

# REPORT

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

## Umsetzung eines Entscheidungshilfesystems zur Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken

Project acronym: EVA

by

Kai Schroeder, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH  
Klaus Buchholz, Berliner Wasserbetriebe

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



Berlin, Germany

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 It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications.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

Duration: 04/2006 – 03/2008  
Volume: 620.000 €  
Contractors: Konrad-Zuse-Zentrum Berlin, FU Berlin – Institut für Meteorologie,  
TU Berlin – FG Siedlungswasserwirtschaft  
Contact at KWB: Kai Schroeder

### **Work Package 1 – Development and test of the decision support system**

The objective of work package 1 of the EVA project was the pilot implementation and evaluation of a global control system for Berlin's sewage pump stations. The concept was realized in form of a decision support system for three combined sewer pump stations that are controlled by the central control room of BWB:

- Bln V Holzmarktstraße
- Bln XI Erich-Weinert-Straße
- Bln XII Rudolfstraße.

The control objectives were

- dynamic adaptation of the inflow to wwtp Schönerlinde during rainfall according to the variable treatment capacity
- reduction of combined sewer overflows

The following tasks have been carried out:

1) Preliminary study of the pilot catchment regarding technical and structural boundary conditions and planning of the decision support system. The analysis of operational data from 31.12.2005 to 07.10.2006 showed that several times the available storage capacities within the combined sewer system remained underutilized, though CSO took place at the same time. However, the data analysis also showed that complete storage

equalization would not be possible due to limited pump capacities. On average in 2007 the maximum pump capacity of the analyzed combined sewer pump stations was only 18 % above the regular conveyance according to the water authority permit.

2) Temporal water level and flow measurements within the overflow channel of CSO 1 at pump station Bln XI. The measurements were used to validate the CSO volumes calculated and stored within the BWB scada system (PI System). It could be shown that the distance between CSO and the measurement point that is used to assess CSO volume (water level measurement at the pump station, Poleni calculation) lead to an erroneous calculation. Due to changing hydraulic situations there is no correlation between the water level at the CSO and that at the pump station. Therefore, generally valid information on CSO volumes cannot be derived from the water level measurement carried out at pump station Bln XI. Further sources of errors of the current CSO monitoring concept are due to the low resolution of measured values, the uncertainties at the transition between perfect and imperfect overfall at the CSO crest and the indirect form of measurement.

3) Development of the decision support system EVA in form of a pilot software based on MS Excel. In cooperation between the BWB departments NA-W/V/I and AE and KWB a target-oriented development and a stepwise adaptation of the software to operational needs took place. To evaluate the effect of the EVA control on the collection system the dynamic flow routing model InfoWorks CS was used. Therefore, the EVA algorithm was also implemented in InfoWorks CS (as rtc file) and is available for further applications.

4) On-road test of the decision support system between November 2007 and January 2008 and evaluation of the collected operational data. During seven rain events the control of the pump stations Bln V, Bln XI and Bln XII was carried out according to the EVA suggestions. For the first time at BWB, operational data from collection system, pump stations and wastewater treatment plants were linked and used to control the system in an integrated manner. In particular, the interest of the operational teams at the central control room and the preparedness to use the decision support system EVA was a basic prerequisite for the test. With the support of the operational teams the test could be carried out successfully.

After the evaluation of the test the results have been used to assess the possibilities and benefits of a fully automated global control of Berlin's sewage pump stations. The following remarks and recommendations can be given:

- During the test the capacities of the conveying system (pump stations + pressure mains) were partly reached. The reasons were limited capacities of the pump stations due to the design of the machinery in the peak range, machine malfunctions, data transmission breakdowns, limitations and pressure increases within the mains due to pipe damages or building measures. Due to these operational boundary conditions the teams could not always act on the suggestions of the decision support system. It is assumed that those boundary conditions would affect an automated control system in the same manner and would reduce the effectiveness of the system.
- The test of the decision support system showed that global pump station control can lead to a reduction of CSO volumes only during low intensity rain events.
- Numerical simulations have been carried out based on the dynamic flow routing model InfoWorks CS. The results show that within the studied system the maximum reduction in annual CSO volumes by applying the EVA control will be 5 % compared to the regular conveyance according to the water authority permit. It is assumed that the above mentioned constraints (machine malfunctions, pressure increases within the mains, limited capacities of the wastewater treatment plants during heavy rain) will lead to an even lower effect.
- In the frame of this project the catchment of wwtp Schönerlinde was studied; the results cannot be directly transferred to the entire Berlin wastewater system or the future state of the combined water system after rehabilitation. However, when integrating the findings of the EVA project and the results of former studies, it can be concluded that an automated global control can be considered meaningful only for selected sewage pump stations and after enhancement of the current system's capacity (peak conveyance flows of the pumps, pressure mains and wet weather treatment capacity of wwtps).
- For supervision and control of the combined sewer system and for performance review the monitoring of the Berlin CSOs should be improved. A more precise determination of overflow volumes can be realized by cost-effective measurements of the water level at the overflow crest of the CSOs.

## **Abstract (German)**

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

Dauer: 04/2006 – 03/2008  
Volumen: 620.000 €  
Vertragspartner: Konrad-Zuse-Zentrum Berlin, FU Berlin – Institut für Meteorologie, TU Berlin – FG Siedlungswasserwirtschaft  
Kontakt im KWB: Kai Schroeder

#### **Arbeitspaket 1 – Entwicklung und Test des Entscheidungshilfesystems**

Zielstellung des im Rahmen des EVA Projekts durchgeführten Arbeitspaketes 1 war die Erprobung einer Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken und aktiven Bewirtschaftung von Kanalspeicherräumen während Niederschlags. Das Konzept wurde realisiert in Form eines Entscheidungshilfswerkzeugs zur Steuerung der von der Pumpwerksleitzentrale bedienten Abwasserpumpwerke

- Bln V Holzmarktstraße
- Bln XI Erich-Weinert-Straße
- Bln XII Rudolfstraße.

Die Steuerungsziele waren

- die dynamische Anpassung des Gesamtzuflusses zum angeschlossenen Klärwerk Schönerlinde auf die dortige Reinigungsleistung
- die Reduktion von Regenüberläufen in die als Vorflut dienenden Gewässer.

Folgende Arbeitsschritte wurden vollzogen:

1) Voruntersuchung des Pilotgebietes bezüglich der technischen und strukturellen Randbedingungen und Planung des Entscheidungshilfswerkzeugs. Die zu diesem

Zweck durchgeführt Analyse von Betriebsdaten vom 31.12.2005 bis 07.10.2006 zeigte, dass während Regenereignissen Speicherkapazitäten in den Mischwasserkanalnetzen häufig ungenutzt blieben, während mancherorts bereits Regenüberlauf stattfand. Die Betriebsdatenanalyse zeigte jedoch auch, dass auf Grund begrenzter Förderkapazitäten (Möglichkeit der Fördererhöhung über  $Q_{WBE}$ ) ein Speicherausgleich nicht vollständig möglich sein würde. Die maximale Förderleistung der betrachteten Mischwasserpumpwerke lag in 2007 im Mittel 18 % über der Förderung nach Wasserbehördlicher Erlaubnis.

2) Durchführung von Wasserstands- und Durchflussmessungen im Entlastungskanal des Regenüberlauf 1 am Pumpwerk Bln XI. Die Messungen wurden verwendet, um die im PI-System berechneten Regenüberlaufmengen punktuell zu validieren. Es zeigte sich, dass die räumliche Distanz zwischen Entlastungsstelle (Regenüberlaufbauwerk) und dem Ort der Messwertaufnahme (Zulaufkammer Pumpwerk) zu einer fehlerhaften Berechnung der Überlaufmengen im PI System führt. Aufgrund unterschiedlicher hydraulischer Belastungen gibt es keine Korrelation zwischen den Wasserständen am RÜ und im Pumpwerkszulauf. Basierend auf der Wasserstandsmessung am Pumpwerk Bln XI kann somit keine allgemeingültige Aussage über die Entlastungsvolumina getroffen werden. Weitere Fehlerquellen der aktuellen Überlaufmengen-Bestimmung liegen in der geringen Messwertauflösung, den Unsicherheiten beim Übergang vom vollständigen zum unvollständigen Überfall am RÜ und prinzipiell in der indirekten Bestimmung der Mengen begründet.

3) Entwicklung des Entscheidungshilfswerkzeugs in Form einer Pilotsoftware auf Excel-Basis. In Kooperation zwischen NA-W/V/I, AE und KWB konnte die Pilotsoftware zielgerichtet entwickelt werden. Schrittweise erfolgte die Anpassung der Software an den Bedarf des Bedienpersonals der Leitzentrale Pumpwerke. Um abzuschätzen, wie sich das Einstellen der vom EVA-Tool vorgeschlagenen Fördermengen auf das Verhalten des Abwassernetzes auswirkt, wurde das Systemverhalten mit Hilfe der hydrodynamischen Simulationssoftware InfoWorks CS simuliert. Dazu wurde der dem EVA-Tool zugrunde liegende Verteilungsalgorithmus auch in InfoWorks CS implementiert und steht für weitere Anwendungen zur Verfügung.

4) Praxistest des Entscheidungshilfswerkzeugs von November 2007 bis Januar 2008 und Auswertung der hierbei gesammelten Daten. Während sieben Regenereignissen

wurde nach den EVA-Vorschlägen gezielt in den Automatikbetrieb der Pumpwerke Bln V und Bln XI eingegriffen bzw. in Bln XII wurde die Förderung entsprechend gesteuert. Für den Praxistest wurden erstmalig die Betriebsdaten aus Kanalnetz, Pumpwerken und Klärwerken integral miteinander verbunden und als Steuerungsgrundlage genutzt, damit stellt dieser Test eine besondere Leistung dar. Insbesondere das Interesse und die Bereitschaft des Bedienpersonals in der Leitzentrale Holzmarktstraße, das zur Verfügung gestellte Entscheidungshilfesystem EVA zu nutzen und zu erproben, stellte eine Grundvoraussetzung für den Praxistest dar. Durch die Unterstützung des Bedienpersonals konnte der Test erfolgreich durchgeführt werden.

Als Ergebnis der Arbeiten und nach Auswertung des Praxistests wurden Möglichkeiten und Nutzen einer automatisierten Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken im Berliner Entwässerungssystem abgeschätzt. Folgende Hinweise und Empfehlungen können gegeben werden:

- Während des Tests wurden zum Teil die Leistungsgrenzen des Fördersystems erreicht, wie z.B. die begrenzte Förderleistung der Pumpwerke aufgrund der Auslegung im Spitzenbereich, Maschinenstörungen, Datenübertragungsausfälle und Einschränkungen bzw. Druckerhöhungen im ADL-Netz durch Rohrschäden oder Baumaßnahmen. Aufgrund der betrieblichen Randbedingungen konnten die Vorschläge des Entscheidungshilfesystems vom Bedienpersonal nicht immer umgesetzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die genannten Bedingungen auch eine automatisierte Verbundsteuerung regelmäßig betroffen und in ihrer Wirkungsweise beeinträchtigt wäre.
- Anhand der Niederschlagsereignisse, während der das Entscheidungshilfesystem getestet wurde, konnte man erkennen, dass eine positive Einwirkung auf das Entlastungsverhalten durch die Verbundsteuerung der Pumpwerke nur bei intensitätsschwachen Regenereignissen möglich war.
- Für das untersuchte System wurde mittels numerischer Simulation gezeigt, dass die Reduktion der Jahresüberlaufmengen durch die EVA-Steuerung gegenüber der Förderung nach WBE maximal 5 % betragen würde. Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der oben genannten Zwänge (Maschinenstörungen, Druckerhöhungen im ADL-Netz, beschränkte Kapazität des Klärwerks während Regenwetters) eine automatisierte



Pumpwerksverbundsteuerung zu keiner relevanten Reduktion der Mischwasserüberlaufmengen im betrachteten System führen würde.

- Im Rahmen des Projektes wurde das Einzugsgebiet des Klärwerks Schönerlinde betrachtet, die Ergebnisse können nicht direkt auf das Gesamtwässerungssystem übertragen werden. Auch eine Beurteilung der Situation für den zukünftigen Ausbaugrad der Mischwasserkanalisation ist nur bedingt möglich. Führt man die hier gewonnenen Erkenntnisse mit den Ergebnissen frühere Untersuchungen zu den Einzugsgebieten des Klärwerks Ruhleben (ISM Projekt) und des Klärwerks Schönerlinde (Studie NA-G, 2006) zusammen, so lässt sich sagen, dass eine automatisierte Verbundsteuerung nur für ausgewählte Abwasserpumpwerke sinnvoll erscheint und nur dann von zusätzlichem Nutzen ist, wenn die Leistungsfähigkeit des bestehenden Systems erweitert wird. Das bezieht sich auf die Auslegung der Pumpen im Spitzenbereich, die Förderwege im Abwasserdruckleitungsnetz und die Reinigungskapazität der Klärwerke im Regenwetterfall.
- Unter den gegebenen Bedingungen lässt sich insbesondere im Einzugsgebiet des Klärwerks Schönerlinde auf Grund des gravierenden Fremdwassereinflusses in den Schmutzwassernetzen das Defizit zwischen Leistungsvermögen des Klärwerks und maximaler durch die Pumpwerke realisierbarer Zulaufmenge bei Starkregenereignissen nicht durch eine Pumpwerksverbundsteuerung ausgleichen. Günstigere Bedingungen herrschen im Einzugsgebiet des Klärwerks Ruhleben, das durch Mischwasserpumpwerke dominiert wird. Für den Fall, dass Fördermöglichkeiten über den Werten nach WBE geschaffen werden, kann hier durch eine Verbundsteuerung ausgewählter Abwasserpumpwerke eine positive Wirkung erwartet werden. Untersuchungen zum Einzugsgebiet des Klärwerks Waßmannsdorf liegen nicht vor.
- Zur Überwachung und Kontrolle des Mischwassersystems und der Auswirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen sollte das Monitoring der Mischwasserüberläufe weiter verbessert werden. Eine genauere Bestimmung der Überlaufmengen ließe sich durch kostengünstige Messungen des Wasserstands im Mischwasserkanal direkt an den Regenüberlaufbauwerken realisieren.

## **Danksagung**

Die Autoren danken allen Mitarbeitern der Berliner Wasserbetriebe, die mit ihrer Unterstützung die Durchführung dieser Studie ermöglicht haben. Ein besonderer Dank gilt Jens Kersten, Martin Rech, Dr. Johannes Broll, Rene Mannel, Frank Batschon, Steffen Keller, Erika Pawlowsky-Reusing und Ilka Meier für ihre kompetente Beratung und ihr Engagement.

Insbesondere danken wir Rene Mannel für die Programmierung des Entscheidungshilfesystems EVA und dem Bedienpersonal der Leitzentrale Holzmarktstraße für ihr Interesse und die Bereitschaft, das zur Verfügung gestellte System zu nutzen und zu erproben.

# Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Einführung .....  | 1  |
| 1.1   | Kontext.....  | 1  |
| 1.2   | Zielstellung.....   | 1  |
| 1.3   | Arbeitsprogramm.....  | 3  |
| 2     | Beschreibung der technischen Randbedingungen.....                                       | 4  |
| 2.1   | Abwasserpumpwerke .....   | 5  |
| 2.2   | Kanalnetze .....  | 7  |
| 2.3   | Prozessmessungen und Prozessleitsystem .....  | 11 |
| 2.3.1 | Prozessgrößen und Messverfahren .....   | 11 |
| 2.3.2 | Prozessleitsystem .....   | 13 |
| 3     | Vergleichsmessungen am Regenüberlauf Bln XI.....  | 16 |
| 3.1   | Veranlassung und Zielstellung .....   | 16 |
| 3.2   | Material .....  | 16 |
| 3.3   | Messergebnisse und Interpretation .....   | 18 |
| 3.4   | Zusammenfassung.....  | 24 |
| 4     | Entwicklung des Entscheidungshilfwerkzeugs EVA .....                                    | 25 |
| 4.1   | Analyse der Zustandssituation .....   | 25 |
| 4.1.1 | Analyse des Speicherpotentials .....  | 25 |
| 4.1.2 | Analyse der Förderkapazitäten.....  | 33 |
| 4.1.3 | Darstellung der Klärwerkskapazität .....  | 35 |
| 4.1.4 | Zusammenfassung der Analyse der Ist-Situation .....                                     | 36 |
| 4.2   | Entwurf des Steuerungsalgorithmus.....  | 37 |
| 4.2.1 | Problemstellung .....   | 37 |
| 4.2.2 | Zielsetzung .....   | 38 |
| 4.2.3 | Anwendungsgebiet und Randbedingungen.....   | 38 |
| 4.2.4 | Bestimmung des aus Bln V, Bln XI und Bln XII zu fördernden<br>Gesamtvolumenstroms ..... | 39 |
| 4.2.5 | Grundidee zur Verteilung des Gesamtvolumenstroms auf die einzelnen<br>Pumpwerke .....   | 40 |
| 4.2.6 | Berechnung der theoretisch optimalen Verteilung .....                                   | 41 |
| 4.2.7 | Berücksichtigung maximaler Pumpwerks-Fördermengen<br>(Randbedingung 1) .....            | 43 |
| 4.2.8 | Berücksichtigung möglicher Schaltstufen (Randbedingung 2).....                          | 45 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.3   | Umsetzung des Algorithmus für das Entscheidungshilfe-Werkzeug EVA..... | 46 |
| 4.4   | Umsetzung des EVA Steuerungsalgorithmus in InfoWorks .....             | 48 |
| 5     | Testbetrieb des Entscheidungshilfewerkzeugs EVA .....                  | 50 |
| 5.1   | Methodik der Bewertung .....   | 50 |
| 5.2   | Kalibrierung des Modells .....   | 51 |
| 5.2.1 | Trockenwetterkalibrierung.....   | 51 |
| 5.2.2 | Regenwetterkalibrierung .....  | 53 |
| 5.3   | Ergebnisse des Testbetriebs.....                                       | 61 |
| 5.3.1 | Analyse der Förderflexibilität.....                                    | 61 |
| 5.3.2 | Wirkung der Verbundsteuerung auf die Mischwasserüberläufe.....         | 64 |
| 6     | Zusammenfassung.....   | 68 |

## Bildverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Bild 2.1 Einzugsgebiete des KW Schönerlinde und der im Rahmen der EVA Untersuchung betrachteten Abwasserpumpwerke .....   | 4  |
| Bild 2.2 Zusammensetzung des Zulaufs des KW Schönerlinde während Trockenwetter .  | 5  |
| Bild 2.3 Kanalnetz des APw Bln V (Modellplan).....  | 8  |
| Bild 2.4 Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln V.....   | 8  |
| Bild 2.5 Kanalnetz des APw Bln XI (Modellplan).....   | 9  |
| Bild 2.6 Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln XI.....  | 10 |
| Bild 2.7 Kanalnetz des APw Bln XII (Modellplan).....  | 10 |
| Bild 2.8 Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln XII.....   | 11 |
| Bild 2.9 Schema der SPS-Struktur LISA.....  | 13 |
| Bild 2.10 Schema Fernwirkknoten Pumpwerksgruppe Zehlendorf.....   | 14 |
| Bild 2.11 Kommunikationsschema Prozessleitsystem LISA.....  | 14 |
| Bild 2.12 Beispielsignalfloss im LISA Prozessleitsystem zum PI-Server .....   | 15 |
| Bild 3.1 Bestandsplan des Kanalnetzes im Zulauf zum Pumpwerk Bln XI und Kennzeichnung der Messstelle.....   | 16 |
| Bild 3.2 Revisions-Zeichnung mit Grundriss und einigen Querschnitten des Überlaufbauwerks .....   | 17 |
| Bild 3.3 Volumen-Summenlinie der Entlastungsereignisse am Pumpwerk Bln XI, RÜ 1 von Mai bis November 2006.....  | 19 |
| Bild 3.4 Exemplarische Darstellung der Diskrepanz zwischen RÜ-Berechnung durch das PI-System und direkter Überlaufmessung für den 22.05.2006.....                     | 21 |
| Bild 3.5 Exemplarische Darstellung der Überschätzung des RÜ-Abflusses im PI-System für den 13.07.2006 .....   | 22 |
| Bild 3.6 Darstellung der hydraulischen Situation im Mischkanal bei intensitäts-schwachen und –starken Überlaufereignissen.....  | 22 |
| Bild 3.7 Vergleich zwischen gemessenen Abflüssen und PI Abflüssen nach Anpassung der kritischen Ordinate .....  | 23 |
| Bild 4.1 Anzahl und Gesamtdauer der Regenüberläufe unterteilt nach den vier Abwasserpumpwerken.....   | 27 |
| Bild 4.2 Verteilung der Regenüberlaufereignisse an den vier Pumpwerken nach Dauerklassen .....  | 27 |
| Bild 4.3 Korrelation zwischen der Anzahl der RÜ Ereignisse und dem spezifischen Kanalspeichervolumen (links) und Korrelation zwischen der mittleren Ereignisdauer und |    |

|  |    |
|--|----|
| dem Quotienten aus aktivierbarem Speichervolumen und mittlerem Kanalnetzgefälle (rechts) .....   | 28 |
| Bild 4.4 Exemplarische Darstellung der auf zeitliche Überschneidung bezogenen unterschiedlichen Regenüberlauf-Phasen.....  | 29 |
| Bild 4.5 Anzahl und Dauer der Ereignisse von Januar bis Oktober 2006, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe).....  | 29 |
| Bild 4.6 Dauer der Regenüberläufe und der Phasen von Januar bis Oktober 2006, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe).....  | 30 |
| Bild 4.7 Verteilung des „alleinigen“ Überlaufs nach Dauerklassen in Prozent von der Gesamtereignisdauer.....   | 31 |
| Bild 4.8 Verteilung des „alleinigen“ Überlaufs nach Dauerklassen in Minuten .....  | 32 |
| Bild 4.9 Dauer der Regenüberläufe, Dauer der Phasen, während der an 1-2 weiteren Pumpwerken Regenüberlauf stattfand und Dauer der Phasen, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe) von Januar bis Oktober 2006 ..... | 33 |
| Bild 4.10 Gesamtzulauf Klärwerk Schönerlinde und Ablaufwerte für den Parameter Ammonium-Stickstoff vom 20.01.2006 bis 23.01.2006.....  | 36 |
| Bild 4.11 Übersicht über die Abwasserströme zum Klärwerk Schönerlinde .....  | 39 |
| Bild 4.12 Ermittlung der prozentualen Förderspannenanteile aus den Prioritäten.....  | 42 |
| Bild 4.13 Schrittweise Berechnung der Fördervolumenströme bei Überschreiten von $Q_{max}$ .....  | 44 |
| Bild 4.14 Bestimmung der einzustellenden Volumenstrom-Schaltstufen an den einzelnen Pumpwerken.....  | 45 |
| Bild 4.15 Screenshot der Benutzeroberfläche des Entscheidungshilfesystems EVA.....   | 48 |
| Bild 5.1 Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss $Q$ in $Tm^3/d$ für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet BIn V .....  | 52 |
| Bild 5.2 Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss $Q$ in $Tm^3/d$ für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet BIn XI .....   | 53 |
| Bild 5.3 Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss $Q$ in $Tm^3/d$ für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet BIn XII .....  | 53 |
| Bild 5.4 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN im Saugraum am HPw BIn V beispielhaft für das Regenereignis vom 02.08.2006 in mm/h .....  | 55 |

|  |    |
|--|----|
| Bild 5.5 Gemessene und simulierte Pegelstände (dargestellt für 3 verschiedene Parametersätze a/b/c) in mNN im Saugraum am APw Bln XI beispielhaft für das Regenereignis vom 11.12.2006 in mm/h ..... | 56 |
| Bild 5.6 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN im Saugraum am APw Bln XII beispielhaft für das Regenereignis vom 29.08.2006 in mm/h gemessen in den Teileinzugsgebieten Bln V und Lbg .....    | 56 |
| Bild 5.7 Ganglinien - Beziehungen zur Definition der Prüfgrößen .....  | 58 |
| Bild 5.8 Abwasserförderung an den drei Pumpwerken Bln V, Bln XI und Bln XII während des Niederschlagsereignisses am 25.11.2007 und Vergleich mit EVA Vorschlag und WBE Fördermenge .....             | 62 |
| Bild 5.9 Anteil der Gesamtdauer der sieben Bewirtschaftungsereignisse, während dem an den einzelnen Pumpwerken und in der Summe dem EVA Vorschlag gefolgt werden konnte .....                        | 64 |
| Bild 5.10 Verlauf der Wasserstände in den drei Pumpwerken Bln V, Bln XI und Bln XII während des Niederschlagsereignisses am 03.12.2007 .....   | 65 |
| Bild 5.11 Überlaufmengen am 01.12.2007 und 03.12.2007 für die drei betrachteten Szenarien REAL, EVA und WBE unterschieden nach Abwasserpumpwerk .....  | 66 |
| Bild 5.12 Überlaufmengen während der gesamten Testphase für die drei betrachteten Szenarien REAL, EVA und WBE unterschieden nach Abwasserpumpwerk .....  | 67 |
| Bild 5.13 Vergleich der simulierten Jahresüberlaufmengen für die Szenarien EVA und WBE unter Ansatz der Niederschlagsmessungen der Station Neukölln im Jahr 1997 ...                                 | 68 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 2.1 Technische Daten des HPw Bln V (Pumpwerk Friedrichshain, Holzmarktstr.)<br>.....  | 6  |
| Tabelle 2.2 Technische Daten des APw Bln XI (Pumpwerk Prenzlauer Berg, Erich-<br>Weinert-Str.) .....  | 6  |
| Tabelle 2.3 Technische Daten des APw Bln XII (Pumpwerk Friedrichshain, Rudolfstr.) ..   | 7  |
| Tabelle 3.1 Dauern und Volumina der Entlastungsereignisse am Pumpwerk Bln XI, RÜ 1<br>von Mai bis November 2006.....  | 19 |
| Tabelle 3.2 Gegenüberstellung der gemessenen Entlastungsgrößen mit den über das PI-<br>System verfügbaren Werten.....   | 20 |
| Tabelle 4.1 Zusammenfassung der für die statistische Auswertung verwendeten PI<br>Daten und aufgetretene Extrempegel.....   | 26 |
| Tabelle 4.2 RÜ-Ereignisse, während der entsprechend Auswertung in Kapitel 4.1.1 über<br>mehr als eine halbe Stunde Speicherkapazitäten ungenutzt blieben.....   | 34 |
| Tabelle 4.3 Vergleich der Fördermengen der Pumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII<br>während „alleinigem“ Regenüberlauf mit den Werten nach Wasserbehördlicher Erlaubnis<br>und den maximal realisierbaren Förderströmen ..... | 35 |
| Tabelle 5.1 Niederschlagsereignisse während des Tests des Entscheidungshilfesystems<br>.....  | 61 |



# 1 Einführung

## 1.1 Kontext

Die in den kommenden Jahren steigenden gesetzlichen Anforderungen zum Schutz der Gewässer erfordern auf Seite der Siedlungsentwässerung eine optimierte Auslastung der vorhandenen abwassertechnischen Anlagen. Die zukünftige Betriebssituation der Anlagen stellt sich zugleich wie folgt dar: Vergleichbar mit der Entwicklung in der prozess- und anlagengebundenen Industrie kommt es zu einer zunehmenden Automatisierung der Systemprozesse. Ohne eine zielgerichtete Koordinierung der Teilprozesse und Stellglieder und ohne zusätzliche Hilfestellungen für das dann reduzierte, überwachende Betriebspersonal kann es zeitweise zu Leistungseinschränkungen im Betrieb der Abwasseranlagen kommen, bei gleichzeitig unzureichender Ausnutzung vorhandener Kapazitäten.

Systeme zur Abflusssteuerung in Kanalnetzen finden sich zum Teil seit etlichen Jahren im Betrieb. Die herkömmliche Kanalnetzsteuerung kann somit als Stand der Technik bezeichnet werden. In den letzten Jahren hat jedoch der starke Fortschritt im Bereich der Informationstechnologie und der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik neue Entwicklungsmöglichkeiten für weitergehende Steuerungskonzepte eröffnet.

Die Verbundsteuerung großräumiger, komplexer Entwässerungssysteme wurde bislang nur selten umgesetzt und befindet sich noch in der betrieblichen Erprobung. Bei Betrachtung der internationalen Fachliteratur wird deutlich, dass es nach wie vor an Studien zur Wirkung umgesetzter Systeme mangelt. Insbesondere die Steuerung von durch Abwasserpumpwerke und -druckleitungen geprägten Entwässerungssystemen wurde bis heute nur unzureichend untersucht.

In Berlin erfolgt die Beschickung der Kläranlagen über Abwasserpumpwerke und ein Netz von Abwasserdruckleitungen (ADL). Die Pumpwerke stellen somit die zentralen Steuerungsaktoren zur Verteilung des Abwassers auf die Klärwerke dar und können zugleich durch ihre Rückwirkung auf die Kanalnetze zur Bewirtschaftung des Sammlersystems genutzt werden. Hierin begründet sich auch das Potential einer Pumpwerksverbundsteuerung, das im Rahmen des KWB-Projektes „Integrated Sewage Management (ISM)“ theoretisch nachgewiesen werden konnte. Den Erkenntnissen zufolge kann eine übergeordnete Steuerung der Abwasserpumpwerke sowohl zur innerbetrieblichen Prozessstabilität beitragen (Vermeidung von Stoßbelastungen, Vergleichmäßigung der Prozesse), als auch zu einer Reduktion von Emissionen ins Gewässer führen.

## 1.2 Zielstellung

Zielstellung des im Rahmen des EVA Projekts durchgeführten Arbeitspaketes 1 ist die Erprobung des aus dem ISM-Projekt hervorgegangenen Konzeptes zur Steuerung der Abwasserpumpwerke und Bewirtschaftung der Kanalspeicherräume. Das Konzept soll in Form eines Entscheidungshilfemittels zur Steuerung der von der Pumpwerksleitzentrale bedienten Anlagen realisiert werden. Die Entscheidung, die Vorschläge des Hilfesystems in das Leitsystem zu übernehmen, erfolgt durch den Bediener in der Leitzentrale.

Die Entscheidungshilfe soll dazu führen, dass bei Annahme eines Entscheidungsvorschlages die Förderung ausgewählter Pumpwerke so gesteuert wird, dass

- der Gesamtzufluss zum angeschlossenen Klärwerk zu keiner Zeit die dortige Reinigungskapazität überschreitet und
- die Belastung von Regenüberläufen auf die als Vorflut dienenden Gewässer reduziert wird.

Die allgemeine Zielstellung ist, dass gegenüber heutiger subjektiver Einschätzung und anschließender Bedienerentscheidung zukünftig nach objektiver Einschätzung von

- Zulaufsituation mehrerer Pumpwerke
- Kanalnetzauslastung (Speichervolumen) und
- Klärwerksstatus (z. B. aktuelle Reinigungsleistung)

automatisch Handlungsvorschläge zur weiteren Entscheidung durch die Bediener in der Leitzentrale der Pumpwerke zur Verfügung stehen.

Die Untersuchung erfolgt für 3 ausgewählte Abwasserpumpwerke im Einzugsgebiet des KW Schönerlinde:

- Bln V            Holzmarktstraße
- Bln XI          Erich-Weinert-Straße
- Bln XII        Rudolfstraße

Für diese Pumpwerke treffen vergleichbare Eigenschaften zu:

- Mischwasserpumpwerk
- keine Regenbecken
- etwa gleiche Tagesförderleistung

Die in den jeweiligen Kanalnetzen verfügbaren Kanalspeicherkapazitäten weisen jedoch eine hohe Heterogenität aus (Bln V: 29,7 m<sup>3</sup>/ha, Bln XI: 9,2 m<sup>3</sup>/ha, Bln XII: 16,1 m<sup>3</sup>/ha). Somit besteht ein theoretisches Potential, über die Koordination der Förderströme und Mischwasserspeicherung eine Reduzierung der Regenüberläufe zu erzielen.

Im Ergebnis der Untersuchung soll der Vergleich der Betriebsergebnisse bei unterschiedlicher Steuerung bzw. Fahrweise dieser Pumpwerke stehen:

1. Ohne Nutzung der Entscheidungshilfe (Förderung nach Wasserbehördlicher Erlaubnis)
2. Teilweise Nutzung der Entscheidungshilfe
3. Vollständige Nutzung der Entscheidungshilfe (optimaler EVA Betrieb)

### 1.3 Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm beinhaltet die folgenden Punkte:

- Zustandsanalyse
- Entwurf und Programmierung des Entscheidungshilfesystems auf Grundlage des im Rahmen des ISM-Projektes entwickelten Steuerungsalgorithmus
- Erprobung des Entscheidungshilfesystems auf der Pumpwerksleitzentrale und Anpassung des Systems unter Beachtung der technischen Notwendigkeiten und durch LISA gegebenen Randbedingungen
- Auswertung der gesammelten Betriebserfahrungen bei der Anwendung des Entscheidungshilfesystems und Bewertung.

Im Jahr 2006 lag der Schwerpunkt auf der Voruntersuchung des Pilotgebietes bezüglich der technischen und strukturellen Randbedingungen und der Konzeption und Planung des Entscheidungshilfewerkzeugs. Im Jahr 2007 wurde das Entscheidungshilfewerkzeug in Form einer Pilotsoftware auf Excel-Basis und die Methodik zur Bewertung des Testbetriebes entwickelt. Von November 2007 bis Januar 2008 erfolgte der Testbetrieb und im Anschluss die Auswertung der hierbei gesammelten Daten. Dem Entscheidungshilfewerkzeug wurde in Anlehnung an die Projektbezeichnung der Kurzname EVA gegeben.

Als Grundlage für die Konzeption des Entscheidungshilfewerkzeugs wurde eine Bestandsaufnahme des zugrunde liegenden technischen Systems durchgeführt. Die Bestandsaufnahme umfasste die Maschinentechnik in den betrachteten Abwasserpumpwerken (insbesondere Veränderungen im Zuge der LISA Maßnahmen), die angeschlossenen Kanalnetze sowie das Prozessleitsystem und die dahinter liegenden Prozessmessungen. Eine Zusammenfassung gibt Kapitel 2 dieses Berichtes.

Neben der Einhaltung des kritischen Klärwerk-Zulaufs sind Zielgrößen des EVA-Systems Dauer, Häufigkeit und Volumina der Mischwasserüberläufe. Um die im PI-System berechneten Regenüberlaufmengen punktuell zu validieren, wurde im RÜ-Kanal des Pumpwerks BIn XI eine Wasserstands- und Durchflussmessung durchgeführt. Die Ergebnisse der Messung und der Vergleich mit den Daten aus dem PI-System werden in Kapitel 3 beschrieben.

Die Planung des Entscheidungshilfewerkzeugs wurde des Weiteren auf Basis einer Zustandsanalyse durchgeführt. Diese erfolgte in Form einer Auswertung der durch das PI-System verfügbaren Daten. Die statistische Auswertung der PI-Daten und der Entwurf des Systems (Berechnungsprozedur und grafische Gestaltung) werden in Kapitel 4 wiedergegeben.

In Kapitel 5 erfolgt eine Beschreibung des Testbetriebes, die Auswertung der hierbei gesammelten Daten und eine Bewertung der Steuerungsergebnisse.

## 2 Beschreibung der technischen Randbedingungen

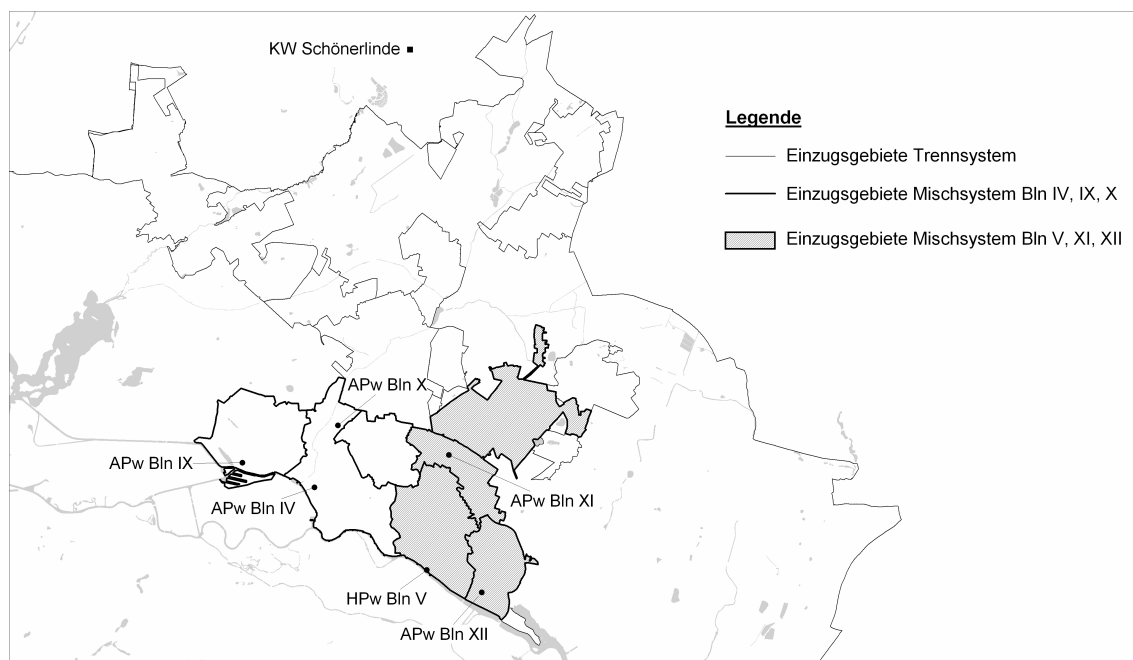
Das Entscheidungshilfswerkzeug EVA soll der Leitzentrale für drei ausgewählte Abwasserpumpwerke im Einzugsgebiet des KW Schönerlinde unterstützende Informationen und Entscheidungshinweise geben. Dabei handelt es sich um die Pumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII, die allesamt im Mischsystem entwässern. Bild 2.1 gibt einen Überblick über die Teileinzugsgebiete und die Lage der Pumpwerke im Einzugsgebiet des Klärwerks Schönerlinde.

Neben den drei genannten Pumpwerken fördern zeitweise auch die Mischwasser-Pumpwerke Bln IV, Bln IX und Bln X zum KW Schönerlinde. Aus verschiedenen Gründen werden diese Pumpwerke zunächst nicht durch das Entscheidungshilfswerkzeug EVA erfasst. Somit werden für diese Pumpwerke keine Entscheidungshinweise gegeben.

Am Pumpwerk Bln IV liegt aufgrund von Baumaßnahmen im Jahr 2007 und teilweiser Nichtausstattung mit Messtechnik eine unsichere Datensituation vor. Eine abgesicherte Datensituation bezüglich der Zustandsgrößen am Pumpwerk bildet jedoch die Grundlage für den hinter EVA liegenden Berechnungsalgorithmus. Des Weiteren erfolgt am Pumpwerk Bln IV eine Aufteilung des Förderstroms nach KW Schönerlinde und KW Ruhleben. Diese Situation stellt einen weiteren Freiheitsgrad dar, der zunächst nicht berücksichtigt werden kann.

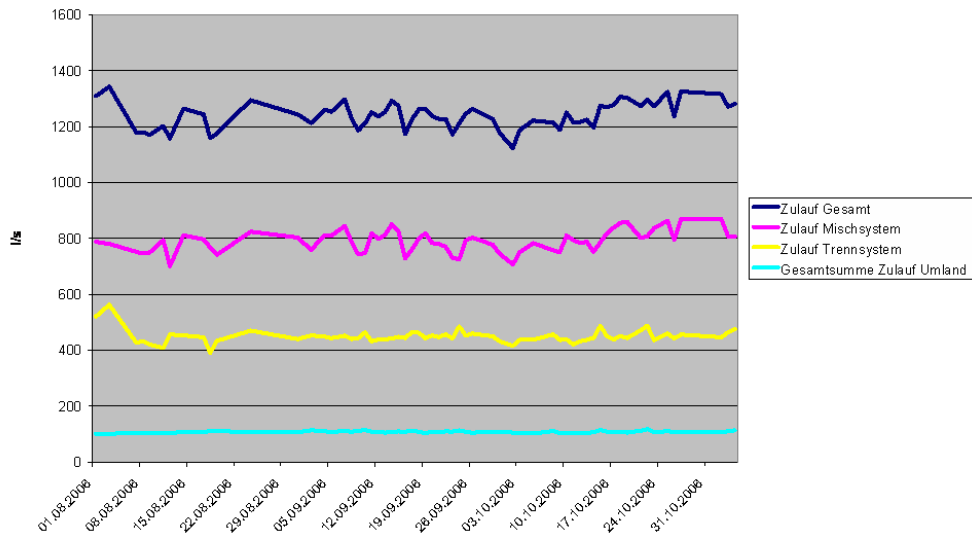
Das Pumpwerk Bln IX soll wegen seiner sensiblen Drucksituation bei Förderung in Richtung KW Schönerlinde nicht berücksichtigt werden.

Am Pumpwerk Bln X kann aufgrund des hohen Kanalnetzgefälles nur im geringen Maße auf Regenwetterzufluss reagiert werden. Durch die hohe Abflussgeschwindigkeit der Regenwasserwelle kann diese durch eine Förderstromerhöhung nur unzureichend bewirtschaftet werden. Aus diesem Grund wird das Pumpwerk Bln X nicht berücksichtigt.



**Bild 2.1** Einzugsgebiete des KW Schönerlinde und der im Rahmen der EVA Untersuchung betrachteten Abwasserpumpwerke

Neben den Fördermengen der Mischwasserpumpwerke behandelt das Klärwerk Schönerlinde das Schmutzwasser aus den nordöstlichen Trenngebieten Berlins und des Berliner Umlands. Während Trockenwetter verteilt sich der Zulauf im Mittel auf etwa 800 l/s aus dem Mischsystem und etwa 450 l/s aus dem Berliner Trennsystem. Weitere 100 l/s stammen aus dem Umland (siehe Bild 2.2).



**Bild 2.2** Zusammensetzung des Zulaufs des KW Schönerlinde während Trockenwetter

Die Gesamtkapazität des Klärwerks während Regenwetter liegt bei ca. 3.500 l/s. Aufgrund von nachlassender Nitrifikationskapazität oder verringerter hydraulischer Leistungsfähigkeit (Anstieg des Schlammspiegels im Nachklärbecken, drohender Schlammabtrieb) während des Niederschlagsereignisses kann dieser Wert reduziert sein. Da die Förderung der Pumpwerke im Trennsystem aufgrund der Belastung durch regenbürtiges Fremdwasser mit höchster Priorität geschieht (um Notüberläufe zu vermeiden), kann es dann zu Förderengpässen für die Pumpwerke im Mischsystem kommen. Diese Situation ist als äußere Randbedingung für die Steuerung der Mischwasserpumpwerke dringend zu beachten.

