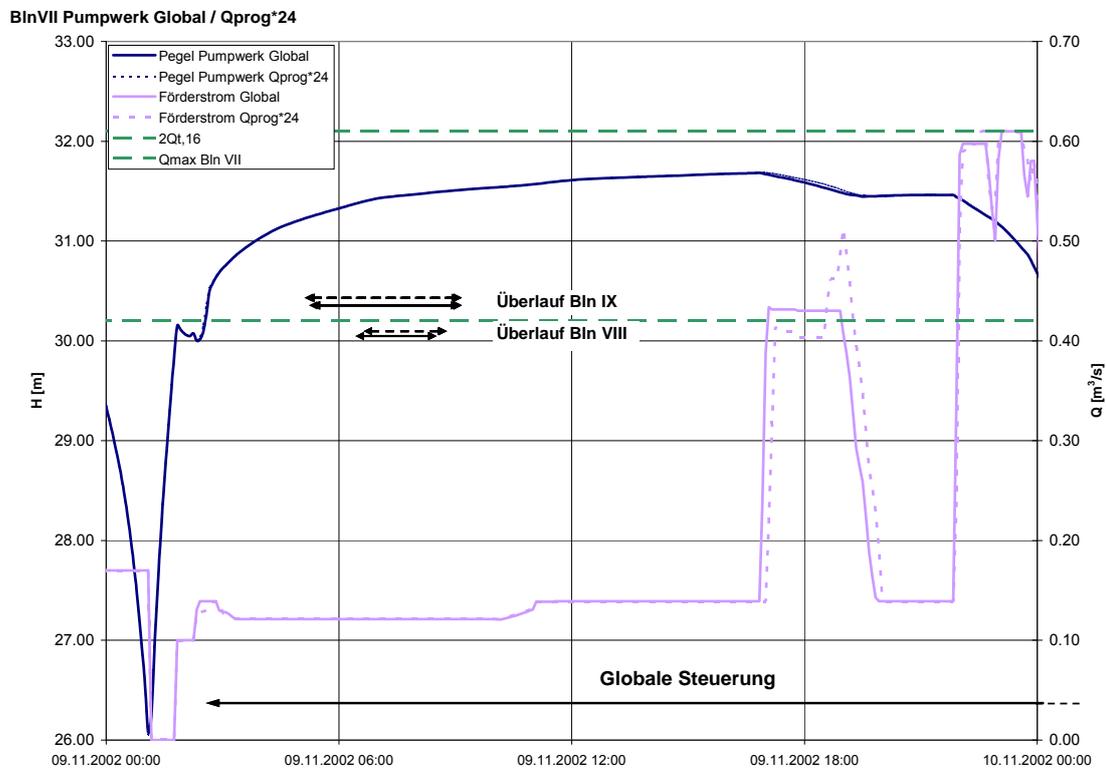
Im Bereich A (Bild 3.8) ist zu erkennen, dass bei globaler Steuerung kurzzeitig nicht  $Q_{\max}$  zur Kläranlage gefördert wird. Bei Berücksichtigung von Qprog\*24 ist dies hingegen der Fall. Dadurch werden die Kanalnetze stärker entleert, für die eine steigende Regenintensität erwartet wird.

In Bln VII findet bei diesem Regen keine Entlastung statt. Die Entlastung in Bln VIII wird um 5 Minuten verzögert und zur Hälfte gemindert (von  $324 \text{ m}^3$  auf  $151 \text{ m}^3$ ), da Bln VIII bei Qprog\*24 in dem vorher beschriebenen Zeitraum mehr fördert. In Bln IX steigt das Entlastungsvolumen um ca.  $79 \text{ m}^3$ . Insgesamt wird die Entlastung für dieses Ereignis um 1,4% reduziert. Das sind ca.  $100 \text{ m}^3$  weniger, d.h. eine Reduzierung von  $7.800 \text{ m}^3$  auf  $7.700 \text{ m}^3$ .

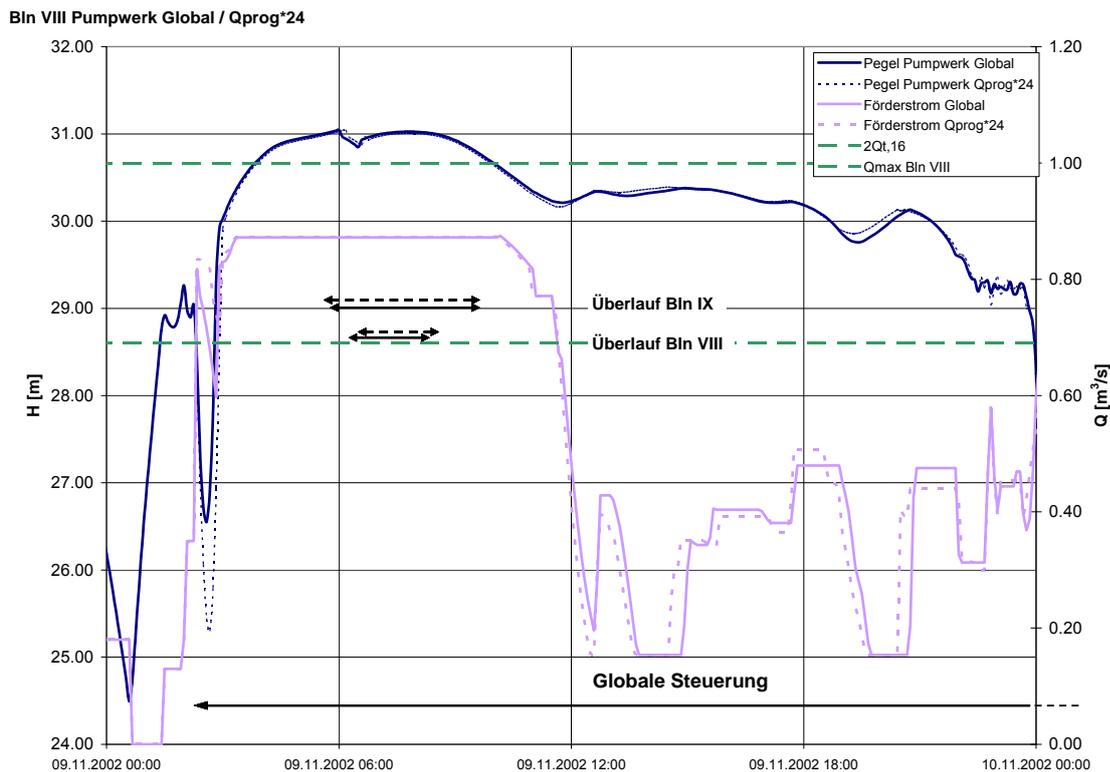
Die Unterschiede in der Entlastung sind maßgeblich durch die Anfangssituation

bedingt. Wenn die Regenintensitäten in mehreren Gebieten hoch sind und die maximale Förderung zur Kläranlage bereits erreicht ist, kann die Prognose die Situation aus der globalen Steuerung nicht verbessern.

Von 12:00 Uhr bis 24:00 Uhr wird nicht mehr  $Q_{\max}$  zur Kläranlage gefördert, das Netz wird aber noch global gesteuert. In dieser Phase beeinflusst  $Q_{\text{prog}}$  die Steuerung der einzelnen Netze wesentlich stärker, als in der vorher beschriebenen Phase der Maximalförderung. Wenn die Regenintensität wieder steigen würde, wäre hier ein Vorteil festzustellen.

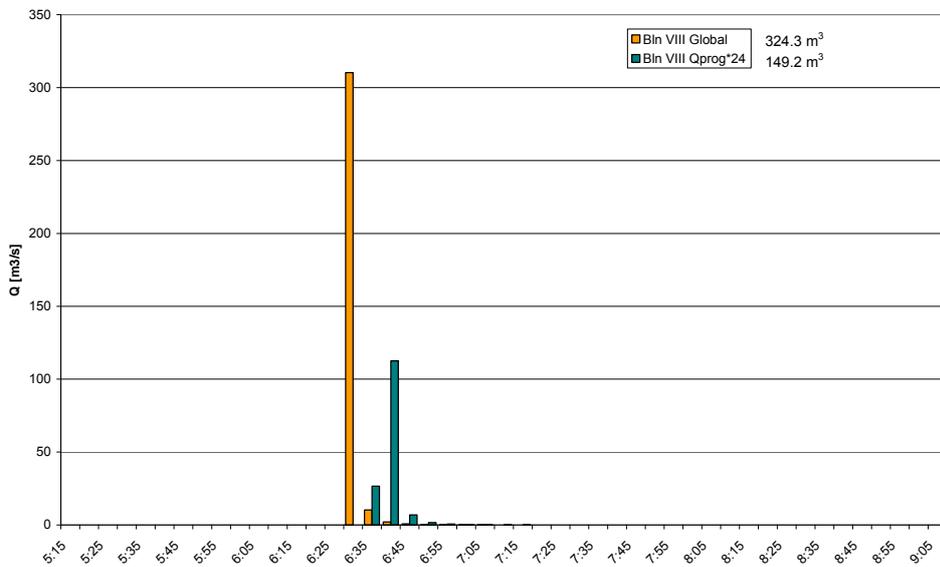


**Bild 3.10:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VII, Globale Steuerung und  $Q_{\text{prog}}*24$

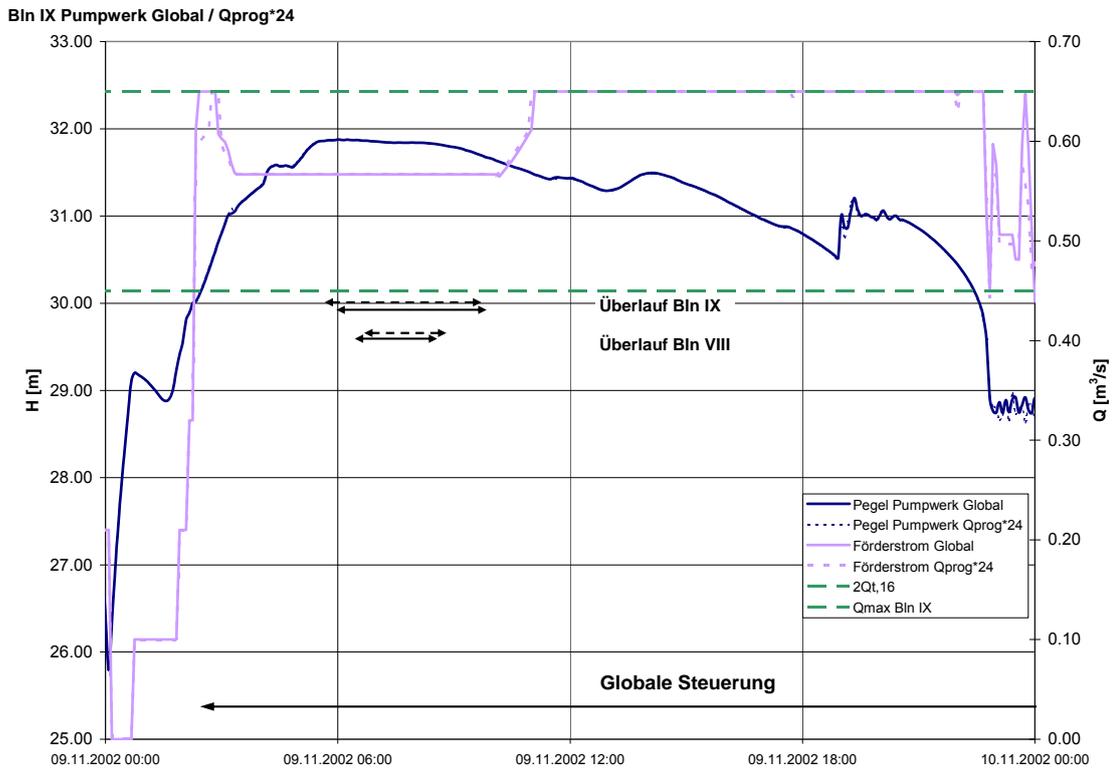


**Bild 3.11:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VIII, Globale Steuerung und Qprog\*24

Aufgrund der Mehrförderung mit Qprog sinkt der Pegel im Saugraum von Bln VIII gegen 2:30 Uhr weiter, als bei der globalen Steuerung. Der Anstieg des Pegels durch die wieder zunehmende Regenintensität und auch die Füllung des Regenüberlaufbeckens werden somit verzögert.

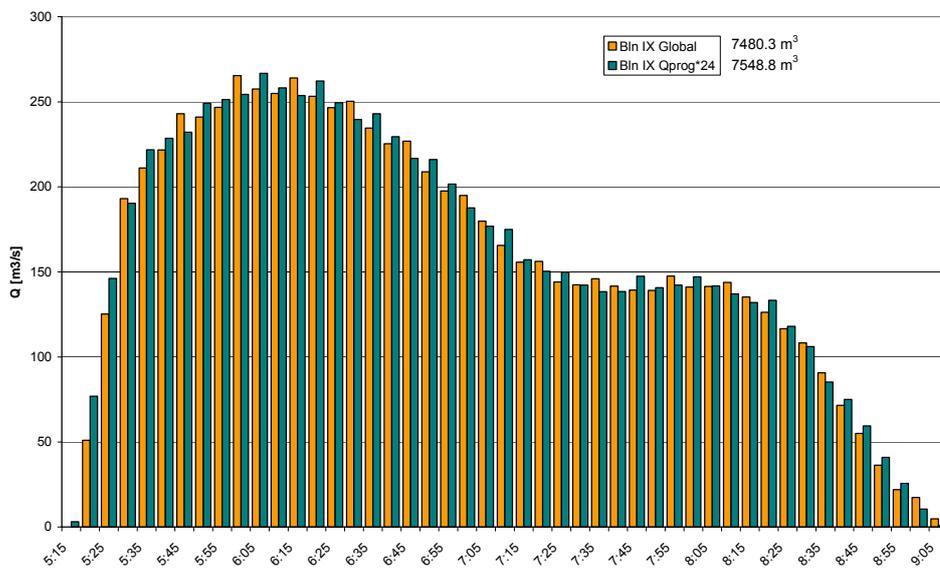


**Bild 3.12:** Entlastungsverlauf in Bln VIII



**Bild 3.13:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln IX, Globale Steuerung und Qprog\*24

In Bln IX erfolgt bei Qprog\*24 im Gegensatz zu der globalen Steuerung ab 2:30 Uhr nicht mehr die maximale Förderung. Es ist sowohl im Pegel- wie auch im Entlastungsverlauf jedoch kein signifikanter Unterschied zu erkennen.



**Bild 3.14:** Entlastungsverlauf in Bln IX

Die Berücksichtigung des im Kanalnetz und auf der Oberfläche vorhandenen Regenwassers durch Qprog in der globalen Steuerung ist für fast alle Regenereignisse in 2002 geringfügig vorteilhaft. Das Entlastungsvolumen kann leicht reduziert werden. Im August, der eine extreme Niederschlagsituation aufweist, bringt die Berücksichtigung von Qprog keinen Vorteil. Insgesamt wird im Jahr 2002 durch die Berücksichtigung von Qprog\*24 das jährliche Entlastungsvolumen um lediglich ca. 1.650 m<sup>3</sup> reduziert. Der Nutzen ist somit vernachlässigbar klein.