Im Folgenden werden für die betrachteten Mischwasser-Gebiete die weiteren, für die Entwicklung von EVA notwendigen technischen Randbedingungen zusammengefasst. Die Bestandsaufnahme umfasste die Maschinenteknik in den betrachteten Abwasserpumpwerken, die angeschlossenen Kanalnetze sowie das Prozessleitsystem und die dahinter liegenden Prozessmessungen.

## 2.1 Abwasserpumpwerke

In den Tabelle 2.1 - Tabelle 2.3 erfolgt eine Zusammenstellung der wichtigsten technischen Daten zu den drei betrachteten Abwasserpumpwerken.

**Tabelle 2.1** Technische Daten des HPw Bln V (Pumpwerk Friedrichshain, Holzmarktstr.)

|                  |  |
|------------------|--|
| Erbaut           | 1881, dann mehrfacher Umbau von Dampf- auf Elektro-/Dieselbetrieb<br>2000 Neubau   |
| Tagesfördermenge | ca. 16.000 m <sup>3</sup> /d bei Trockenwetter   |
| Förderziele      | KW Schönerlinde (Hauptförderziel) und KW Ruhleben  |
| Druckleitungen   | 2 Druckrohrausgänge, Regel-Förderstrecke bis KW Schönerlinde: 22 km, während des EVA Praxistests abweichender Förderweg wegen Baumaßnahmen (Förderstrecke 34 km) |
| Dimensionen      | DN 1000, DN 1200, DN 1400<br>3 weitere Pw sind i. d. R. an die Druckleitung angeschlossen  |
| Betriebsart      | automatisch, fernüberwacht   |
| Pumpen           | 3 Elektrokreiselpumpen, 2 Dieselpumpen   |
| Durchflußmessung | magnetisch-induktiv  |
| Pumpenleistung   | bei Trockenwetter 80 bis 300 l/s<br>bei Regen bis zu 560 l/s (gem. Vorgabe der Wasserbehörde)  |
| Netzdrücke       | 2,5 – 4,0 bar, bei Regenwetter bis zu 5,0 bar  |
| Motorleistungen  | 130 – 650 kW   |

**Tabelle 2.2** Technische Daten des APw Bln XI (Pumpwerk Prenzlauer Berg, Erich-Weinert-Str.)

|                  |   |
|------------------|---|
| Erbaut           | 1908, dann Umbau von Dampf- auf Elektro-/Dieselbetrieb<br>2002 Neubau                         |
| Tagesfördermenge | ca. 15.000 m <sup>3</sup> /d bei Trockenwetter  |
| Förderziele      | KW Schönerlinde (Hauptförderziel) und KW Ruhleben   |
| Druckleitungen   | 2 Druckrohrausgänge, Regel-Förderstrecke bis KW Schönerlinde: 16 km                           |
| Dimensionen      | DN 1000, DN 1200, DN 1400<br>3 weitere Pw sind i. d. R. an die Druckleitung angeschlossen     |
| Betriebsart      | automatisch, fernüberwacht  |
| Pumpen           | 3 Elektrokreiselpumpen, 2 Dieselpumpen  |
| Durchflußmessung | magnetisch-induktiv   |
| Pumpenleistung   | bei Trockenwetter 50 bis 270 l/s<br>bei Regen bis zu 500 l/s (gem. Vorgabe der Wasserbehörde) |
| Netzdrücke       | 1,5 – 2,0 bar, bei Regenwetter bis zu 2,5 bar   |
| Motorleistungen  | 45 – 384 kW   |

**Tabelle 2.3** Technische Daten des APw Bln XII (Pumpwerk Friedrichshain, Rudolfstr.)

|                  |  |
|------------------|--|
| Erbaut           | 1893, Umbau von Dampf- auf Elektro-/Diesel- dann nur Elektrobetrieb<br>2001 umfangreiche Sanierung/Pumpenertüchtigung<br>2012 Erneuerung geplant |
| Tagesfördermenge | ca. 11.000 m <sup>3</sup> /d bei Trockenwetter   |
| Förderziele      | KW Schönerlinde (Hauptförderziel) und KW Münchehofe  |
| Druckleitungen   | 2 Druckrohrausgänge, Regel-Förderstrecke bis KW Schönerlinde: 33 km  |
| Dimensionen      | DN 800, DN 1000, DN 1200, DN 1400<br>3 weitere Pw sind i. d. R. an die Druckleitung angeschlossen  |
| Betriebsart      | Handbetrieb, Personal Vorort   |
| Pumpen           | 3 Elektrokreiselpumpen, 2 Elektrodoppelkolbenpumpen  |
| Durchflußmessung | magnetisch-induktiv  |
| Pumpenleistung   | bei Trockenwetter 120 bis 220 l/s (Nachtzulauf zeitweise unter 10 l/s)<br>bei Regen bis zu 300 l/s (gem. Vorgabe der Wasserbehörde)              |
| Netzdrücke       | 2,2 – 3,0 bar, bei Regenwetter 4,0 bis zu 5,0 bar  |
| Motorleistungen  | 75 – 320 kW  |

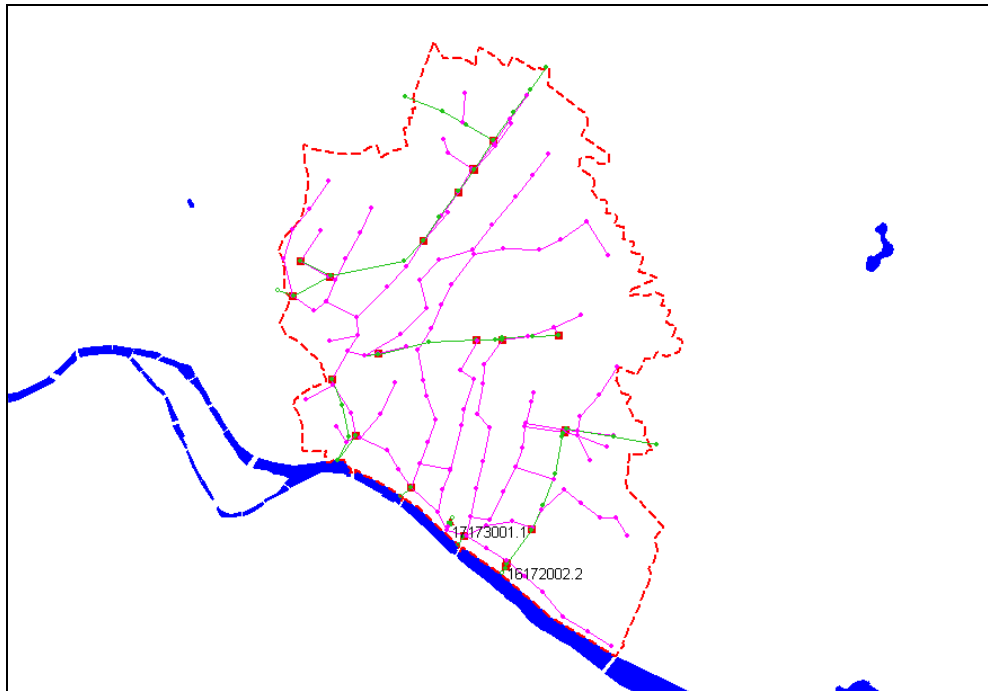
## 2.2 Kanalnetze

Im Folgenden wird ein tabellarischer Überblick über die Eigenschaften der drei betrachteten Kanalnetze gegeben. Eine Zusammenfassung der Kennzahlen findet sich in Anhang 1 des Berichtes. Es ist zu beachten, dass lediglich im Einzugsgebiet des Pumpwerks Bln V die Maßnahmen zur Sanierung des Kanalnetzes entsprechend Wasserbehördlicher Erlaubnis realisiert wurden. In den Kanalnetzen Bln XI und Bln XII wurden die entsprechenden Maßnahmen noch nicht oder nur teilweise umgesetzt, so dass zukünftige Speicherpotentiale hier zurzeit noch nicht zur Verfügung stehen. Die folgende Zusammenfassung stellt den Zustand der Netze im Jahr 2006 dar.

### Bln V

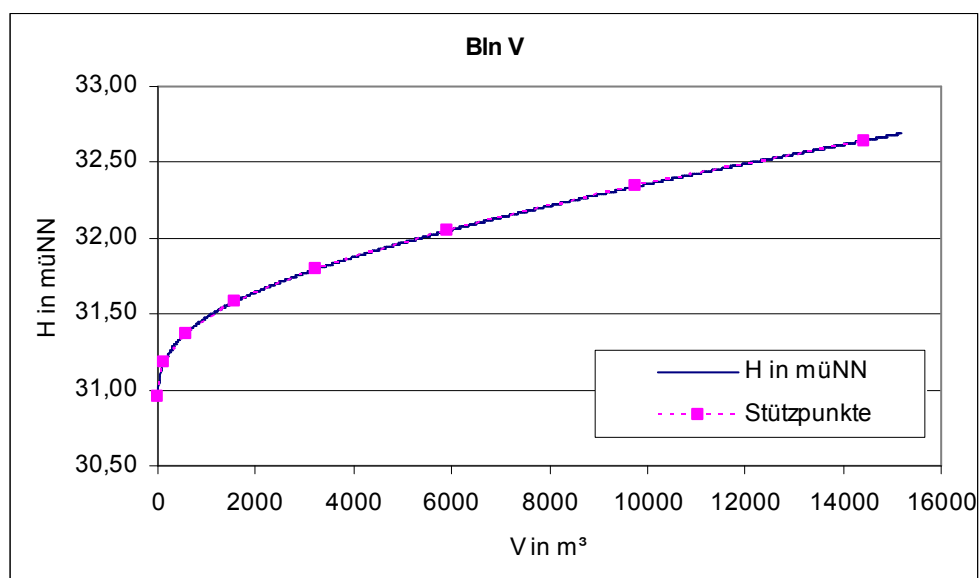
Angeschlossene Fläche: 675 ha  
Befestigte Fläche: 510 ha  
Befestigungsgrad: 76 %

Einwohner: 88964



**Bild 2.3** Kanalnetz des APw Bln V (Modellplan)

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| System:                       | Mischkanalisation                             |
| Mittlerer TW Zufluss:         | 14914 m <sup>3</sup> /d (Sep 2005 – Okt 2006) |
| Anzahl Regenüberläufe:        | 18  |
| Maximale Speicherordinate:    | 32,69 müNN                                    |
| Kanalspeichervolumen:         | 15170 m <sup>3</sup>                          |
| Spezifisches Speichervolumen: | 29,7 m <sup>3</sup> /ha <sub>Abef</sub>       |



**Bild 2.4** Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln V

Das Kanalnetz Bln V verfügt zudem über einen Stauraumkanal (SRK) in der Straße der Pariser Kommune mit einem zusätzlichen Speichervolumen von 6.200 m<sup>3</sup>. Die Beschickung des SRK erfolgt aus dem Kanalnetz über einen

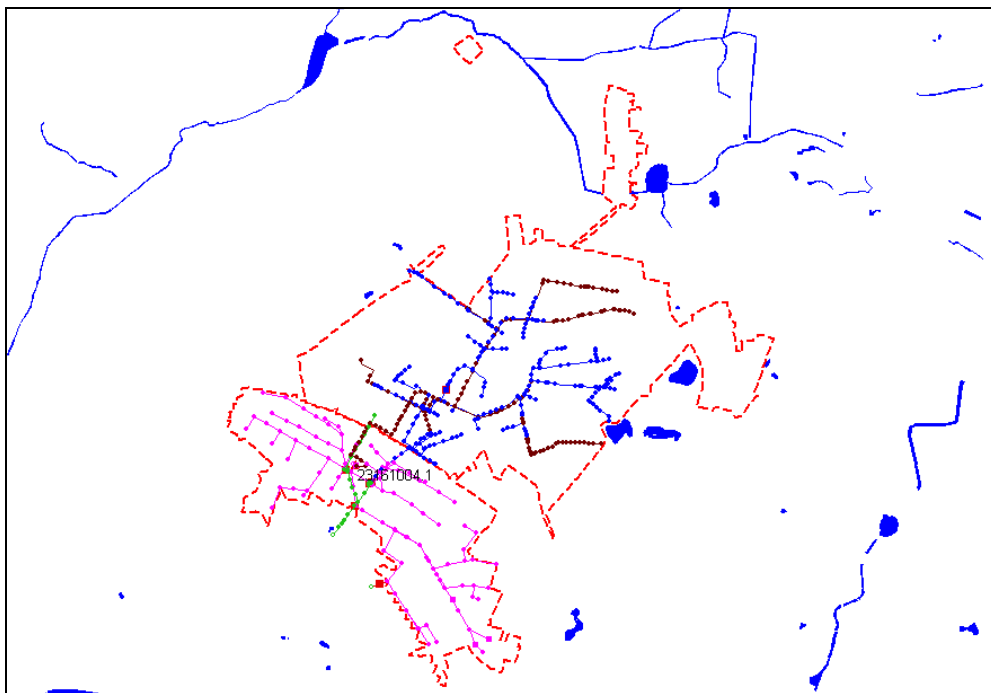


internen Regenüberlauf im freien Gefälle. Die Schwelle des internen RÜs hat die gleiche Ordinate, wie der tiefste RÜ zur Vorflut (RÜ 21: 32,69 müNN). Der SRK wird also zeitgleich mit dem Anspringen des Mischwasserüberlaufs beschickt. Eine aktive Bewirtschaftung des SRK ist somit nicht möglich.

### **Bln XI**

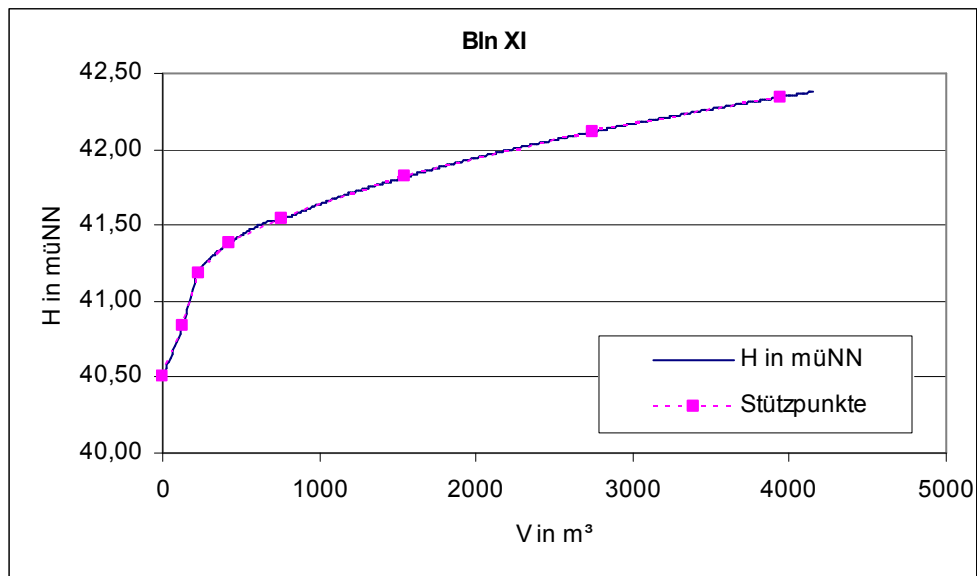
|                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Angeschlossene Fläche:        | 515 ha (Misch- und Trennkanalisation) |
| davon Mischkanal:             | 371 ha                                |
| Befestigte Fläche Regenkanal: | 174 ha                                |
| Befestigte Fläche Mischkanal: | 275 ha                                |
| Befestigte Fläche Gesamt :    | 449 ha                                |
| Befestigungsgrad:             | 74 % (bezogen auf Mischkanalisation)  |

Einwohner: 91052



**Bild 2.5** Kanalnetz des APw Bln XI (Modellplan)

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| System:                       | Mischkanalisation (Bln XI)<br>Trennkanalisation (Bln XIa) |
| Mittlerer TW Zufluss:         | 14019 m <sup>3</sup> /d (Sep 2005 – Okt 2006)             |
| Anzahl Regenüberläufe:        | 5   |
| Maximale Speicherordinate:    | 42,38 müNN  |
| Kanalspeichervolumen:         | 4150 m <sup>3</sup>                                       |
| Spezifisches Speichervolumen: | 9,2 m <sup>3</sup> /ha <sub>Abef</sub>                    |



**Bild 2.6** Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln XI

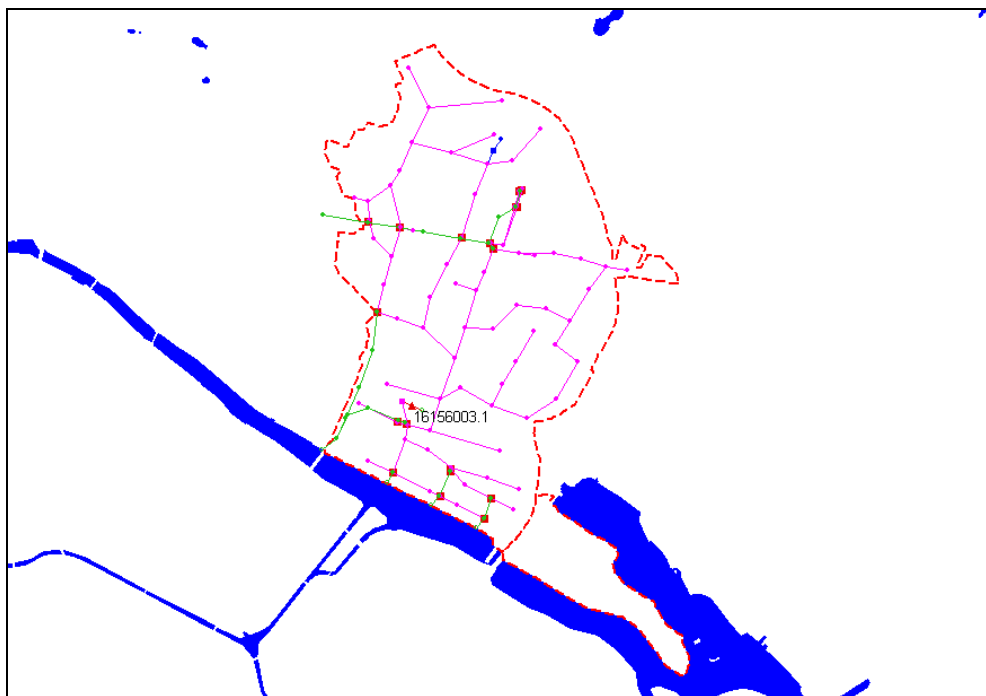
### Bln XII

Angeschlossene Fläche: 396 ha

Befestigte Fläche: 323 ha

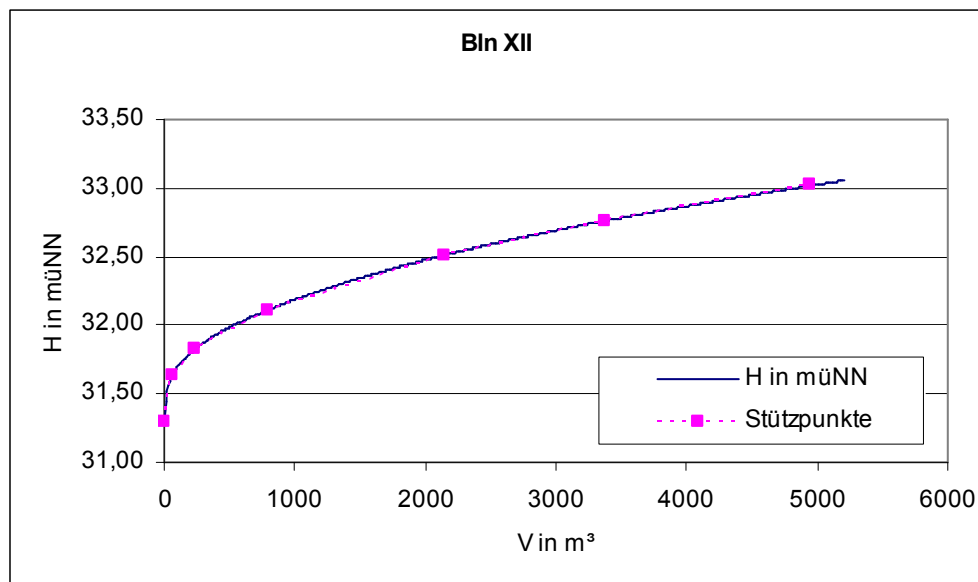
Befestigungsgrad: 82 %

Einwohner: 62693



**Bild 2.7** Kanalnetz des APw Bln XII (Modellplan)

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| System:                       | Mischkanalisation                             |
| Mittlerer TW Zufluss:         | 11132 m <sup>3</sup> /d (Sep 2005 – Okt 2006) |
| Anzahl Regenüberläufe:        | 16  |
| Maximale Speicherordinate:    | 33,06 müNN                                    |
| Kanalspeichervolumen:         | 5200 m <sup>3</sup>                           |
| Spezifisches Speichervolumen: | 16,1 m <sup>3</sup> /ha <sub>Abef</sub>       |



**Bild 2.8** Speicherkennlinie des Kanalnetzes Bln XII

Auch vom Kanalnetz Bln XII aus wird der Stauraumkanal in der Straße der Pariser Kommune (6.200 m<sup>3</sup>) beschickt. Die entsprechenden internen Regenüberläufe befinden sich alle im nördlichen Teil des Einzugsgebietes. Der SRK kann nicht aktiv vom Pumpwerk Bln XII aus bewirtschaftet werden.

## 2.3 Prozessmessungen und Prozessleitsystem

Zur Überwachung und Steuerung des abwassertechnischen Betriebs werden an den Abwasserpumpwerken der Berliner Wasserbetriebe Messungen verschiedener Prozessgrößen durchgeführt und über das Prozessleitsystem zur Überwachung und Steuerung zusammengeführt. Die Messungen bilden die Grundlage für das Entscheidungshilfetool EVA und finden Eingang in den zugrunde liegenden Steuerungsalgorithmus.

### 2.3.1 Prozessgrößen und Messverfahren

Zu den in den Abwasserpumpwerken überwachten Prozessgrößen gehören:

- Wasserstand im Zulauf zum Pumpwerk
- Wasserstand im Saugraum des Pumpwerkes
- Wasserstand in den Regenüberlaufbecken
- Drehzahl der Elektro- und Dieselpumpen
- Durchfluss (Fördermenge) in den verschiedenen Druckrohren
- Druck in den verschiedenen Druckrohren
- Niederschlag

Eingang in den hinter EVA liegenden Steuerungsalgorithmus finden die folgenden Messgrößen:

- Wasserstand im Saugraum der Pumpwerke
- Durchfluss (Fördermenge) in den Druckrohren
- Niederschlag

Die Wasserstandsmessung im Saugraum des Pumpwerks dient der Berechnung des aktivierten Kanalspeichervolumens über entsprechende Speicherkennlinien.

Da die im EVA Projekt betrachteten Pumpwerke nicht über Regenüberlaufbecken verfügen, fließt hier auch keine entsprechende Messung ein.

Durchflussmessungen dienen der Berechnung der möglichen Förderkapazitäten, die der Entscheidungshilfe zugrunde gelegt werden.

Die Niederschlagsmessungen werden verwendet, um einen Hinweis über die aktuelle Niederschlagsituation im betrachteten Gebiet zu geben. Die Niederschlagsmessungen finden jedoch keinen Eingang in den Steuerungsalgorithmus.

Folgende Messverfahren werden an den Pumpwerken der BWB angewendet:

#### Wasserstandsmessung

##### a) Hydrostatischer Druckaufnehmer mit Keramik-Messzelle

Der hydrostatische Druckaufnehmer formt die über eine Keramik-Membran aufgenommene Eingangsgröße Druck in ein elektrisches Signal um, das mit dem Wasserstand korreliert wird.

##### b) Einperlung

Durch ein Tauchrohr wird Luft in das Wasser eingeperlt. Der sich im Tauchrohr aufbauende Druck ist direkt ein Maß für den Wasserstand über dem Fühler. Der Druck wird über ein Druckmessgerät in ein elektrisches Signal umgeformt.

#### Durchflussmessung im Druckrohr

##### Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)

Die Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt erfolgt durch die Anwendung des Faradayschen Induktionsgesetzes. Ausgenützt wird dabei das Phänomen, dass durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld eine Spannung induziert wird. Da Abwasser in der Regel die erforderliche Mindestleitfähigkeit besitzt, kann es als Leiter aufgefasst werden. Durch die Strömung des Abwassers senkrecht zu einem Magnetfeld wird daher eine Messspannung induziert, die an geeigneten Stellen durch Elektroden abgenommen wird. Die abgegriffene Spannung ist proportional zur mittleren Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt.

Bedeutsam sind die hohe erzielbare Genauigkeit über große Messbereiche und der hydraulisch neutrale Einbau ohne Verengung und zusätzliche Verluste.

#### Druckmessung im Druckrohr

### Hydrostatischer Druckaufnehmer mit Keramik-Messzelle

Der hydrostatische Druckaufnehmer formt die über eine Keramik-Membran aufgenommene Eingangsgröße Druck in ein elektrisches Signal um, dass mit dem Wasserstand korreliert wird.

### Niederschlagsmessung

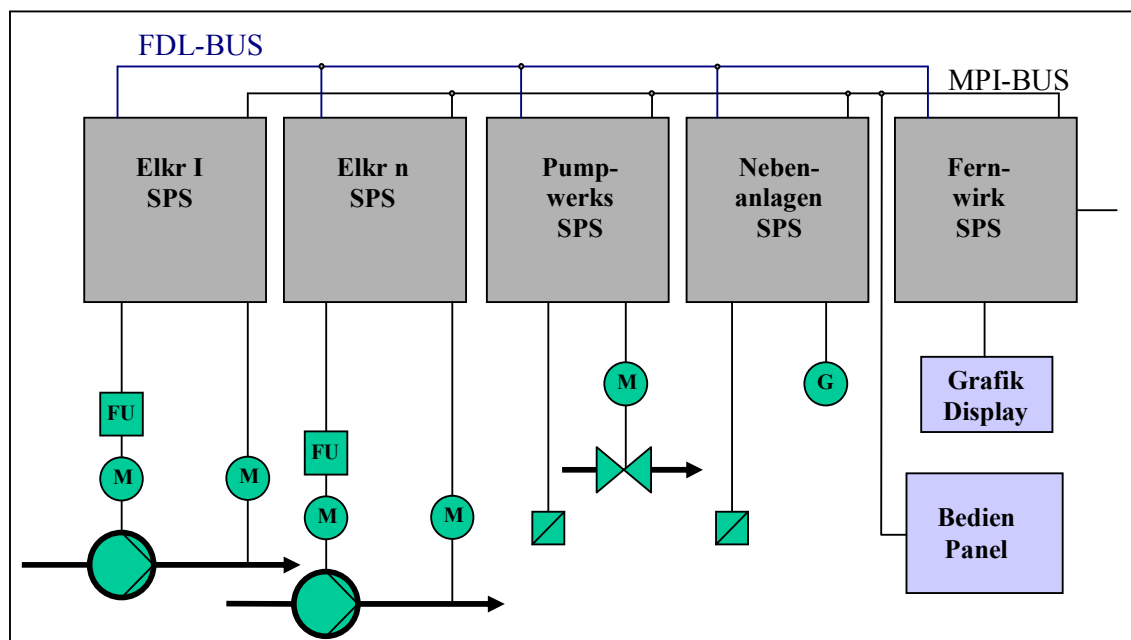
Niederschlagsgeber mit Reedkontakt (Kippwaage)

Durch die 200 cm<sup>2</sup> große Auffangfläche gelangt der Niederschlag über ein Einlaufsieb in die Wippe, welche aus zwei Wippschalen besteht. Nach der Aufnahme einer Niederschlagsmenge von 2 ml Niederschlag (1 Wippenschlag = 0.1 mm Niederschlag) kippt die Wippe um. Dieser Kippvorgang löst durch einen über der Wippe befestigten Magneten in Verbindung mit einem Reed-Schalter ein elektrisches Signal aus. Das Signal wird aufbereitet und am digitalen Ausgang als Impuls ausgegeben.

## 2.3.2 Prozessleitsystem

An einem Pumpwerk werden im Mittel um die 1000 Signale und Meldungen erfasst.

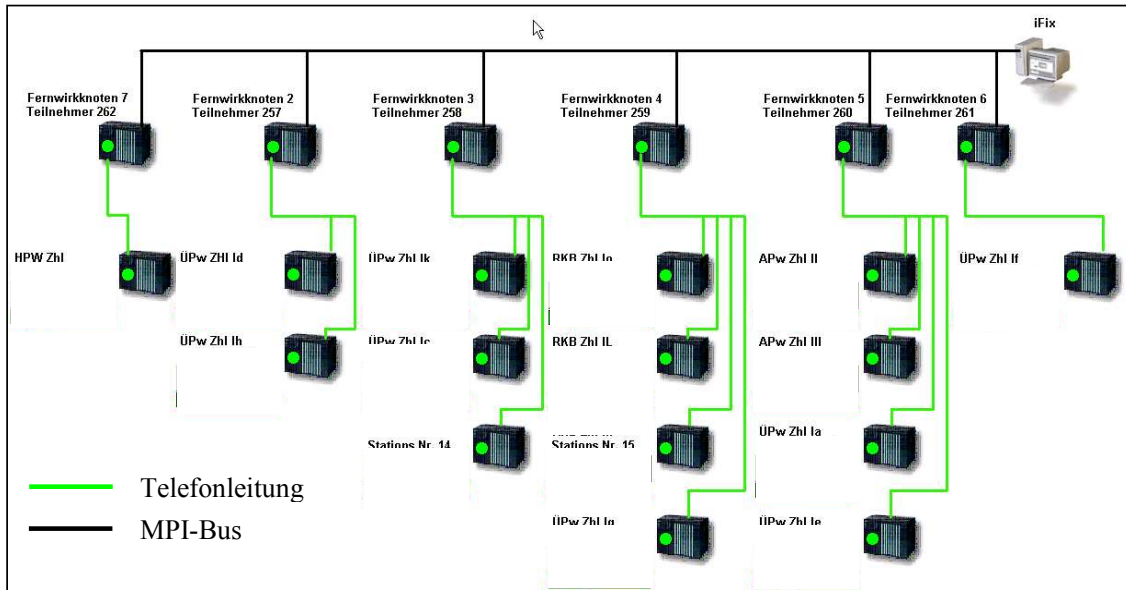
Die Daten der verschiedenen Sensoren werden als Binärsignal, eingprägtes Stromsignal (4-20mA) oder über Feldbus zur speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) des jeweiligen Maschinensatzes übertragen. Alle SPSen kommunizieren über die Fernwirk-SPS mit dem Prozessleitsystem. Die Übertragung zur Fernwirk-SPS wird über zwei verschiedene Bus-Systeme der Firma Siemens ausgeführt. Dabei kommen der FDL-Bus (Field Data Link) und der MPI-Bus (Multi Point Interface) zum Einsatz.



**Bild 2.9** Schema der SPS-Struktur LISA

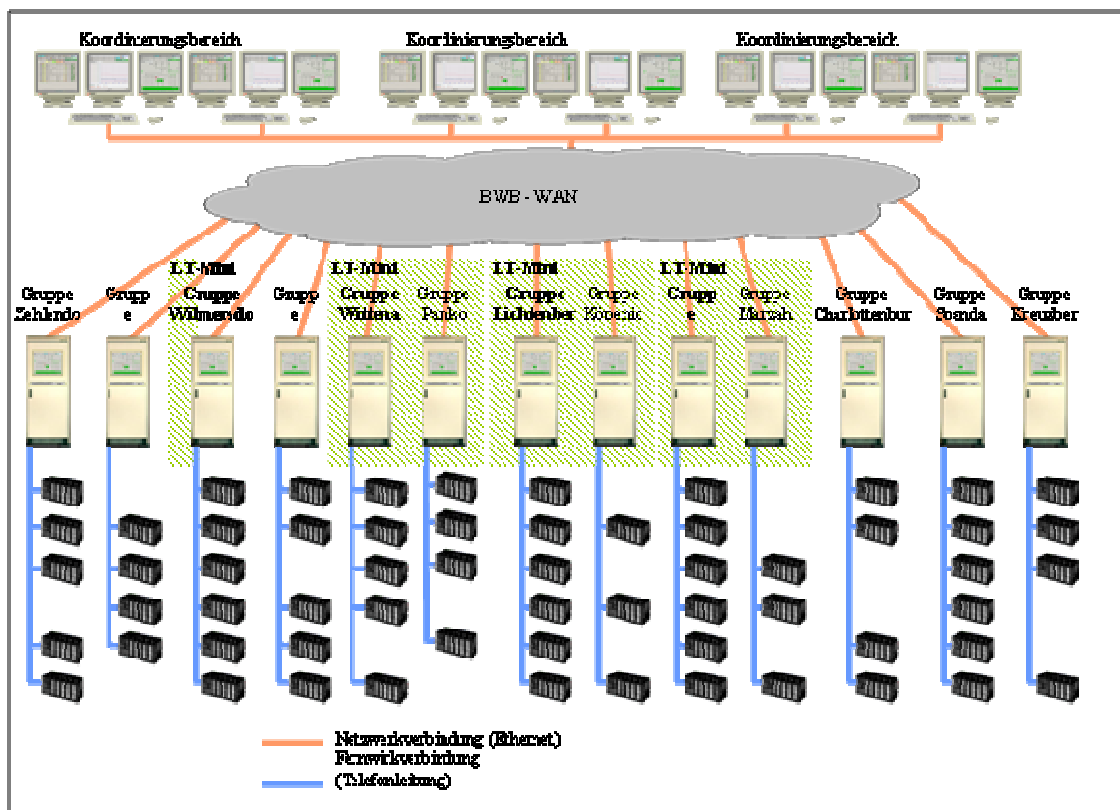
Die Fernwirk-SPSen der Pumpwerke einer Pumpwerksgruppe sind mit dem jeweiligen Fernwirkknoten verbunden. Fernwirkknoten und Fernwirk-SPS kommunizieren über Telefonleitungen. Die Funktionalität der Datenübertragung geschieht über die TIM-Baugruppen (Telecontrol Interface Module) mit dahinter

geschalteten Modems. Die Fernwirkknoten sind die Kommunikationsknoten zu den anderen Pumpwerken und zur Zentrale.



**Bild 2.10** Schema Fernwirkknoten Pumpwerksgruppe Zehlendorf

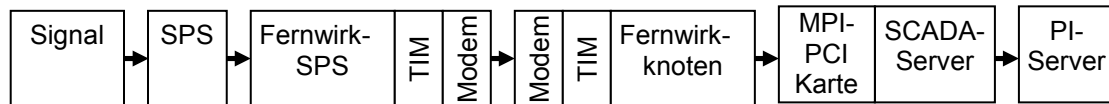
Diese Fernwirkknoten sind über MPI-Bus mit den SCADA-Servern (Supervisory Control and Data Acquisition) verbunden. Der MPI-Bus wird durch Simatic Net PCI-Karten mit den SCADA-Servern verbunden. Als Bedien und Beobachtungssystem wird das Produkt iFix von Intellution verwendet. Dabei handelt es sich um eine Multiclient-Multiserver-Anwendung. Die Client-Server-Kommunikation geschieht im WAN der BWB über TCP/IP.



**Bild 2.11** Kommunikationsschema Prozessleitsystem LISA

Zur Datenarchivierung ist das PI-System von OSIsoft installiert. Mit dem PI-System werden ausgewählte Signale archiviert. Dazu ist auf jedem SCADA-Server ein so genanntes Interface installiert, welches die Daten zyklisch an den PI-Server sendet. Das Interface holt sich die Daten aus der Prozessdatenbank von iFix.

Die bis zum PI durchlaufenen Stationen eines Beispielsignals sind in Bild 2.12 aufgeführt.



**Bild 2.12** Beispielsignalfluss im LISA Prozessleitsystem zum PI-Server

### 3 Vergleichsmessungen am Regenüberlauf Bln XI

#### 3.1 Veranlassung und Zielstellung

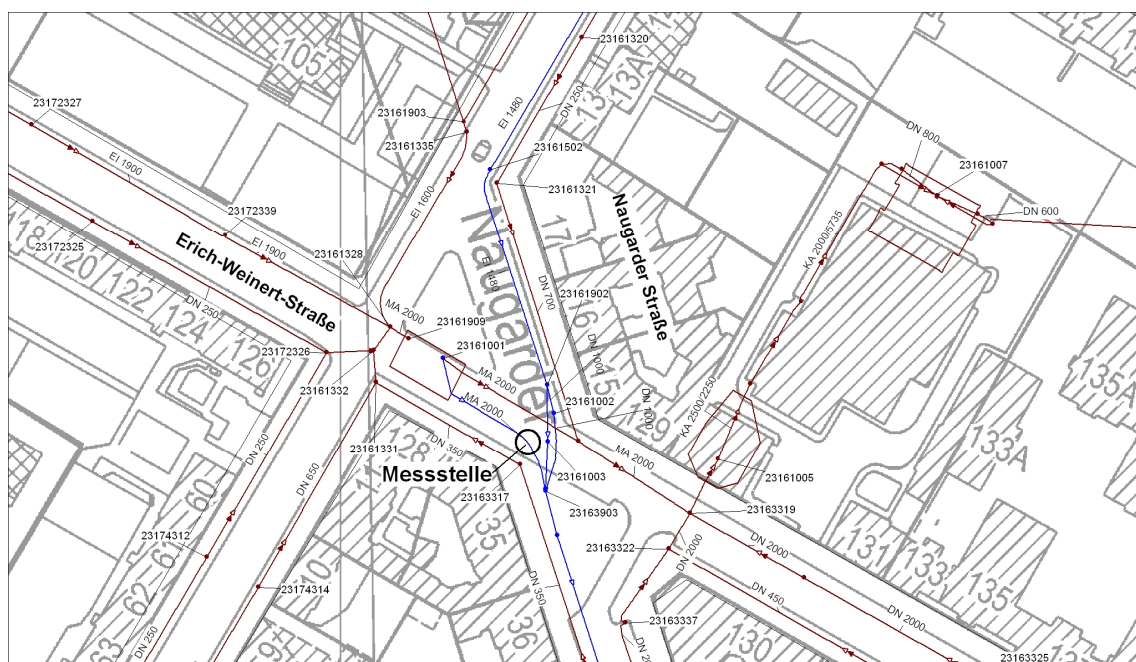
Neben der Einhaltung des kritischen Klärwerk-Zulaufs sind die weiteren Zielgrößen des EVA-Systems Dauer, Häufigkeit und Volumina der Mischwasserüberläufe. Im Rahmen des Betriebsmonitorings der BWB werden Regenüberlaufmengen aus dem Wasserstand im Pumpwerks-Saugraum berechnet und über das PI System zur Verfügung gestellt. Aufgrund des indirekten Messverfahrens sind die angegebenen Entlastungsvolumina jedoch mit Unsicherheiten behaftet.

Um die für das PI-System berechneten Regenüberlaufmengen punktuell zu validieren, wurde von Mai bis November 2006 im RÜ-Kanal des Pumpwerks Bln XI, Erich-Weinert-Straße, (RÜ 1) eine Wasserstands- und Durchflussmessung durchgeführt. Die so aus direkten Messungen gewonnenen Daten wurden den berechneten Werten aus dem PI System gegenübergestellt. Ziel war die Analyse der den PI-Daten zugrunde liegenden Fehlerquellen und die Abschätzung der damit verbundenen Fehlervolumina.

Die Ergebnisse der Messung, der Vergleich mit den Daten aus dem PI-System und die aus der Analyse gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden beschrieben.

#### 3.2 Material

Die Messungen der Regenüberlaufmengen wurden über eine Wasserstands- und Durchflussmessung im Entlastungskanal (hinter der Regenüberlaufschwelle) realisiert. Bild 3.1 zeigt die Topologie des Kanalnetzes nahe dem Pumpwerk in der Erich-Weinert-Straße.



**Bild 3.1** Bestandsplan des Kanalnetzes im Zulauf zum Pumpwerk Bln XI und Kennzeichnung der Messstelle





Straße. Die Messungen wurden in etwa 10 Meter hinter dem RÜ und 5 Meter vor der Krümmung durchgeführt (siehe Kennzeichnung in Bild 3.1).

Der Entlastungskanal ist gemauert. Bei der Geometrie handelt es sich um ein mau-ähnliches Sonderprofil mit einem Durchmesser von 2000 mm. Das Kanalgefälle liegt bei 6,95 ‰ ( $\approx 1:144$ ). Bild 3.2 zeigt die Revisions-Zeichnung aus dem Jahr 1909 mit Grundriss und einigen Querschnitten des Überlaufbauwerks.

Die Messungen erfolgten mit einem Gerät der Baureihe PCM Pro der Firma NIVUS. Das Gerät ermöglicht eine redundante Messung des Wasserstands im Kanal über das Ultraschall-Laufzeit-Verfahren und über eine hydrostatische Druckmessung mittels Membran. Die Fließgeschwindigkeit wird über das ultraschall-basierte Kreuzkorrelations-Verfahren bestimmt. Der Abfluss ergibt sich schließlich aus dem Produkt aus durchflossener Fläche, welche eine Funktion des Wasserstandes ist, und der Fließgeschwindigkeit.

Der Sensor wurde so parametrisiert, dass im 5-Minuten-Takt eine Überprüfung des Wasserstandes im Entlastungskanal stattfand. Im Falle von Abfluss erfolgte eine Messwertaufnahme im 1-Minuten-Takt.

Es muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass das Messgerät bis zu einem Durchfluss von 900-1000 l/s im Entlastungskanal sehr stabil arbeitete und im Bezug auf die spätere Auswertung davon ausgegangen wird, dass diese Messwerte sehr vertrauenswürdig sind. Bei Durchflüssen über 1000 l/s kam es zum Teil zu Instabilitäten und Messausfällen. Diese werden auf die rauen Abflussverhältnisse zurückgeführt und bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt.

### **3.3 Messergebnisse und Interpretation**

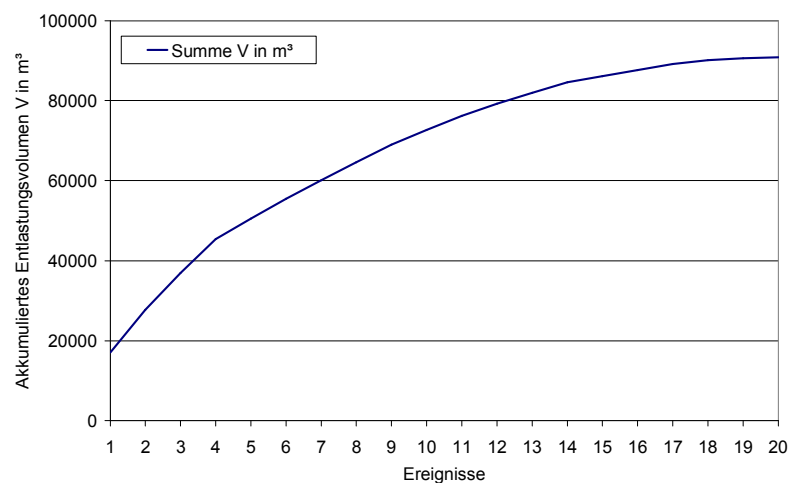
Während des Messzeitraums vom 03. Mai bis 07. November 2006 wurden 20 Entlastungsereignisse registriert. Die Gesamtentlastungen summierten sich zu einem Volumen von 90885 m<sup>3</sup>, die Gesamtentlastungsdauer betrug 60 Stunden und 20 Minuten.

Eine detaillierte Aufstellung der Dauern und Volumina der Entlastungsereignisse kann Tabelle 3.1 entnommen werden.

**Tabelle 3.1** Dauern und Volumina der Entlastungsereignisse am Pumpwerk Bln XI, RÜ 1 von Mai bis November 2006

| Lfd.Nr.      | Start            | Ende             | Dauer in hh:mm | Volumen in m <sup>3</sup> |
|--------------|------------------|------------------|----------------|---------------------------|
| 1            | 18.05.2006 15:00 | 18.05.2006 18:20 | 03:20          | 4931                      |
| 2            | 22.05.2006 15:24 | 22.05.2006 17:30 | 02:06          | 3034                      |
| 3            | 22.05.2006 19:02 | 22.05.2006 21:05 | 02:03          | 2684                      |
| 4            | 27.05.2006 22:05 | 28.05.2006 00:45 | 02:40          | 5153                      |
| 5            | 28.05.2006 14:20 | 28.05.2006 17:05 | 02:45          | 2665                      |
| 6            | 06.06.2006 14:20 | 06.06.2006 15:25 | 01:05          | 270                       |
| 7            | 16.06.2006 20:05 | 16.06.2006 23:20 | 03:15          | 3694                      |
| 8            | 06.07.2006 19:26 | 07.07.2006 00:45 | 05:19          | 10679                     |
| 9            | 07.07.2006 17:45 | 07.07.2006 22:45 | 05:00          | 17046                     |
| 10           | 08.07.2006 07:50 | 08.07.2006 12:45 | 04:55          | 8484                      |
| 11           | 13.07.2006 21:10 | 14.07.2006 00:15 | 03:05          | 4666                      |
| 12           | 29.07.2006 04:00 | 29.07.2006 06:30 | 02:30          | 4393                      |
| 13           | 29.07.2006 07:57 | 29.07.2006 11:55 | 03:58          | 4472                      |
| 14           | 05.08.2006 23:25 | 06.08.2006 04:40 | 05:15          | 9164                      |
| 15           | 15.08.2006 10:55 | 15.08.2006 12:10 | 01:15          | 526                       |
| 16           | 20.08.2006 03:36 | 20.08.2006 05:05 | 01:29          | 1551                      |
| 17           | 25.08.2006 20:50 | 25.08.2006 23:55 | 03:05          | 1479                      |
| 18           | 29.08.2006 01:43 | 29.08.2006 03:05 | 01:22          | 946                       |
| 19           | 01.09.2006 12:50 | 01.09.2006 14:50 | 02:00          | 1542                      |
| 20           | 06.10.2006 10:52 | 06.10.2006 14:45 | 03:53          | 3508                      |
| <b>Summe</b> |                  |                  | <b>60,3</b>    | <b>90885</b>              |

Die Volumen-Summenlinie der absteigend sortierten Ereignisse zeigt eine typische Verteilung der Entlastungsvolumina. Der große Anteil des Gesamtentlastungsvolumens stammt von wenigen intensiven Niederschlagsereignissen. In diesem Fall akkumuliert sich das Entlastungsvolumen der 5 intensivsten Ereignisse zu einem Wert von über 50000 m<sup>3</sup>, das entspricht einem Anteil von über 55 % am Gesamtvolumen. Demgegenüber tragen die 5 schwächsten Ereignisse nur ca. 4800 m<sup>3</sup> bei, das entspricht einem Anteil von 5 % am Gesamtentlastungsvolumen.

**Bild 3.3** Volumen-Summenlinie der Entlastungsereignisse am Pumpwerk Bln XI, RÜ 1 von Mai bis November 2006

Der Vergleich der Messdaten mit den über das PI System verfügbaren Entlastungswerten zeigte zunächst, dass nicht alle im Analysezeitraum von Mai bis November 2006 im RÜ-Kanal gemessenen Ereignisse durch das Monitoring registriert wurden. Dies gilt insbesondere für die intensitäts-schwachen Ereignisse. Auch das Gesamtentlastungsvolumen liegt mit 28422 m<sup>3</sup> deutlich unter dem direkt gemessenen von 90885 m<sup>3</sup>, das entspricht einem Fehlvolumen von 69 %.

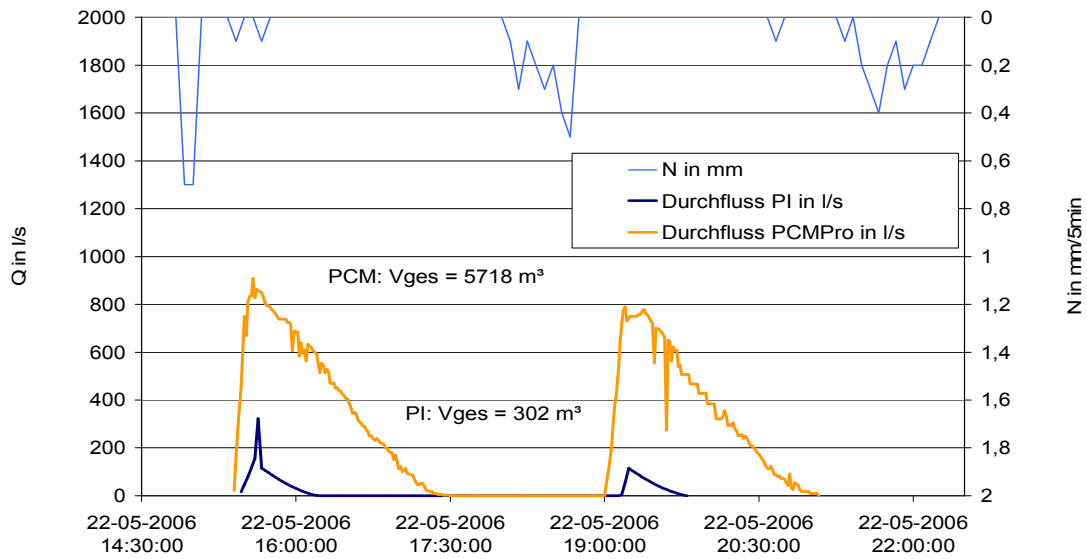
Eine starke Diskrepanz zeigt sich auch bei der Gesamtentlastungsdauer. Während 60,3 Stunden wurde Abfluss im Entlastungskanal gemessen. Die im PI System hinterlegten Werte zeigen jedoch nur eine Gesamtdauer von 17,4 Stunden. Dies entspricht einem Fehler von 71 %.

**Tabelle 3.2** Gegenüberstellung der gemessenen Entlastungsgrößen mit den über das PI-System verfügbaren Werten

| Lfd.Nr.      | Ereignis     | Messwerte      |                           | Registriert | PI             |                           |
|--------------|--------------|----------------|---------------------------|-------------|----------------|---------------------------|
|              |              | Dauer in hh:mm | Volumen in m <sup>3</sup> |             | Dauer in hh:mm | Volumen in m <sup>3</sup> |
| 1            | 18.05.2006   | 03:20          | 4931                      | ja          | 01:58          | 2026                      |
| 2            | 22.05.2006/1 | 02:06          | 3034                      | ja          | 00:46          | 190                       |
| 3            | 22.05.2006/2 | 02:03          | 2684                      | ja          | 00:38          | 112                       |
| 4            | 27.05.2006   | 02:40          | 5153                      | ja          | 01:36          | 3778                      |
| 5            | 28.05.2006   | 02:45          | 2665                      | ja          | 00:52          | 256                       |
| 6            | 06.06.2006   | 01:05          | 270                       | nein        | -              | -                         |
| 7            | 16.06.2006   | 03:15          | 3694                      | ja          | 00:48          | 344                       |
| 8            | 06.07.2006   | 05:19          | 10679                     | ja          | 03:16          | 2395                      |
| 9            | 07.07.2006   | 05:00          | 17046                     | ja          | 02:18          | 14779                     |
| 10           | 08.07.2006   | 04:55          | 8484                      | ja          | 02:36          | 1377                      |
| 11           | 13.07.2006   | 03:05          | 4666                      | ja          | 00:46          | 2341                      |
| 12           | 29.07.2006/1 | 02:30          | 4393                      | nein        | -              | -                         |
| 13           | 29.07.2006/2 | 03:58          | 4472                      | ja          | 00:26          | 37                        |
| 14           | 05.08.2006   | 05:15          | 9164                      | ja          | 01:00          | 760                       |
| 15           | 15.08.2006   | 01:15          | 526                       | nein        | -              | -                         |
| 16           | 20.08.2006   | 01:29          | 1551                      | nein        | -              | -                         |
| 17           | 25.08.2006   | 03:05          | 1479                      | nein        | -              | -                         |
| 18           | 29.08.2006   | 01:22          | 946                       | nein        | -              | -                         |
| 19           | 01.09.2006   | 02:00          | 1542                      | nein        | -              | -                         |
| 20           | 06.10.2006   | 03:53          | 3508                      | ja          | 00:22          | 28                        |
| <b>Summe</b> | <b>20</b>    | <b>60,3</b>    | <b>90885</b>              | <b>13</b>   | <b>17,4</b>    | <b>28422</b>              |

Die Ursache für diese Diskrepanz wird bei Analyse der Einzelereignisse deutlich. Für jedes im PI-System verzeichnete Ereignis kann konstatiert werden, dass der Beginn des Mischwasserüberlaufs zu spät und das Ende zu früh registriert wird. So ergibt sich für jedes registrierte Ereignis eine um ca. 2,3 Stunden zu kurze Überlaufdauer, exemplarisch dargestellt für das Doppelereignis vom 22.05.2006 (siehe Bild 3.4).

Mit Ausnahme bei Spitzenereignissen wird durch die PI Werte zudem die Abflusshöhe unterschätzt. Die Folge ist eine generelle Unterschätzung des Abschlagsvolumens.



**Bild 3.4** Exemplarische Darstellung der Diskrepanz zwischen RÜ-Berechnung durch das PI-System und direkter Überlaufmessung für den 22.05.2006

Die Erklärung für dieses Phänomen liegt in der Distanz zwischen Regenüberlaufbauwerk und Messwertaufnahme begründet. Der Regenüberlauf (RÜ 1) liegt in etwa 160 Meter vom Zulaufbauwerk des Pumpwerks entfernt. Die durch das PI-System verfügbaren Überlaufwerte ergeben sich aus einer Wasserstandsmessung im Zulaufbauwerk. Aus der Differenz zwischen diesem Wert und der Ordinate der Regenüberlaufschwelle (=Überfallhöhe) wird mittels der Formel von Poleni der Abfluss über den RÜ berechnet. Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass der Wasserstand vor dem RÜ nicht wesentlich vom Wasserstand im Zulauf des Pumpwerks abweicht.

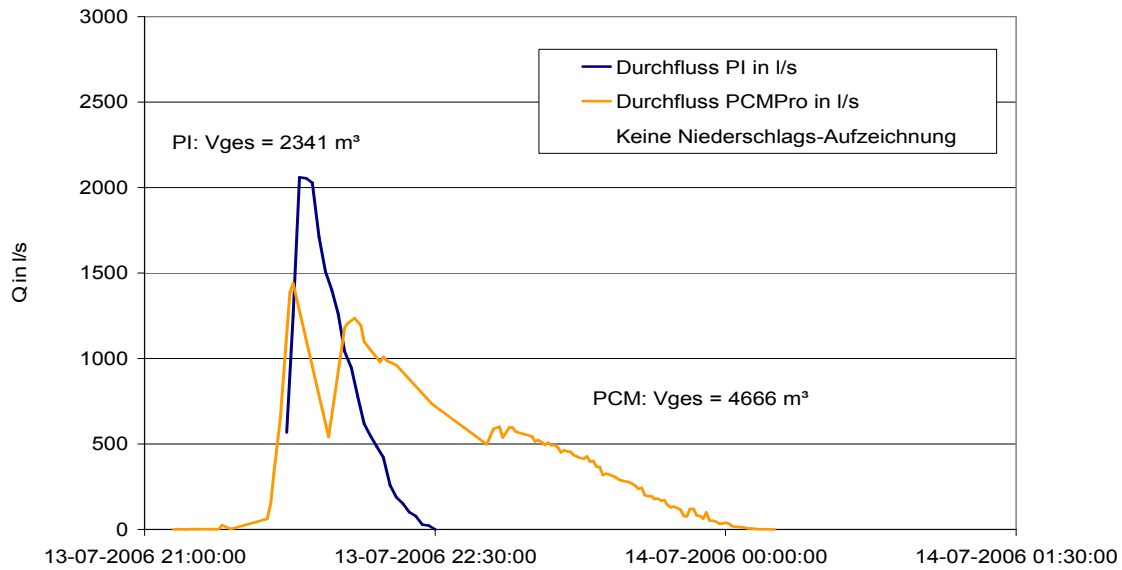
Tatsächlich ergibt sich aufgrund des Wasserspiegelgefälles eine Differenz der Wasserstände. Bei Normalabfluss liegt diese Differenz bei ca. 70 cm, zu Beginn von Überlauf (aufgrund des Rückstaus nur noch) bei ca. 10-15 cm (abgeschätzt aus den PI-Werten zu den Zeitpunkten, da Abfluss im RÜ-Kanal gemessen wurde).

Diese Fehlannahme führt in der Regel zu einer Unterschätzung des Wasserstands am RÜ Bauwerk und somit auch zu einer Unterschätzung der Überlaufauern.

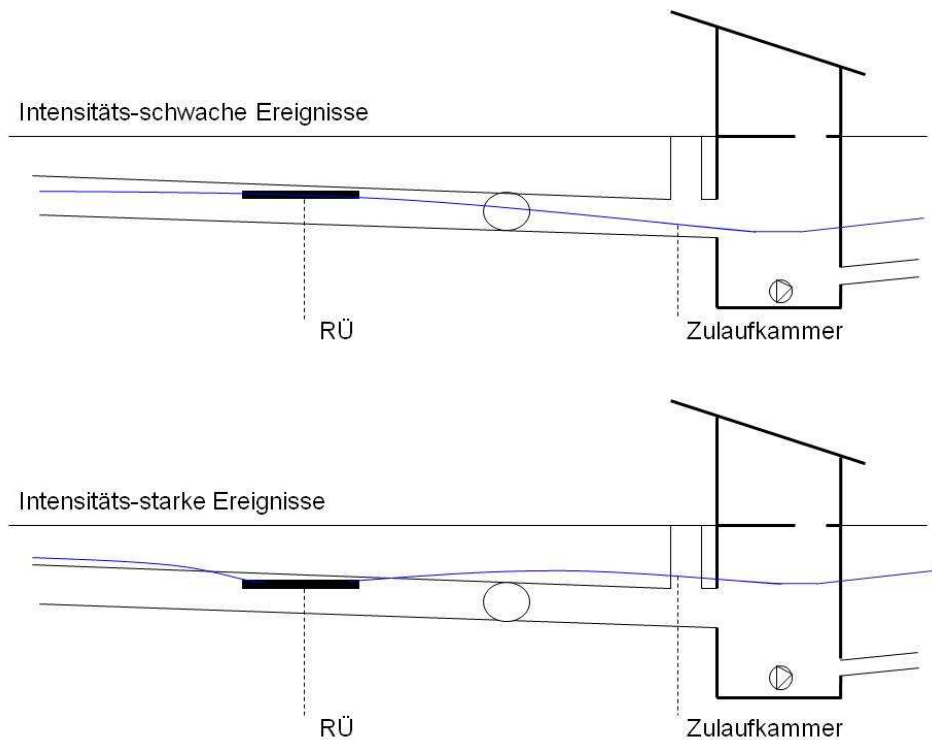
Eine Ausnahme stellen die in PI registrierten Überläufe bei starken Niederschlagsereignissen dar. Hier kommt es im Gegenteil zu dem oben beschriebenen Phänomen zu einer Überschätzung der Spitzenabflüsse über den RÜ (siehe Bild 3.5). Auch dieser Fehler ist auf die räumliche Distanz zwischen Regenüberlaufbauwerk und Messwertaufnahme zurückzuführen.

Bei starken Ereignissen kann davon ausgegangen werden, dass es zu einem erhöhten Einstau des Kanalnetzes kommt. Den maßgeblichen Abfluss aus dem System stellt in diesem Fall die Entlastung über den RÜ dar. Somit bildet sich (auch) vom östlichen Kanal in der Erich-Weinert-Straße aus eine Senkungslinie in Richtung RÜ aus. Diese hydraulische Situation führt dazu, dass der Wasserstand im Zulauf zum Pumpwerk über dem am RÜ liegt. Die Berechnung des Überlaufvolumens aus der Messung am Pumpwerk führt demnach in diesen Situationen zu einer Überschätzung des Überlaufgeschehens. Bild 3.6

illustriert den Unterschied in der hydraulischen Situation zwischen intensitäts-schwachen und –starken Ereignissen.

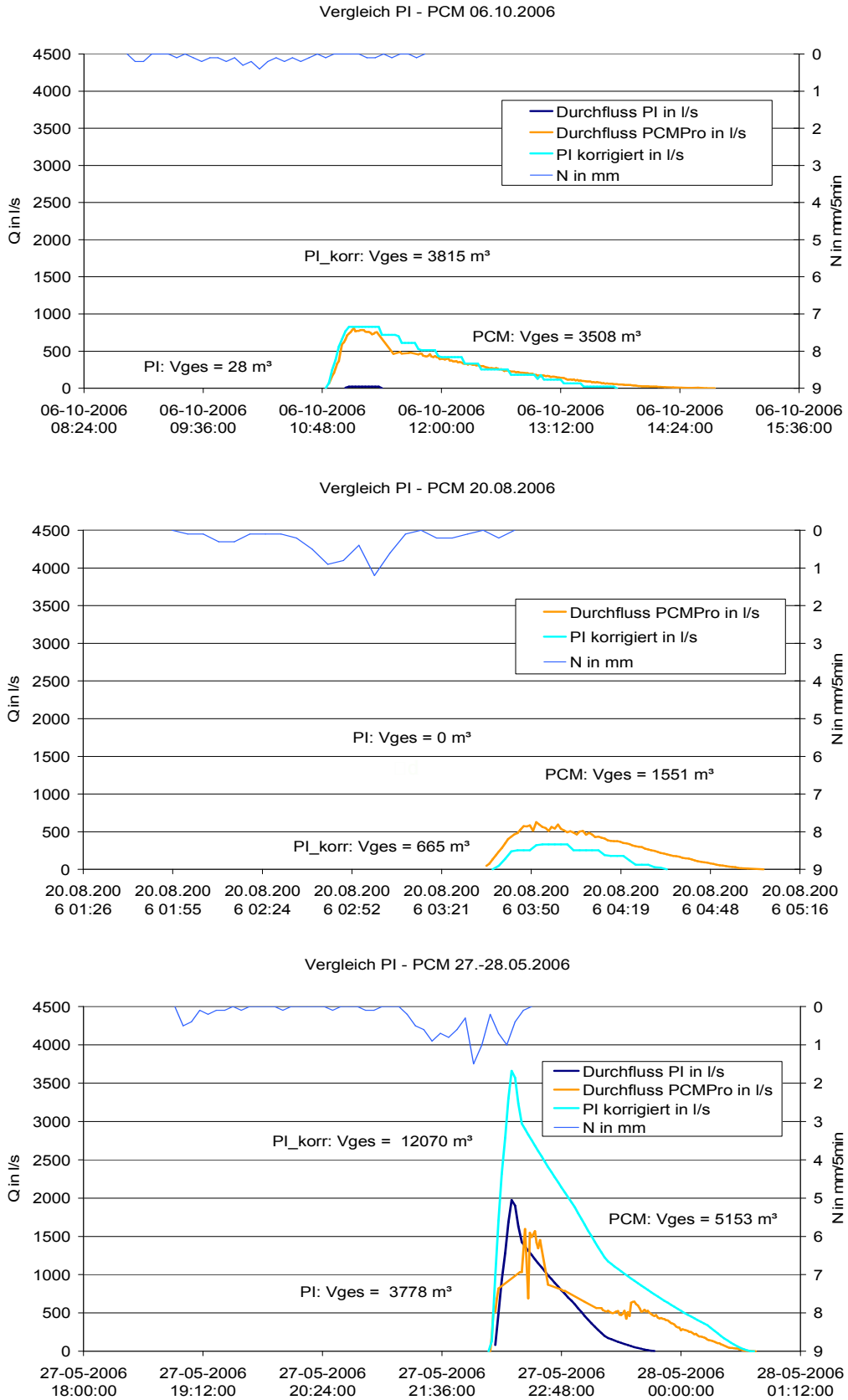


**Bild 3.5** Exemplarische Darstellung der Überschätzung des RÜ-Abflusses im PI-System für den 13.07.2006



**Bild 3.6** Darstellung der hydraulischen Situation im Mischkanal bei intensitäts-schwachen und –starken Überlaufereignissen

Über eine Anpassung der auf der Wasserstandsmessung im Pumpwerkszulauf basierenden RÜ-Berechnung wurde versucht, eine höhere Genauigkeit für die in das PI System zu schreibenden Volumina zu erzielen. Zu diesem Zweck wurde der Wasserstand, ab dem RÜ registriert wird von 42,38 müNN (eigentliche Ordinate der RÜ Schwelle) auf 42,28 müNN reduziert.



**Bild 3.7** Vergleich zwischen gemessenen Abflüssen und PI Abflüssen nach Anpassung der kritischen Ordinate

Für die Großzahl der Ereignisse konnte so eine Verbesserung der Abschlagsganglinie erzielt werden. Aufgrund des oben erläuterten belastungsabhängigen Systemverhaltens gibt es jedoch keine Korrelation zwischen dem Wasserstand am RÜ und dem Wasserstand am Messwertaufnehmer (Zulaufbauwerk des Pumpwerks). Somit ist die Festlegung eines allgemeingültigen Pegels, ab dem RÜ stattfindet, und folglich eine allgemeingültige Parametrierung der Berechnungsformel nach Poleni nicht möglich. Bei Festlegung eines mittleren Pegels wird es für schwache Ereignisse zu einer Unterschätzung und bei starken Ereignissen zu einer Überschätzung der Abschlagsmengen kommen. Die in Bild 3.7 dargestellten Ganglinien verdeutlichen die Situation anhand des Vergleichs zwischen gemessenen Abflüssen und PI Abflüssen nach Anpassung der kritischen Ordinate.

Eine Darstellung aller gemessenen und berechneten Abflussganglinien ist in Anhang 2 beigefügt.

### **3.4 Zusammenfassung**

Zur punktuellen Überprüfung des RÜ Monitorings der BWB wurde von Mai bis November 2006 im RÜ-Kanal des Pumpwerks Bln XI, Erich-Weinert-Straße, (RÜ 1) eine Wasserstands- und Durchflussmessung durchgeführt. Die so aus direkten Messungen gewonnenen Daten wurden den durch das PI System verfügbaren Werten gegenübergestellt.

Da die in PI hinterlegten Werte nur indirekt über eine Wasserstandsmessung im Zulauf zum Pumpwerk über die Formel von Poleni berechnet werden, sind die so gewonnenen Volumina mit Fehlern belegt. Lediglich 13 von 20 Überlaufereignissen wurden registriert. Das berechnete Gesamtentlastungsvolumen lag mit 28422 m<sup>3</sup> deutlich unter dem direkt gemessenen von 90885 m<sup>3</sup>. Gleiches gilt für die Entlastungsdauern.

Es zeigte sich, dass der Fehler in der dem PI System hinterlegten Überlaufabschätzung auf die räumliche Distanz zwischen Entlastungsstelle (Regenüberlaufbauwerk) und Messwertaufnahme (Zulaufkammer Pumpwerk) zurückzuführen ist. Aufgrund der spezifischen Reaktionsweise des Systems auf unterschiedliche hydraulische Belastungen gibt es keine Korrelation zwischen den Wasserständen am RÜ und im Pumpwerkszulauf. Basierend auf der Wasserstandsmessung am Pumpwerk kann somit keine allgemeingültige Aussage über die Entlastungsvolumina getroffen werden.

Weitere Fehlerquellen der aktuellen Überlaufmengen-Bestimmung liegen in der verfügbaren Messwertauflösung, den Unsicherheiten beim Übergang vom vollständigen zum unvollständigen Überfall am RÜ und prinzipiell in der indirekten Berechnung der Mengen begründet.

Eine genauere Bestimmung der Überlaufmengen ließe sich durch Messung des Wasserstands im Mischwasserkanal direkt am RÜ oder besser durch eine Durchflussmessung im Entlastungskanal erreichen.



## 4 Entwicklung des Entscheidungshilfwerkzeugs EVA

Vor dem Entwurf von Berechnungskern und Bedienoberfläche des Entscheidungshilfwerkzeugs steht der Prozess der Bedarfsdefinition und daraus abgeleitet die Definition der Zielstellung. Grundlage für diesen Prozess waren zum einen die in Kapitel 2 zusammengestellten technischen Systemrandbedingungen und zum anderen die Analyse der Zustandssituation der niederschlagsbezogenen Abwasserförderung.

### 4.1 Analyse der Zustandssituation

Im Rahmen einer Zustandsanalyse wurden die über das PI-System verfügbaren Betriebsdaten aus dem Jahr 2006 ausgewertet. Der Fokus der Untersuchung war gerichtet auf

- Die Regenüberlauf-Aktivitäten an den betrachteten Pumpwerken
- Die Zulaufsituation zum Klärwerk Schönerlinde während Niederschlags.

Ausgewertet wurden Daten aus dem Zeitraum 31.12.2005, 22:00 Uhr bis 07.10.2006, 04:20 Uhr. Das entspricht einer Gesamtdauer von 279 Tagen, 5 Stunden und 20 Minuten.

In diesem Zeitraum wurden 45 relevante Niederschlagsperioden erfasst. Niederschläge wurden als relevant eingestuft, sobald eine Gesamtniederschlagshöhe von 1 mm überschritten wurde. Eine Periode kann dabei mehrere, durch Trockenzeiten voneinander getrennte Niederschlagsereignisse umfassen. In der Summe wurden 90 Regen- und Regenfolgetage betrachtet.

#### 4.1.1 Analyse des Speicherpotentials

Ziel der Untersuchung der Regenüberlauf-Aktivitäten war die Identifikation von Überlaufschwerpunkten und die Analyse der Daten auf zugleich vorhandene freie Speicherkapazitäten in den Mischwassernetzen.

Da ursprünglich auch die Integration des Pumpwerks Bln IV – Scharnhorststraße in die Verbundsteuerung geplant war, wurde dieses Pumpwerk hier mitbetrachtet.

Es wurden die durch das PI-System verfügbaren Wasserstandsmessungen im Zulauf zu den Pumpwerken genutzt. Es sei nochmals auf die Erkenntnisse aus Kapitel 3 hingewiesen, die belegen, dass diese Wasserstandsmessungen mit hohen Unsicherheiten belegt sind. Andere Messwerte zur Beurteilung des Überlaufgeschehens standen jedoch nicht zur Verfügung. Tabelle 4.1 gibt eine Übersicht über die verwendeten PI-Tags.  $H_{\min}$  und  $H_{\max}$  geben für die vier Pumpwerke die minimal und maximal gemessenen Wasserstände im Betrachtungszeitraum an.

Über einen Vergleich der in den Pumpwerkszuläufen gemessenen Wasserstände mit den Ordinaten der in den jeweiligen Kanalnetzen niedrigsten RÜ-Schwellen wurde festgelegt, wann Regenüberlauf stattfand. Die infolge eines möglichen Wasserstandsgefälles auftretende Differenz der Wasserstände am RÜ und an der Messstelle im Zulauf zum Pumpwerk (siehe Kapitel 3) wurde vernachlässigt. Ein Überlaufereignis wurde wie folgt definiert:

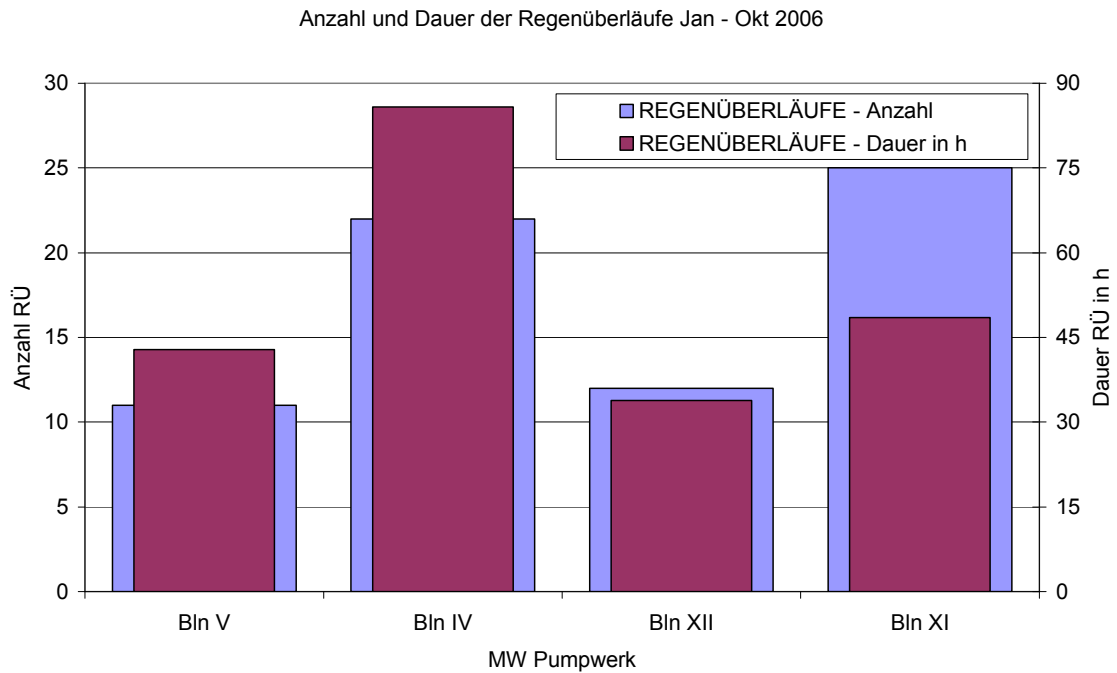
Das Ereignis beginnt, wenn der gemessene Wasserstand die Ordinate der RÜ-Schwelle überschreitet. Das Ereignis endet, wenn der gemessene Wasserstand die Ordinate der RÜ-Schwelle wieder unterschreitet, es sein denn, innerhalb einer halben Stunde wird die Ordinate erneut überschritten. In diesem Fall wird nur ein Ereignis gezählt. Bei der Auswertung der Überlaufdauern werden nur die Zeiträume berücksichtigt, während der die Ordinate tatsächlich überschritten ist.

**Tabelle 4.1** Zusammenfassung der für die statistische Auswertung verwendeten PI Daten und aufgetretene Extrempiegel

| Tag                 | Description                         | Unit | Hmin  | Hmax  |
|---------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|
| <i>Bln IV</i>       |                                     |      |       |       |
| 1402APw6100CL01ML01 | 14.02 Bln IV - Pegel Zulaufkammer   | mNN  | 29,91 | 31,97 |
| <i>Bln V</i>        |                                     |      |       |       |
| 1401HPw6100CL01ML01 | 14.01 Bln V - Pegel Zulaufkammer    | mNN  | 30,96 | 33,10 |
| <i>Bln XI</i>       |                                     |      |       |       |
| 1406APw6100CL02ML01 | 14.06 Bln XI - Pegel Zulaufkammer 2 | mNN  | 40,55 | 42,54 |
| <i>Bln XII</i>      |                                     |      |       |       |
| 1403APw6100CL02ML01 | 14.03 Bln XII - Pegel Saugraum      | mNN  | 31,38 | 33,14 |

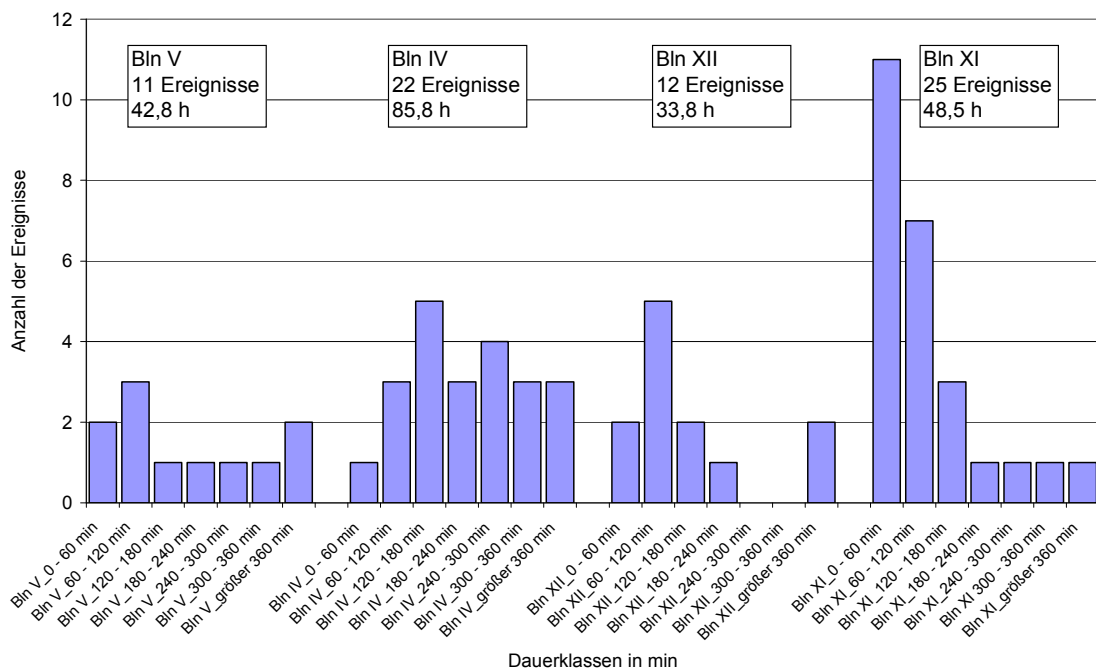
Ausgewertet wurde Anzahl und Dauer der RÜ-Ereignisse, unterteilt nach den Abwasserpumpwerken. Eine Auswertung der entsprechenden Überlaufvolumina wurde nicht durchgeführt, da deren Berechnung aus der Wasserstandsmessung über die Poleni-Formel mit zu hohen Unsicherheiten behaftet ist (siehe Kapitel 3).

Bild 4.1 zeigt für den analysierten Zeitraum die Verteilung der RÜ-Aktivitäten auf die einzelnen Pumpwerke. Es zeigt sich, dass die Anzahl der Überlauf-Ereignisse stark vom verfügbaren Speichervolumen der Kanalnetze abhängt. Je mehr spezifisches Kanalspeichervolumen (Volumen pro ha befestigter Fläche) zur Verfügung steht, desto seltener kommt es zum Überlauf. Die Korrelation der entsprechenden Wertepaare führt zu einem Bestimmtheitsmaß von 0,69 (siehe Bild 4.3). Überraschend gering war die Zahl der Überlaufereignisse am Pumpwerk Bln XII. Bei einem spezifischen Speichervolumen von 16,1 m<sup>3</sup>/ha kam es hier nur zu einem Überlauf mehr als am Pumpwerk Bln V, das über 29,7 m<sup>3</sup>/ha verfügt. Diese Werte weisen auf eine vorrangige Förderung durch das Pumpwerk Bln XII hin. Einschränkend muss außerdem an dieser Stelle angeführt werden, dass nach Abschluss der Studie festgestellt wurde, dass die Wasserstandsmessung am Pumpwerk Bln XII zur damaligen Zeit fehlerbehaftet war und zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Wasserstands um 8-10 cm führte (siehe Korrespondenz Schroeder-Pawlowsky-Reusing, Nov 2007). Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer korrekten Messung des Wasserstands eine höhere Zahl von Überlaufereignissen am Pumpwerk Bln XII registriert worden wäre.



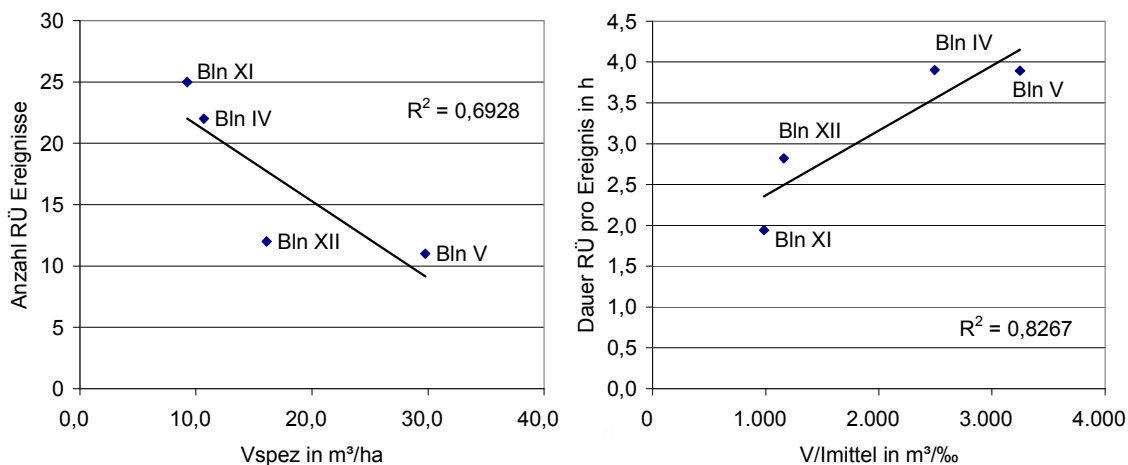
**Bild 4.1** Anzahl und Gesamtdauer der Regenüberläufe unterteilt nach den vier Abwasserpumpwerken

Betrachtet man die Überlaufdauern, so lässt sich eine Verschiebung in der Rangfolge der Überlaufschwerpunkte erkennen. Bild 4.1 zeigt, dass am Pumpwerk Bln V eine höhere Überlaufdauer als am Pumpwerk Bln XII zu verzeichnen ist. Gleiches gilt in noch stärkerer Form für das Pumpwerk Bln IV im Vergleich zum Pumpwerk Bln XI.



**Bild 4.2** Verteilung der Regenüberlaufereignisse an den vier Pumpwerken nach Dauerklassen

Das an den Pumpwerken unterschiedliche Verhältnis zwischen Gesamtüberlaufdauer und Anzahl der Überlaufereignisse lässt sich auf die jeweiligen Dauern der Einzelereignisse zurückführen (Verteilung der Überlaufereignisse nach Dauerklassen in Bild 4.2) und liegt begründet in den unterschiedlichen Eigenschaften der Kanalnetze. Die Überlaufdauer in einem Kanalnetz wird neben Niederschlagshöhe und –intensität vorrangig bestimmt durch das vorhandene Kanalspeichervolumen und die Dynamik des Fließgeschehens, welche von räumlicher Ausdehnung und Gefälle des Netzes abhängt. Bild 4.3 zeigt die Abhängigkeit der mittleren Überlaufdauer je Pumpwerkseinzugsgebiet von Kanalspeichervolumen und mittlerem Gefälle des Kanalnetzes (ausgedrückt als Quotient aus Volumen  $V$  und Gefälle  $I$ ).



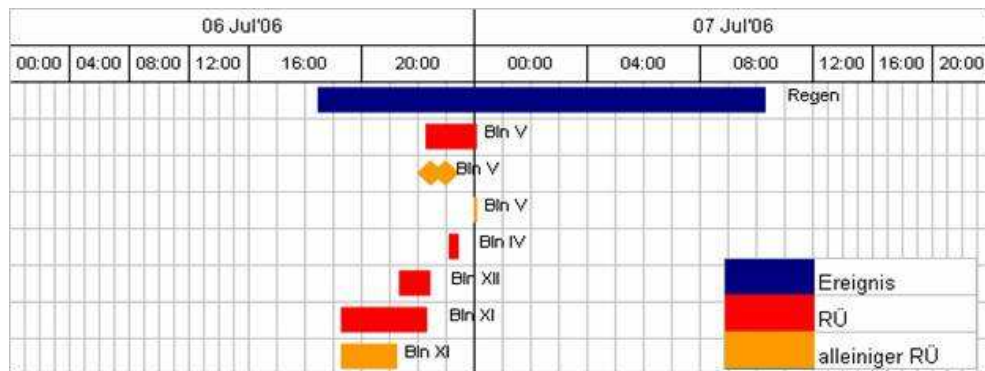
**Bild 4.3** Korrelation zwischen der Anzahl der RÜ Ereignisse und dem spezifischen Kanalspeichervolumen (links) und Korrelation zwischen der mittleren Ereignisdauer und dem Quotienten aus aktivierbarem Speichervolumen und mittlerem Kanalnetzgefälle (rechts)

Um auf Grundlage der PI-Daten das vorhandene Steuerungspotential abzuschätzen, werden nun speziell die Entlastungsereignisse untersucht, die stattfanden, während nicht alle Speicherräume voll genutzt wurden. Dieser Betrachtung liegt der allgemeine Ansatz der Kanalnetzsteuerung zugrunde, dass in einem global gesteuerten System möglichst erst dann Überlauf stattfinden sollte, wenn alle verfügbaren Speicherräume vollständig genutzt werden. Es werden also für jedes Pumpwerk die Ereignisse gesucht, während der an mindestens einem anderen Pumpwerk noch freies Speichervolumen verfügbar war. Hierzu wird die Annahme getroffen, dass in einem Kanalnetz Speichervolumen zur Verfügung steht, solange kein Überlauf stattfindet. Eine quantitative Bestimmung des während dieser Zeiträume freien Speichervolumens erfolgt nicht.