Es muss hierbei berücksichtigt werden, dass die simulierten Entlastungsvolumina aufgrund von Unsicherheiten in Modelleingangsdaten und Modellparametern selbst mit Unsicherheiten belegt sind, die das ausgewiesene Ergebnis (0,79 % Entlastungsreduktion) um in etwa eine Größenordnung übertreffen. Das Ergebnis muss also als unsicher bezeichnet werden.

Die hier vorgestellte Prognose Qprog berücksichtigt nur die Niederschläge und Niederschlagsvolumina, die bereits gefallen sind. Es bestände kein Aufwand für eine Niederschlagsvorhersage (beispielsweise über Radarbild-Auswertung). Auch würden Fehler durch eine falsche Niederschlagsvorhersage ausgeschlossen. Unter der Annahme, dass eine Pumpwerksverbundsteuerung bereits realisiert wäre, ist für die Erweiterung um Qprog mit folgendem Aufwand zu rechnen. Der Niederschlag muss mittels Regenschreiber gemessen werden, die Daten müssen online übertragen werden, das geschieht bereits heute. Die Berechnung von Qprog und die Einbindung in die Steuerung müssen erfolgen. Kritisch ist hierbei jedoch die Fehleranfälligkeit von herkömmlichen Regenschreibern zu beurteilen. Messfehler und Datenausfälle würden die Funktionsfähigkeit des Prognose-Bausteins stark beeinträchtigen. Eine kontinuierliche Wartung und Reinigung der Regenschreiber sind notwendig.

### 3.3 Nutzen der Prognose Rprog

Der Prognose-Baustein Rprog berücksichtigt das prognostizierte Niederschlagsvolumen der folgenden Stunde. Im Rahmen der hier durchgeführten Simulationen wurden für Rprog die vorhandenen Niederschlagsdaten und die Annahme einer perfekten Prognose (perfect prog) zugrunde gelegt.

Zwei Varianten wurden untersucht:

- Variante A: Berücksichtigung von Rprog in der globalen Steuerung
- Variante B: Berücksichtigung von Rprog in der globalen Steuerung und zusätzlich frühzeitiger Wechsel in die globale Steuerung, sobald ein Niederschlag über 0,1 mm innerhalb der darauf folgenden Stunde prognostiziert wird.

#### 3.3.1 Variante A: Rprog als zusätzlicher Parameter in der globalen Steuerung

In diesem Fall wirkt Rprog wie eine zusätzliche Belastung der Speichervolumens in der globalen Steuerung. Die Berücksichtigung von Rprog in der Simulation mit Infoworks CS erfolgt durch entsprechende Programmierung des RTC-Files (real time control).

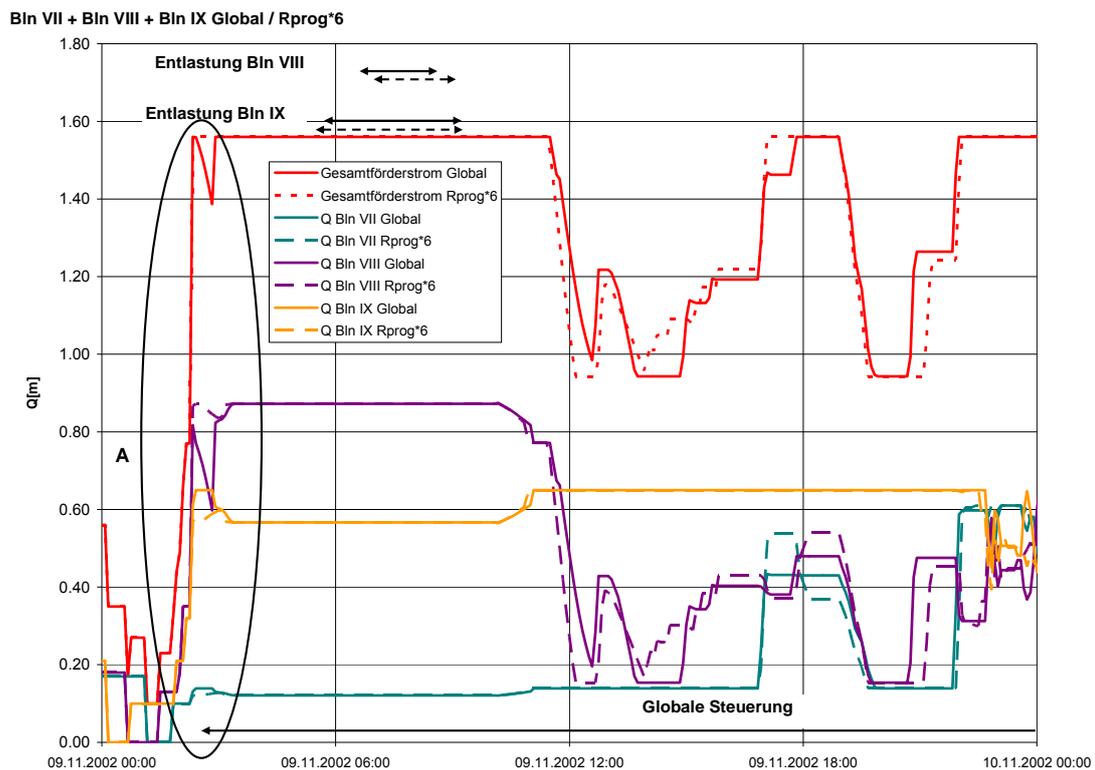
Der Nutzen der Variante A unter Berücksichtigung verschiedener Wichtungen von Rprog ist in Tabelle 3.3 zusammengefasst. Mit dieser Methode ist eine Reduzierung der Überlaufmenge von 0,69% gegenüber der globalen Steuerung für 2002 zu erzielen. Die folgenden Bilder zeigen, was die Prognose (Rprog\*6) gegenüber der globalen Steuerung bewirkt.

**Tabelle 3.3:** Reduktion der Entlastungsvolumina unter Berücksichtigung von Rprog (Variante A) aus Simulationen für das Jahr 2002 mit Flächenregendaten (Ergebnis exklusiv August)

|           | Entlastungsvolumina<br>[m <sup>3</sup> ] | Reduktion<br>Rprog gegenüber<br>lokaler<br>Steuerung<br>[%] | Reduktion<br>Rprog gegenüber<br>globale<br>Steuerung<br>[%] |
|-----------|--|---|---|
| Lokal     | 239.242,62                               |   |   |
| Global    | 210.371,14                               | 10,83   |   |
| Rprog*0,5 | 210.276,83                               | 12,11   | 0,04  |
| Rprog*0,8 | 209.914,99                               | 12,26   | 0,22  |
| Rprog     | 210.026,82                               | 12,21   | 0,16  |
| Rprog*4   | 209.449,05                               | 12,45   | 0,44  |
| Rprog*5   | 209.296,69                               | 12,52   | 0,51  |
| Rprog*6   | 208.920,70                               | 12,67   | 0,69  |
| Rprog*7   | 209.372,76                               | 12,49   | 0,47  |
| Rprog*8   | 210.178,67                               | 12,15   | 0,09  |
| Rprog*9   | 209.140,88                               | 12,58   | 0,58  |
| Rprog*10  | 209.871,12                               | 12,28   | 0,24  |
| Rprog*50  | 212.719,97                               | 11,09   | -1,12   |
| Rprog*100 | 214.363,86                               | 10,40   | -1,90   |

Die Berücksichtigung des prognostizierten Niederschlages in die Steuerung ermöglicht, dass ein maximaler Förderstrom zur Kläranlage gefördert wird, ohne dass es die Situation der Speicherauslastung nach dem ursprünglichen Konzept erfordern würde.