Bild 4.4 veranschaulicht exemplarisch für den 06.-07.07.2006 die unterschiedlichen Phasen, während der an den Abwasserpumpwerken zeitweise überschneidend Regenüberlauf stattfand. Es wird unterschieden zwischen

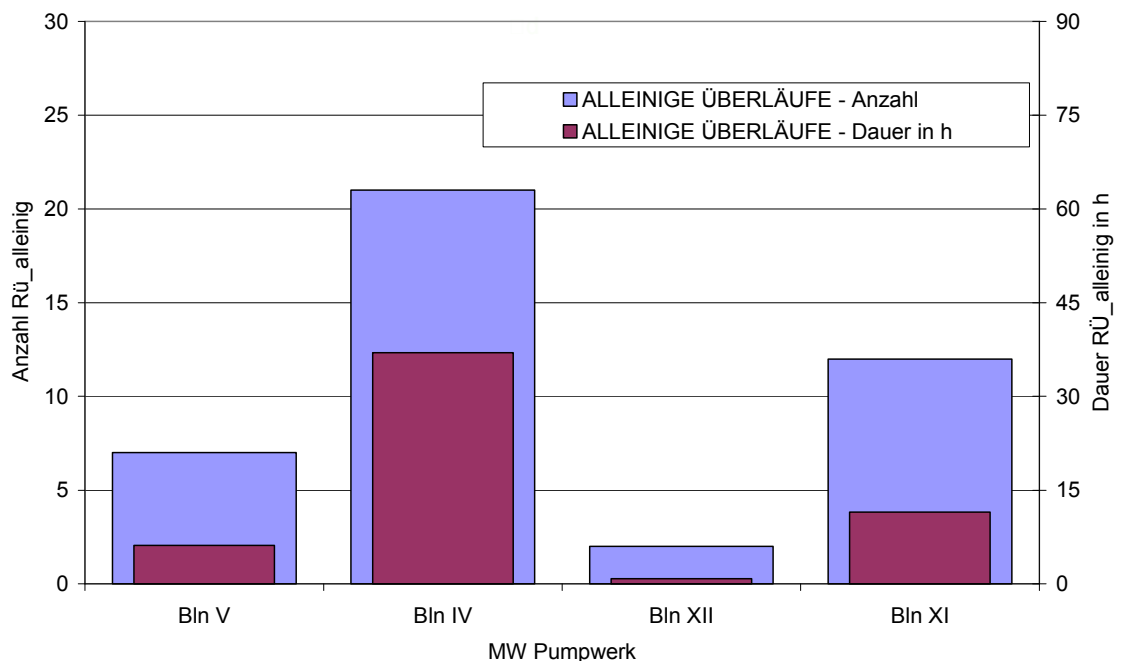
- RÜ – Dauer des Regenüberlaufs

- Alleiniger RÜ – Dauer der Phase, während der ausschließlich am benannten Pumpwerk Überlauf stattfand.



**Bild 4.4** Exemplarische Darstellung der auf zeitliche Überschneidung bezogenen unterschiedlichen Regenüberlauf-Phasen

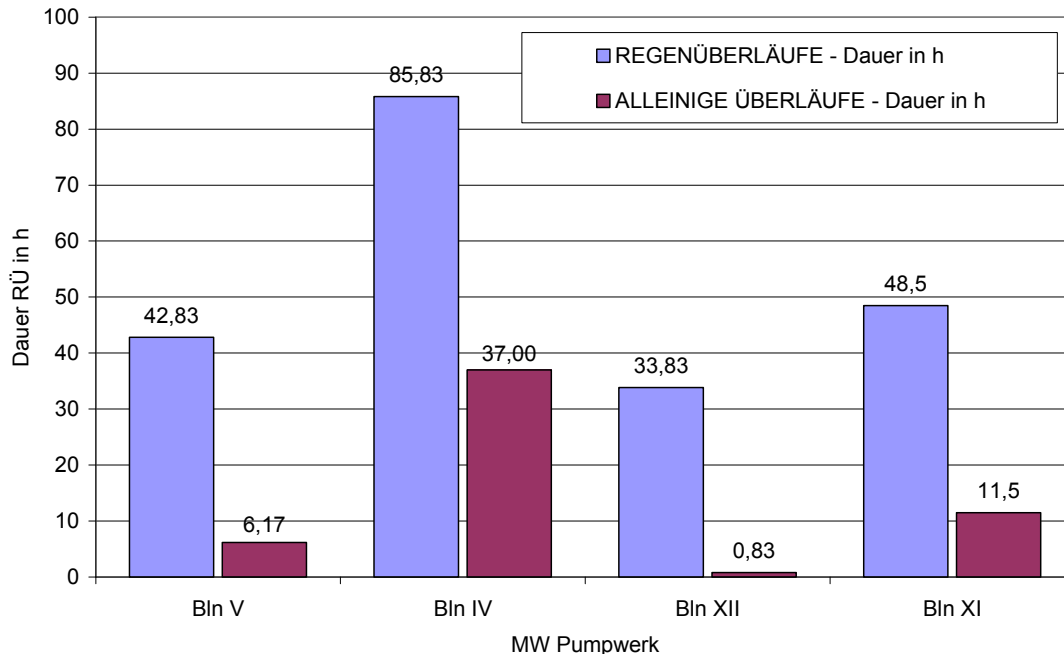
Es sollen zunächst die Ereignisse analysiert werden, während der ein möglichst hohes Steuerungspotential bestand. Daher werden die Zeiträume betrachtet, in denen an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand, während an allen drei anderen Pumpwerken demnach Speicherraum frei war. Bild 4.5 zeigt, dass es relativ viele solcher Ereignisse gab. Beispielsweise beinhalten die 11 RÜ Ereignisse am Pumpwerk Bln V sieben Phasen, während der ausschließlich dort ein Regenüberlauf stattfand.



**Bild 4.5** Anzahl und Dauer der Ereignisse von Januar bis Oktober 2006, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe)

Zum Teil handelte es sich hierbei jedoch um relativ kurze Zeiträume, so dass die Gesamtdauer, während der an den einzelnen Pumpwerken „alleiniger“ Regenüberlauf stattfand deutlich kürzer war, als die Dauer, während der es insgesamt überlief. Dies wird durch Bild 4.6 veranschaulicht.

Insbesondere am Pumpwerk Bln XII war die Dauer der „alleinigen“ Regenüberläufe vernachlässigbar kurz. Demgegenüber fand in Bln IV über 37 h Überlauf statt, während zugleich in allen anderen Kanalnetzen Speichervolumen frei war. Das entspricht 43 % der Gesamtüberlaufdauer.

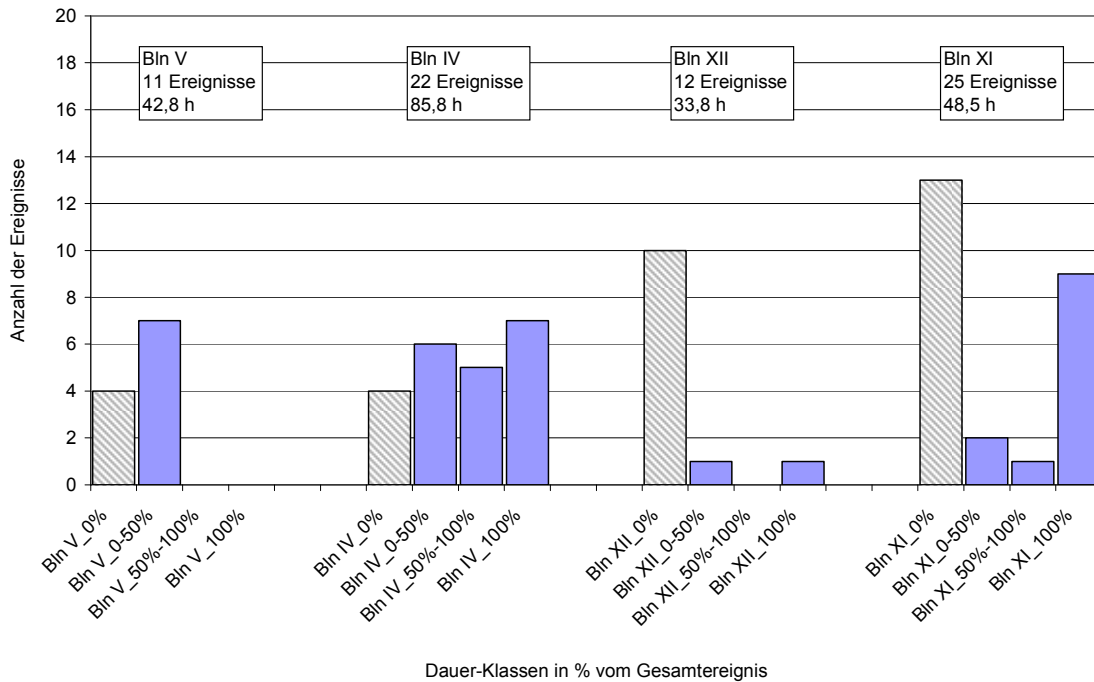


**Bild 4.6** Dauer der Regenüberläufe und der Phasen von Januar bis Oktober 2006, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe)

Aus den bisherigen Darstellungen lässt sich nicht die zeitliche Verteilung der Zeiträume „alleinigen“ Regenüberlaufs innerhalb der Gesamtmenge der Ereignisse entnehmen. Die Gesamtdauer „alleinigen“ Regenüberlaufs kann sich ergeben

- aus einer Reihe kurzer Phasen verteilt über die Gesamtmenge der Überlaufereignisse. Im Extremfall hieße dies: während jedes Ereignisses gibt es eine kurze (für die Steuerung nicht relevante) Phase, in der im System Speicherräume frei sind.
- aus wenigen, dafür aber längeren Ereignissen. Im Extremfall hieße dies: Es gibt einige (für die Steuerung relevante) Überlaufereignisse, während der über die gesamte Zeit Speicherräume im System frei sind. Letzteres könnte beispielsweise dadurch bedingt sein, dass räumlich konzentriert auftretender Niederschlag (konvektive Gewitterzellen) zu einer punktuellen Belastung und in der Folge zu Regenüberlauf nur in einem Kanalnetz führt.
- aus einer Mischung der beiden oben genannten Ereignisformen.

Eine Aufschlüsselung der Dauern „alleinigen“ Regenüberlaufs geben Bild 4.7 und Bild 4.8.

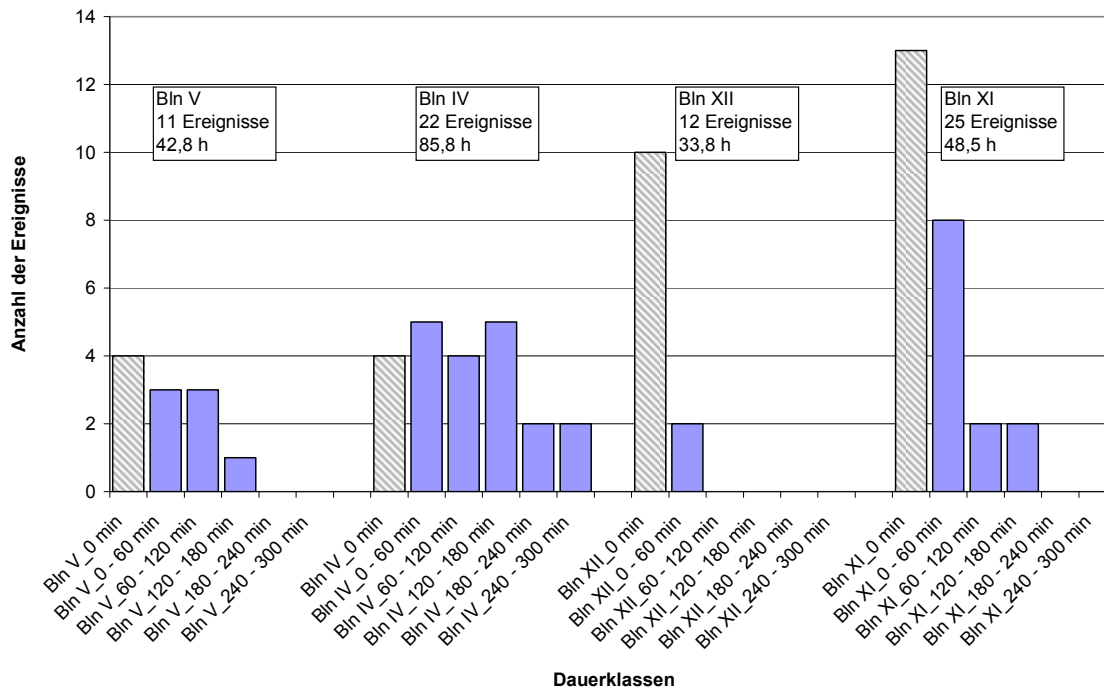


**Bild 4.7** Verteilung des „alleinigen“ Überlaufs nach Dauerklassen in Prozent von der Gesamtereignisdauer

Bild 4.7 zeigt für jedes der Pumpwerke die Verteilung der „alleinigen“ Regenüberläufe nach Dauerklassen in Prozent vom Gesamtereignis. Der Darstellung kann entnommen werden, dass es am Pumpwerk Bln V vier Überlaufereignisse gab, während der zu 0 % „alleiniger“ Überlauf herrschte. Das heißt, zu jeder Zeit dieser Ereignisse konnte auch an mindestens einem der anderen Kanalnetze ein Überlauf verzeichnet werden. Weitere sieben Ereignisse beinhalten Zeiträume, während der „alleiniger“ Überlauf herrschte (zwischen 0 % und 50 % der Ereignisgesamtdauer) und somit freier Speicherraum zur Verfügung stand.

Die Darstellung zeigt zum einen die gleichmäßige Verteilung der Phasen „alleinigen“ Überlaufs im Einzugsgebiet Bln IV. Des Weiteren ist zu erkennen, dass im Einzugsgebiet Bln XII nur ein Ereignis und im Einzugsgebiet Bln V kein Ereignis registriert wurde, während dessen über die Gesamtdauer „alleiniger“ Überlauf herrschte. Im Einzugsgebiet Bln XI hingegen fand bei 9 der insgesamt 25 Ereignisse über deren gesamten Zeitraum „alleiniger“ Überlauf statt.

Bild 4.8 zeigt für jedes der Pumpwerke die Verteilung der „alleinigen“ Regenüberläufe nach Dauerklassen in Minuten. Wieder ist für das Einzugsgebiet Bln IV die gleichmäßige und für das Einzugsgebiet Bln XII die ungleichmäßige Verteilung der Phasen „alleinigen“ Überlaufs zu erkennen. Im Gegensatz zu Bild 4.7 wird nun jedoch deutlich, dass im Einzugsgebiet Bln V durchaus längere Phasen „alleinigen“ Überlaufs registriert wurden.



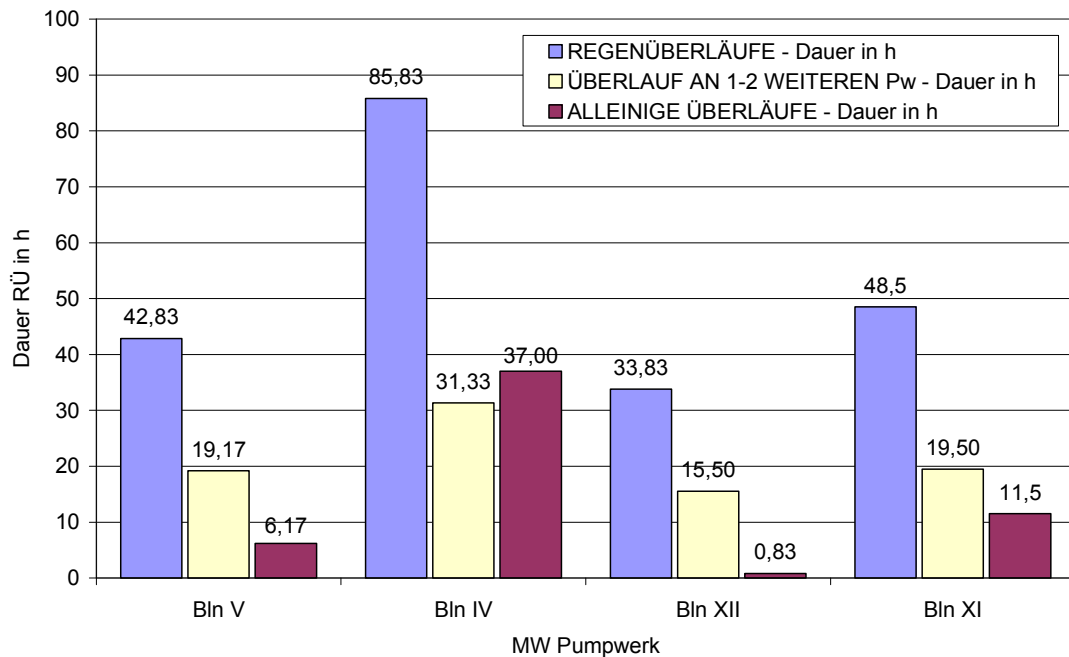
**Bild 4.8** Verteilung des „alleinigen“ Überlaufs nach Dauerklassen in Minuten

Die bisherige Betrachtung beschränkte sich auf Ereigniszeiträume, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand und demnach an allen drei anderen Pumpwerken freier Speicherraum vorhanden war („alleinige“ Regenüberläufe). Geringeres Steuerungspotential ergibt sich in der Regel für Überlaufereignisse, während der in nur einem oder zwei der Kanalnetze Speicherreserven frei sind. Diese Ereignisse sollen im Folgenden dargestellt werden. Bild 4.9 zeigt in Erweiterung von Bild 4.6 für die vier Pumpwerke

- die Gesamtdauer der Regenüberläufe
- die Gesamtdauer der Phasen, während der an weiteren 1-2 Pumpwerken Regenüberlauf stattfand, also an einem oder zwei der Pumpwerke Speicherraum frei war
- die Dauer der Phasen, während der „alleiniger“ Regenüberlauf stattfand, also an allen drei anderen Pumpwerken Speicherraum frei war.

Die Darstellung zeigt, dass mit Ausnahme von Pumpwerk Bln IV während einer wesentlich längeren Zeit Regenüberlauf an 1-2 weiteren Pumpwerken registriert wurde, als dass „alleiniger“ Regenüberlauf stattfand. Am Pumpwerk Bln V war dies während 19,17 h (entspricht 45 % der Gesamtüberlaufzeit) der Fall, am Pumpwerk Bln IV während 31,33 h (37 % der Gesamtüberlaufzeit), am Pumpwerk Bln XII während 15,5 h (46 % der Gesamtüberlaufzeit) und am Pumpwerk Bln XI während 19,5 h (40 % der Gesamtüberlaufzeit).





**Bild 4.9** Dauer der Regenüberläufe, Dauer der Phasen, während der an 1-2 weiteren Pumpwerken Regenüberlauf stattfand und Dauer der Phasen, während der an nur einem einzigen Pumpwerk Überlauf stattfand (alleinige Regenüberläufe) von Januar bis Oktober 2006

#### 4.1.2 Analyse der Förderkapazitäten

Eine aktive Bewirtschaftung von freien Speicherkapazitäten zugunsten der Pumpwerke, an denen Regenüberlauf herrscht oder droht, ist nur realisierbar, wenn an diesen Pumpwerken eine Förderstromerhöhung über den Wert nach Wasserbehördlicher Erlaubnis (WBE) möglich ist. Eine solche Förderstromerhöhung kann durch maschinentechnische und druckseitige Randbedingungen begrenzt sein.

Ziel der Betriebsdatenauswertung war demzufolge zu überprüfen, ob innerhalb der Zeiträume, während der Regenüberlauf stattfand und zugleich Speicherkapazitäten ungenutzt blieben, eine Förderstromerhöhung an den entsprechenden Pumpwerken möglich gewesen wäre. Für die Pumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII wurden aus dem Gesamtdatensatz die RÜ-Ereignisse ausgewählt, während der über mehr als eine halbe Stunde „alleiniger“ Regenüberlauf herrschte (siehe Tabelle 4.2). Zeiträume bis zu einer halben Stunde wurden als nicht-relevant bewertet. Der über diesen Zeitraum geförderte Abwasserstrom wurde mit den Werten nach Wasserbehördlicher Erlaubnis und den maximal realisierbaren Förderströmen (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) verglichen.

**Tabelle 4.2** RÜ-Ereignisse, während der entsprechend Auswertung in Kapitel 4.1.1 über mehr als eine halbe Stunde Speicherkapazitäten ungenutzt blieben

**Bln V**

| Lfd.Nr. | Anfang           | Ende             | Dauer "alleiniger RÜ" in min |
|---------|------------------|------------------|------------------------------|
| 1       | 21.01.2006 15:20 | 21.01.2006 17:10 | 120                          |
| 2       | 07.02.2006 21:00 | 07.02.2006 22:00 | 70                           |
| 3       | 07.07.2006 22:10 | 07.07.2006 23:00 | 60                           |
| 4       | 06.08.2006 05:10 | 06.08.2006 06:00 | 60                           |

**Bln XII**

| Lfd.Nr. | Anfang           | Ende             | Dauer in min |
|---------|------------------|------------------|--------------|
| 1       | 25.05.2006 15:00 | 25.05.2006 15:30 | 40           |

**Bln XI**

| Lfd.Nr. | Anfang           | Ende             | Dauer in min |
|---------|------------------|------------------|--------------|
| 1       | 08.02.2006 02:20 | 08.02.2006 04:30 | 140          |
| 2       | 08.02.2006 17:10 | 08.02.2006 18:00 | 60           |
| 3       | 03.04.2006 20:30 | 03.04.2006 21:10 | 50           |
| 4       | 16.04.2006 07:10 | 16.04.2006 08:00 | 60           |
| 5       | 22.05.2006 15:30 | 22.05.2006 16:00 | 40           |
| 6       | 28.05.2006 14:30 | 28.05.2006 15:10 | 50           |
| 7       | 06.07.2006 19:30 | 06.07.2006 21:30 | 130          |
| 8       | 13.07.2006 21:50 | 13.07.2006 22:20 | 40           |

Am Pumpwerk Bln V gab es über den ausgewerteten Zeitraum 4 Phasen länger als 30 Minuten, während der ausschließlich an diesem Pumpwerk Regenüberlauf stattfand. Der Vergleich zeigt, dass am Pumpwerk Bln V während dieser relevanten Zeiträume die Fördermenge nach WBE im Mittel eingehalten oder überschritten wurde. Die Förderauslastung bezogen auf den WBE-Wert von 560 l/s liegt zwischen 100 % und 111 %. Am 21.01.2006 wird sogar die maximale Förderkapazität von 600-620 l/s vollständig ausgeschöpft. Während der drei anderen Ereignisse lag eine Förderauslastung von zwischen 93 % und 98 % bezogen auf die maximale Förderkapazität vor. Eine Steigerung der Förderung wäre aufgrund des hohen Druckniveaus in diesen Fällen nicht möglich gewesen. Es herrschten Drücke von zwischen 4,7 und 5,0 bar.

Am Pumpwerk Bln XII gab es über den ausgewerteten Zeitraum nur eine Phase länger als 30 Minuten, während der ausschließlich an diesem Pumpwerk Regenüberlauf stattfand. Während dieser Phase wurde der Förderwert nach WBE von 300 l/s im Mittel um 11 % unterschritten. Bezogen auf die maximal mögliche Förderkapazität von 350 l/s bedeutet dies eine Auslastung von 77 %.

Am Pumpwerk Bln XI gab es über den ausgewerteten Zeitraum 8 Phasen länger als 30 Minuten, während der ausschließlich an diesem Pumpwerk Regenüberlauf stattfand. Die Förderauslastung bezogen auf den WBE-Wert von 500 l/s lag zwischen 80 % und 121 %. Bezogen auf die maximal mögliche Förderkapazität von 650 l/s bedeutet dies eine Auslastung von zwischen 62 % und 93 %. Mit Ausnahme der Ereignisse am 22.05.2006 und 06.07.2006 wurde während der relevanten Zeiträume die Fördermenge nach WBE im Mittel eingehalten oder überschritten. Eine Förderstromerhöhung wäre bei den vorliegenden Drucksituationen von 2,2 bar bis 3,0 bar in der Regel möglich gewesen.

**Tabelle 4.3** Vergleich der Fördermengen der Pumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII während „alleinigem“ Regenüberlauf mit den Werten nach Wasserbehördlicher Erlaubnis und den maximal realisierbaren Förderströmen

**Bln V**

| Lfd.Nr. | Ereignis<br>Datum | Gemessene Werte in l/s |       |       | Richtwerte in l/s |       | Auslastung     |                |
|---------|-------------------|------------------------|-------|-------|-------------------|-------|----------------|----------------|
|         |                   | Q_mittel               | Q_max | Q_min | Q_wbe             | Q_max | Q_mittel/Q_wbe | Q_mittel/Q_max |
| 1       | 21.01.2006        | 621                    | 629   | 614   | 560               | 600   | 111%           | 100%           |
| 2       | 07.02.2006        | 559                    | 565   | 552   | 560               | 600   | 100%           | 93%            |
| 3       | 07.07.2006        | 559                    | 564   | 555   | 560               | 600   | 100%           | 93%            |
| 4       | 06.08.2006        | 586                    | 590   | 581   | 560               | 600   | 105%           | 98%            |

**Bln XII**

| Lfd.Nr. | Ereignis<br>Datum | Gemessene Werte in l/s |       |       | Richtwerte in l/s |       | Auslastung     |                |
|---------|-------------------|------------------------|-------|-------|-------------------|-------|----------------|----------------|
|         |                   | Q_mittel               | Q_max | Q_min | Q_wbe             | Q_max | Q_mittel/Q_wbe | Q_mittel/Q_max |
| 1       | 25.05.2006        | 268                    | 269   | 263   | 300               | 350   | 89%            | 77%            |

**Bln XI**

| Lfd.Nr. | Ereignis<br>Datum | Gemessene Werte in l/s |       |       | Richtwerte in l/s |       | Auslastung     |                |
|---------|-------------------|------------------------|-------|-------|-------------------|-------|----------------|----------------|
|         |                   | Q_mittel               | Q_max | Q_min | Q_wbe             | Q_max | Q_mittel/Q_wbe | Q_mittel/Q_max |
| 1       | 08.02.2006        | 517                    | 535   | 498   | 500               | 650   | 103%           | 80%            |
| 2       | 08.02.2006        | 539                    | 544   | 537   | 500               | 650   | 108%           | 83%            |
| 3       | 03.04.2006        | 593                    | 599   | 587   | 500               | 650   | 119%           | 91%            |
| 4       | 16.04.2006        | 607                    | 612   | 600   | 500               | 650   | 121%           | 93%            |
| 5       | 22.05.2006        | 468                    | 522   | 337   | 500               | 650   | 94%            | 72%            |
| 6       | 28.05.2006        | 498                    | 540   | 481   | 500               | 650   | 100%           | 77%            |
| 7       | 06.07.2006        | 401                    | 612   | 333   | 500               | 650   | 80%            | 62%            |
| 8       | 13.07.2006        | 501                    | 512   | 491   | 500               | 650   | 100%           | 77%            |

Der Vergleich zeigt, dass in den Zeiträumen, während der Speicherkapazitäten offensichtlich ungenutzt blieben, am Pumpwerk Bln V die Förderkapazitäten ausgeschöpft wurden. Im Mittel der Ereignisse fand eine Förderung über dem Wert nach Wasserbehördlicher Erlaubnis statt.

Am Pumpwerk Bln XII gab es nur eine relevante Regenüberlauf-Phase. Während dieser konnte die theoretische Förderkapazität nicht ausgeschöpft werden. Der Grund hierfür ist nicht bekannt.

Das größte Potential für Steuerungseingriffe zeigt das Pumpwerk Bln XI auf. Hier ist eine Förderstromerhöhung von 500 l/s (WBE-Wert) auf 650 l/s (Q\_max) möglich. Während des ausgewerteten Zeitraums wurde die maximale Förderkapazität im Mittel nur zu 79 % ausgenutzt.

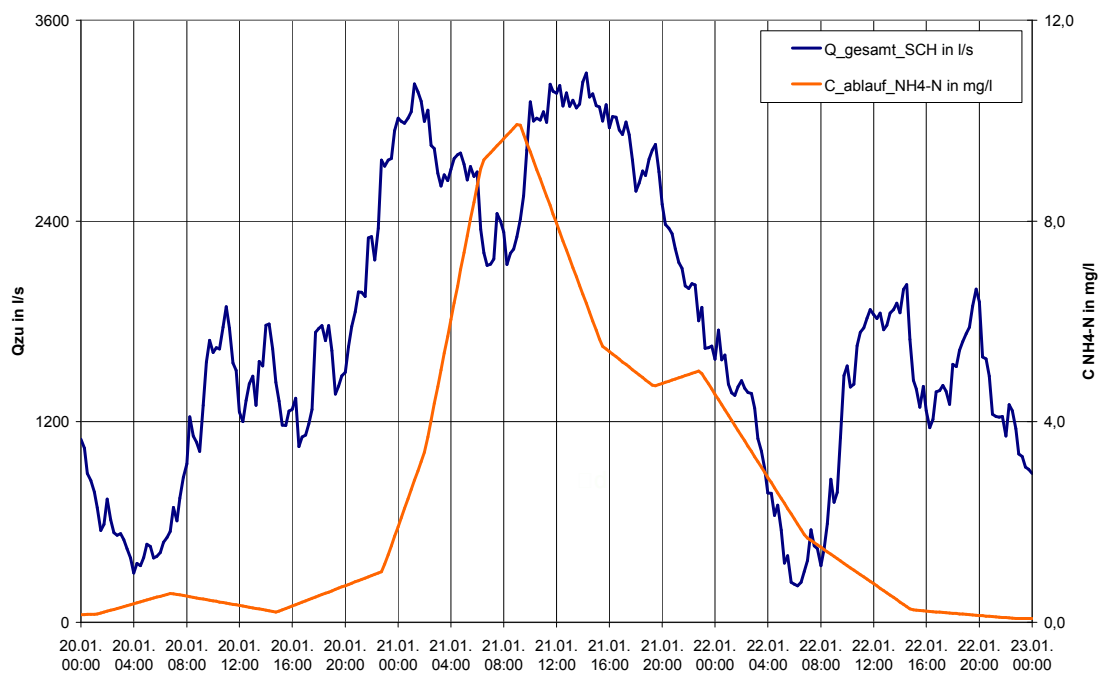
### 4.1.3 Darstellung der Klärwerkskapazität

Neben maschinentechnischen und druckseitigen Zwängen kann eine weitere Ursache für die Reduktion der Fördermengen die begrenzte Reinigungskapazität des Klärwerks Schönerlinde bei Niederschlag darstellen. Aufgrund von nachlassender Nitrifikationskapazität während längeren Niederschlagsereignissen kann es zu einer Begrenzung der Reinigungsleistung kommen. Diese Situation wird insbesondere begünstigt durch die aufgrund der Beschickung via Abwasserdruckleitungen über lange Zeiträume andauernde hohe stoffliche Belastung des Klärwerks.

Exemplarisch dargestellt wird diese Situation am Niederschlagsereignis vom 20.-23.01.2006 (siehe Bild 4.10). Nach Einsetzen des Niederschlags wird am 20.01.2006 um 20:30 h die Trockenwetterspitzenmenge von 1800 l/s überschritten. Ab 21.01.2006 00:00 h wird das Klärwerk mit über 3000 l/s

beschickt. Es kommt zu einem starken Anstieg der Ammonium-Ablaufwerte. Trotz Niederschlagsituation an den Pumpwerken wird jedoch ab 03:00 h die Förderung auf etwa 2700 l/s begrenzt, um eine Überschreitung der Überwachungswerte zu verhindern. Die Folge ist ein geringerer Anstieg der Ammonium-Ablaufwerte. Aufgrund nachlassenden Niederschlags kann zwischen 21.01.2006 06:00 h und 09:00 h die Förderung weiter reduziert werden.

Der Regen setzt gegen 09:00 h wieder ein. Die Förderung kann nun jedoch auf über 3000 l/s erhöht werden, da das höher verdünnte Abwasser inzwischen das Klärwerk erreicht hat und die Nitrifikationskapazität ausreicht, das Ammonium zu nitrifizieren. Die Ammonium-Ablaufwerte sinken.



**Bild 4.10** Gesamtzulauf Klärwerk Schönierlinde und Ablaufwerte für den Parameter Ammonium-Stickstoff vom 20.01.2006 bis 23.01.2006

Das Beispiel zeigt, dass eine Variation des Klärwerkzulaufs während Niederschlag zugunsten der Ablaufwerte notwendig ist und auch entsprechend praktiziert wird. Als Indikator für die Aufnahme-Kapazität des Klärwerks kann der Parameter Ammonium-Stickstoff im Ablauf des Werks genutzt werden.

Die jeweils aktuelle Kapazität des Klärwerks Schönierlinde ist folglich in das Entscheidungshilfswerkzeug zu integrieren.

#### 4.1.4 Zusammenfassung der Analyse der Ist-Situation

Es wurde eine Analyse der Ist-Situation der Abwasserförderung anhand von über das PI-System verfügbaren Betriebsdaten durchgeführt. Die analysierten Daten stammten aus dem Zeitraum 31.12.2005, 22:00 Uhr bis 07.10.2006, 04:20 Uhr. Das entspricht einer Gesamtdauer von 279 Tagen, 5 Stunden und 20 Minuten.

Die Bewertung der Überlaufaktivitäten an den Mischwasser-Pumpwerken zeigte, dass häufig Speicherkapazitäten in den Kanalnetzen ungenutzt blieben,

während punktuell Regenüberlauf stattfand. Am deutlichsten ist dies für das Pumpwerk Bln XI zu erkennen. Während einer Gesamtdauer von 11,5 h fand am Pumpwerk Bln XI Überlauf statt, obwohl zugleich an allen anderen Pumpwerken Speicherkapazitäten ungenutzt blieben. 11,5 h entsprechen einem Anteil von 24 % an der Gesamtüberlaufdauer an diesem Pumpwerk.

Geringeres Potential ist für das Pumpwerk Bln V zu erkennen (während 15 % der Überlaufzeit freier Speicher an allen anderen Pumpwerken). Geringstes Potential zeigt das Pumpwerk Bln XII (während 2 % der Überlaufzeit freier Speicher an allen anderen Pumpwerken). Einschränkend muss noch einmal angeführt werden, dass nach Abschluss der Studie festgestellt wurde, dass die Wasserstandsmessung am Pumpwerk Bln XII zur damaligen Zeit fehlerbehaftet war und zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Wasserstands um 8-10 cm führte. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer korrekten Messung des Wasserstands eine höhere Zahl von Überlaufereignissen am Pumpwerk Bln XII registriert worden wäre.

Die Analyse der Förderströme zeigte, dass in den Zeiträumen, während der Speicherkapazitäten offensichtlich ungenutzt blieben, am Pumpwerk Bln V die Förderkapazitäten vollständig ausgeschöpft wurden. Im Mittel der Ereignisse fand eine Förderung über dem Wert nach Wasserbehördlicher Erlaubnis statt.

Das größte Potential für Steuerungseingriffe zeigte auch hier das Pumpwerk Bln XI auf. Eine Förderstromerhöhung von 500 l/s (WBE-Wert) auf 650 l/s ( $Q_{max}$ ) ist möglich. Kritische Drucksituationen sind auch für hohe Fördermengen nicht zu erwarten. Während des ausgewerteten Zeitraums wurde die maximale Förderkapazität im Mittel jedoch nur zu 79 % ausgenutzt.

Die Analyse des Gesamtzulaufs zum Klärwerk Schönerlinde während Niederschlagsereignissen zeigte, dass neben maschinentechnischen und druckseitigen Zwängen auch die begrenzte Reinigungskapazität des Klärwerks eine Ursache für die Reduktion der Fördermengen darstellen kann. Aufgrund von nachlassender Nitrifikationskapazität kann es zu einer Begrenzung der Reinigungsleistung kommen. Diese Situation wird insbesondere begünstigt durch die aufgrund der Beschickung via Abwasserdruckleitungen über lange Zeiträume andauernde hohe stoffliche Belastung des Klärwerks.

Die jeweils aktuelle Aufnahmekapazität des Klärwerks Schönerlinde ist demnach in das Entscheidungshilfwerkzeug zu integrieren, um Fördervorschläge geben zu können, die in der Summe die Leistung des Klärwerks nicht überschreiten.

## **4.2 Entwurf des Steuerungsalgorithmus**

### **4.2.1 Problemstellung**

Bei Starkregenereignissen kommt es in Berlin zu Mischwasserentlastungen in die Spree, die die Gewässerqualität nachteilig beeinflussen. Diese Entlastungen treten auf, wenn ein Kanalnetz bereits ganz eingestaut ist und der Abwasserstrom, der aus diesem Netz zum angeschlossenen Pumpwerk fließt, den vom Pumpwerk zum Klärwerk geförderten Volumenstrom übersteigt. Die Fördermengen, die von den Pumpwerken zum Klärwerk gepumpt werden, sind einerseits durch die technische Ausstattung der Pumpwerke und die Drucksituation im Druckleitungsnetz und andererseits durch die

Aufnahmefähigkeit des Klärwerks begrenzt. Da mehrere Pumpwerke zu demselben Klärwerk fördern, müssen die Fördermengen der einzelnen Pumpwerke aufeinander abgestimmt werden. Diese Koordinierung, die derzeit manuell erfolgt, soll hinsichtlich der Reduktion der Mischwasserentlastungen optimiert werden.

#### 4.2.2 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel ist die Verringerung der Mischwasserentlastungen und der daraus resultierenden Stoffeinträge in die Berliner Gewässer. Diese soll durch eine Koordinierung von Mischwasser-Pumpwerken erreicht werden, die zu ein und demselben Klärwerk fördern.

Dazu soll das Entscheidungshilfswerkzeug (EVA) Empfehlungen für die an den Pumpwerken einzustellenden Förderströme so geben, dass die folgenden zwei Grundforderungen erfüllt werden:

- **Grundforderung 1:**  
Die zum jeweiligen Zeitpunkt der Steuerung aktuelle Aufnahmefähigkeit des Klärwerks soll voll ausgenutzt werden.
- **Grundforderung 2:**  
Entlastungen sollen möglichst verhindert werden und, wenn doch nötig, erst nach vollständiger Auslastung der verfügbaren Speicherkapazitäten erfolgen.

#### 4.2.3 Anwendungsgebiet und Randbedingungen

Als Anwendungsgebiet für die Erprobung einer derartigen Pumpwerkssteuerung in Berlin wurden die zum Klärwerk Schönerlinde fördernden Mischwasser-Pumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII ausgewählt.

Obwohl das Klärwerk Schönerlinde auch die Mischwasserströme aus den Berliner Einzugsgebieten Bln IV, Bln IX und Bln X, sowie das Schmutzwasser aus den Trenngebieten Berlins und des Berliner Umlands behandelt, bezieht sich die zu erprobende Steuerung aufgrund technischer Randbedingungen nur auf die oben genannten Pumpwerke. Die Schmutzwasserförderung aus den Trenngebieten Berlins und des Berliner Umlands, sowie die Mischwasserförderung aus Bln IV, Bln IX und Bln X zum Klärwerk Schönerlinde erfolgt prioritär und wird durch die Steuerung nicht beeinflusst.

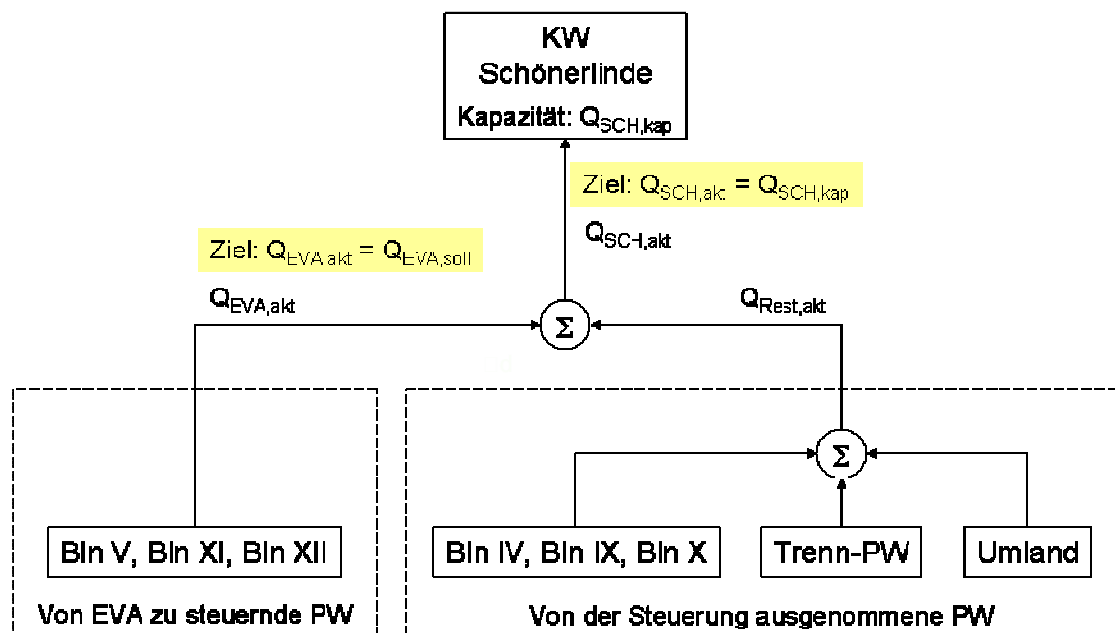
In Bezug auf die möglichen von der Steuerung vorzuschlagenden Förderströme gelten die folgenden Randbedingungen:

- **Randbedingung 1:**  
Der vorgeschlagene Förderstrom darf einen für jedes Pumpwerk charakteristischen Minimalförderstrom  $Q_{min}$  nicht unterschreiten und einen charakteristischen, durch die eingesetzten Pumpen bedingten, Maximalförderstrom  $Q_{max}$  nicht überschreiten.
- **Randbedingung 2:**  
An jedem gesteuerten Mischwasser-Pumpwerk lässt sich nur eine bestimmte Anzahl charakteristischer, diskreter Volumenströme (Schaltstufen) einstellen. Die für die betrachteten Pumpwerke vorgeschlagenen Fördervolumenströme müssen jeweils einer dieser möglichen Schaltstufen entsprechen.

Um das vorhandene Optimierungspotential auszunutzen, wird – entgegen der bisher üblichen Praxis – zugelassen, dass die maximale Fördermenge eines gesteuerten Mischwasserpumpwerks die Fördermenge nach Wasserbehördlicher Erlaubnis (WBE)  $Q_{WBE}$  überschreitet. Während Niederschlagsereignissen kann zum Erreichen des übergeordneten Steuerungsziels vom Wert nach wasserbehördlicher Erlaubnis abgewichen werden, wobei sowohl Überschreitung als auch Unterschreitung von  $Q_{WBE}$  möglich sind.

#### 4.2.4 Bestimmung des aus Bln V, Bln XI und Bln XII zu fördernden Gesamtvolumenstroms

Bild 4.11 gibt einen Überblick über die zum Klärwerk (KW) Schönerlinde geförderten Abwasserströme.



**Bild 4.11** Übersicht über die Abwasserströme zum Klärwerk Schönerlinde

Der aktuell insgesamt zum Klärwerk Schönerlinde geförderte Abwasserstrom  $Q_{SCH,akt}$  kann in die zwei Teilströme  $Q_{EVA,akt}$  und  $Q_{Rest,akt}$  aufgeteilt werden:

$$Q_{SCH,akt} = Q_{EVA,akt} + Q_{Rest,akt} \quad (1)$$

Während der Förderstrom  $Q_{EVA,akt}$  von den für das EVA-Projekt ausgewählten Mischwasserpumpwerken Bln V, Bln XI und Bln XII, die im Folgenden als EVA-Pumpwerke bezeichnet werden, gefördert wird, stammt der übrige Förderstrom  $Q_{Rest,akt}$  einerseits von Pumpwerken in Trenngebieten (Trenn-PW) und im Berliner Umland (Umland), andererseits von den Mischwasserpumpwerken, die nicht in die EVA-Steuerung einbezogen sind (Bln IV, Bln IX, Bln X).

Die Differenz  $Q_{SCH,kap} - Q_{SCH,akt}$  zwischen aktueller Kapazität und aktuellem Zulauf gibt an, um welchen Betrag die aktuelle Förderung zum Klärwerk



insgesamt gesteigert bzw. reduziert werden muss, um genau die Kapazität des Klärwerks auszunutzen. Dieser Betrag soll voll auf die von EVA gesteuerten Mischwasserpumpwerke umgeschlagen werden, so dass sich als Anforderung für die auf die EVA-Pumpwerke zu verteilende Gesamtfördermenge  $Q_{EVA,soll}$  ergibt:

$$Q_{EVA,soll} = Q_{EVA,akt} + (Q_{SCH,kap} - Q_{SCH,akt}) \quad (2)$$

#### 4.2.5 Grundidee zur Verteilung des Gesamtvolumenstroms auf die einzelnen Pumpwerke

Die Auswertung von Entlastungsereignissen an den betrachteten Pumpwerken im Anwendungsgebiet hat ergeben, dass es teilweise zu Entlastungen an einem Pumpwerk kam, während in einem Kanalnetz, das einem anderen Pumpwerk zugeordnet war, noch zum Teil ungenutztes Speichervolumen zur Verfügung stand. Die Entlastung an dem einen Pumpwerk hätte verzögert oder verhindert werden können, wenn dieses einen höheren Volumenstrom zum Klärwerk Schönerlinde gefördert hätte, während die Förderleistung des anderen Pumpwerks, dessen Kanalnetz in geringerem Maße gefüllt war, gleichzeitig gedrosselt worden wäre.

Aus diesen Betrachtungen heraus entstand die Idee für eine Steuerungsstrategie, welche die an den Pumpwerken einzustellenden Pumpenfördermengen in Abhängigkeit von den aktuellen Speicherauslastungen in den Kanalnetzen, die den Pumpwerken zugeordnet sind, bestimmt.

#### Gewichtete Speicherauslastung als Maß für die Priorität

Grundsätzlich soll die Priorität, mit der ein Pumpwerk fördern soll, proportional zu dessen zugeordneter Speicherauslastung sein, d. h. höhere Auslastungen sollen zu höheren Prioritäten und damit zu höheren zugewiesenen Fördermengen führen.

Die Speicherauslastungen werden anhand von Speicher Kennlinien ermittelt. Eine Speicher Kennlinie ordnet dem am Pumpwerk aktuell anliegenden Wasserstand  $H_{akt}$  das im angeschlossenen Kanalnetz insgesamt aktivierte Volumen  $V_{akt}$  zu. Dem maximal zulässigen Wasserstand am Pumpwerk, der mit der Höhe der Überlaufschwelle des Entlastungskanals korrespondiert, entspricht das maximal aktivierbare Volumen  $V_{max}$  im Kanalnetz.

Die jeweilige Speicherauslastung  $V_{rel}$  berechnet sich als Quotient aus dem im Kanalnetz aktuell aktivierten Volumen  $V_{akt}$  und dem maximal in diesem Netz aktivierbaren Volumen  $V_{max}$ :

$$V_{rel} = V_{akt} / V_{max} \quad (3)$$

Über Wichtungsfaktoren  $w$  kann das Gewicht, mit dem die Speicherauslastung in die Priorität  $p$  eingeht, verändert werden, so dass sich die Speicherauslastung  $V_{rel}$  eines Pumpwerks mit höherem Wichtungsfaktor stärker auf dessen Priorität auswirkt als die Auslastung eines Pumpwerks mit kleinerem Wichtungsfaktor. Wir verwenden als Maß für die Priorität  $p$ , also die gewichtete Speicherauslastung  $V_{rel,gewichtet}$ :

$$p = V_{rel,gewichtet} = w \cdot V_{rel} \quad (4)$$



### Förderspannenanteile

Da die Pumpwerke mit unterschiedlich starken Pumpen ausgestattet sind und da unterschiedliche minimale und maximale Förderströme  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  einzuhalten sind, erscheint es sinnvoll, anstatt ausgehend von der Priorität direkt auf **absolute** Volumenströme zu schließen, zunächst mit einer **relativen** Größenskala zu arbeiten.

Die Differenz zwischen maximal möglichem und minimalem Förderstrom sei dazu als Förderspanne  $Q_{\text{range}}$  bezeichnet:

$$Q_{\text{range}} = Q_{\max} - Q_{\min} \quad (5)$$

Pumpwerke mit gleich großen Prioritäten sollen nun nicht zwangsläufig zu gleich großen absoluten Volumenströmen führen, sondern ihre Förderspanne  $Q_{\text{range}}$  soll vielmehr zum gleichen prozentualen Anteil  $x$  ausgenutzt werden.

Aus dem für ein Pumpwerk ermittelten Prozentanteil  $x$  seiner Förderspanne ergibt sich der entsprechende zu fördernde absolute Volumenstrom  $Q_{\text{soll}}$  dann gemäß

$$Q_{\text{soll}} = Q_{\min} + x \cdot Q_{\text{range}} \quad (6)$$

### Bedingungen für die Förderspannenanteile

Wieder einem Proportionalansatz entsprechend soll sich das Verhältnis der Prioritäten der verschiedenen Pumpwerke im Verhältnis der zu bestimmenden entsprechenden Förderspannenanteile widerspiegeln. Hat ein Pumpwerk im Vergleich zu einem anderen eine doppelt so große Priorität, so darf es seine Förderspanne auch zum doppelten Anteil ausnutzen.

Allgemein ergeben sich daraus als Bedingung für gesuchte Förderspannenanteile  $x_i$  und  $x_k$  zweier beliebiger Pumpwerke  $i$  und  $k$  mit den gegebenen Prioritäten  $p_i$  und  $p_k$ :

$$x_i / x_k = p_i / p_k \quad (7)$$

Zusätzlich muss die Bedingung erfüllt sein, dass die Summe der aus den Förderspannenanteilen berechneten absoluten Förderströme  $Q_i$  der Pumpwerke  $i$  dem Fördervolumenstrom  $Q_{\text{EVA,soll}}$ , den die EVA-Pumpwerke insgesamt zum Klärwerk Schönerlinde fördern sollen, entspricht:

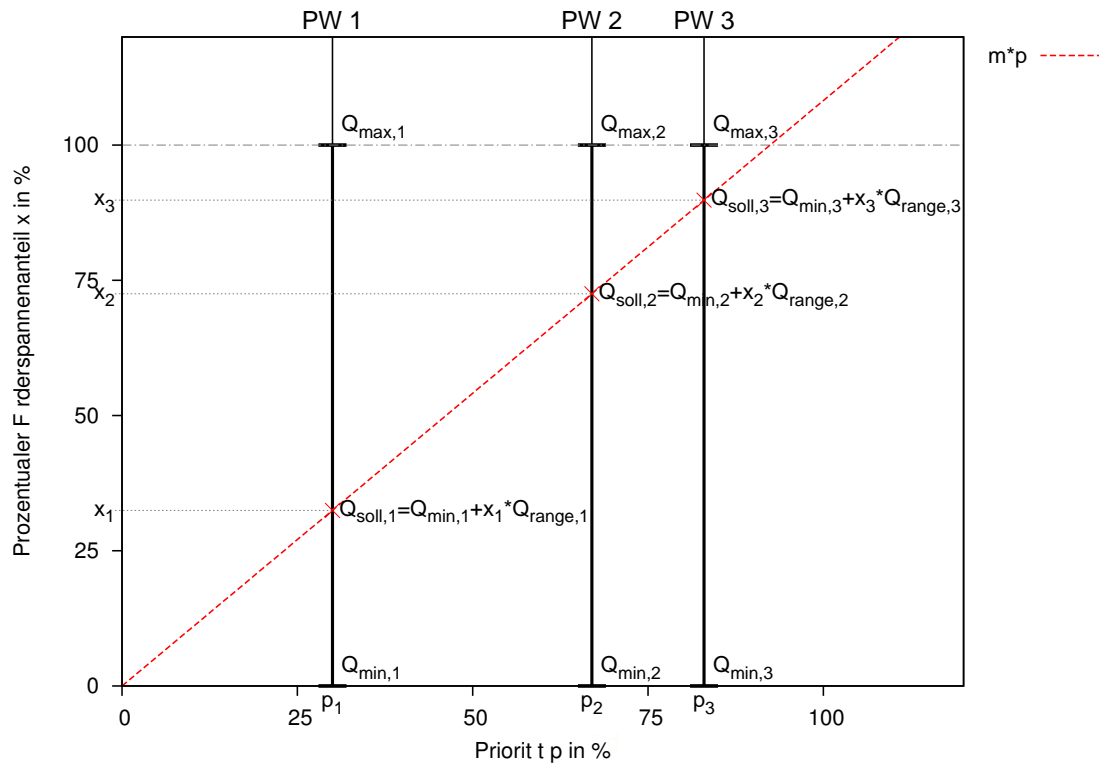
$$Q_{\text{EVA,soll}} = \sum_i Q_{\text{soll},i} \quad (8)$$

Wie die Förderspannenanteile und schließlich die absoluten Förderströme gefunden werden, die die genannten Bedingungen erfüllen, wird im Folgenden beschrieben und grafisch veranschaulicht.

#### 4.2.6 Berechnung der theoretisch optimalen Verteilung

In einem ersten Schritt werden theoretische Förderströme berechnet, die zunächst nur die Bedingungen (7) und (8) erfüllen. Die beiden Randbedingungen, dass Maximalförderströme einzuhalten und nur bestimmte Förderstromstufen möglich sind, werden dabei noch nicht berücksichtigt. Dies wird in den anschließenden Abschnitten erklärt.

Die gesamte Vorgehensweise bei der Ermittlung der gesuchten Pumpenförderströme lässt sich anschaulich anhand eines Diagramms nachvollziehen, in dem Förderspannenanteile gegenüber Prioritäten aufgetragen sind. Bild 4.12 zeigt beispielhaft eine solche Darstellung.



**Bild 4.12** Ermittlung der prozentualen Förderspannenanteile aus den Prioritäten

Jedes Pumpwerk  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) wird im Diagramm durch eine Senkrechte repräsentiert, die die Abszissenachse an der Stelle  $p_i$ , die seiner aktuellen Priorität entspricht, schneidet. So sind Pumpwerke mit höherer Priorität weiter rechts zu finden, während solche geringerer Priorität weiter links stehen.

Zeichnet man in dieses System eine beliebige Ursprungsgerade mit positiver Steigung ein, so schneidet diese die den Pumpwerken zugeordneten Senkrechten jeweils auf Höhe von bestimmten Förderspannenanteilen  $x_i$ . Diese erfüllen wegen der Anwendbarkeit des Strahlensatzes auf das Diagramm bereits die Bedingung (7). Von allen möglichen Geraden ist nun diejenige gesucht, die zu Förderspannenanteilen führt, die zusätzlich die Bedingung (8) erfüllen.

Es muss gelten:

$$Q_{EVA,soll} = \sum_i Q_{soll,i} = \sum_i Q_{min,i} + x_i Q_{range,i} = \sum_i Q_{min,i} + \sum_i x_i Q_{range,i} \quad (9)$$

Da wir aufgrund von (7) und mit  $k$  beliebig, aber fest gewählt für  $x_i = p_i \cdot x_k / p_k$  schreiben können, gilt:

$$Q_{EVA,soll} = \sum_i Q_{min,i} + \frac{x_k}{p_k} \sum_i p_i Q_{range,i} \quad (10)$$

Für den Quotienten  $x_k / p_k$ , der der Steigung  $m$  der gesuchten Geraden entspricht, folgt:

$$m = \frac{x_k}{p_k} = \frac{Q_{EVA,soll} - \sum_i Q_{min,i}}{\sum_i p_i Q_{range,i}} \quad (11)$$

Mit Hilfe der gefundenen Steigung lassen sich nun aus den gegebenen Prioritäten zunächst alle Förderspannenanteile

$$x_i = m \cdot p_i \quad (12)$$

und aus diesen schließlich alle zugehörigen Fördervolumenströme berechnen:

$$Q_{soll,i} = Q_{min,i} + x_i \cdot Q_{range,i} \quad (13)$$

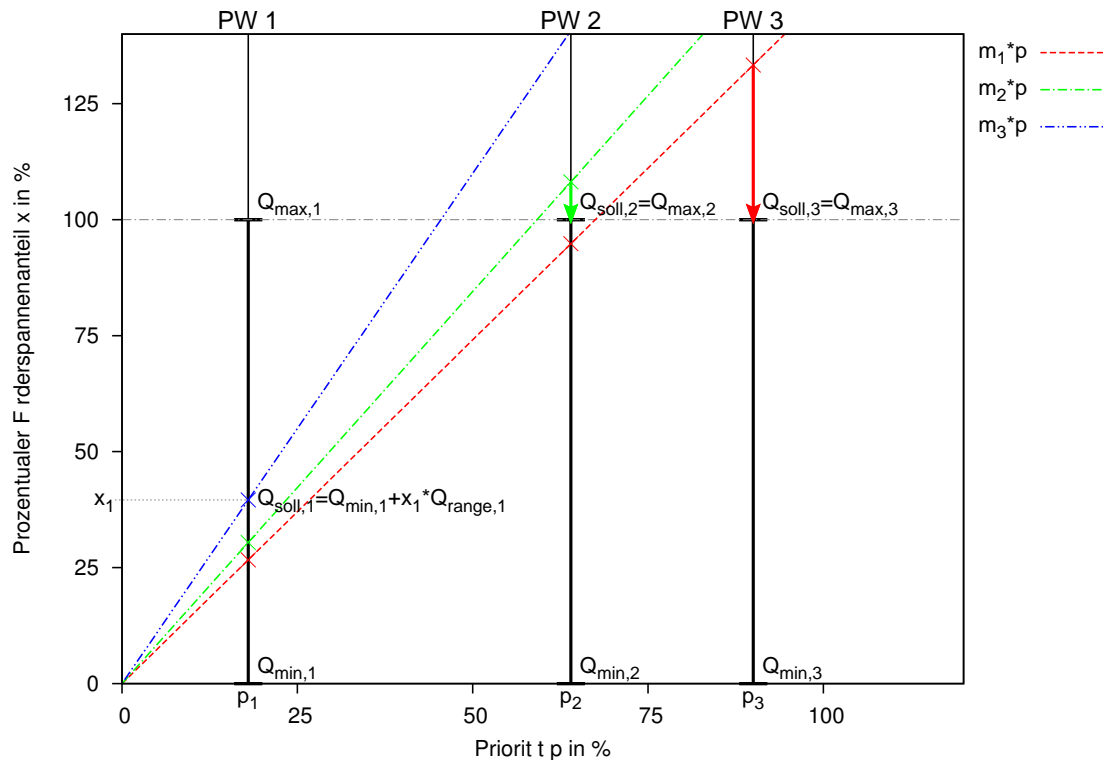
#### 4.2.7 Berücksichtigung maximaler Pumpwerks-Fördermengen (Randbedingung 1)

Obige Berechnung kann für das ein oder andere Pumpwerk zu Fördermengen führen, die deren zulässige maximale Fördermengen  $Q_{max}$  überschreiten. In diesem Fall müssen die diesen Pumpwerken zugeordneten Förderströme auf ihre jeweiligen maximalen Fördermengen beschränkt werden.

Da diese Beschränkung dazu führt, dass die Summe aller zugewiesenen Förderströme kleiner wird als die gewünschte Gesamtfördermenge  $Q_{EVA,soll}$ , muss eine Neuverteilung der sich neu ergebenden Restfördermenge vorgenommen werden.

Dazu werden in einem zweiten Schritt wieder die Gleichungen **(11)** bis **(13)** angewendet. In Gleichung **(11)** ist nun anstatt von  $Q_{EVA,soll}$  jedoch die neue Restfördermenge einzusetzen, die sich aus  $Q_{EVA,soll}$ , abzüglich der maximalen Fördermengen  $Q_{max}$  aller Pumpwerke ergibt, für die im ersten Schritt eine zu hohe Fördermenge ermittelt wurde. Entsprechend dürfen in die Summen in **(11)** jetzt nur noch diejenigen Pumpwerke eingehen, für die im ersten Schritt keine zu große Fördermenge berechnet wurde.

Da auch dieser zweite Berechnungsschritt für ein oder maximal zwei Pumpwerke zu einem Förderstrom über  $Q_{max}$  führen kann, ist gegebenenfalls der Förderstrom dieser Pumpwerke zu beschränken. Wieder ist für das übrige Pumpwerk (es kann nach zwei Berechnungsschritten höchstens ein entsprechendes Pumpwerk geben) eine erneute Berechnung durchzuführen. Dabei ergibt sich die in die Gleichung **(11)** für  $Q_{EVA,soll}$  einzusetzende Restfördermenge wieder aus  $Q_{EVA,soll}$ , abzüglich der maximalen Fördermengen  $Q_{max}$  aller Pumpwerke, für die im ersten oder im zweiten Schritt eine zu hohe Fördermenge ermittelt wurde. In die Summen in Gleichung **(11)** geht dann jeweils nur noch das letzte Pumpwerk ein, für das bisher noch kein Förderstromanteil über 100 Prozent erreicht wurde.



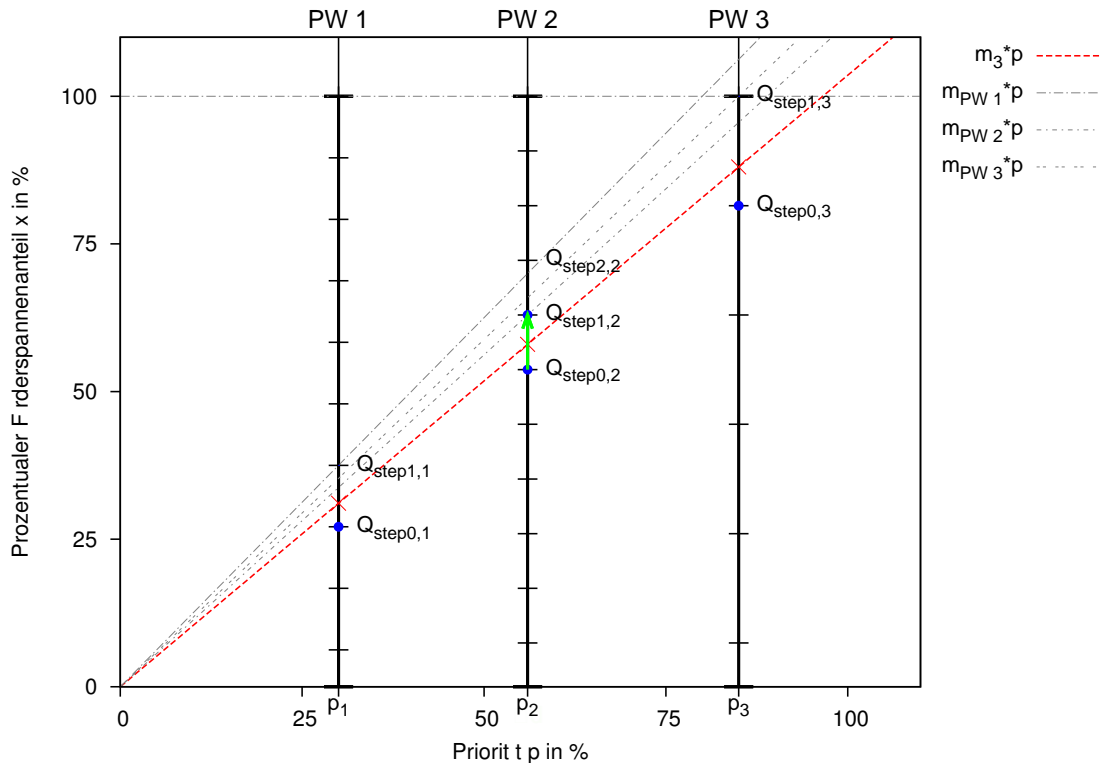
**Bild 4.13** Schrittweise Berechnung der Fördervolumenströme bei Überschreiten von  $Q_{\max}$

In der Grafik in Bild 4.13 stellt sich das schrittweise Vorgehen wie folgt dar: Die erste Berechnung führt zu einer Ursprungsgeraden mit der Steigung  $m_1$ , die gegebenenfalls die am weitesten rechts stehenden, am höchsten priorisierten, Pumpwerke (hier nur PW 3) oberhalb eines Förderspannenanteils von 100 Prozent schneidet. Diese Pumpwerke werden im nächsten Schritt nicht mehr berücksichtigt, ihnen werden ihre jeweiligen  $Q_{\max}$  zugeordnet (hier also:  $Q_{\text{soll},3} = Q_{\max,3}$ ). Für die übrigen Pumpwerke wird eine neue, entsprechend steilere Gerade mit der Steigung  $m_2$  berechnet, die zu neuen Schnittpunkten mit den übrigen Pumpwerks-Senkrechten führt. Liegt ein Schnittpunkt wieder oberhalb der 100-Prozent-Marke des Förderspannenanteils, so sind erneut entsprechende Pumpwerke auf ihren jeweiligen maximalen Förderstrom zu beschränken (hier für PW 2:  $Q_{\text{soll},2} = Q_{\max,2}$ ), und es ist eine dritte, steilere Gerade mit der Steigung  $m_3$  zu berechnen. Diese schneidet die Senkrechte des nunmehr letztmöglich übrig gebliebenen Pumpwerks (hier PW 1) auf Höhe des zuzuordnenden Förderspannenanteils (hier:  $x_1$ ). Daraus wird der entsprechende Förderstrom gemäß **(13)** berechnet, es sei denn, auch dieser muss auf seinen Maximalwert  $Q_{\max}$  beschränkt werden (hier nicht der Fall).

Nach maximal drei Berechnungsschritten liegen für alle Pumpwerke Förderströme vor, die entweder ihrem jeweiligen Maximalförderstrom entsprechen oder die sich direkt aus Gleichung **(13)** ergeben haben. Sie erfüllen die Randbedingung 1 und – sofern nicht allen Pumpwerken ihr jeweils maximaler Förderstrom zugewiesen wurde – ebenso die in Gleichung **(8)** formulierte Grundforderung. Allein die Randbedingung 2, dass nur bestimmte diskrete Volumenstrom-Schaltstufen an den verschiedenen Pumpwerken

möglich sind, wurde noch nicht berücksichtigt. Dies soll im Folgenden geschehen.

#### 4.2.8 Berücksichtigung möglicher Schaltstufen (Randbedingung 2)



**Bild 4.14** Bestimmung der einzustellenden Volumenstrom-Schaltstufen an den einzelnen Pumpwerken

Bild 4.14 zeigt wieder eine bestimmte Situation dreier Pumpwerke in der gewohnten Darstellung. Gemäß der bisher beschriebenen Vorgehensweise wurden in Abhängigkeit von  $Q_{EVA,soll}$  und den Prioritäten  $p_i$  der Pumpwerke zunächst die Förderspannenanteile  $x_i$  und daraus schließlich die theoretisch zu fördernden Volumenströme  $Q_{soll,i}$  für die einzelnen Pumpwerke berechnet. Diese ergeben sich wie beschrieben aus den Schnittpunkten der ermittelten Ursprungsgeraden (hier die unterste Gerade im Diagramm) mit den Pumpwerks-Senkrechten.

In der Abbildung sind zum ersten Mal auch die möglichen Schaltstufen in Form kurzer waagerechter Striche auf den Pumpwerks-Senkrechten dargestellt. Für die Bestimmung der an den Pumpwerken jeweils einzustellenden Schaltstufe wird nun wie folgt vorgegangen:

**Schritt 1)** Zunächst wird für jedes Pumpwerk ausgehend vom Schnittpunkt mit der Geraden die jeweils nächste, unterhalb oder auf der Geraden liegende Schaltstufe bestimmt. Entsprechende Stufen sind im Diagramm mit Punkten markiert und mit  $Q_{step0,1}$ ,  $Q_{step0,2}$ , bzw.  $Q_{step0,3}$  bezeichnet. Die Summe dieser Förderstromstufen sei mit  $Q_{EVA,step0}$  bezeichnet:

$$Q_{EVA,step0} = \sum_i Q_{step0,i} \quad (14)$$

Es ist sichergestellt, dass diese Summe den Wert  $Q_{EVA,soll}$  nicht überschreitet. Je nachdem wie groß die jeweiligen Unterschiede zwischen ausgewählter Schaltstufe  $Q_{step0,i}$  und theoretisch zu förderndem Volumenstrom  $Q_{soll,i}$  ist, ergibt sich ein Rest  $Q_{Rest}$  an nicht zugewiesenem Förderstrom:

$$Q_{Rest} = \sum_i (Q_{soll,i} - Q_{step0,i}) = Q_{EVA,soll} - Q_{EVA,step0} \quad (15)$$

**Schritt 2)** Gibt es Pumpwerke, die noch nicht an ihrem Fördermaximum angekommen sind und bei denen der Abstand zwischen aktueller Stufe  $Q_{step0,i}$  und nächst höherer Stufe  $Q_{step1,i}$  einem Volumenstrom entspricht, der kleiner oder gleich  $Q_{Rest}$  ist, so kann mindestens einem Pumpwerk auch die entsprechende nächst höhere Stufe zugewiesen werden.

Falls mehrere Pumpwerke diese Bedingung erfüllen, so muss entschieden werden, welches der in Frage kommenden Pumpwerke in die nächst höhere Stufe schalten soll. Für diese Entscheidung wird wieder das Diagramm zu Hilfe genommen, in das für alle entsprechenden Pumpwerke jeweils eine neue Ursprungsgerade eingezeichnet wird. Diese wird jeweils so gewählt, dass sie die entsprechende Pumpwerks-Senkrechte auf Höhe der jeweils möglichen höheren Stufe  $Q_{step1,i}$  schneidet. Es wird nun dasjenige Pumpwerk hochgeschaltet, dessen entsprechende Gerade die geringste Steigung aufweist.

Die zu vergleichenden Geradensteigungen  $m_{PW,i}$  ergeben sich aus Steigungsdreiecken gemäß der Gleichung

$$m_{PW,i} = \frac{(Q_{step1,i} - Q_{min,i})/Q_{range,i}}{p_i} \quad (16)$$

Dabei wurde zunächst im Zähler die höhere Schaltstufe  $Q_{step1,i}$ , die einem absoluten Förderstrom entspricht, in den entsprechenden Förderspannenanteil umgerechnet, wobei die nach x aufgelöste und entsprechend angepasste Gleichung (6) verwendet wurde. Der nach dem Hochschalten des Pumpwerks mit der kleinsten Steigung noch zur Verfügung stehende Restvolumenstrom  $Q_{Rest,neu}$  ergibt sich aus dem ursprünglichen Wert für  $Q_{Rest}$ , abzüglich der Differenz zwischen  $Q_{step1}$  und  $Q_{step0}$  des schaltenden Pumpwerks.

**Schritt 3)** Sofern  $Q_{Rest,neu}$  noch nicht null ist, ist das Vorgehen ab dem zweiten Schritt zu wiederholen. Dabei ist für  $Q_{Rest}$  der neue Wert  $Q_{Rest,neu}$  einzusetzen. Gegebenenfalls ist für das in diesem Schritt schaltende Pumpwerk mit der hier neu zugewiesenen Stufe  $Q_{step1}$  als  $Q_{step0}$  und der nächst höheren Stufe  $Q_{step2}$  als  $Q_{step1}$  zu rechnen.

### 4.3 Umsetzung des Algorithmus für das Entscheidungshilfe-Werkzeug EVA

Das Entscheidungshilfe-Werkzeug (EVA-Tool) wurde in Form einer Excel-Anwendung realisiert. Die oben beschriebenen Berechnungsschritte werden hierfür in verschiedenen Arbeitsblättern und Zellen durchgeführt. In Anhang 3 erfolgt eine Gegenüberstellung der in diesem Bericht für die Erklärung des Algorithmus verwendeten Variablen und den in Excel verwendeten Namen und Bezeichnungen.

Die für die Berechnung nötigen Eingangsdaten werden direkt aus Excel über die Befehle *PICalcVal*, *PIArcVal* und *PICurrVal* aus dem PI-Archiv abgerufen. Der gesamte Berechnungsvorgang wird in Arbeitsblättern vollzogen, die für den Nutzer nicht zugänglich sind. Als Ergebnis der Berechnungen werden auf einem dem Nutzer zugänglichen Arbeitsblatt folgende Inhalte wiedergegeben:

#### Info-Bereich:

- Aktuelle Förderung / Druck
  - Darstellung der **aktuellen Förderung** jedes der drei Pumpwerke; bei Übereinstimmung der aktuellen Förderung eines Pumpwerks mit dem entsprechenden Steuerungsvorschlag (+/- 10 %) erfolgt eine Grünfärbung der dargestellten Zahl
  - Darstellung der aktuellen **Drucksituation** für die beiden Druckrohre jedes der drei Pumpwerke
  - **Summe der Abwasserförderung** der drei Pumpwerke
- Niederschlag / Speicherauslastung
  - Darstellung der **Niederschlagshöhe** der letzten Stunde für die drei Pumpwerkseinzugsgebiete; die Berechnung basiert auf der Thiessen-Polygon-Methode unter Verwendung der Niederschlagsmessungen an den Abwasserpumpwerken Bln V, Bln XI und Lbg
  - Darstellung der **Auslastung des Kanalspeicherraums** jedes der drei Pumpwerke in Form eines Balkendiagramms; ein voll gefüllter blauer Balken bedeutet 100 % Speicherauslastung und Mischwasserüberlauf
- Klärwerk Schönerlinde
  - Darstellung der **aktuellen Aufnahmekapazität des Klärwerks** Schönerlinde in l/s (fett gedruckt); dieser Wert muss vom Nutzer in Absprache mit dem Klärwerk an die aktuelle Situation angepasst werden
  - Darstellung des **aktuellen Zuflusses zum Klärwerk** Schönerlinde
  - Darstellung der Differenz zwischen Klärwerkskapazität und aktuellem Zufluss; diese **freie Kapazität** soll, wenn möglich, durch Erhöhung der Förderung an den Mischwasserpumpwerken ausgenutzt werden

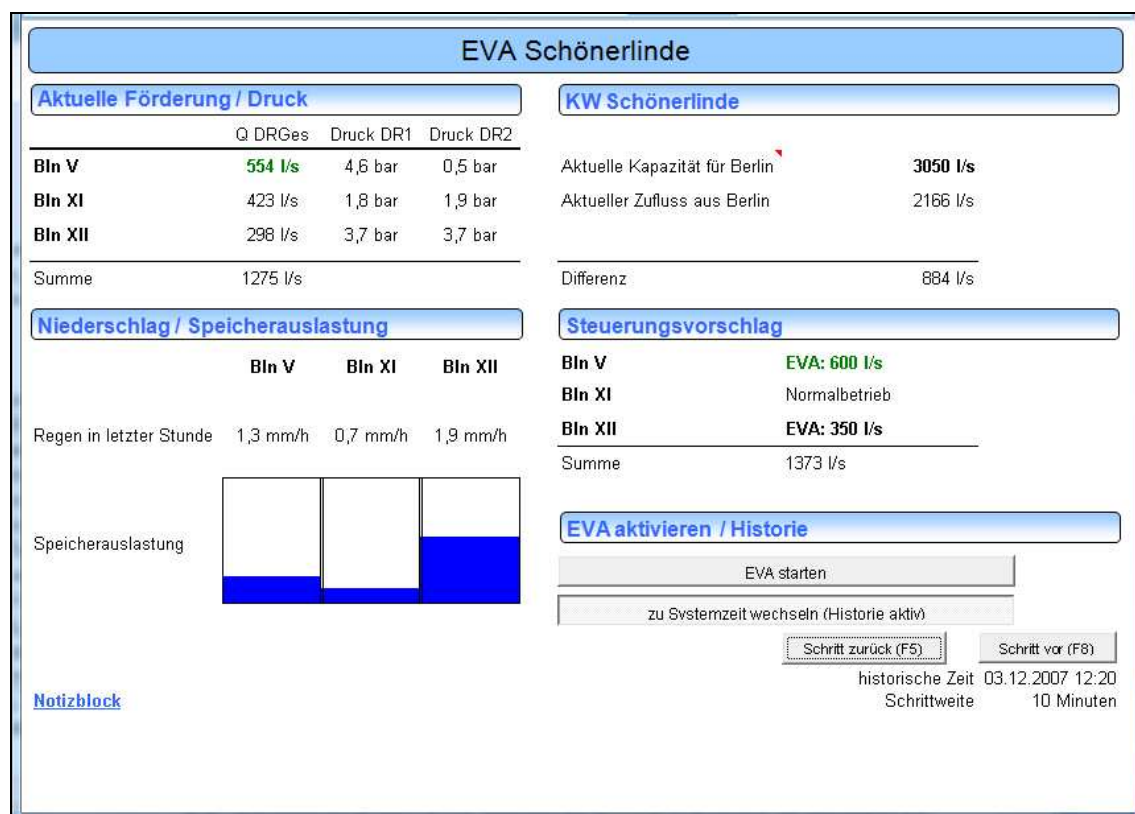
#### Aktions-Bereich:

- Steuerungsvorschlag
  - Darstellung des EVA-Steuerungsvorschlages für die drei Pumpwerke; solange kein erhöhter Wasserstand an einem Pumpwerk vorliegt, erfolgt der Vorschlag „Normalbetrieb“, bei Überschreiten des Trockenwetterpegels erfolgt die Darstellung des EVA-Steuerungsvorschlages in fett; bei Übereinstimmung der aktuellen Förderung eines Pumpwerks mit dem entsprechenden Steuerungsvorschlag (+/- 10 %) erfolgt eine Grünfärbung der dargestellten Zahl; bei unzureichender Datenverfügbarkeit aus dem PI-Archiv erfolgt die Darstellung „Datenausfall – kein Steuerungsvorschlag möglich“



- Darstellung der Summe der Steuerungsvorschläge für die drei Pumpwerke
- EVA aktivieren / Historie
  - Der Knopf „EVA starten“ aktiviert den Zugriff auf das PI-Datenarchiv und startet die Berechnung der Fördervorschläge
  - Der Knopf „zu Historie wechseln“ bzw. „zu Systemzeit wechseln“ ermöglicht das Umschalten zwischen Echtzeitmodus und dem Modus zur Analyse historischer Ereignisse
  - Im Historie-Modus ermöglichen die Knöpfe „Schritt zurück“ bzw. „Schritt vor“ die zeitschrittweise Anzeige von archivierten Daten historischer Ereignisse; der dargestellte Zeitpunkt und die Schrittweite lassen sich über Tastatureingabe verändern

Außerdem wird über den Link „Notizblock“ der Zugriff auf einen digitalen Notizblock ermöglicht, in den der Nutzer Kommentare zum Betrieb des Entscheidungshilfesystems einschreiben kann.



**Bild 4.15** Screenshot der Benutzeroberfläche des Entscheidungshilfesystems EVA

#### 4.4 Umsetzung des EVA Steuerungsalgorithmus in InfoWorks

Um abzuschätzen, wie sich das Einstellen der vom EVA-Tool vorgeschlagenen Fördermengen auf das Verhalten des Abwassernetzes auswirkt, wurde das Systemverhalten mit Hilfe der hydrodynamischen Simulationssoftware InfoWorks simuliert. Dazu musste zunächst der dem EVA-Tool zugrunde liegende Verteilungsalgorithmus auch in InfoWorks implementiert werden. Die von InfoWorks dafür bereitgestellte Technik heißt *Real Time Control (RTC)*. Für



alle aktiven Netzelemente, beispielsweise Pumpen, Wehre oder Schieber, lassen sich sog. RTC-Module definieren, die in Abhängigkeit von der Zeit, von bestimmten Systemzuständen wie Wasserständen oder Durchflüssen oder von daraus berechneten Größen steuern, welchen Betriebszustand das Stellglied annehmen soll. Für eine Pumpe kann beispielsweise innerhalb eines RTC-Moduls der einzustellende Fördervolumenstrom berechnet und zugewiesen werden.

Da InfoWorks für die Beschreibung des RTC-Verhaltens nur einen begrenzten Befehlsumfang anbietet, der eher auf einfache Steuerungen mit wenigen Abhängigkeiten ausgelegt ist, konnte der in Excel realisierte Berechnungsalgorithmus nicht „eins zu eins“ nach InfoWorks übertragen werden. Dennoch gelang es, den Algorithmus in Form eines entsprechend umfangreichen RTC-Moduls nachzubilden (siehe Anhang 3 und 4).

Für den Nachweis, dass die RTC-Implementierung des Algorithmus in InfoWorks die gleichen Ergebnisse liefert wie das EVA-Tool in Excel, wurden verschiedene, auf der Steuerung durch das RTC-Modul basierende Simulationen in InfoWorks durchgeführt. Die zu jedem Zeitschritt an den Pumpwerken simulierten Wasserstände wurden zusammen mit den vom RTC-Modul berechneten und in der Simulation von den Pumpwerken geförderten Volumenströmen protokolliert.

Diese von InfoWorks erzeugten Simulationsdaten, die in Form kommaseparierter Dateien (CSV) vorlagen, wurden in ein neu in das EVA-Tool eingefügtes Tabellenblatt übernommen. Es wurde ein Excel-Makro geschrieben, welches aus dieser Tabelle für jeden Zeitschritt die simulierten, an den Pumpwerken anliegenden, Wasserstände liest, sie in die entsprechenden Eingabefelder des EVA-Tools einträgt und die Berechnung der Förderströme durchführt. Die vom EVA-Tool ermittelten Fördermengen wurden in das gleiche neue Tabellenblatt eingetragen und den aus InfoWorks importierten Werten gegenübergestellt.

Die von InfoWorks und dem EVA-Tool berechneten Förderströme stimmten für alle simulierten Zeitschritte überein. Es kann also von der Richtigkeit der Umsetzung des Algorithmus in InfoWorks ausgegangen werden. Der in InfoWorks in Form eines RTC-Files implementierte und validierte Steuerungsalgorithmus steht somit für weitere Anwendungen zur Verfügung.

## 5 Testbetrieb des Entscheidungshilfwerkzeugs EVA

Der Testbetrieb des Entscheidungshilfwerkzeugs war ursprünglich für Mai/Juni 2007 geplant, musste aber auf Grund von betrieblichen Randbedingungen (versch. Baumaßnahmen an ADL Röhren und an Pumpwerken) verschoben werden. Das Entscheidungshilfwerkzeug wurde im November 2007 auf dem „Arbeitsplatzrechner Schönerlinde“ in der Leitzentrale Pumpwerke installiert. Der Test begann am 20. November 2007 und erfolgte bis zum 16. Januar 2008.

Vor dem Testbetrieb wurden der BWB-Betriebsrat und die zuständige Wasserbehörde informiert und deren Zustimmung zum Test wurde eingeholt.

Das Entscheidungshilfwerkzeug EVA unterstützte den Betrieb der Abwasserpumpwerke Bln V, Bln XI und Bln XII im Regenwetterfall. Es wurde entwickelt mit den folgenden Zielen:

- Über eine flexible Variation der Fördermengen sollte eine gleichmäßige Auslastung der Speicherkapazitäten erreicht werden. Die vorherige Analyse der Betriebsdaten ergab, dass dies auf Grund von begrenzten Förderkapazitäten nicht vollständig möglich sein würde (siehe Kapitel 4.1)
- Reduktion der Mischwasserüberläufe
- Anpassung der Gesamtfördermenge an die Kapazität des Klärwerks Schönerlinde

Übergeordnete Zielstellung war die Analyse, ob die hier erprobte Verbundsteuerung der Abwasserpumpwerke Eingang in die zukünftige Systemautomatisierung finden soll/kann und mit welcher Wirkung zu rechnen ist. Gegenüber der theoretischen, modellbasierten Betrachtung, die im ISM Projekt durchgeführt wurde, werden durch den Praxistest auch betriebsbedingte Randbedingungen und Einschränkungen berücksichtigt (Einschränkungen der Förderkapazitäten, Drucksituation, temporäre Einschränkungen der Klärwerkskapazität).

### 5.1 Methodik der Bewertung

Da über die Prozessdatenarchivierung in PI alle relevanten Zustandsgrößen des hier untersuchten Abwassersystems verfügbar waren, konnte eine detaillierte Analyse und Bewertung der Wirkung der Steuerungseingriffe durchgeführt werden.