Der Zeitpunkt des Übergangs in die globale Steuerung bleibt derselbe. Die Prognose, wie sie an dieser Stelle in die Steuerung integriert ist, hat nur einen Einfluss auf den Verlauf innerhalb der globalen Steuerung.



**Bild 3.15:** Vergleich der Förderströme bei globaler Steuerung und bei Berücksichtigung von Rprog\*6

Der Wechsel in die globale Steuerung ist nach dem ursprünglichen Konzept so eingerichtet, dass er erst dann erfolgt, wenn der Pegel eines Saugraumes über eine vorgegebene Regenwetter-Ordinate steigt, das heißt, wenn es bereits regnet. Die Prognose spielt eine Rolle zwischen dem Anfang der globalen Steuerung und dem Erreichen von  $Q_{max}$ . Wenn die Niederschläge sehr intensiv sind, wird jedoch sehr schnell der Maximalförderwert von  $Q_{max}$  erreicht.

Dieses Phänomen ist beispielsweise in Bild 3.15 im Bereich A, zwischen 2:30 Uhr und 3:00 Uhr, zu erkennen. Das Pumpwerk Bln VIII fördert in diesem Zeitraum mehr, als bei der globalen Steuerung, dadurch wird der Zeitpunkt der Entlastung in diesem Gebiet um eine Viertel Stunde verzögert und um  $120 \text{ m}^3$  reduziert. In Bln IX wird hingegen die Entlastung um  $222 \text{ m}^3$  erhöht, so dass insgesamt bei diesem Ereignis ein Verschlechterung von 1,3% zu verzeichnen ist. Über das ganze Jahr gesehen, ist der Erfolg der Integration von Rprog in die Steuerung gering. Eine wesentliche Umverteilung der Förderströme ist nur in Bereichen festzustellen, in denen insgesamt der Förderstrom zur Kläranlage unter dem Maximalwert liegt.

Die Prognose nimmt nur einen Einfluss kurz bevor der Förderstrom maximal wird und am Ende eines Regenereignisses, wenn die Gefahr einer Entlastung nicht mehr besteht. Die Prognose könnte zu einer deutlichen Verbesserung führen, wenn sie genutzt wird, um vor Beginn eines Regens vorhandene Regenüberlaufbecken zu entleeren. Ein solcher Fall ist im Jahr 2002 nicht eingetreten.

### 3.3.2 Gleichzeitige Berücksichtigung von beiden Prognose-Bausteinen Qprog und Rprog

Ob eine Berücksichtigung von beiden Prognosen gleichzeitig zu einem Erfolg führt, soll anhand der Ergebnisse einer einzelnen Simulation diskutiert werden. Bei dieser Simulation wurden beide Prognosen mit einbezogen, das heißt, zu jedem Zeitpunkt wurden zusätzlich zu dem Zustand der Netzauslastung eines Gebietes die Volumina aus Rprog und Qprog addiert. Dies führt zu einer weiteren virtuellen Entlastung bzw. Belastung des Kanalnetzes. Rprog wurde mit dem Gewichtungskoeffizient 6 und Qprog mit dem Gewichtungskoeffizient 24 multipliziert (Gewichtungskoeffizienten mit größtem Erfolg, s.o.).

In Tabelle 3.4 ist das Ergebnis dieser Simulation zusammengefasst.

**Tabelle 3.4:** Erfolg erzielt durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Qprog\*24 und Rprog\*6

|                      | Entlastungsvolumina<br>[m <sup>3</sup> ] | Nutzen Rprog<br>gegenüber globale<br>Steuerung<br>[%] |
|----------------------|--|---|
| Globale Steuerung    | 210.371,14                               |   |
| Qprog*24 und Rprog*6 | 209.296,24                               | 0,51  |

Die gleichzeitige Berücksichtigung beider Prognosen führt in der Summe über das Jahr 2002 tatsächlich zu einer höheren Mischwasserentlastung und somit zu einem geringeren Nutzen, als bei ausschließlicher Verwendung von Qprog (siehe Tabelle 3.2) oder Rprog (siehe Tabelle 3.3) und wird nicht weiter berücksichtigt.

### 3.3.3 Variante B: Berücksichtigung von Rprog in der globalen Steuerung und frühzeitiger Wechsel in die globale Steuerung bei prognostiziertem Niederschlag

Der Wechsel in die globale Steuerung ist nach dem ursprünglichen Konzept so eingerichtet, dass er erst dann erfolgt, wenn der Pegel eines Saugraumes über eine vorgegebene Regenwetter-Ordinate steigt, das heißt, wenn es bereits regnet. Mittels Variante B soll getestet werden, ob eine weitere Reduktion der Mischwasserentlastungen bei frühzeitigem Wechsel in die globale Steuerung realisierbar ist. Der Wechsel erfolgt in Variante B, sobald ein Niederschlag über 0,1 mm innerhalb der darauf folgenden Stunde prognostiziert wird.

**Tabelle 3.5:** Reduktion des Entlastungsvolumens unter Berücksichtigung von Rprog, Variante B, Wechsel in die globale Steuerung, sobald ein Regen innerhalb der nächsten Stunde prognostiziert wird

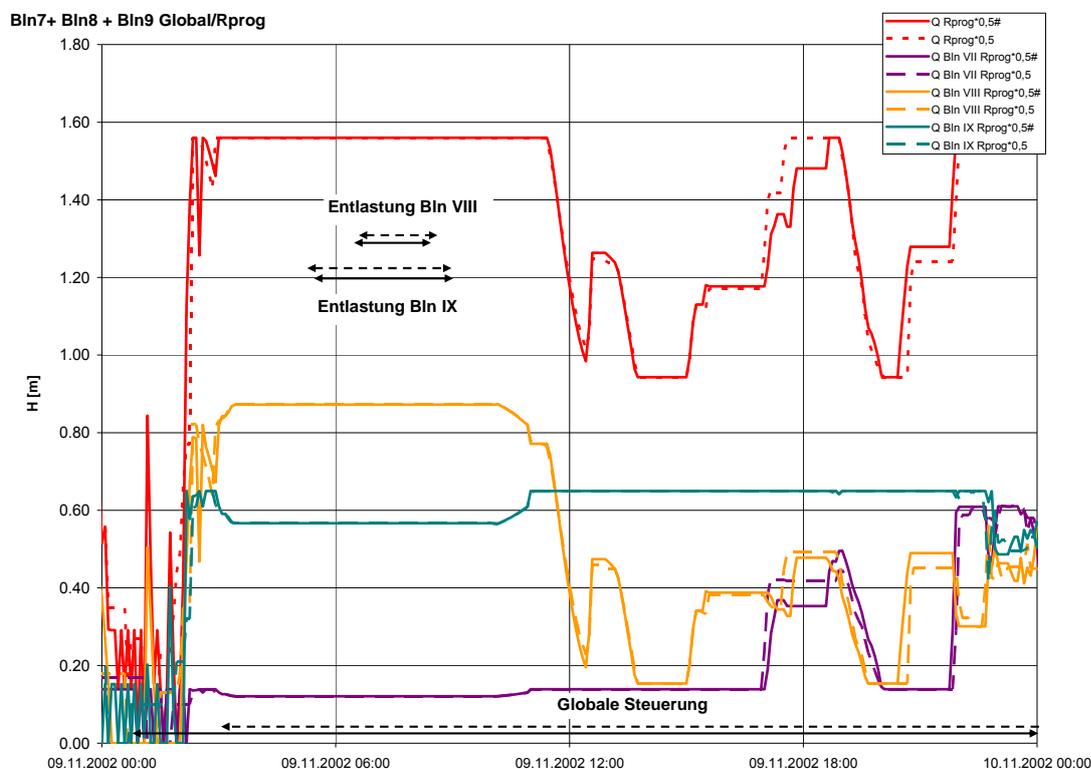
|                             | Entlastungs-<br>volumina<br>[m <sup>3</sup> ] | Reduktion<br>Rprog_B<br>gegenüber<br>lokaler<br>Steuerung<br>[%] | Reduktion<br>Rprog_B<br>gegenüber<br>globaler<br>Steuerung<br>[%] |
|-----------------------------|---|--|---|
| Lokal                       | 239242.62                                     |  |   |
| Global                      | 213338.50                                     | 10.83  |   |
| Rprog*0,001, Global Qprog>0 | 205401.43                                     | 14.15  | 2.36  |
| Rprog*0,01, Global Qprog>0  | 205329.14                                     | 14.18  | 2.40  |
| Rprog*0,1, Global Qprog>0   | 205401.73                                     | 14.15  | 2.36  |
| Rprog*0,3, Global Qprog>0   | 204644.87                                     | 14.46  | 2.72  |
| Rprog*0,4, Global Qprog>0   | 205154.55                                     | 14.25  | 2.48  |
| Rprog*0,55, Global Qprog>0  | 204911.60                                     | 14.35  | 2.60  |
| Rprog*0,5, Global Qprog>0   | 204519.17                                     | 14.51  | 2.78  |
| Rprog*0,65, Global Qprog>0  | 205468.01                                     | 14.12  | 2.33  |
| Rprog*0,6, Global Qprog>0   | 205100.03                                     | 14.27  | 2.51  |
| Rprog*0,7, Global Qprog>0   | 205386.49                                     | 14.15  | 2.37  |
| Rprog*0,8, Global Qprog>0   | 205537.99                                     | 14.09  | 2.30  |
| Rprog, Global Qprog>0       | 205226.96                                     | 14.22  | 2.45  |
| Rprog*2, Global Qprog>0     | 205947.80                                     | 13.92  | 2.10  |
| Rprog*7, Global Qprog>0     | 207052.09                                     | 13.46  | 1.58  |
| Rprog*10, Global Qprog>0    | 207884.15                                     | 13.11  | 1.18  |
| Rprog*100, Global Qprog>0   | 213237.27                                     | 10.87  | -1.36   |