Neben den Prozessdaten wurde auf das aus dem ISM Projekt verfügbare Kanalnetzmodell zurückgegriffen. Das Modell wurde hierfür zunächst an die aktuelle Sanierungssituation angepasst und erneut kalibriert (Kapitel 5.2).

Die Bewertung des Steuerungserfolges für die im Testzeitraum registrierten Niederschlagsereignisse wurde wie folgt durchgeführt:

- Auslesen der relevanten Daten für das zu bewertende Niederschlagsereignis aus dem PI Archiv (Niederschlag, Wasserstände in den Pumpwerken, Fördermengen, Drücke)
- Vergleich der realisierten Fördermengen an den drei Pumpwerken mit den Fördervorschlägen des Entscheidungshilfesystems → Bewertung über welche Dauer (in Prozent der relevanten Zeit) an den einzelnen Pumpwerken dem Vorschlag gefolgt werden konnte
- Nachkalibrierung des Kanalnetzmodells für jedes einzelne Niederschlagsereignis unter Ansatz der tatsächlichen Fördermenge (Simulationsdauer: von Beginn des Niederschlags bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle Pumpwerke wieder im Trockenwetterbetrieb waren). Eine Darstellung der Modellparameter erfolgt in Anhang 5.
- Simulation von 3 verschiedenen Szenarien zur Bewertung der Wirkungsweise der Verbundsteuerung
  - Im **Szenario REAL** werden die tatsächlich geförderten Abwassermengen an den Pumpwerken simuliert (Automatik-, bzw. Handbetrieb). Durch die Anpassung des RTC – Files in InfoWorks wird sichergestellt, dass die gemessenen Fördermengen simuliert und die Randbedingungen eingehalten werden.
  - Im **Szenario EVA** werden die durch das EVA-Tool vorgeschlagenen Abwasserfördermengen an den Pumpwerken simuliert. Hierbei werden über das RTC die festgelegten Randbedingungen bezüglich der Anfangspegel in den Pumpwerken eingehalten. Wurde durch das Personal der Leitzentrale den EVA Vorschlägen gefolgt, so entspricht das Szenario REAL dem Szenario EVA.
  - Im **Szenario WBE** werden die Fördermengen der Pumpwerke entsprechend der Wasserbehördlichen Erlaubnis festgelegt. Die Pumpen werden zuflussgerecht über einen PID–Regler (Bln V, Bln XI) bzw. nach Sägezahnregime (Bln XII) gesteuert, bei relevantem Niederschlagsanfall werden die Mengen nach WBE gefördert.
- Auswertung der Simulationsergebnisse bezüglich der aus der Steuerung resultierenden Wasserstandsganglinien und der Mischwasserüberläufe.
- Im Fall, dass den EVA Vorschlägen nicht oder nur teilweise gefolgt werden konnte, Analyse der Ursachen.

## 5.2 Kalibrierung des Modells

### 5.2.1 Trockenwetterkalibrierung

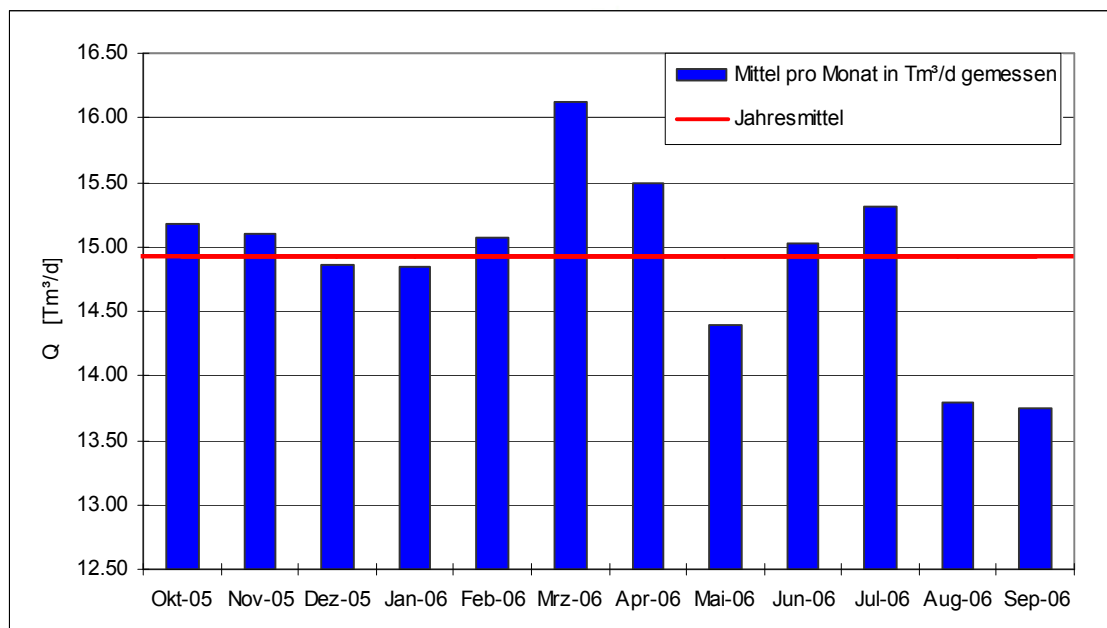
Die Trockenwetterkalibrierung des numerischen Modells dient dazu, den Zufluss von Schmutz- und Fremdwasser während der regenfreien Perioden für jedes einzelne Pumpwerk entsprechend dem tatsächlichen Aufkommen abzubilden. Für die Kalibrierung der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI und Bln XII wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Messungen des mittleren monatlichen Trockenwetterzuflusses von Oktober 2005 bis September 2006 an den einzelnen Pumpwerken,
- eine Zulaufmengenmessung je Pumpwerk für einen Trockenwettertag. Bei der durch die BWB durchgeführten Zulaufmengenmessung wird darauf geachtet, dass es am Messtag, sowie am Vortag nicht geregnet hat. Damit wird sichergestellt, dass es sich bei dem gemessenen Zufluss um reinen Trockenwetterabfluss handelt. Des Weiteren werden die Messungen außerhalb der Ferienzeiten durchgeführt um repräsentative Messungen zu erhalten.

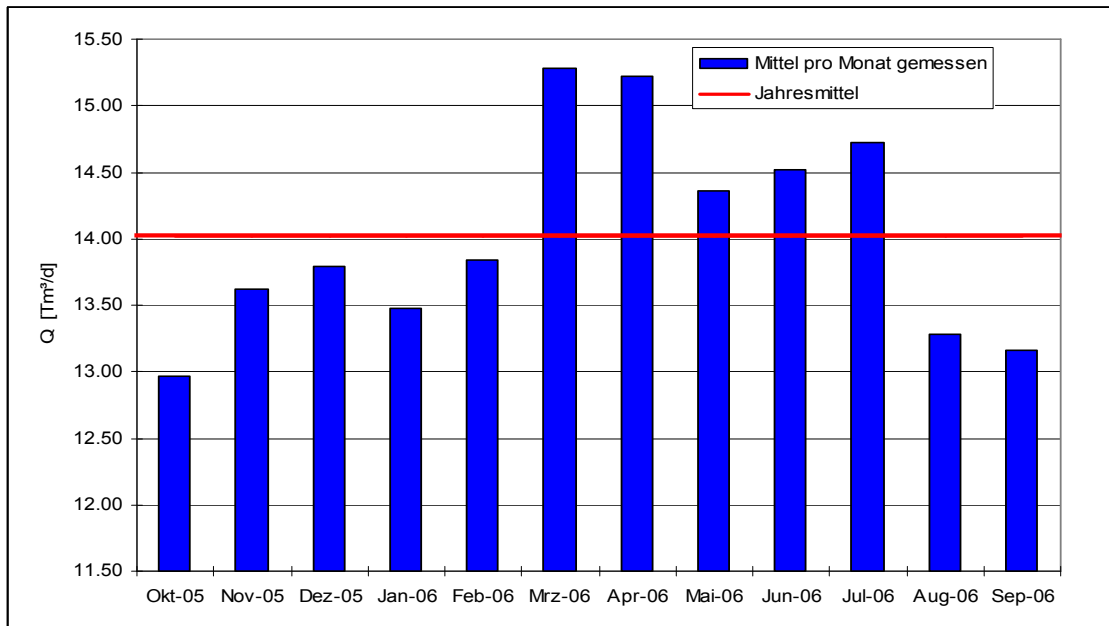
Da das Modell im Rahmen des Projektes ISM im Jahr 2005 schon kalibriert wurde, mussten nur noch die Gesamttagesvolumina an die veränderte Situation im Jahr 2006 angepasst werden.

Es wurden die gemessenen Zulaufmengen an den Pumpwerken herangezogen. Das simulierte Tagesvolumen an den einzelnen Pumpwerken wurde mit dem gemessenen Jahresmittel der Monate Oktober 2005 bis September 2006 verglichen und wenn nötig über die spezifische Abwasserspense (in  $l/[E \cdot d]$ ) im Modell angepasst.

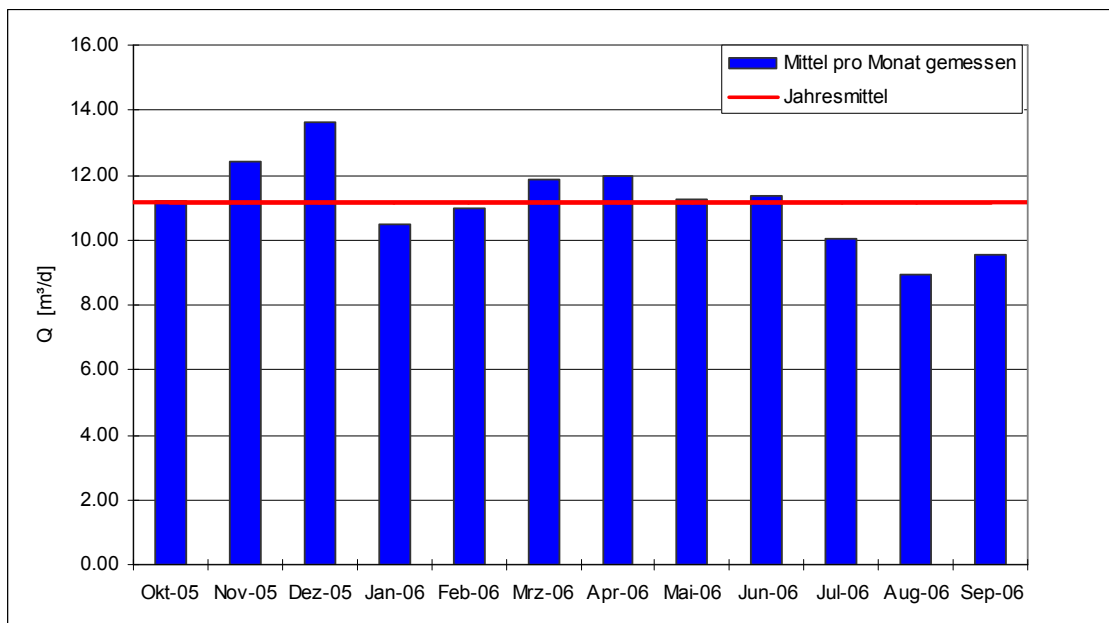
Der simulierte Trockenwetterabfluss an den drei betrachteten Pumpwerken entspricht nach der Kalibrierung den errechneten mittleren Trockenwetterabflüssen (Bln V =  $14.910 \text{ m}^3/\text{d}$ , Bln XI =  $14.019 \text{ m}^3/\text{d}$ , Bln XII =  $11.132 \text{ m}^3/\text{d}$ ).



**Bild 5.1** Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss  $Q$  in  $\text{Tm}^3/\text{d}$  für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet Bln V



**Bild 5.2** Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss  $Q$  in  $Tm^3/d$  für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet Bln XI



**Bild 5.3** Mittlerer monatlicher Trockenwetterabfluss  $Q$  in  $Tm^3/d$  für die Monate Okt. 2005 bis Sep. 2006 und Jahresmittel für diesen Zeitraum für das Einzugsgebiet Bln XII

### 5.2.2 Regenwetterkalibrierung

Eine verlässliche Regenwetterkalibrierung kann nur durchgeführt werden, wenn als Grundlage die Trockenwettersituation vom Modell richtig abgebildet wird, also zuvor eine Trockenwetterkalibrierung durchgeführt wurde.

Als Anfangs- und Randbedingungen werden für die Regenwetterkalibrierung folgende Eingangsdaten benötigt:

- Regendaten  $N$  [mm/h] für den entsprechenden Zeitraum,
- die dazugehörigen Pegelstände  $H$  [m] im Saugraum und der Zulaufkammer,
- die Fördermenge  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] während der relevanten Abflusszeit,
- Pegelstände des als Vorflut dienenden Gewässers. In diesem Fall ist es die Spree.

Diese Daten werden dann für die Kalibrierung in Form von Zeitreihen (Regenprofil, RTC) dem Modell zur Verfügung gestellt. Das RTC (Real-Time-Control) ist das Steuerungsmodul für die zu fördernde Abwassermenge der Pumpwerke während einer Simulation. Der Pumpe im Modell werden über vorgegebene Zeitabschnitte mittlere Förderleistungen zugeordnet, welche in der Summe den tatsächlichen Fördermengen für diese Zeitabschnitte entsprechen (untere Modell-Randbedingung).

Die vier Phasen des Niederschlag-Abfluss-Prozesses werden von dem Modell abgebildet. Dabei handelt es sich um die Belastungsbildung, die Abflussbildung, die Abflusskonzentration und die Abflusstransformation. Die Regenwetterkalibrierung erfolgt ausschließlich über die Anpassung der Parameter für die Prozesse der Abflussbildung und –konzentration.

Die Belastungsbildung wird durch digitalisierte Regenaufzeichnungen an den Abwasserpumpwerken Bln V, Bln XI und Lichtenberg erfasst. Dabei wird auf digitale Regenschreiber zurückgegriffen, die direkt an den Pumpwerken aufgestellt sind. Sofern sich in der Nähe des Einzugsgebietes weitere Regenschreiber befinden, werden diese über die Thiessen–Polygon-Methode berücksichtigt. Für Einzugsgebiete in denen sich keine Regenschreiber befinden, werden Regendaten aus angrenzenden Einzugsgebieten verwendet und mit Hilfe der Thiessen–Polygon-Methode den Teileinzugsflächen zugeordnet.

Bei der Abflussbildung wird der Gesamtniederschlag auf den abflusswirksamen Niederschlag reduziert. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Benetzungs- und Muldenverluste sowie der ständigen Verluste. Benetzungs- und ein Teil der Muldenverluste werden als Anfangsverluste (Initial Loss Value) zusammengefasst. Die ständigen Verluste werden als prozentualer Anteil des Gesamtniederschlags (Fixed Runoff Coefficient) eingegeben.

Die Teilphasen Abflusskonzentration und –transformation in den Nebensammlern werden in einem Vorgang beschrieben und über einen einzelnen integralen Parameter beeinflusst. Hierfür steht der „Runoff Routing Value“ zur Verfügung, der als Faktor für den angesetzten Rechenalgorithmus dient und die Translations- und Retentionseffekte im Abflussverhalten beschreibt.

Bei der Regenwetterkalibrierung werden im Gegensatz zur Trockenwetterkalibrierung die Pegelstände im Saugraum als Zielgröße herangezogen.

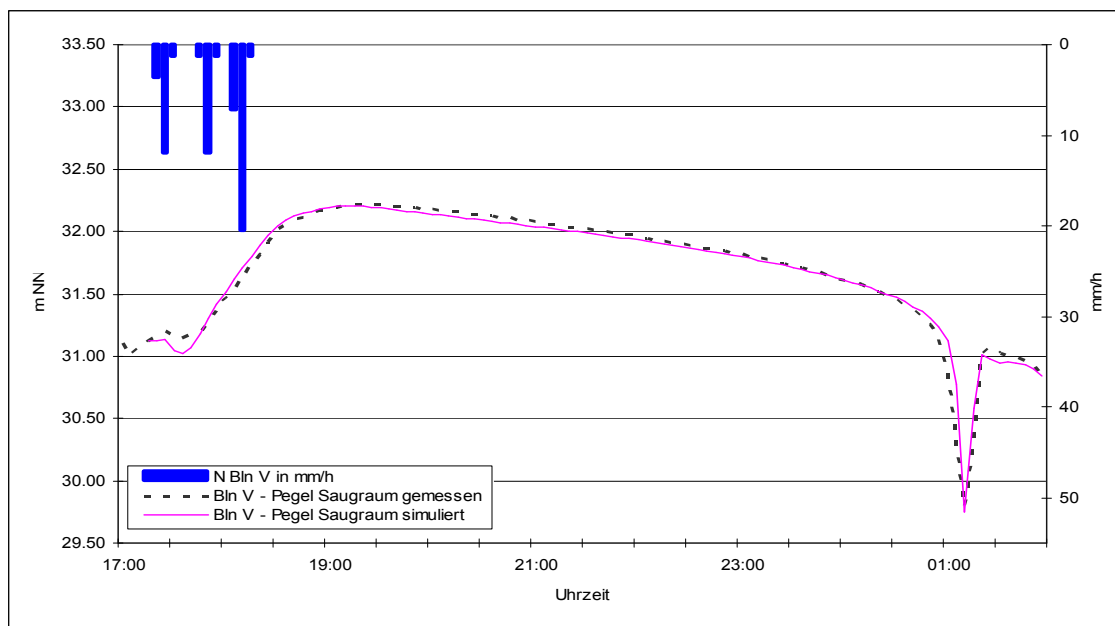
Um die Kurven der Pegelstände vergleichen zu können, muss als Anfangsbedingung für die Kalibrierung der simulierte Pegelstand im entsprechenden Saugraum an den vorhandenen Messwert zu Beginn des

Ereignisses angeglichen werden. Dies wird erreicht in dem während der sogenannten Vorsimulation (vor Beginn des Vergleichszeitraums) das Abwasser eingestaut wird (Initialisierung).

Um die simulierte Wasserstandsganglinie den Messwerten anzupassen, gibt es die oben genannten drei Parameter:

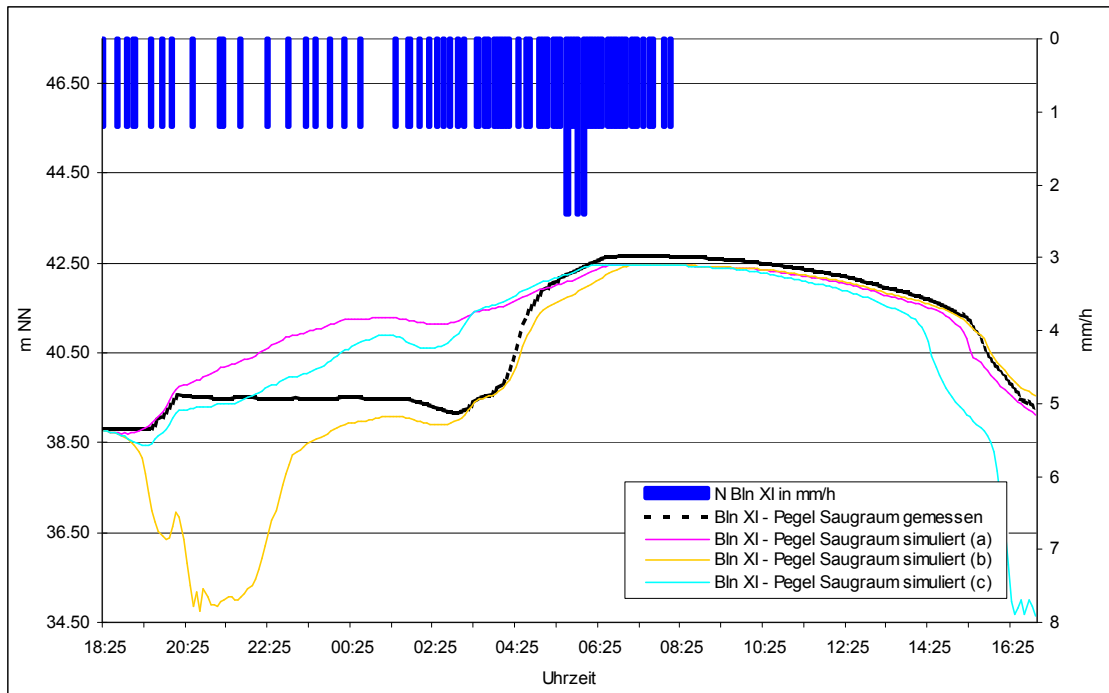
- Runoff – Routing – Value (Abflusskonzentration),
- Initial – Loss – Value (Anfangsverluste),
- Fixed – Runoff –Coefficient (Abflussbeiwert).

Für jedes einzelne Niederschlagsereignis und jedes Pumpwerkseinzugsgebiet wurde ein Parametersatz bestimmt, der zu einer guten bis ausreichenden Nachbildung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses führte (siehe Anhang 5).

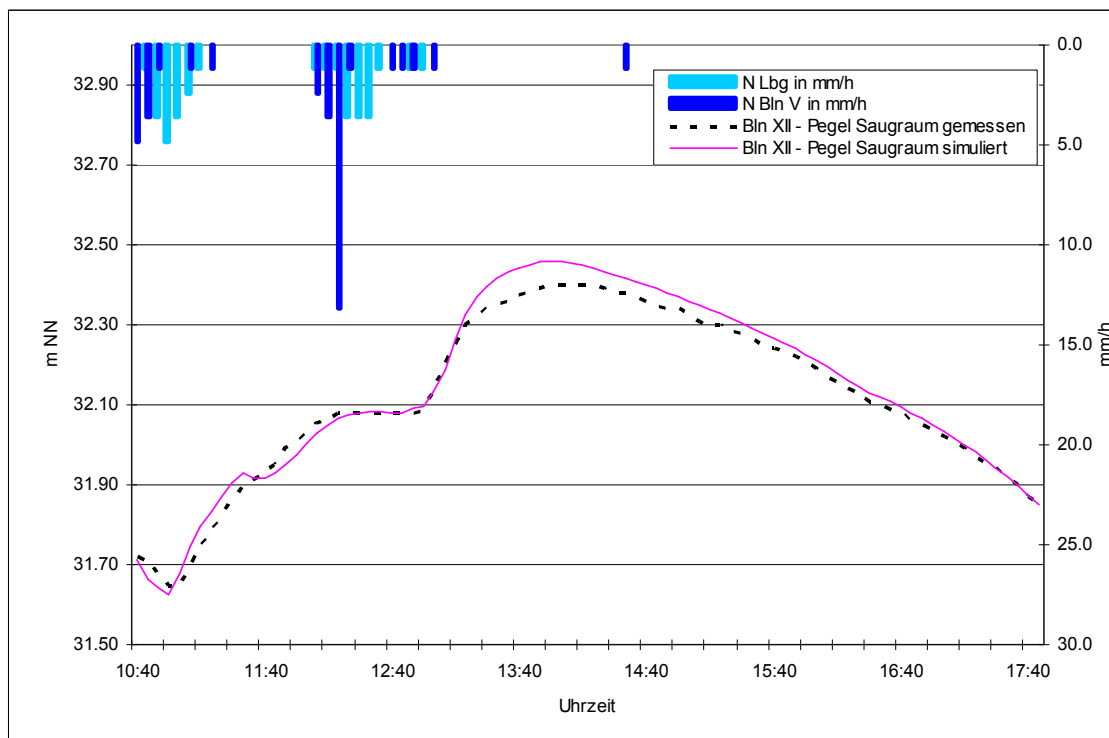


**Bild 5.4** Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN im Saugraum am HPw Bln V beispielhaft für das Regenereignis vom 02.08.2006 in mm/h

Die Identifikation eines allgemein gültigen Parametersatzes für Bln XI war aufgrund der hohen Unsicherheiten in der Messung und Simulation des Abflussgeschehens nicht möglich. Insbesondere die modelltechnische Erfassung des Teileinzugsgebietes Bln XIa war mit Schwierigkeiten verbunden, da keine Messungen über den Regenwasserzufluss und den Fremdwasserzufluss (Schmutzwasserkanalisation) zur Verfügung standen. Für die Bewertung der Wirkung der Verbundsteuerung erfolgte eine Nachkalibrierung des Kanalnetzmodells für jedes einzelne Niederschlagsereignis.



**Bild 5.5** Gemessene und simulierte Pegelstände (dargestellt für 3 verschiedene Parametersätze a/b/c) in mNN im Saugraum am APw Bln XI beispielhaft für das Regenereignis vom 11.12.2006 in mm/h



**Bild 5.6** Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN im Saugraum am APw Bln XII beispielhaft für das Regenereignis vom 29.08.2006 in mm/h gemessen in den Teileinzugsgebieten Bln V und Lbg

Der Vergleich von Ganglinien sollte nicht der optischen Bewertung allein überlassen werden, da eine subjektive Beurteilung keinen neutralen Maßstab bildet. Als Ergänzung zur optischen Bewertung ist eine allgemeingültige Fehlerbetrachtung hilfreich. Die optische Begutachtung sollte unter



Berücksichtigung der wissenschaftlichen Grundlagen der angewandten Modelle erfolgen und kann zur Interpretation von (systematischen) Modellfehlern und –abweichungen beitragen.

In der Hydrologie existieren zur quantitativen Beurteilung von Abflussganglinien mehrere Ansätze, die eine dimensionslose Form haben, um eine Vergleichbarkeit der Ereignisse zu gewährleisten.

Diese können weitestgehend auch auf Wasserstandganglinien angewendet werden.

1. DEVS – Die hydrologische Deviation DEVS (nach Schultz, 1968) stellt die auf den Maximalwert der Messwerte bezogene mittlere Abweichung der beiden Ganglinien dar

$$DEVS = \frac{200 \sum_{i=1}^n |H_i^{(gem)} - H_i^{(sim)}| * H_i^{(gem)}}{n * H_{\max}^{(gem)} * H_{\max}^{(gem)}} \quad [\%]$$

mit:

- $H_i^{(gem)}$  = Ordinaten der gemessenen Ganglinie
- $H_i^{(sim)}$  = Ordinaten der simulierten Ganglinie
- $H_{\max}^{(gem)}$  = Maximalwert der gemessenen Ganglinie

2. DEVM – Die hydrologische Deviation DEVM (nach Schultz, 1968) stellt die auf den Mittelwert der Messwerte bezogene mittlere Abweichung der beiden Ganglinien dar.

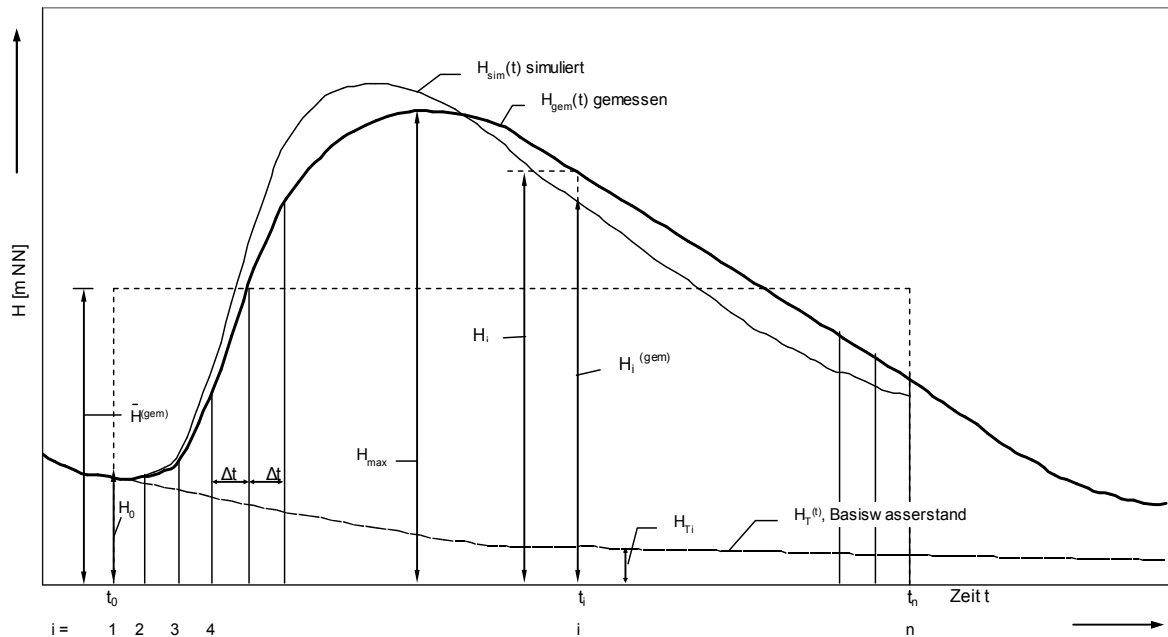
$$DEVM = \frac{200 \sum_{i=1}^n |H_i^{(gem)} - H_i^{(sim)}| * H_i^{(gem)}}{n * \bar{H}_i^{(gem)} * H_{\max}^{(gem)}} \quad [\%]$$

mit:  $\bar{H}_i^{(gem)}$  = Mittelwert der gemessenen Ganglinie

Bei diesen beiden Prüfgrößen wird die Anpassung der simulierten an die gemessene Ganglinie im Scheitelpunkt stärker bewertet als an der Basis. Durch den Bezug auf den Mittelwert weist DEVM eine größere Bandbreite auf als DEVS.

Zwischen DEVM und DEVS besteht folgender Zusammenhang:

$$DEVM = DEVS \frac{H_{\max}^{(gem)}}{\bar{H}_i^{(gem)}}$$



**Bild 5.7** Ganglinien - Beziehungen zur Definition der Prüfgrößen

Der Basiswasserstand aus Trockenwetterabfluss wird bei den Bewertungsverfahren DEVS und DEVM implizit berücksichtigt, da die Wasserstände auf die Gewässersohle bezogen sind.

3. STAN – Die modifizierte Standardabweichung (model efficiency, nach Nash und Sutcliffe, 1970) vergleicht die Varianz der gemessenen mit der Varianz der simulierten Ganglinie.

$$STAN = \frac{R_0^2 - R^2}{R_0^2} \quad [-]$$

mit:  $R_0^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i^{(gem)} - \bar{H}_i^{(gem)})^2$  Varianz der gemessenen Ganglinien

$$R^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i^{(gem)} - H_i^{(sim)})^2$$

Varianz der Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Ganglinie

Durch den Bezug auf die Varianz der gemessenen (Vergleichs-) Ganglinie werden gleiche Abweichungen zwischen Messung und Simulation bei sehr

ausgeprägten steilen Funktionen (große Varianz  $R_0^2$ ) geringer bewertet als bei gestreckten wenig vom Mittelwert abweichenden Ganglinien.

In jüngerer Zeit hat sich zunehmend auch im deutschsprachigen Raum der Begriff der einheitslosen Modelleffizienz  $R_{eff}$  (Kreiter, 2004) mit  $-\infty < R_{eff} \leq +1,0$  als Gütemaß durchgesetzt. Die Modelleffizienz  $R_{eff}$  ist identisch mit der zuvor genannten modifizierten Standardabweichung STAN. Die Gleichheit zwischen gemessener und simulierter Ganglinien entspricht  $R_{eff} = +1,0$ .  $R_{eff} < 0$  und weist auf große Abweichungen hin.

Da in die Modelleffizienz der quadratische Fehler zwischen den simulierten und gemessenen Werten eingeht, werden Abweichungen hoher Werte gegenüber geringen Werten überbewertet. Daher wird häufig die logarithmierte Modelleffizienz  $R_{eff,ln}$  (BWK Merkblatt 7, Gelbdruck Februar 2007) berechnet. Das Gütemaß  $R_{eff,ln}$  ist besser zur Bewertung der Modellierung von geringeren Werten geeignet.

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum (H_i^{(gem)} - H_i^{(sim)})^2}{\sum (H_i^{(gem)} - \bar{H}_i^{(gem)})^2} \quad [-]$$

$$R_{eff,ln} = 1 - \frac{\sum (\ln H_i^{(gem)} - \ln H_i^{(sim)})^2}{\sum (\ln H_i^{(gem)} - \ln \bar{H}_i^{(gem)})^2} \quad [-]$$

mit:  $H_i^{(gem)}$  = gemessener Wert zum Zeitpunkt  $t_i$   
 $H_i^{(sim)}$  = simulierter Wert zum Zeitpunkt  $t_i$   
 $\bar{H}_i^{(gem)}$  = mittlerer gemessener Wert

Ein weiteres Gütemaß ist die gewichtete Modelleffizienz. Sie ermöglicht es, gezielt nur die Werte zu berücksichtigen die von Interesse sind. Auch bei diesem Gütemaß wird mit  $R_{eff,w} = 1$  die Gleichheit zwischen simulierten und gemessenen Werten im Wichtungsbereich beschrieben. Die gewichtete Modelleffizienz ist besonders dann geeignet, wenn die Modellanpassung im Bereich ergebniskritischer Werte besonders gut sein soll.

$$R_{eff,w} = 1 - \frac{\sum w(x)(H_i^{(gem)} - H_i^{(sim)})^2}{\sum w(x)(H_i^{(gem)} - \bar{H}_i^{(gem)})^2} \quad [-]$$

mit:  $H_i^{(gem)}$  = gemessener Wert zum Zeitpunkt  $t_i$   
 $H_i^{(sim)}$  = simulierter Wert zum Zeitpunkt  $t_i$   
 $\bar{H}_i^{(gem)}$  = mittlerer gemessener Wert  
 $w$  = Wichtungsfaktor

4. VOL – Nur auf Abflussganglinien anwendbar, können diese zur Volumenkontrolle verwendet werden.

$$VOL = \frac{V^{(sim)} - V^{(gem)}}{V^{(gem)}} \quad [\%]$$

- mit:  $V^{(sim)}$  = simuliertes Abflussganglinien-Volumen, das bis zum Berechnungsende  $t_n$  aus dem abflusswirksamen Niederschlag resultiert.  
 $V^{(gem)}$  = gemessenes Abflussganglinien-Volumen, das bis zum Berechnungsende  $t_n$  aus dem abflusswirksamen Niederschlag resultiert.

Für die quantitative Beurteilung von Abflussganglinien gelten in der Regel folgende Wertebereiche:

|      | sehr gut   | gut           | brauchbar     | schlecht |
|------|------------|---------------|---------------|----------|
| DEVS | 0.....3    | 3.....10      | 10.....18     | > 18     |
| DEVM | 0.....15   | 15.....30     | 30.....50     | > 50     |
| STAN | 1.....0.85 | 0.85.....0.65 | 0.65.....0.35 | < 0.35   |
| VOL  | 0.....5    | 5.....10      | 10.....15     | > 15     |

Zur abschließenden Bewertung der oben dargestellten, simulierten Wasserstandganglinien für die Einzugsgebiete Bln V, Bln XI und Bln XII wurden die Prüfkriterien DEVS und DEVM herangezogen.

Das Kriterium STAN ist vorwiegend geeignet, Hochwasserganglinien mit starker Scheitelausbildung zu bewerten. Da bei den hier gemessenen Wasserstandganglinien keine starke Scheitelausbildung zu beobachten ist, findet dieses Kriterium aufgrund der schwächeren Aussagekraft keine Verwendung. Ein Volumenvergleich konnte nicht angewandt werden, da ausschließlich Wasserstandganglinien verglichen wurden.

Wie weiter oben erläutert, wird der Basiswasserstand aus Trockenwetterabfluss bei den Bewertungsverfahren DEVS und DEVM implizit berücksichtigt. Um diesen Einfluss zu reduzieren, wurden alle gemessenen und simulierten Werte um den Basiswasserstand reduziert ( $H'_{sim} = H_{sim} - \min(H_{sim}, H_{gem})$ ,  $H'_{gem} = H_{gem} - \min(H_{sim}, H_{gem})$ ).

Die Ergebnisse der Bewertungsverfahren zeigen mit wenigen Ausnahmen eine gute bis sehr gute Übereinstimmung der simulierten mit den gemessenen Ganglinien (siehe Anhang 5).

### 5.3 Ergebnisse des Testbetriebs

Während des Testbetriebes vom 20. November 2007 bis 16. Januar 2008 wurden sieben Niederschlagsereignisse registriert, während derer das EVA Tool genutzt wurde. Tabelle 5.1 beinhaltet eine Zusammenstellung der Ereignisse.

**Tabelle 5.1** Niederschlagsereignisse während des Tests des Entscheidungshilfesystems

| Nr. | Datum      | Betrachtungszeitraum |                     | Ereignisdauer<br>in dd:hh:mm | mittlere<br>N-dauer<br>dd:hh:mm | mittlere<br>N-höhe<br>in mm | RÜ    | Bemerkungen                         |
|-----|------------|----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------------------------------------|
|     |            | Beginn               | Ende                |                              |                                 |                             |       |                                     |
| 1   | 25.11.2007 | 25.11.2007<br>03:55  | 25.11.2007<br>16:20 | 12:25                        | 06:10                           | 3,3                         | Nein  | keine Simulation                    |
| 2   | 01.12.2007 | 01.12.2007<br>07:10  | 02.12.2007<br>02:00 | 18:50                        | 05:10                           | 5,1                         | Ja    |                                     |
| 3   | 02.12.2007 | 02.12.2007<br>16:45  | 03.12.2007<br>11:00 | 18:15                        | 10:15                           | 6,9                         | Ja    |                                     |
| 4   | 03.12.2007 | 03.12.2007<br>11:00  | 04.12.2007<br>03:15 | 16:15                        | 11:15                           | 6,3                         | Ja    |                                     |
| 5   | 07.12.2007 | 07.12.2007<br>04:30  | 08.12.2007<br>05:00 | 01:00:30                     | 16:00                           | 9,7                         | Ja    | zeitweise keine<br>Daten in Bln XII |
| 6   | 06.01.2008 | 06.01.2008<br>09:30  | 07.01.2008<br>00:00 | 14:30                        | 04:25                           | 1,4                         | Nein  | keine Simulation                    |
| 7   | 07.01.2008 | 07.01.2008<br>11:30  | 07.01.2008<br>21:30 | 10:00                        | 01:20                           | 3,1                         | Nein* |                                     |

\* Im Regenüberlauf-Monitoring der BWB ist für den 07.01.2008 ein Regenüberlaufereignis am APw Bln XI verzeichnet (PI Daten), dieses Ereignis wurde im numerischen Modell InfoWorks nicht abgebildet

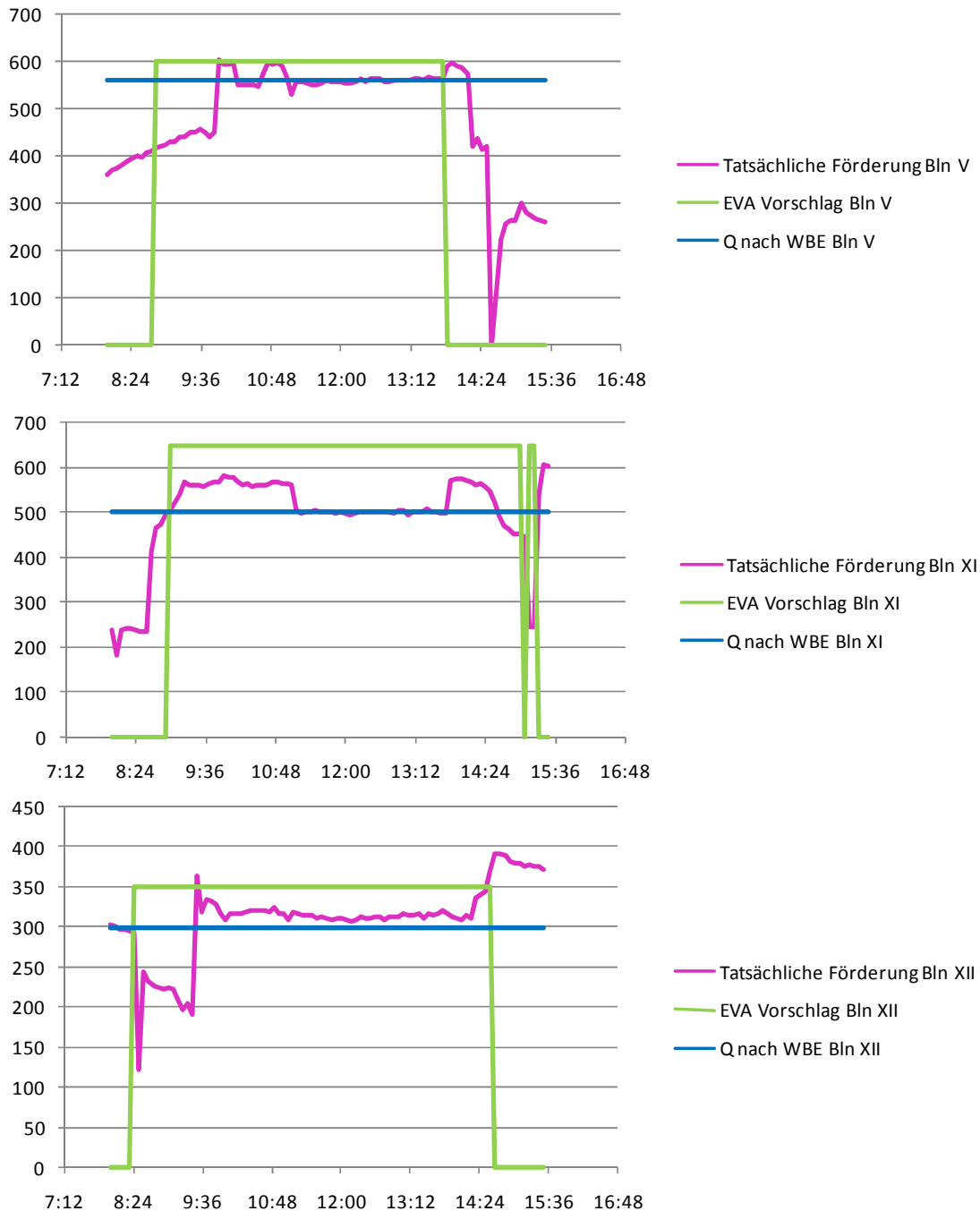
Es handelte es sich durchweg um kleine bis mittlere Ereignisse mit Niederschlagshöhen von 3 bis 10 mm. In Anhang 6 sind für alle Ereignisse die maximalen stündlichen Niederschlagsintensitäten an den drei verwendeten Messstationen zusammengestellt. Während fünf der sieben Ereignisse kam es zu Mischwasserüberlauf in mindestens einem der Pumpwerkseinzugsgebiete. Für die anderen Ereignisse, während der es nicht zum Mischwasserüberlauf kam, wurde keine Simulation durchgeführt, es erfolgte lediglich die Analyse, über welche Dauer an den einzelnen Pumpwerken dem EVA Vorschlag gefolgt werden konnte.