Der Nutzen dieser Maßnahme ist in Tabelle 3.5 zusammengefasst. Ein Wechsel in die globale Steuerung sobald ein Regenereignis prognostiziert wird, gekoppelt mit den quantitativen Regeninformationen der nächsten Stunde, führt im Jahr 2002 zu einer Reduktion des Entlastungsvolumens um 2,78 % gegenüber der ursprünglichen globalen Steuerung. Die Reduktion beträgt  $5.852 \text{ m}^3$ .

Während des Ereignisses am 9.11.2002 werden  $560 \text{ m}^3$  weniger entlastet. Das bedeutet eine Reduktion gegenüber der ursprünglichen globalen Steuerung von 7,2% des Überlaufvolumens.

In den nächsten Bildern wird für das Ereignis am 9.11.2002 gezeigt, inwiefern der frühzeitige Wechsel in die globale Steuerung den Betrieb beeinflusst. Dafür werden zwei Steuerungsszenarien miteinander verglichen

- die Berücksichtigung von  $R_{\text{prog}}*0,5$  in der globalen Steuerung
- die Berücksichtigung von  $R_{\text{prog}}*0,5$  und ein Wechsel in die globale Steuerung, sobald Niederschlag prognostiziert wird ( $R_{\text{prog}}*0,5\#$ ).

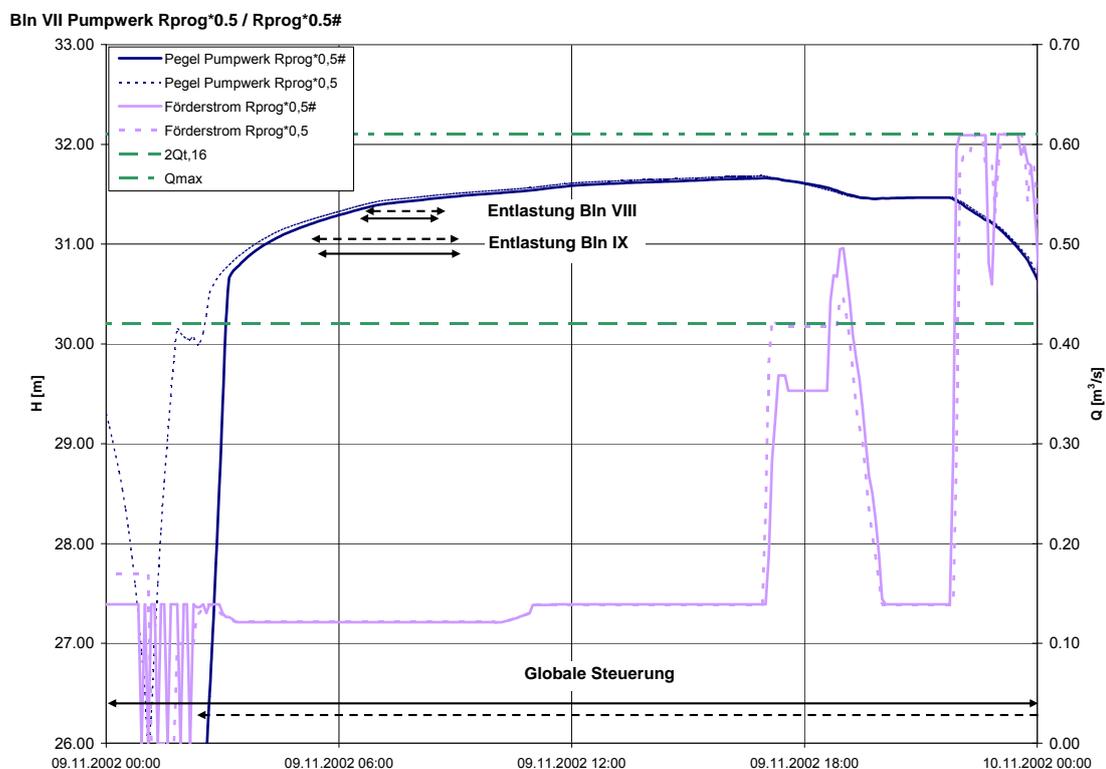


**Bild 3.16:** Vergleich Förderströme  $R_{\text{prog}}*0,5$  und  $R_{\text{prog}}*0,5$  mit Wechsel in die Steuerung, sobald Regen prognostiziert wird ( $R_{\text{prog}}*0,5\#$ )