Der in Tabelle 5.1 angegebene Betrachtungszeitraum jedes Ereignisses bezeichnet den jeweils simulierten Zeitraum von Beginn des Niederschlags bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle Pumpwerke wieder im Trockenwetterbetrieb waren. Während des Ereignisses am 07.12.2007 standen über einen Zeitraum von vier Stunden auf Grund eines Datenausfalls keine Informationen über Wasserstände und Fördermengen zur Verfügung. Die fehlenden Daten konnten plausibel ersetzt werden.

#### 5.3.1 Analyse der Förderflexibilität

Zunächst wurde analysiert, über welche Dauer an den einzelnen Pumpwerken dem EVA Vorschlag gefolgt werden konnte. Hierzu wurden über den zeitlichen Verlauf jedes einzelnen Ereignisses die in PI archivierten Fördermengen mit den EVA Vorschlägen verglichen. Eine Übereinstimmung der Fördermenge mit dem EVA Vorschlag innerhalb eines Toleranzbereiches von +/- 10 % vom

vorgeschlagenen Förderstrom wurde als Steuererfolg bewertet. Dieser Toleranzbereich stimmt überein mit dem Toleranzbereich, der dem Erfolgshinweis im EVA-Tool zugrundeliegt („Grünfärbung der Fördermengen“).



**Bild 5.8** Abwasserförderung an den drei Pumpwerken Bln V, Bln XI und Bln XII während des Niederschlagsereignisses am 25.11.2007 und Vergleich mit EVA Vorschlag und WBE Fördermenge

Beispielhaft für das Ereignis vom 25.11.2007 erfolgt in Bild 5.8 der Vergleich von tatsächlicher Förderung an den drei Pumpwerken und dem EVA Vorschlag. Zudem wird zur Orientierung die nach Wasserbehördlicher Erlaubnis (WBE) geforderte Fördermenge dargestellt.

Deutlich zu erkennen ist, dass die WBE Werte in der Regel eingehalten oder sogar überschritten werden. Lediglich in Bln V und Bln XII kommt es zu einer verzögerten Erhöhung der Förderung im Vergleich zu den EVA Vorschlägen.

#### Bln V

Die Fördermenge liegt über einen langen Zeitraum nah an den EVA Vorschlägen. Zweimal wird über kürzere Zeiträume der EVA Förderwert realisiert. In der Summe wird über die Ereignisdauer zu 77 % dem EVA Vorschlag gefolgt (nach den oben genannten Kriterien). Dieser hohe Wert liegt allerdings auch darin begründet, dass der maximale Förderstrom am Abwasserpumpwerk Bln V mit 600 l/s nur gering über dem WBE Wert von 560 l/s liegt und somit bei Förderung nach WBE bereits dem EVA Vorschlag (+/- 10 %) entsprochen wird.

#### Bln XI

Zu ca. 50 % der Zeit wird der WBE Wert strikt eingehalten, zu den anderen 50 % wird versucht, die Fördermenge zu erhöhen. Die vorgeschlagene Fördermenge wird jedoch zu keinem Zeitpunkt erreicht. In Bln XI wird somit über die Dauer dieses Ereignisses zu 0 % dem EVA Vorschlag gefolgt.

#### Bln XII

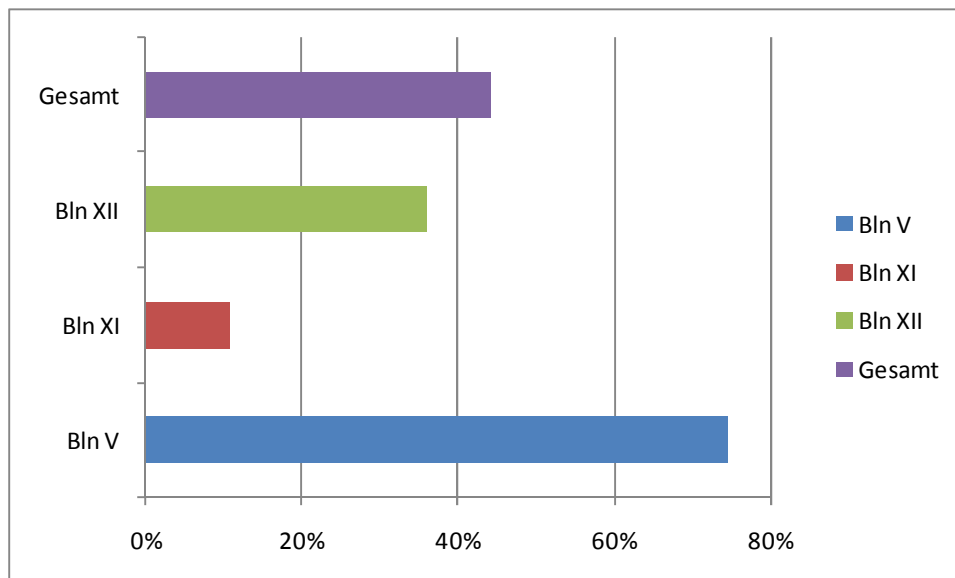
Über weite Zeiträume wird die Fördermenge über den WBE Wert hin leicht erhöht. Zweimal wird die von EVA vorgeschlagene Fördermenge nahezu erreicht. In der Summe wird über die Ereignisdauer zu 43 % dem EVA Vorschlag gefolgt.

Die Betrachtung über alle sieben dokumentierten Ereignisse zeigt, dass vorrangig das Abwasserpumpwerk Bln V in einem Bereich förderte, der dem EVA Vorschlag nahe kommt. In der Summe über die Dauer aller sieben Ereignisse wurde dem EVA Vorschlag zu 75 % gefolgt. Dieser hohe Wert liegt allerdings auch darin begründet, dass der maximale Förderstrom am Abwasserpumpwerk Bln V mit 600 l/s nur gering über dem WBE Wert von 560 l/s liegt und somit bei Förderung nach WBE bereits häufig dem EVA Vorschlag (+/- 10 %) entsprochen wurde.

Aufgrund der maschinentechnischen Probleme am Pumpwerk Bln XI (zeitweise Ausfälle der Dieselkreislumpen) während der Testphase konnte hier keine starke Erhöhung der Fördermengen realisiert werden. In der Summe über die Dauer aller sieben Ereignisse wurde am Pumpwerk Bln XI dem EVA Vorschlag zu 11 % gefolgt.

Aufgrund der häufig auftretenden druckseitigen Begrenzung der Förderung des Pumpwerks Bln XII konnte auch hier dem EVA Vorschlag nur im geringen Maße gefolgt werden. Ursache hierfür waren Druckrohrbaumaßnahmen und Druckrohrschäden auf dem Hauptförderweg Bln V, wodurch Bln V auf den Hauptförderweg des Pumpwerks Bln XII geschaltet wurde. Dies führte zu in Bln XII zu Drücken im Bereich der Anlagengrenzwerte des Werkes. In der Summe über die Dauer aller sieben Ereignisse wurde am Pumpwerk Bln XII dem EVA Vorschlag zu 36 % gefolgt.

In der Summe über alle drei Pumpwerke und über die Gesamtdauer der Ereignisse wurde dem EVA Vorschlag zu 44 % der Zeit gefolgt (siehe Bild 5.9Bild 2.1).



**Bild 5.9** Anteil der Gesamtdauer der sieben Bewirtschaftungsereignisse, während dem an den einzelnen Pumpwerken und in der Summe dem EVA Vorschlag gefolgt werden konnte

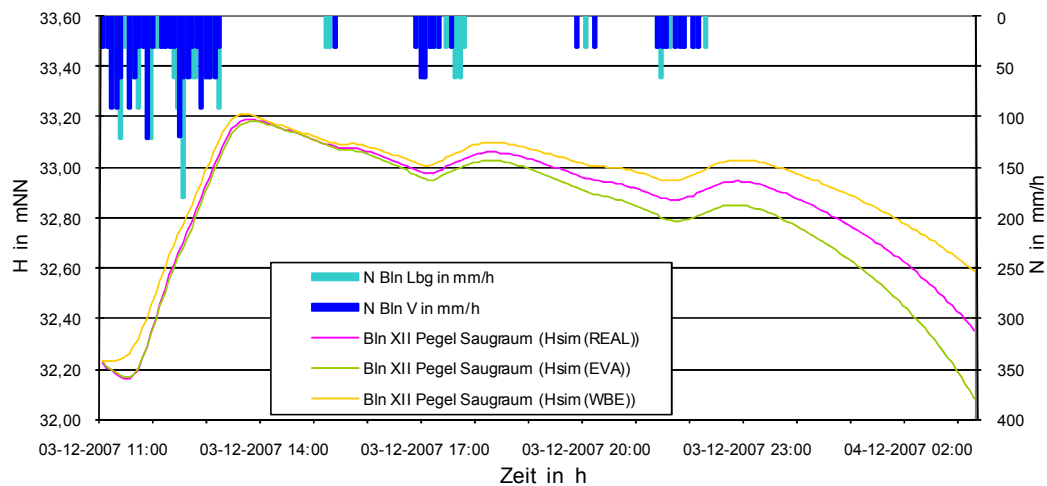
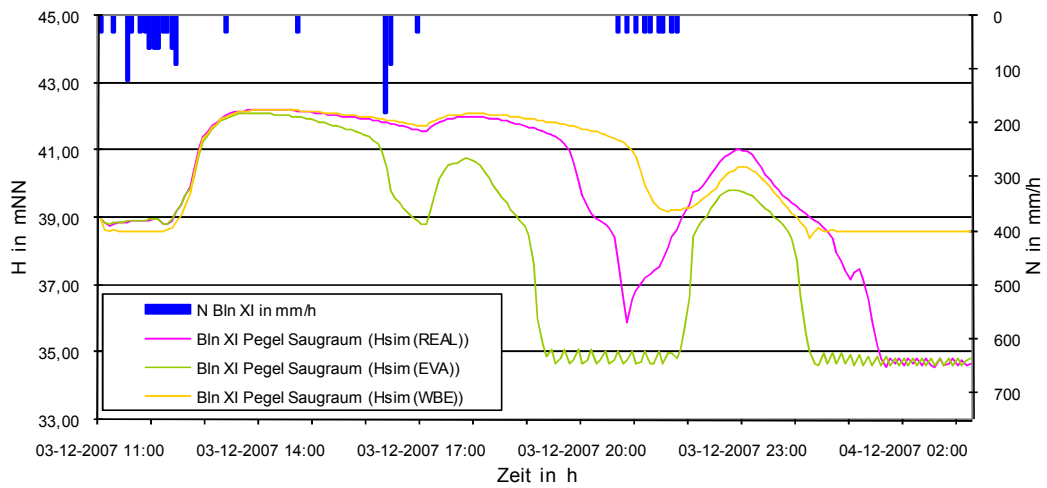
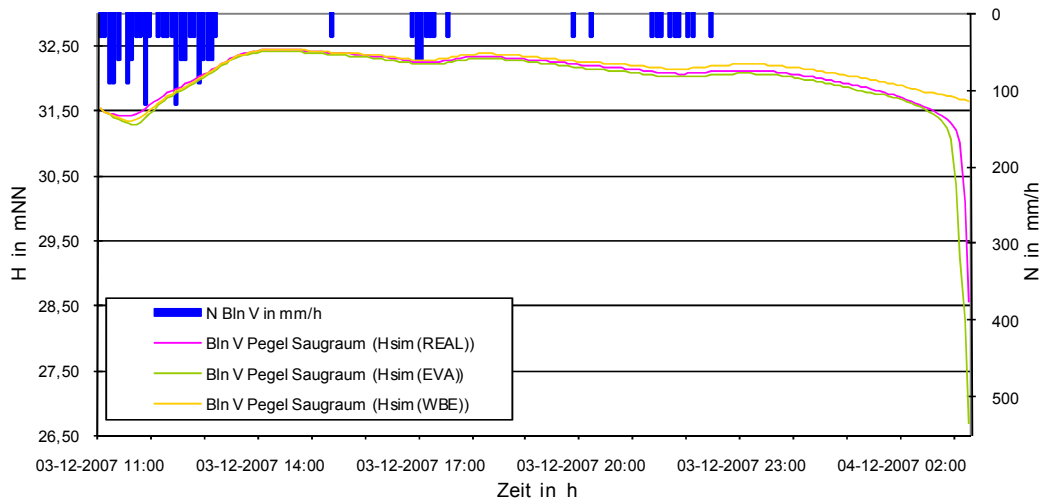
### 5.3.2 Wirkung der Verbundsteuerung auf die Mischwasserüberläufe

Mittels des numerischen Modells InfoWorks CS wurden für die drei in Kapitel 5.1 dargestellten Szenarien (REAL, EVA, WBE) die Überlaufmengen jedes Niederschlagsereignisses simuliert. Für die Bewertung der Wirkung der Verbundsteuerung wurden die jeweiligen Mischwasserüberlaufmengen verglichen.

Die Ergebnisse werden zunächst beispielhaft für die Niederschlagsereignisse vom 01.12.2007 und 03.12.2007 dargestellt (Darstellung der anderen Ereignisse in Anhang 7). Bild 5.10 zeigt den Verlauf der Wasserstände in den Saugräumen der drei Pumpwerke während des Ereignisses am 03.12.2007. Besonders an den Pumpwerken Bln XI und Bln XII ist zu erkennen, dass die Erhöhung der Förderströme zu niedrigeren Wasserständen gegenüber dem Szenario WBE führte. Noch niedrigere Wasserstände hätten sich eingestellt, hätte den EVA Vorschlägen voll gefolgt werden können (siehe Szenario EVA).

Das Resultat der erfolgten Förderweise ist eine Reduktion der Mischwasserüberläufe am Pumpwerk Bln XII während dieses Ereignisses von 1868 m<sup>3</sup> (Szenario WBE) auf 1196 m<sup>3</sup>. Bei vollständiger Realisierung der durch das Entscheidungshilfesystem vorgeschlagenen Förderströme (Szenario EVA) wäre eine weitere Reduktion auf 908 m<sup>3</sup> möglich gewesen (siehe Bild 5.11 oben). Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich hier um ein schwaches Niederschlagsereignis mit einer maximalen Intensität von 2,7 mm/h handelte, das somit leicht beherrschbar war.

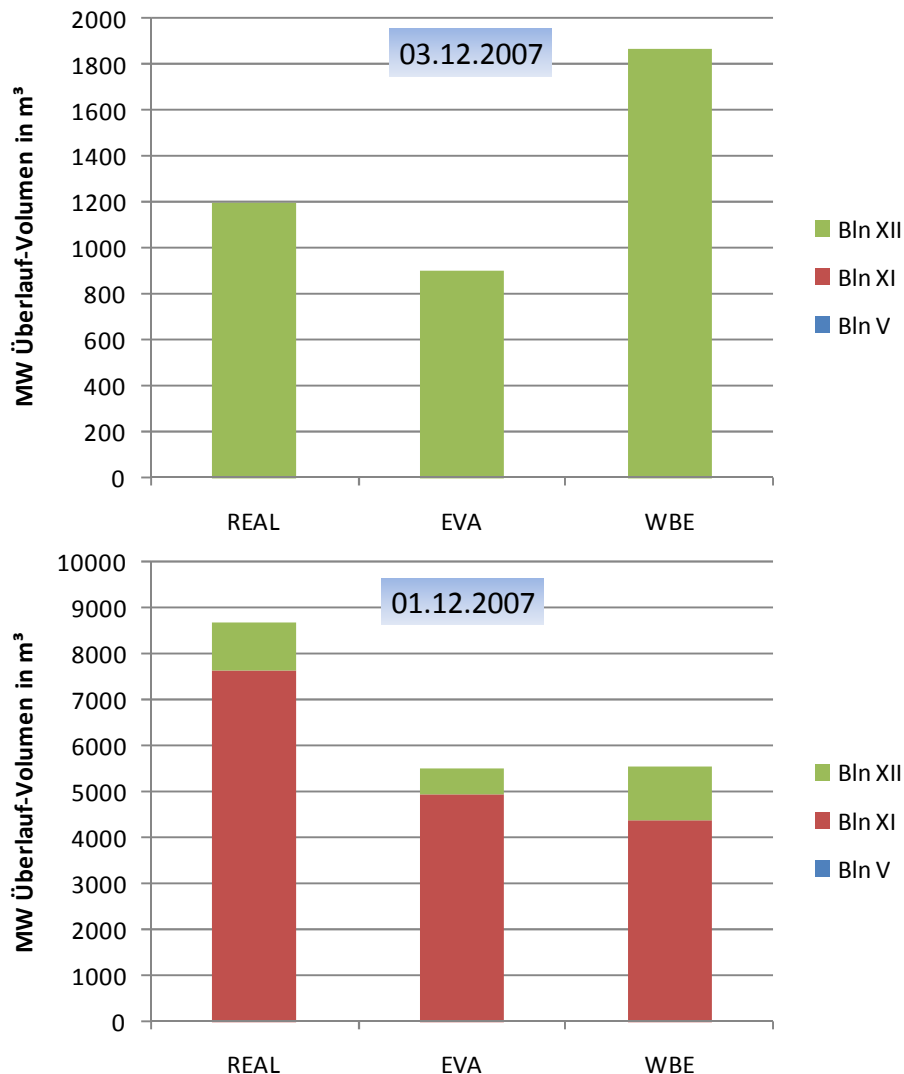




**Bild 5.10** Verlauf der Wasserstände in den drei Pumpwerken Bln V, Bln XI und Bln XII während des Niederschlagsereignisses am 03.12.2007

Für das Niederschlagsereignis am 01.12.2007 stellen sich die Ergebnisse anders dar. Überläufe fanden statt an den Pumpwerken Bln XI und Bln XII mit einem Schwerpunkt am Pumpwerk Bln XI (siehe Bild 5.11 unten). Zunächst wird deutlich, dass es durch die Begrenzung der Förderkapazitäten

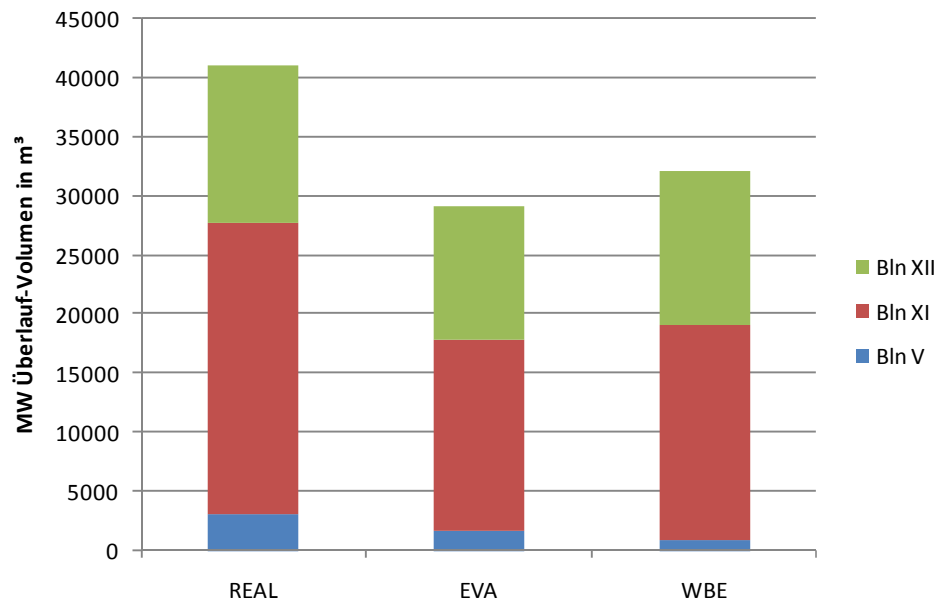
(Maschinenstörung, Einschränkungen/Druckerhöhungen im ADL-Netz, siehe Kapitel 5.3.1) zu einer Erhöhung der Überlaufmengen gegenüber dem Szenario WBE kam. Es ist aber auch zu erkennen, dass während dieses Ereignisses durch die Umsetzung der EVA Vorschläge keine Reduktion des Gesamtüberlaufvolumens gegenüber der Förderung nach WBE möglich gewesen wäre. Ein wirkungsvolles Ausgleichen der Speicherkapazitäten in den Kanalnetzen war hier nicht möglich.



**Bild 5.11** Überlaufmengen am 01.12.2007 und 03.12.2007 für die drei betrachteten Szenarien REAL, EVA und WBE unterschieden nach Abwasserpumpwerk

Die Betrachtung über alle sieben dokumentierten Ereignisse führt bezüglich der Mischwasserüberlaufmengen zu Ergebnissen, die mit denen für das Niederschlagsereignis am 01.12.2007 vergleichbar sind.

Deutlich zu erkennen ist, dass die tatsächlichen Überlaufmengen (REAL) über den Mengen bei einer Förderung nach Wasserbehördlicher Erlaubnis (WBE) liegen. Dieser Umstand ist durch die Begrenzung der Förderkapazität insbesondere am Pumpwerk Bln XI zu erklären.



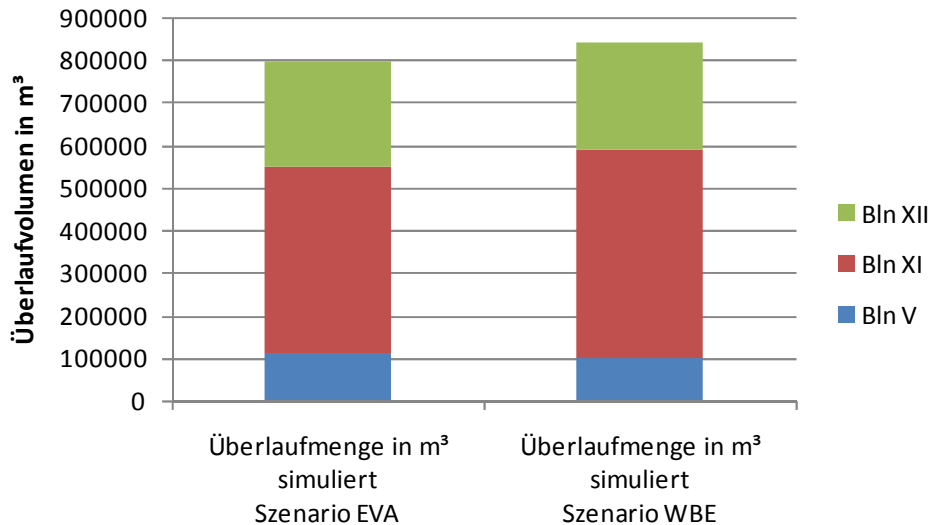
**Bild 5.12** Überlaufmengen während der gesamten Testphase für die drei betrachteten Szenarien REAL, EVA und WBE unterschieden nach Abwasserpumpwerk

Bei einer strikten Förderung entsprechend EVA Vorschlägen, wäre für die hier untersuchten sieben Ereignisse eine Reduktion der Überlaufmengen um ca. 10 % möglich gewesen.

Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die sieben vorliegenden Niederschlagsereignisse durchweg kleine bis mittlere Niederschlagsmengen und Intensitäten aufwiesen. Dieser Typ von Ereignis verursacht den geringeren Anteil an den Gesamtentlastungsmengen. Starkregenereignisse, die erfahrungsgemäß mittels Verbundsteuerung in wesentlich geringerem Maße beherrschbar sind, fanden während der Testphase nicht statt, ihr Einfluss wird in Bild 5.12 nicht wiedergegeben.

Um eine repräsentative Aussage zur Wirkung der EVA-Steuerung für die drei untersuchten Abwasserpumpwerke tätigen zu können, wurde mittels des numerischen Modells InfoWorks CS das Jahr 1997 simuliert, für das das Entlastungsverhalten dem langjährigen mittleren Entlastungsverhalten entspricht. Die Simulation erfolgte für die Szenarien EVA und WBE unter Ansatz der Niederschlagsaufzeichnungen von der Messstation Neukölln. Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass die Reduktion der Jahresüberlaufmengen durch die EVA-Steuerung gegenüber der Förderung nach WBE lediglich 5 % beträgt (siehe Bild 5.13). Bei dieser Betrachtung wird jedoch der Einfluss von Fördereinschränkungen (Maschinenstörung, Druckerhöhungen im ADL-Netz, siehe Kapitel 5.3.1) nicht berücksichtigt.

Berücksichtigt man die Erfahrungen aus der EVA Testphase (betriebliche Einschränkungen), so kann für das hier betrachtete System (Bln V, Bln XI und Bln XII) davon ausgegangen werden, dass aufgrund der betrieblichen Randbedingungen eine übergeordnete Pumpwerksverbundsteuerung zu keiner relevanten Reduktion der Mischwasserüberlaufmengen führen wird.



**Bild 5.13** Vergleich der simulierten Jahresüberlaufmengen für die Szenarien EVA und WBE unter Ansatz der Niederschlagsmessungen der Station Neukölln im Jahr 1997

## 6 Zusammenfassung

Zielstellung des im Rahmen des EVA Projekts durchgeführten Arbeitspaketes 1 war die Erprobung einer Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken und aktiven Bewirtschaftung von Kanalspeicherräumen während Niederschlags. Das Konzept wurde realisiert in Form eines Entscheidungshilfwerkzeugs zur Steuerung der von der Pumpwerksleitzentrale bedienten Abwasserpumpwerke

- Bln V Holzmarktstraße
- Bln XI Erich-Weinert-Straße
- Bln XII Rudolfstraße.

Die Steuerungsziele waren

- die dynamische Anpassung des Gesamtzuflusses zum angeschlossenen Klärwerk Schönerlinde auf die dortige Reinigungsleistung
- die Reduktion von Regenüberläufen in die als Vorflut dienenden Gewässer.

Folgende Arbeitsschritte wurden vollzogen:

1) Voruntersuchung des Pilotgebietes bezüglich der technischen und strukturellen Randbedingungen und Planung des Entscheidungshilfwerkzeugs. Die zu diesem Zweck durchgeführte Analyse von Betriebsdaten vom 31.12.2005 bis 07.10.2006 zeigte, dass während Regenereignissen Speicherkapazitäten in den Mischwasserkanalnetzen häufig ungenutzt blieben, während mancherorts bereits Regenüberlauf stattfand. Die Betriebsdatenanalyse zeigte jedoch auch, dass auf Grund begrenzter Förderkapazitäten (Möglichkeit der Fördererhöhung über  $Q_{WBE}$ ) ein Speicherausgleich nicht vollständig möglich sein würde. Die

maximale Förderleistung der betrachteten Mischwasserpumpwerke lag in 2007 im Mittel 18 % über der Förderung nach Wasserbehördlicher Erlaubnis.

2) Durchführung von Wasserstands- und Durchflussmessungen im Entlastungskanal des Regenüberlauf 1 am Pumpwerk Bln XI. Die Messungen wurden verwendet, um die im PI-System berechneten Regenüberlaufmengen punktuell zu validieren. Es zeigte sich, dass die räumliche Distanz zwischen Entlastungsstelle (Regenüberlaufbauwerk) und dem Ort der Messwertaufnahme (Zulaufkammer Pumpwerk) zu einer fehlerhaften Berechnung der Überlaufmengen im PI System führt. Aufgrund unterschiedlicher hydraulischer Belastungen gibt es keine Korrelation zwischen den Wasserständen am RÜ und im Pumpwerkszulauf. Basierend auf der Wasserstandsmessung am Pumpwerk Bln XI kann somit keine allgemeingültige Aussage über die Entlastungsvolumina getroffen werden. Weitere Fehlerquellen der aktuellen Überlaufmengen-Bestimmung liegen in der geringen Messwertauflösung, den Unsicherheiten beim Übergang vom vollständigen zum unvollständigen Überfall am RÜ und prinzipiell in der indirekten Bestimmung der Mengen begründet.

3) Entwicklung des Entscheidungshilfswerkzeugs in Form einer Pilotsoftware auf Excel-Basis. In Kooperation zwischen NA-A, AE und KWB konnte die Pilotsoftware zielgerichtet entwickelt werden. Schrittweise erfolgte die Anpassung der Software an den Bedarf des Bedienpersonals der Leitzentrale Pumpwerke. Um abzuschätzen, wie sich das Einstellen der vom EVA-Tool vorgeschlagenen Fördermengen auf das Verhalten des Abwassernetzes auswirkt, wurde das Systemverhalten mit Hilfe der hydrodynamischen Simulationssoftware InfoWorks simuliert. Dazu wurde der dem EVA-Tool zugrunde liegende Verteilungsalgorithmus auch in InfoWorks CS implementiert und steht für weitere Anwendungen zur Verfügung.

4) Praxistest des Entscheidungshilfswerkzeugs von November 2007 bis Januar 2008 und Auswertung der hierbei gesammelten Daten. Während sieben Regenereignissen wurde nach den EVA-Vorschlägen gezielt in den Automatikbetrieb der Pumpwerke Bln V und Bln XI eingegriffen bzw. in Bln XII wurde die Förderung entsprechend gesteuert. Für den Praxistest wurden erstmalig die Betriebsdaten aus Kanalnetz, Pumpwerken und Klärwerken integral miteinander verbunden und als Steuerungsgrundlage genutzt, damit stellt dieser Test eine besondere Leistung dar. Insbesondere das Interesse und die Bereitschaft des Bedienpersonals in der Leitzentrale Holzmarktstraße, das zur Verfügung gestellte Entscheidungshilfesystem EVA zu nutzen und zu erproben, stellte eine Grundvoraussetzung für den Praxistest dar. Durch die Unterstützung des Bedienpersonals konnte der Test erfolgreich durchgeführt werden.

Als Ergebnis der Arbeiten und nach Auswertung des Praxistests wurden Möglichkeiten und Nutzen einer automatisierten Verbundsteuerung von Abwasserpumpwerken im Berliner Entwässerungssystem abgeschätzt. Folgende Hinweise und Empfehlungen können gegeben werden:

- Während des Tests wurden zum Teil die Leistungsgrenzen des Fördersystems erreicht, wie z.B. die begrenzte Förderleistung der Pumpwerke aufgrund der Auslegung im Spitzenbereich,

Maschinenstörungen, Datenübertragungsausfälle und Einschränkungen bzw. Druckerhöhungen im ADL-Netz durch Rohrschäden oder Baumaßnahmen. Aufgrund der betrieblichen Randbedingungen konnten die Vorschläge des Entscheidungshilfesystems vom Bedienpersonal nicht immer umgesetzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die genannten Bedingungen auch eine automatisierte Verbundsteuerung regelmäßig betroffen und in ihrer Wirkungsweise beeinträchtigt wäre.

- Anhand der Niederschlagsereignisse, während der das Entscheidungshilfesystem getestet wurde, konnte man erkennen, dass eine positive Einwirkung auf das Entlastungsverhalten durch die Verbundsteuerung der Pumpwerke nur bei intensitätsschwachen Regenereignissen möglich war.
- Für das untersuchte System wurde mittels numerischer Simulation gezeigt, dass die Reduktion der Jahresüberlaufmengen durch die EVA-Steuerung gegenüber der Förderung nach WBE maximal 5 % betragen würde. Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der genannten Zwänge (Maschinenstörungen, Druckerhöhungen im ADL-Netz, beschränkte Kapazität des Klärwerks während Regenwetters) eine automatisierte Pumpwerksverbundsteuerung zu keiner relevanten Reduktion der Mischwasserüberlaufmengen im betrachteten System führen würde.
- Im Rahmen des Projektes wurde das Einzugsgebiet des Klärwerks Schönerlinde betrachtet, die Ergebnisse können nicht direkt auf das Gesamtentwässerungssystem übertragen werden. Auch eine Beurteilung der Situation für den zukünftigen Ausbaugrad der Mischwasserkanalisation ist nur bedingt möglich. Führt man die hier gewonnenen Erkenntnisse mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen zu den Einzugsgebieten des Klärwerks Ruhleben (ISM Projekt) und des Klärwerks Schönerlinde (Studie NA-G, 2006) zusammen, so lässt sich sagen, dass eine automatisierte Verbundsteuerung nur für ausgewählte Abwasserpumpwerke sinnvoll erscheint und nur dann von zusätzlichem Nutzen ist, wenn die Leistungsfähigkeit des bestehenden Systems erweitert wird. Das bezieht sich auf die Auslegung der Pumpen im Spitzenbereich, die Förderwege im Abwasserdruckleitungsnetz und die Reinigungskapazität der Klärwerke im Regenwetterfall.
- Unter den gegebenen Bedingungen lässt sich insbesondere im Einzugsgebiet des Klärwerks Schönerlinde auf Grund des gravierenden Fremdwassereinflusses in den Schmutzwassernetzen das Defizit zwischen Leistungsvermögen des Klärwerks und maximaler durch die Pumpwerke realisierbarer Zulaufmenge bei Starkregenereignissen nicht durch eine Pumpwerksverbundsteuerung ausgleichen. Günstigere Bedingungen herrschen im Einzugsgebiet des Klärwerks Ruhleben, das durch Mischwasserpumpwerke dominiert wird. Für den Fall, dass Fördermöglichkeiten über den Werten nach WBE geschaffen werden, kann hier durch eine Verbundsteuerung ausgewählter Abwasserpumpwerke eine positive Wirkung erwartet werden. Untersuchungen zum Einzugsgebiet des Klärwerks Waßmannsdorf liegen nicht vor.
- Zur Überwachung und Kontrolle des Mischwassersystems und der Auswirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen sollte das Monitoring der

Mischwasserüberläufe weiter verbessert werden. Eine genauere Bestimmung der Überlaufmengen ließe sich durch kostengünstige Messungen des Wasserstands im Mischwasserkanal direkt an den Regenüberlaufbauwerken realisieren.

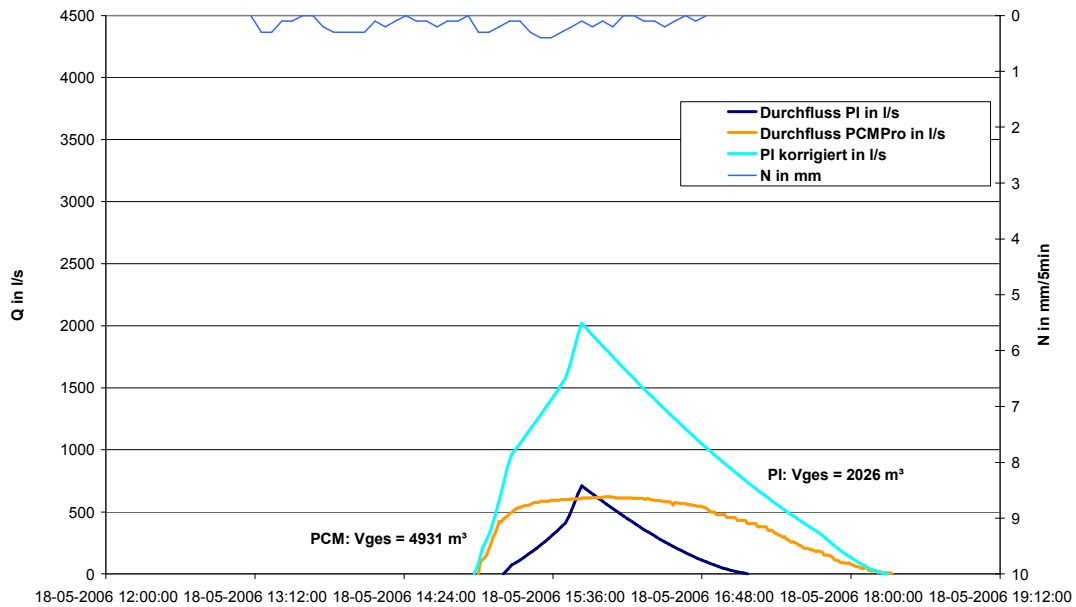
## Anhang 1 – Kennzahlen der betrachteten Abwasserpumpwerke

| Pumpwerk | Fördermenge/-strom                   |                        | Trockenwetter     |     |                   |     | Regen-<br>faktor<br><br>f | Förderstrom<br><br>RW<br><br>Q <sub>16</sub> x f<br><br>l/s | Regenwetter |     |          |                          | Flächen / Speicher |      |       |       | Haupt RÜ |
|----------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|-----|-------------------|-----|---------------------------|---|-------------|-----|----------|--------------------------|--------------------|------|-------|-------|----------|
|          | TW                                   |                        | RUH               |     | SCH               |     |                           |   | RUH         | SCH | Qmax_EVA | EVA f <sub>überQrw</sub> | Ages               | Abef | V     | Vspez |          |
|          | Q <sub>TW</sub><br>m <sup>3</sup> /d | Q <sub>16</sub><br>l/s | m <sup>3</sup> /d | l/s | m <sup>3</sup> /d | l/s |                           |   |             |     |          |                          |                    |      |       |       |          |
| Bln V    | 14800                                | 257                    |                   |     | 14800             | 257 | 2,2                       | 560   |             | 560 | 600      | 107%                     | 675                | 510  | 15170 | 29,7  | RÜ 21    |
| Bln XI   | 14000                                | 243                    |                   |     | 14000             | 243 | 2,1                       | 500   |             | 500 | 650      | 130%                     | 515                | 449  | 4150  | 9,2   | RÜ 1     |
| Bln XII  | 11800                                | 205                    |                   |     | 11800             | 205 | 1,5                       | 300   |             | 300 | 350      | 117%                     | 418                | 323  | 5200  | 16,1  | RÜ 3/1   |