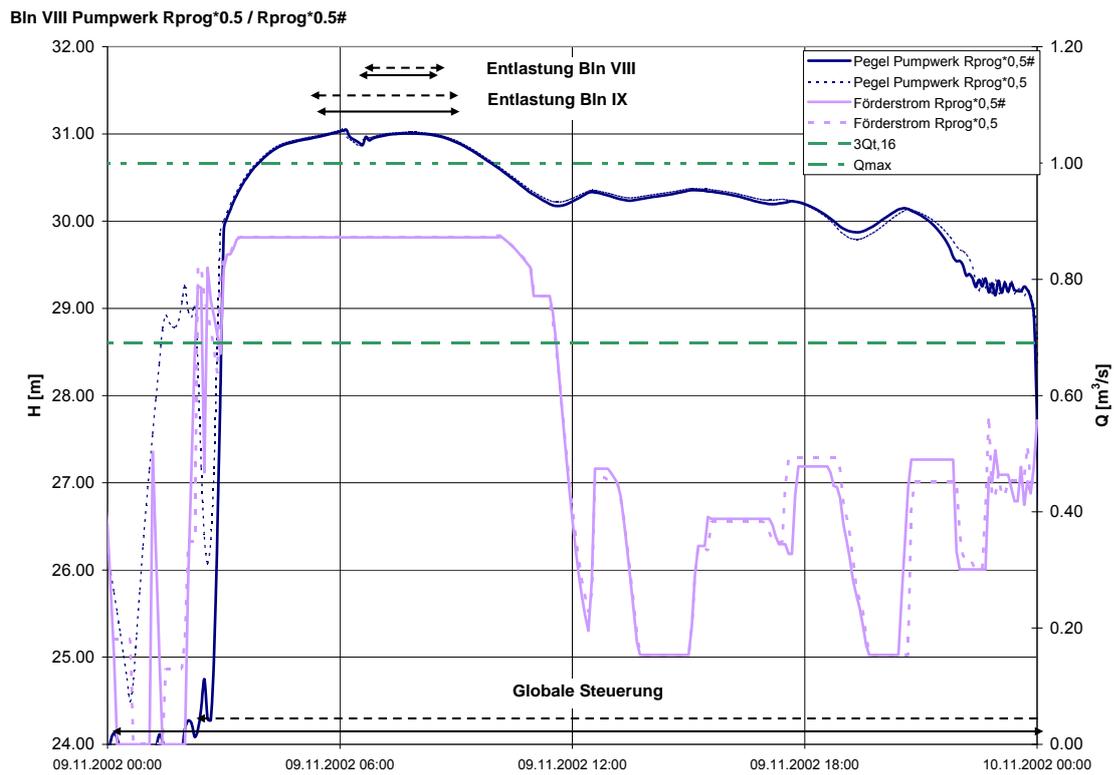
Der Wechsel in die globale Steuerung erfolgt im Szenario Rprog\*0,5# am 8.11.2002 um 22:37 Uhr. Bei der herkömmlichen Prognose hätte dieser Wechsel erst am 9.11.2002 um 2:15 Uhr stattgefunden, das heißt 4h12min später. Dadurch werden alle Pegel der Saugräume niedrig gehalten und die Kanalnetze zum Regenanfang geleert (siehe Bilder Bild 3.17, Bild 3.18 und Bild 3.19).

Durch den früheren Wechsel in die globale Steuerung erfahren die Pumpwerke und Kanalnetze früher eine Wechselwirkung und sind früher aufeinander abgestimmt. Dadurch wird die Anfangssituation der Netze vor dem Regenereignis verbessert und es kann eine gewisse Reduktion der Entlastungsmengen bewirkt werden.

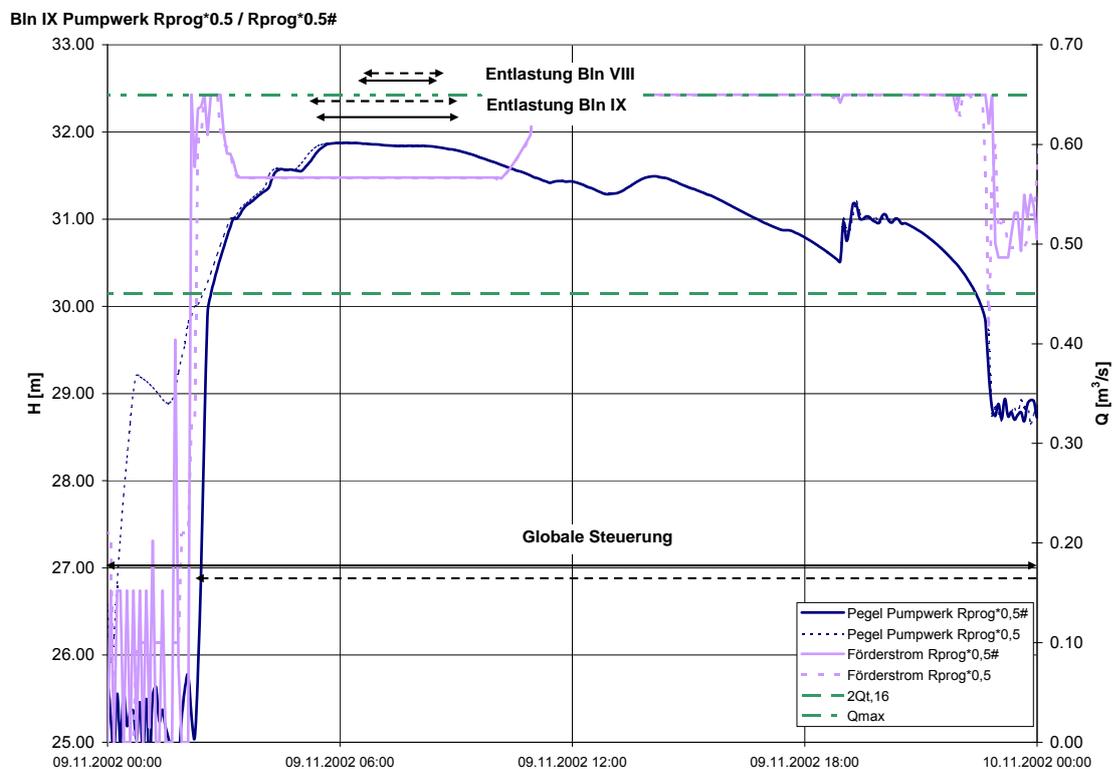
Die untersuchte Methode (Rprog\*0,5#) führt in allen Fällen zu Entlastungsverminderungen für die Niederschlagsereignisse im Jahr 2002. Die besten Erfolge finden bei Niederschlagsereignissen um die 10 mm und großen Differenzen der Niederschlagsintensitäten zwischen den Gebieten statt.



**Bild 3.17:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bln VII für die Szenarien Rprog\*0,5 und Rprog\*0,5#



**Bild 3.18:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bin VIII für die Szenarien Rprog\*0,5 und Rprog\*0,5#



**Bild 3.19:** Vergleich der Stauhöhen, Förderströme Bin IX für die Szenarien Rprog\*0,5 und Rprog\*0,5#

Ein Vergleich der verschiedenen Szenarien macht deutlich, dass die größte Reduktion von Mischwasserentlastungen durch den frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung erzielt wird. Die Verwendung von Abflussprognose (Qprog) oder Regenprognose (Rprog) zur Aussteuerung der Abwasserpumpwerke während der Regenereignisse hat hingegen einen untergeordneten Effekt.

In einer weiteren Simulation wird das Niederschlagssignal nur insofern berücksichtigt, als dass es den Wechsel von der lokalen Steuerung der Pumpwerke in die globale Steuerung bestimmt. Ist  $N > 0,1$  mm, dann wird in die globale Steuerung gewechselt (zusätzlich zu den ursprünglichen wasserstandsabhängigen Bedingungen für den Wechsel). Die Informationen aus Rprog und Qprog zur Aussteuerung der Pumpwerke während des Ereignisses bleiben unberücksichtigt. Der Erfolg dieser Maßnahme auf die Entlastungssituation ist in Tabelle 3.6 dargestellt.

**Tabelle 3.6:** Nutzen eines frühzeitigen Wechsels in die globale Steuerung

|  | Entlastungsvolumina<br>[m <sup>3</sup> ] | Reduktion durch<br>„frühen Wechsel“<br>gegenüber globaler<br>Steuerung<br>[%] |
|--|--|---|
| Globale Steuerung                              | 210371.14                                |   |
| Globale Steuerung inkl.<br>Wechsel bei $N > 0$ | 205202.46                                | 2.46  |

Es wird tatsächlich deutlich, dass die Entlastungssituation allein durch den frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung verbessert wird. Die Reduktion der Mischwasserentlastungen (2.46 %) ist in der gleichen Größenordnung, wie bei vollständiger Berücksichtigung des Prognose-Bausteins Rprog (Reduktion um 2,78%). Der Vorteil dieser Methode ist, dass keine quantitative Regenprognose benötigt wird, sondern nur die Information, ob ein Regen zu erwarten ist. Lediglich der Zeitpunkt des Wechsels in die globale Steuerung ist maßgebend.

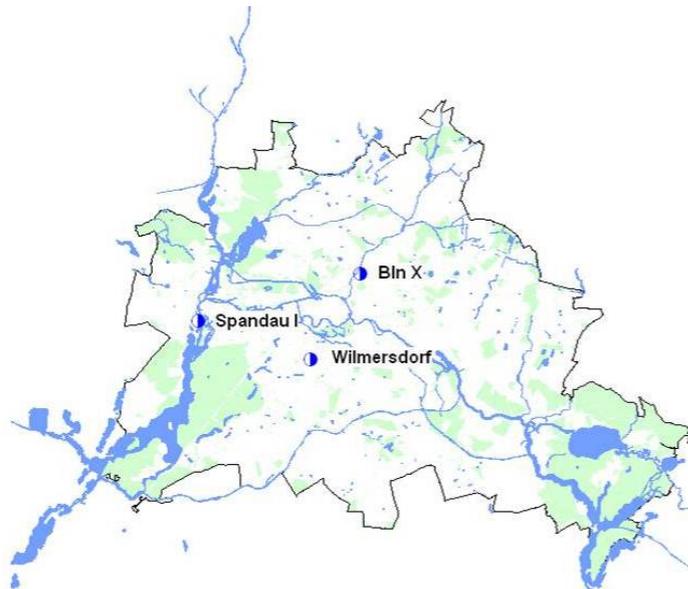
Generell muss auch für die in diesem Kapitel dargestellten Szenarien konstatiert werden, dass bei einer Reduktion der Mischwasserentlastungen von unter 3 % der Nutzen der Niederschlagsprognose vernachlässigbar gering ist.

### 3.3.4 Ansatz anderer Regenreihen im Gebiete des KW Ruhleben

Der geringe Erfolg der Berücksichtigung einer Prognose könnte daran liegen, dass die untersuchten Gebiete sehr nahe aneinander liegen. Aufgrund dessen sind sich die Niederschlagsreihen sehr ähnlich. Der Nutzen einer Prognose basiert ausschließlich auf der unterschiedlichen Überregnung der Gebiete.

Aus diesem Grund wurden weitere Langzeitsimulationen mit denselben Einzugsgebieten jedoch unter Ansatz anderer Niederschlagsreihen durchgeführt. Berücksichtigt wurden dafür die Niederschlagsreihen (Stationsdaten) aus drei Einzugsgebieten der Kläranlage Ruhleben, die weiter entfernt voneinander liegen. Es sind die Reihen aus:

- Spandau I, Retchestraße
- Berlin X, Wedding, Bellermannstraße
- Wilmersdorf, Hohenzollendamm



**Bild 3.20:** Regenschreiber der Gebiete Spandau I, Wilmersdorf und Bln X

Diese Reihen wurde den drei untersuchten Gebieten zugewiesen (siehe Tabelle 3.7). Die Auswahl erfolgte nur aufgrund der Entfernung der Regenschreiber voneinander, eine vorherige Analyse der Daten wurde nicht durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchung ist, das Potenzial oder einen möglichen Erfolg für die Anwendung der Niederschlagsprognose im Einzugsgebiet Ruhleben abzuschätzen.

**Tabelle 3.7:** Untersuchungsgebiete mit ihren neu zugewiesenen Niederschlagsreihen

|             | <b>Zugewiesene Niederschlagsreihe</b> |
|-------------|---------------------------------------|
| Berlin VII  | Wilmerisdorf, Hohenzollendamm         |
| Berlin VIII | Spandau I                             |
| Berlin IX   | Berlin X, Wedding Bellermannstr.      |

Die Ergebnisse zeigen, dass auch unter diesem Ansatz kein größeres Potenzial zur Reduktion der Mischwasserentlastungen besteht. Der erzielte Nutzen durch die Berücksichtigung von anderen Niederschlagsdaten ist sogar geringer, als derjenige, der mit den vor Ort gemessenen Niederschlagsdaten erzielt wurde. Der größte Erfolg wird auch bei dieser Untersuchung mit einer Gewichtung von 0,5 erreicht.

**Tabelle 3.8:** Nutzen erzielt durch die Berücksichtigung von Regenreihen andere Einzugsgebiete

|                       | Entlastungsvolumina<br>[m <sup>3</sup> ] | Nutzen Rprog<br>gegenüber globale<br>Steuerung<br>[%] |
|-----------------------|--|---|
| Global                | 420.833,36                               |   |
| Rprog*0,5, Global N>0 | 414.230,69                               | 1,57  |
| Rprog, Global N>0     | 415.510,50                               | 1,26  |
| Rprog*10, N>0         | 416.097,01                               | 1,13  |
| Rprog*100, N>0        | 415.237,01                               | 1,33  |

## 4 Zusammenfassung

Im Rahmen des ISM-Projektes (KWB, 2003-2007) wurde ein Konzept zur globalen Steuerung der Abwasserpumpwerke in Berlin erarbeitet, mit dem Ziel, die Mischwasserüberlaufmengen in die Gewässer zu reduzieren. Es erfolgte der modelltechnische Nachweis, dass dies über die dynamische Bewirtschaftung des vorhandenen Kanalspeicherraumes gelingt. Das Steuerungspotenzial ist begründet in der ungleichmäßigen Verteilung des Niederschlages und der ungleichmäßigen Anordnung des verfügbaren Speichervolumens im System. Das Verbundsteuerungssystem basiert auf einfachen Wasserstandsmessungen in den Hauptsammlern der Kanalnetze.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, zusätzliche Funktionen in die globale Steuerung zu integrieren, um eine weitere Verbesserung der Entlastungssituation zu erzielen und das Potenzial dieser Funktionen auszuwerten. Bei den zusätzlichen Funktionen bzw. Steuerungsbausteinen handelt sich um:

- Abflussvorhersage aus Online-Niederschlagsmessung
- Niederschlagsvorhersage aus Radardaten (Nowcasting).

Online-Niederschlagsdaten können in der Praxis aus den schon vorhandenen Regenschreibern gewonnen werden. Der Abfluss aus dem gefallenem Regen kann bei Kenntnis der Flächeneigenschaften zu jedem Zeitschritt abgeschätzt und als zusätzliche Belastung für die Kanalspeicherräume in die Steuerung miteinbezogen werden (Baustein Qprog).

Niederschlagsvorhersagen können aus Radardaten des deutschen Wetterdienstes errechnet werden, eine verlässliche Prognose ist z.Z. für bis zu einer Stunde möglich (Nowcasting). Zu jedem Zeitschritt kann diese Prognose als zusätzliches Belastungsvolumen in die Steuerung integriert werden (Baustein Rprog).

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei Einzugsgebiete in der Berliner Mischwasserkanalisation gewählt (Berlin VII, Berlin VIII und Berlin IX). Zeitlich und räumlich hochaufgelöste Niederschlagsdaten aus dem Jahr 2002 wurden vom Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung aufbereitet und bereitgestellt (siehe Projekt EVA, Bericht „Analyse der zeitlich hochaufgelösten Niederschlagsdaten 2002 in

Berlin“).

Das Potenzial von Qprog und Rprog, die Mischwasserüberläufe weiter zu reduzieren, wurde mittels Langzeitsimulationen mit dem Kanalnetzrechnungsmodell InfoWorks CS ermittelt. Die bereitgestellten Niederschlagsdaten dienten sowohl als Eingangsdaten für die numerische Simulation als auch zur Berechnung von Qprog und Rprog. Für den Ansatz von prognostizierten Niederschlagsdaten im Baustein Rprog galt die Annahme einer perfekten Prognose (perfect prog).

Die Berücksichtigung von Qprog (Abflussprognose aus Online-Niederschlagsdaten) in der Steuerung der Abwasserpumpwerke führte für das Jahr 2002 zu einer Reduktion der Entlastungsvolumina um lediglich 0,8 % gegenüber der ursprünglichen Verbundsteuerung.

Auch die Berücksichtigung von Rprog (Niederschlagsprognose aus Radardaten) brachte nur einen geringen Nutzen. Die Entlastungsvolumina konnten um 0,7 % reduziert werden.

Der größte Nutzen wurde erzielt durch einen frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung, sobald Niederschlag für die nächste Stunde prognostiziert wurde. Die Überlaufmengen konnten um 2,8 % reduziert werden, auch dies stellt nur eine geringe Verbesserung dar. Das ausgewiesene Ergebnis ist dadurch bedingt, dass die Kanalnetze geleert werden, bevor der Regen beginnt. Die Speicherräume sind somit voll nutzbar. Das ursprüngliche Steuerungskonzept sah vor, dass die Abwasserpumpwerke während Trockenwetter lokal gesteuert werden, das heißt unabhängig voneinander. Erst wenn der Wasserstand an einem der Pumpwerke einen vorgegebenen Regenwetterpegel überschritt, fand der Wechsel in die globale Steuerung statt.

Es wurde tatsächlich deutlich, dass die Entlastungssituation größtenteils durch den frühzeitigen Wechsel in die globale Steuerung vor einem Regenereignis verbessert wird. Die Verwendung von Abflussprognose (Qprog) oder Regenprognose (Rprog) zur Aussteuerung der Abwasserpumpwerke während der Regenereignisse hat hingegen einen untergeordneten Effekt. Der Aufwand, um ein solches „Frühwarnsystem“ zu installieren scheint relativ gering, da allein das quantitative Signal „Niederschlag wird innerhalb der nächsten Stunde erwartet“ benötigt wird.

Im Allgemeinen kann aus diesem Ergebnis geschlossen werden, dass vor Niederschlagsereignissen die Pegel in den Saugräumen möglichst tief gehalten werden sollten, um die Speicherräume voll nutzen zu können.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass das Potenzial von Online-Niederschlagsmessung und Niederschlagsvorhersage aus Radardaten bezüglich der Unterstützung des Pumpwerkbetriebes in Berlin als vernachlässigbar gering einzustufen ist. Eine Reduktion von Mischwasserüberläufen durch Berücksichtigung der Niederschlagsinformationen bei der Steuerung der Pumpwerke ist nicht zu erwarten. Das hat mehrere Gründe:

- Die ursprüngliche globale Steuerung ohne Prognose-Baustein führt bereits zu einer sehr guten Ausnutzung des in den Kanalnetzen vorhandenen Speicherpotenzials.
- Sowohl die maximale Fördermenge der einzelnen Pumpwerke als auch der Gesamtförderstrom zur Kläranlage sind aufgrund von maschinen- und verfahrenstechnischen Randbedingungen begrenzt. Dies schränkt die Flexibilität der Steuerung ein.
- Bei gefüllten Speichern sind die Reaktionszeiten im Berliner System zu kurz, um mit Hilfe von Niederschlagsinformationen erfolgreich auf die Steuerung der Pumpwerke einzuwirken. Die Fördermengen der Abwasserpumpwerke sind zu gering, um bei einer Vorwarnzeit von einer Stunde die Speicherinhalte maßgebend zu beeinflussen.

## 5 Literaturverzeichnis

bpi (1989): Entwässerungsnetz im Einzugsgebiet des HPw Wedding, Seestraße. Kanal- und Schmutzfrachtberechnung. Erläuterungsbericht. bpi Hannover Beratende Ingenieure. Interner Bericht.

bpi (1997): Entwässerungsnetz im Einzugsgebiet des APw Tiergarten, Alt-Moabit (Berlin VIII). Kanal- und Schmutzfrachtberechnung. Erläuterungsbericht. bpi Hannover Beratende Ingenieure. Interner Bericht.

bpi (2002): Schmutzfrachtberechnungen im Einzugsgebiet APw Tiergarten, Genthiner Straße (Bln VII). Sanierungszustand 2002. Erläuterungsbericht. bpi Hannover Beratende Ingenieure. Interner Bericht.

Bpi (1992): Schmutzfrachtberechnungen im Einzugsgebiet APw Tiergarten, Genthiner Straße (Bln VII). Erläuterungsbericht. bpi Hannover Beratende Ingenieure. Interner Bericht.

Chumchean S., Einfalt T., Vibulsirikul P., Mark O. (2005). To prevent floods in Bangkok: An operational radar and RTC application- Rainfall forecasting. 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August

Delattre J.-M. (2004). L'exploitation en temps réel du réseau d'assainissement de Seine-Saint-Denis (France). Traduction en français de l'article rédigé en espagnol. GADU (La gestion avanzada del drenaje urbano) 2004, II Congreso International, Barcelone, 25-26 octobre

DWA (2005). Merkblatt DWA-M 180: Handlungsrahmen zur Planung von Abflusssteuerung in Kanalnetzen. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.

Einfalt T. (2005). A hydrologist's guide to radar use in various applications. 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August

EU (2000): Water Framework directive, Directive 2000/60/EC, European

Parliament and Council, 23/10/2000.

Fuchs L., Seggelke K. (2003). Gemeinsame Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage- Veranlassung und Lösungsansätze-. ATV-DVWK-Workshop „Mess- und Regelungstechnik in Abwassertechnischen Anlagen“, Wuppertal, 25-16 November

Kopecny E, Entem S., Lahoud A., Moelle A., Yde L., Soulier M. (1999): Real Time Control of the Sewer System of Boulogne Billancourt a Contribution to improving the Water Quality of the Seine. Proceedings of 3<sup>rd</sup> DHI Software Conference, Helsingør, Denmark.

Krämer S., Fuchs L., Verworn H.-R. (2006). Aspects of Radar Forecasts and their Effectiveness for Real Time Control –The Example of the Sewer System of the City of Vienna. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Urban Drainage Modelling, 3-7 April, Melbourne, Australian

Pawlowsky-Reusing E., Schroeder K. (2006). ISM – Integrated Sewage Management. Final internal Report, unpublished.

Schroeder K., Pawlowsky-Reusing E., Gommery L., Phan L. (2004): Integrated Sewage Management – Development of a global Real Time Control for three interconnected Subcatchments of the Berlin Drainage System. Proceedings Novatech 2004, 6th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management, Lyon, France.

Schütze M., Campisano A., Colas H., Schilling W., Vanrolleghem P. A. (2002): Real-time control of wastewater systems- where do we stand today?. Proceedings of ninth International Conference on Urban Drainage; Portland/Oregon, USA.

Verworn H.-R., Krämer S. (2005). Aspects and Effectiveness of Real-Time Control in Urban Drainage Systems combining Radar Rainfall Forecasts, Linear Optimization and Hydrodynamic Modelling. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Computing and Control for the Water Industry, 5-7 September, Exeter, UK

Vieux B.E., Bedient P.B., Mazroi E. (2005). Real-time urban runoff simulation using radar rainfall and physics-based distributed modelling for site-specific

forecasts. 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August

Ziegler J., Krämer S., Verworn H.-R. (2006). Langzeitsimulation mit Radardaten. KA-Abwasser, Abfall2006 (53) Nr. 11