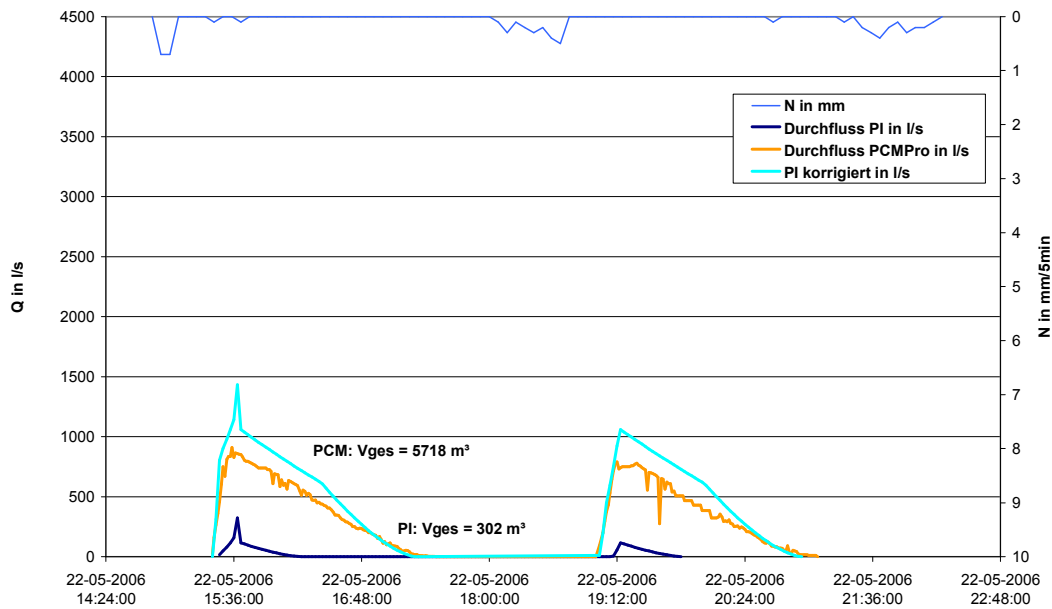


## Anhang 2 – Messungen am RÜ 1 des Pumpwerks Bln XI

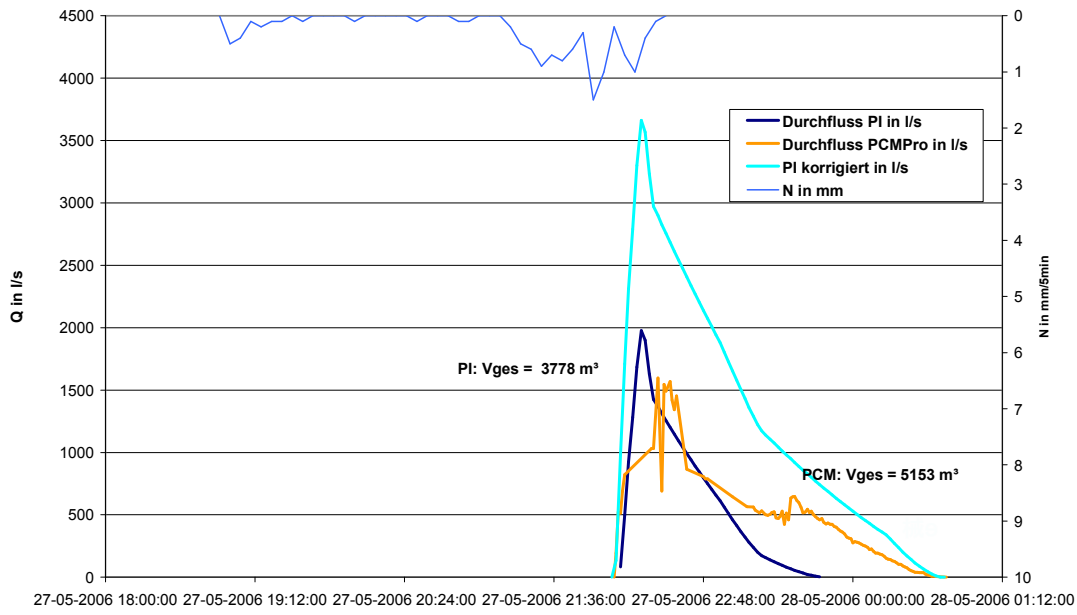
Vergleich PI - PCM 18.05.2006



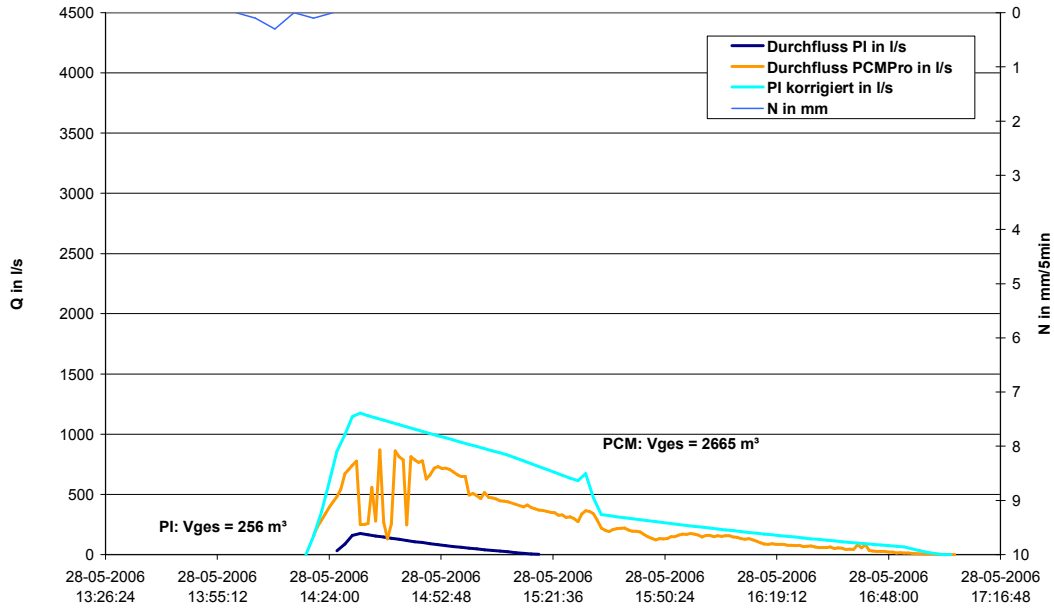
Vergleich PI - PCM 22.05.2006

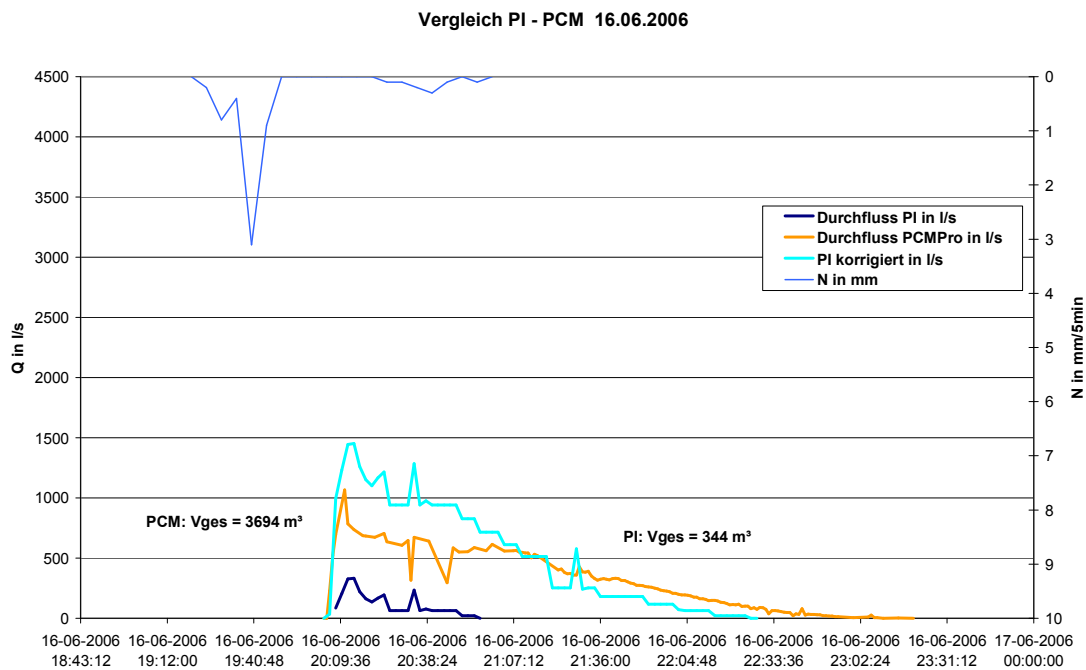
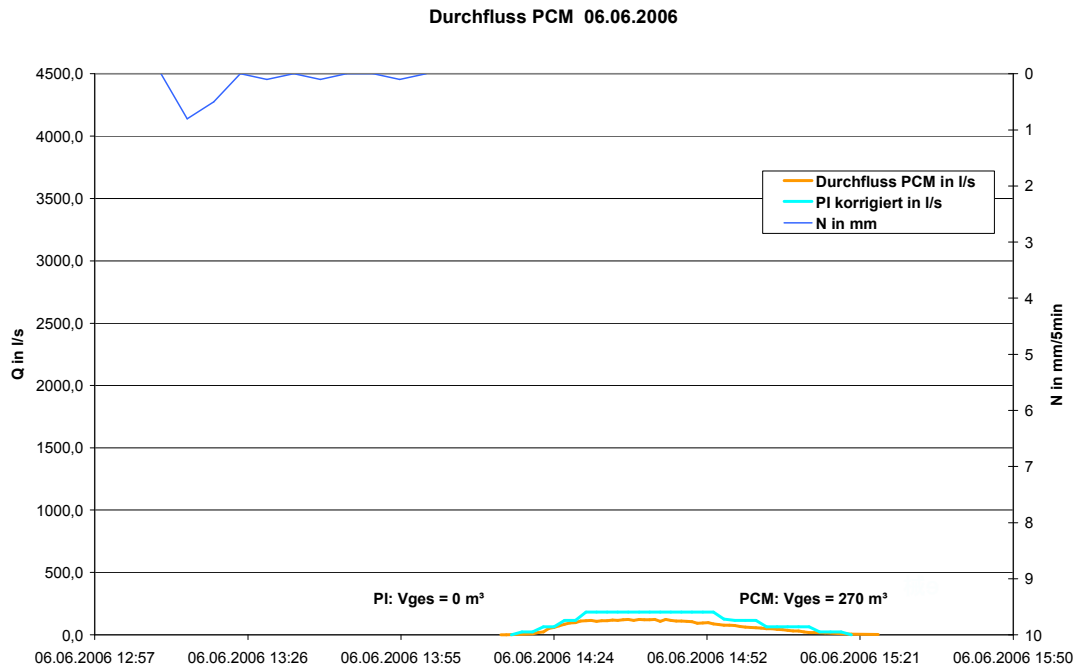


Vergleich PI - PCM 27.-28.05.2006

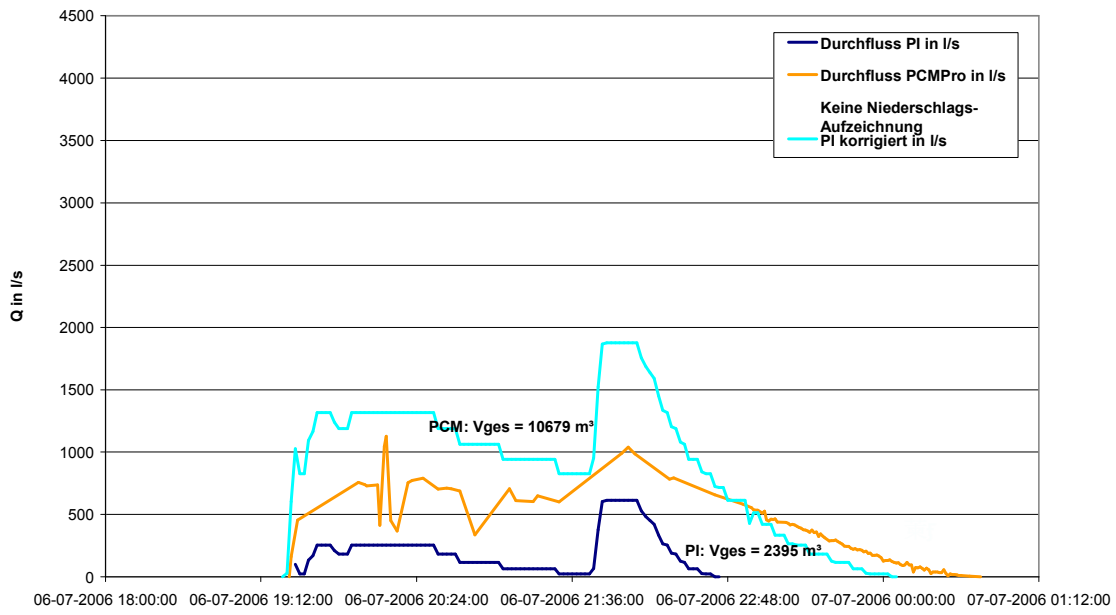


Vergleich PI - PCM 28.05.2006

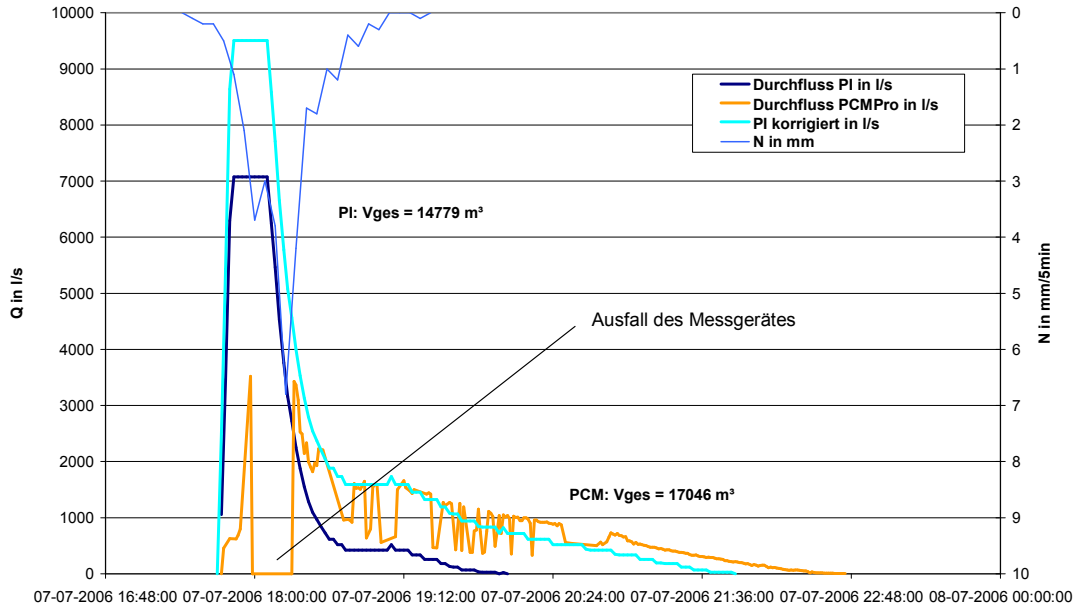




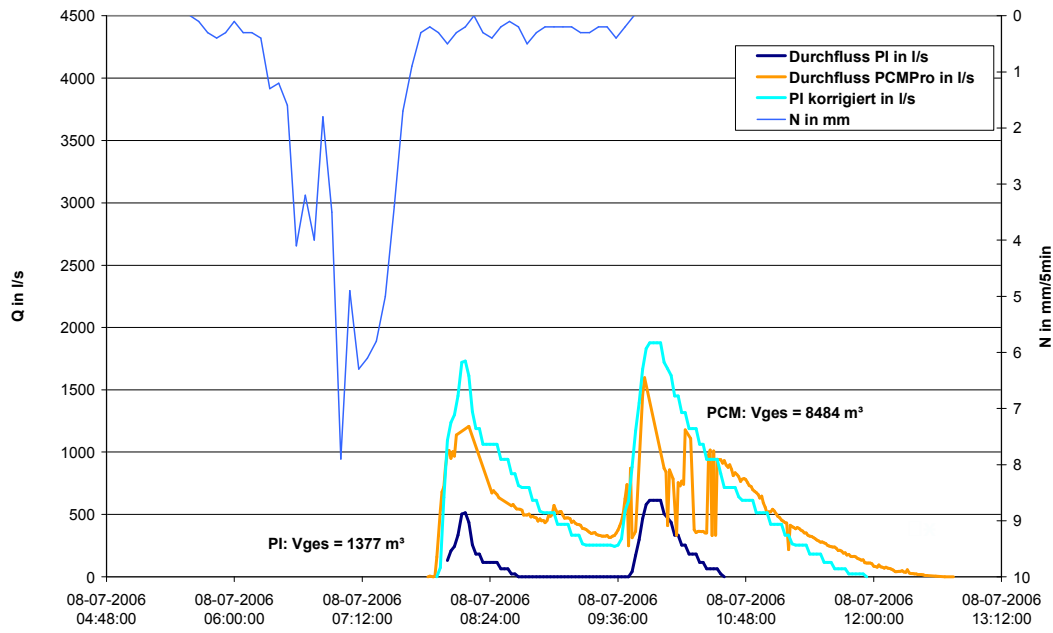
Vergleich PI - PCM 06.07.2006



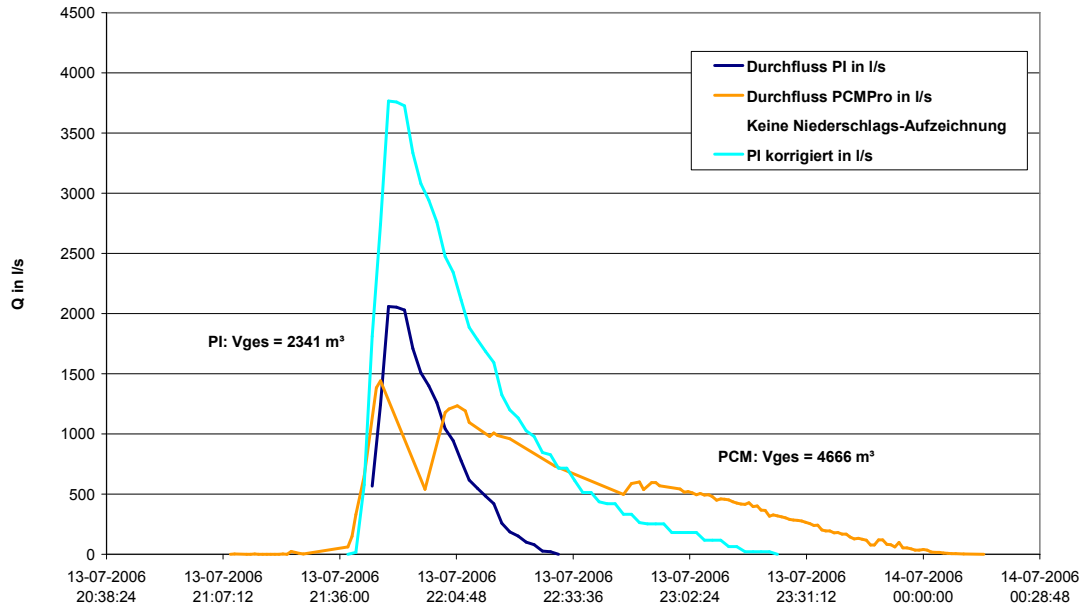
Vergleich PI - PCM 07.07.2006 (Gegenüber den anderen Grafen veränderte Skala)



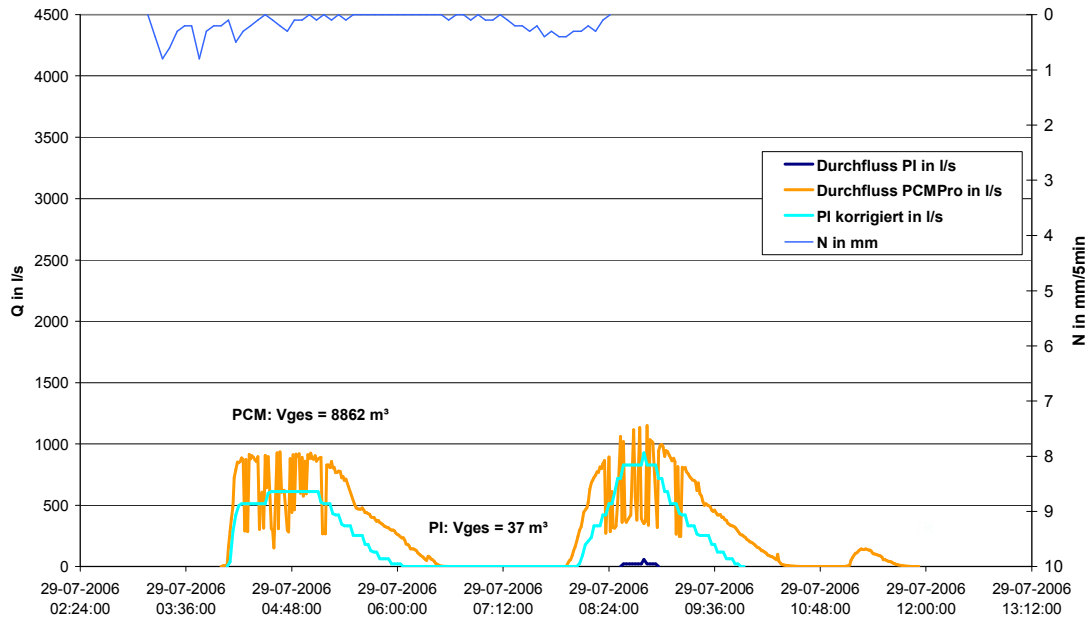
Vergleich PI - PCM 08.07.2006



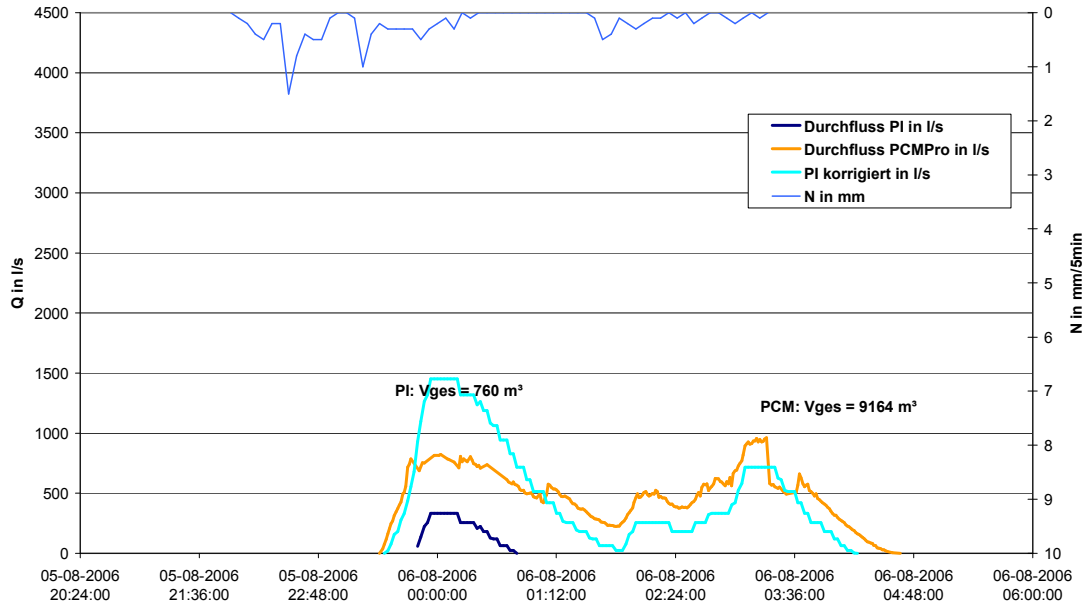
Vergleich PI - PCM 13.07.2006



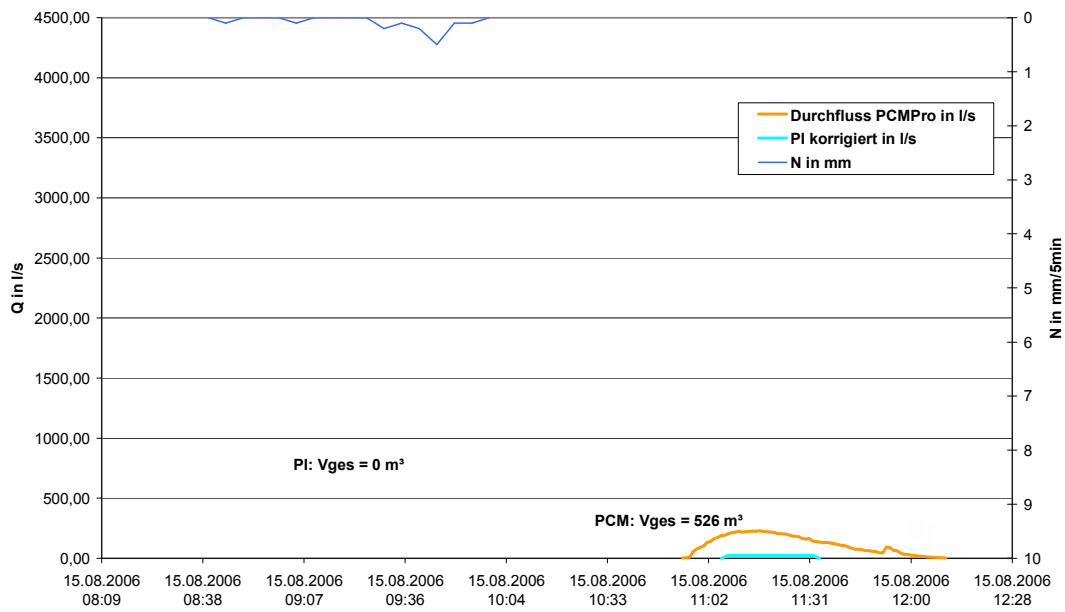
Vergleich PI - PCM 29.07.2006



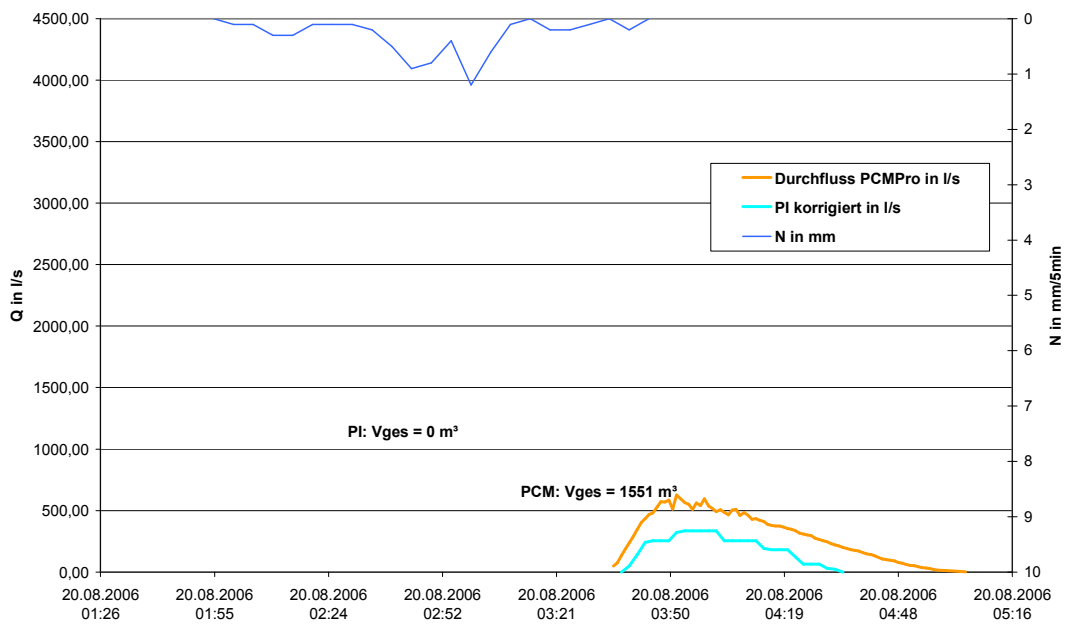
Vergleich PI - PCM 05./06.08.2006



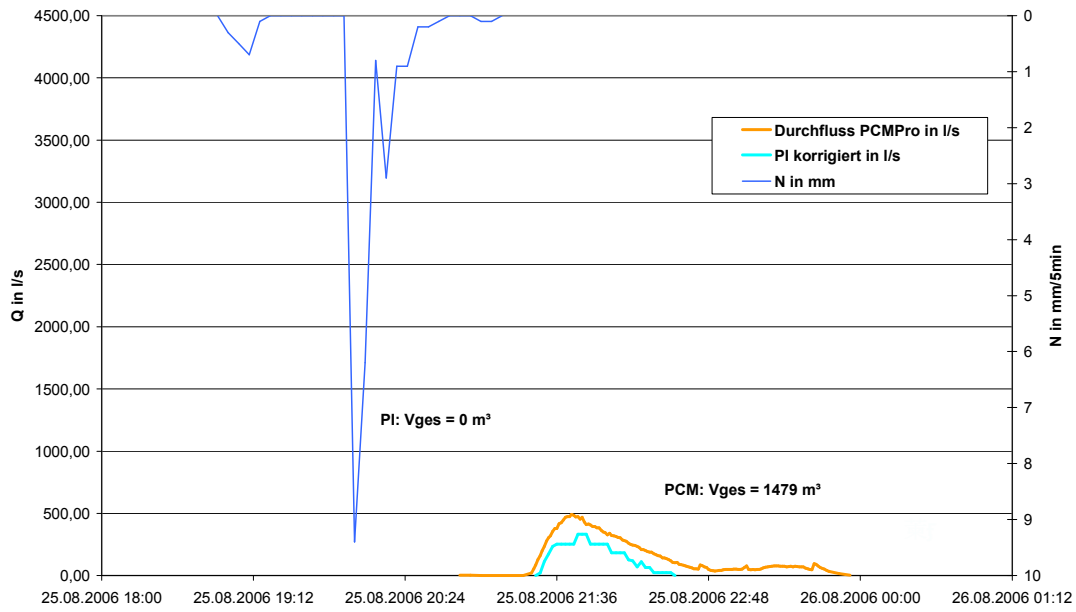
Vergleich PI - PCM 15.08.2006



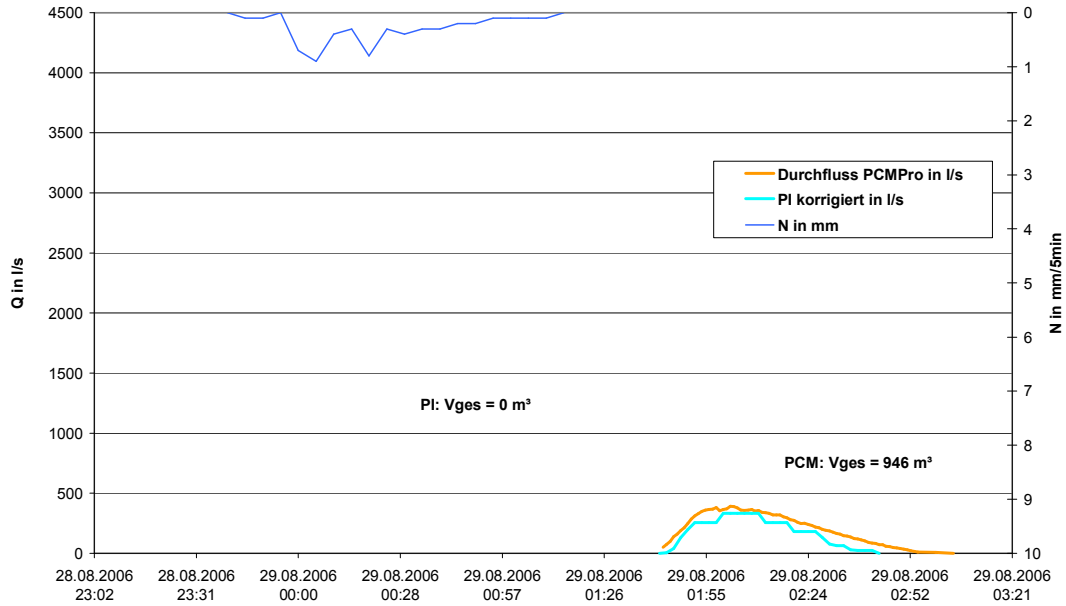
Vergleich PI - PCM 20.08.2006



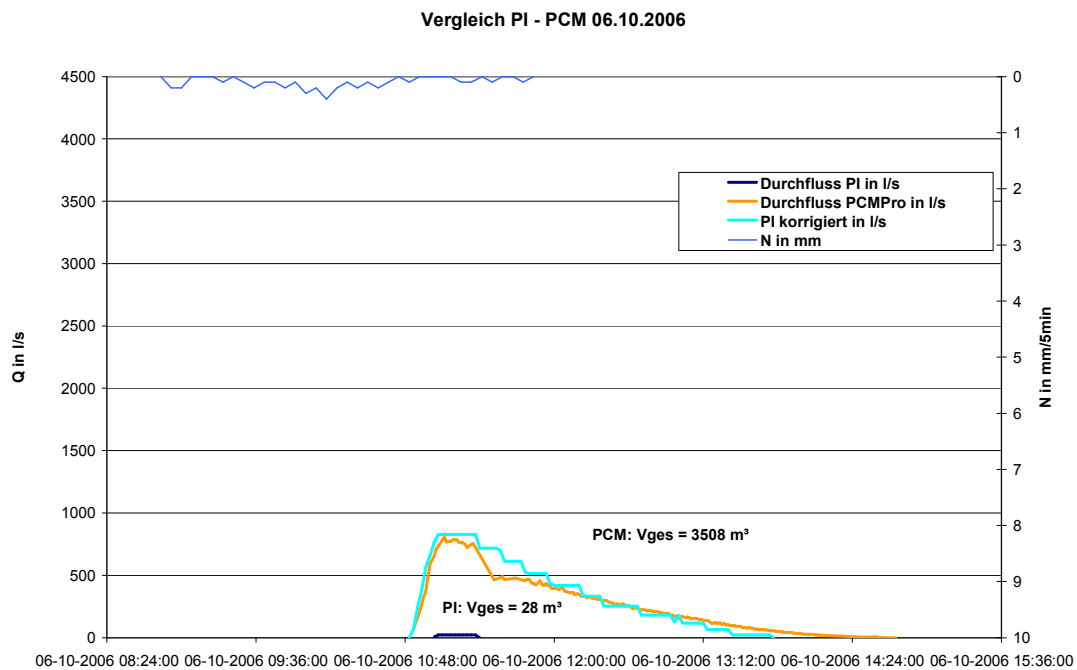
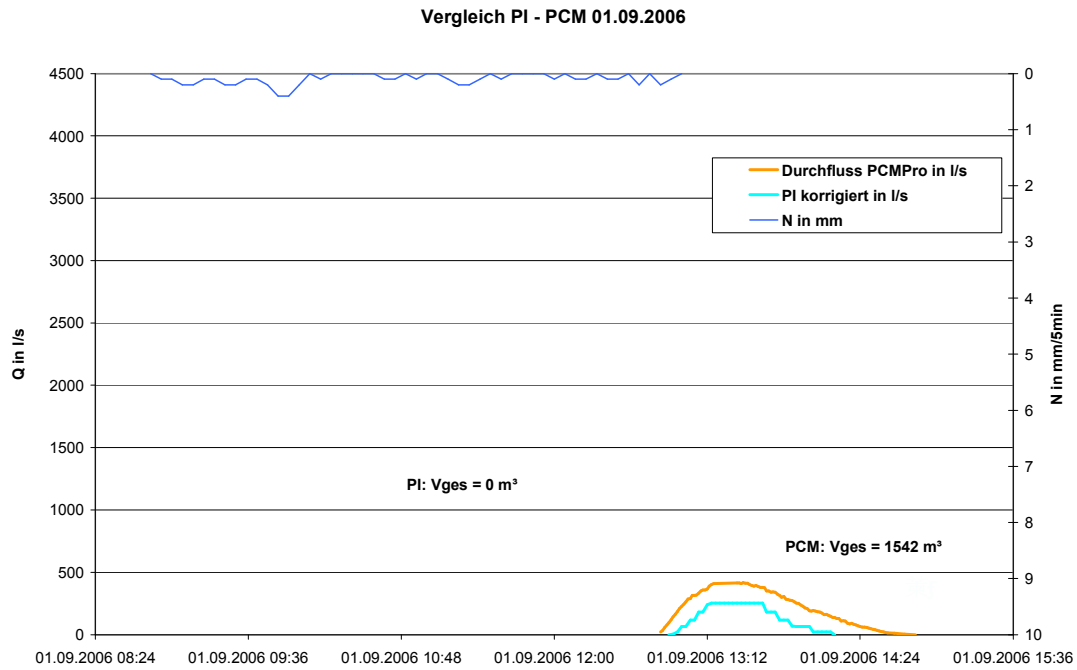
Vergleich PI - PCM 25.08.2006



Vergleich PI - PCM 29.08.2006







### Anhang 3 – Bezeichnung und Bedeutung der EVA Variablen

In Tabelle 3.A werden die in der EVA-Excel-Datei (EVA-Tool) verwendeten Feld-Bezeichnungen den teilweise unterschiedlichen Bezeichnungen gegenüber gestellt, die in den Kapiteln 4.2.4 bis 4.2.8 des vorliegenden Berichtes für die korrespondierenden Variablen verwendet werden. Zusätzlich ist der Variablenname zugeordnet, unter dem die entsprechende Größe in der Implementierung des EVA-Algorithmus als RTC-Modul (siehe Anhang 4) zu finden ist.

Tabelle 3.B dieses Anhangs enthält die ausführlichen Beschreibungen der in Tabelle 3.A aufgeführten Größen, die über die ID in der jeweils ersten Spalte eindeutig zugeordnet sind.

Tabelle 3.A: Gegenüberstellung der im EVA-Tool, im Bericht und im RTC-Modul verwendeten Variablen-Bezeichnungen

| ID | EVA-Tool (EVA_Schönerlinde_1.2.xls) |   | Dieser Bericht                                  |   | RTC-Modul  |
|----|-------------------------------------|---|---|---|--|
|    | Tabellenblatt                       | Beschriftung  | Formelzeichen<br>( <u>Unterstrich = Index</u> ) | Kapitel                                 | Variablen-<br>name   |
| 1  | Start<br>EVA                        | Aktuelle Kapazität für Berlin bzw.<br>Q Max Sch     | Q_SCH, kap                                      | 4.2.4                                   | -  |
| 2  | System<br>EVA                       | Kapazität der Pumpwerke bzw.<br>Q Pot Sch           | Q_EVA, soll                                     | 4.2.4, 4.2.5,<br>4.2.6, 4.2.7,<br>4.2.8 | v_Q_POT_PW   |
| 3  | EVA                                 | Q Pot PW  | -   | -                                       | v_Q_KAP_MW   |
| 4  | EVA                                 | Q Min   | Q_min   | 4.2.3, 4.2.5,<br>4.2.6, 4.2.7,<br>4.2.8 | v_Q_MIN_05<br>v_Q_MIN_11<br>v_Q_MIN_12   |
| 5  | EVA                                 | Q Min;Gesamt  | -   | -                                       | -  |
| 6  | System<br>EVA                       | max Förderung bzw.<br>Q Max                         | Q_max   | 4.2.3, 4.2.5,<br>4.2.6, 4.2.7           | v_Q_MAX_05<br>v_Q_MAX_11<br>v_Q_MAX_12   |
| 7  | EVA<br>Calc                         | Q Range bzw.<br>Q Range                             | Q_range   | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7, 4.2.8           | v_Q_Rng_05<br>v_Q_Rng_11<br>v_Q_Rng_12   |
| 8  | System                              | Q WBE   | Q_WBE   | 4.2.3                                   | v_Q_WBE_05<br>v_Q_WBE_11<br>v_Q_WBE_12   |
| 9  | System<br>EVA                       | max Volumen bzw.<br>V Max                           | V_max   | 4.2.5                                   | v_V_MAX_05<br>v_V_MAX_11<br>v_V_MAX_12   |
| 10 | System                              | Wichtungsfaktor<br>Speicherauslastung               | w   | 4.2.5                                   | v_GWCHT_05<br>v_GWCHT_11<br>v_GWCHT_12   |
| 11 | Q Step                              | BlnV, BlnXI, BlnXII                                 | -   | -                                       | t0_Qstp_05<br>t0_Qstp_11<br>t0_Qstp_12,<br>ebenso<br>t1_Qstp_...,<br>t2_Qstp_... |
| 12 | H-V                                 | H [maD] bzw. V[m³]                                  | -   | -                                       | t_V_akt_05<br>t_V_akt_11<br>t_V_akt_12   |
| 13 | System<br>Validierung<br>EVA        | aktuelle Förderung bzw.<br>Q DRGes bzw.<br>Q Akt PW | -   | -                                       | -  |
| 14 |                                     | Q EVA aktuell                                       | Q_EVA, akt                                      | 4.2.4                                   | -  |
| 15 | System<br>Validierung<br>EVA        | aktuell nach Sch bzw.<br>Q akt Zu Sch<br>Q Akt Sch  | Q_SCH, akt                                      | 4.2.4                                   | -  |

|     |                        |   |                   |                               |  |
|-----|------------------------|---|-------------------|-------------------------------|--|
| 16  | -                      | -   | -                 | -                             | -  |
| 17  | System                 | aktuell nach Sch ohne V,XI,XII  | Q_Rest, akt       | 4.2.4                         | -  |
| 18  | System Validierung EVA | aktueller Pegel bzw. Pegel  | H_akt             | 4.2.5                         | r_H_05<br>r_H_11<br>r_H_12,<br>ebenso<br>r_H_N_... |
| 19  | System EVA             | Pegel EVA Ein   | H_EVA, ein        | -                             | -  |
| 29  | EVA                    | Pegel Index Pre<br>Pegel Index Next<br>Pegel Pre<br>Pegel Next<br>V Pre<br>V Next | -                 | -                             | -  |
| 30  | System EVA             | aktuelles Volumen bzw. V  | V_akt             | 4.2.5                         | t_V_akt_05<br>t_V_akt_11<br>t_V_akt_12             |
| 31  | System                 | verfügbares Volumen ungewichtet<br>V frei   | V_frei            | -                             | -  |
| 32  | System EVA             | aktueller Volumenanteil bzw. V Rel Roh  | V_rel             | 4.2.5                         | v_Ausl_05<br>v_Ausl_11<br>v_Ausl_12                |
| 113 | EVA                    | V Rel Roh Validiert   | -                 | -                             | -  |
| 33  | EVA Calc               | V Rel Gewichtet bzw. V Rel Gewichtet  | p bzw. V_rel, gew | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7, 4.2.8 | v_Ausl_05<br>v_Ausl_11<br>v_Ausl_12                |
| 34  | Calc                   | Q Max Rel 1   | -                 | -                             | v_p_05<br>v_p_11<br>v_p_12                         |
| 35  | Calc                   | Q Max Rel 1; Gesamt   | -                 | -                             | v_nenner   |
| 36  | Calc                   | Q Pot PW 1  | -                 | -                             | v_QKapRest   |
| 37  | Calc                   | Steigung 1  | m bzw. m_1        | 4.2.6, 4.2.7                  | v_faktor_0   |
| 38  | Calc                   | Pumpenauslastung % 1  | x_1               | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7        | v_p_opt_05<br>v_p_opt_11<br>v_p_opt_12             |
| 39  | Calc                   | Pumpenauslastung l/s 1  | Q_x, 1            | -                             | -  |
| 40  | Calc                   | über Rng 1  | -                 | -                             | r1_p_05>1<br>r1_p_11>1<br>r1_p_12>1                |
| 41  | Calc                   | Q Max Rel 2   | -                 | -                             | -  |
| 42  | Calc                   | Q Max Rel 2; Gesamt   | -                 | -                             | v_N  |
| 43  | Calc                   | Q Pot PW 2  | -                 | -                             | v_QKapRest   |
| 44  | Calc                   | Steigung 2  | m_2               | 4.2.7                         | v_faktor_1   |
| 45  | Calc                   | Pumpenauslastung % 2  | x_2               | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7        | v_p_tmp_05<br>v_p_tmp_11<br>v_p_tmp_12             |
| 46  | Calc                   | Pumpenauslastung l/s 2  | Q_x, 2            | -                             | -  |
| 47  | Calc                   | über Rng 2  | -                 | -                             | r2_p_05>1<br>r2_p_11>1<br>r2_p_12>1                |
| 48  | Calc                   | Q Max Rel 3   | -                 | -                             | -  |
| 49  | Calc                   | Q Max Rel 3; Gesamt   | -                 | -                             | v_N  |
| 50  | Calc                   | Q Pot PW 3  | -                 | -                             | v_QKapRest   |
| 51  | Calc                   | Steigung 3  | m_3               | 4.2.7                         | v_faktor_2   |
| 52  | Calc                   | Pumpenauslastung % 3  | x_3               | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7        | v_p_tmp_05<br>v_p_tmp_11<br>v_p_tmp_12             |
| 53  | Calc                   | Pumpenauslastung l/s 3  | Q_x, 3            | -                             | -  |
| 54  | Calc                   | über Rng 3  | -                 | -                             | -  |
| 55  | Calc                   | Q Max Rel 4   | -                 | -                             | -  |
| 57  | Calc                   | Q Pot PW 4  | -                 | -                             | -  |
| 58  | Calc                   | Steigung 4  | -                 | -                             | -  |
| 59  | Calc                   | Pumpenauslastung % 4  | x_range, 4        | -                             | -  |

|    |      |                             |                           |                               |  |
|----|------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--|
| 60 | Calc | Pumpenauslastung l/s 4      | Q x_range, 4              | -                             | -                                      |
| 61 | Calc | über Rng 4                  | -                         | -                             | -                                      |
| 62 | Calc | Pumpenauslastung %          | -                         | -                             | -                                      |
| 63 | Step | Q Roh                       | Q_soll                    | 4.2.5, 4.2.6,<br>4.2.7, 4.2.8 | v_Q_opt_05<br>v_Q_opt_11<br>v_Q_opt_12 |
| 64 | Step | Q Roh; Gesamt               | -                         | -                             | -                                      |
| 65 | Step | Index Pre 1                 | -                         | -                             | v_step_05<br>v_step_11<br>v_step_12    |
| 66 | Step | Index Next 1                | -                         | -                             | v_next_05<br>v_next_11<br>v_next_12    |
| 67 | Step | Q Pre 1                     | Q_step0                   | 4.2.8                         | t0_Qstp_05<br>t0_Qstp_11<br>t0_Qstp_12 |
| 68 | Step | Q Pre 1; Gesamt             | Q_EVA,step0               | 4.2.8                         | -                                      |
| 69 | Step | Q Next 1                    | -                         | -                             | t1_Qstp_05<br>t1_Qstp_11<br>t1_Qstp_12 |
| 70 | Step | Delta Q 1                   | -                         | -                             | v1_dQ_05<br>v1_dQ_11<br>v1_dQ_12       |
| 71 | Step | Rest 1                      | Q_Rest                    | 4.2.8                         | v0_QRstKap                             |
| 72 | Step | Steigung 1                  | m_PW                      | 4.2.8                         | v1_m_05<br>v1_m_11<br>v1_m_12          |
| 73 | Step | Steigung 1; Gesamt          | -                         | -                             | v_m_min                                |
| 74 | Step | PW mit kleinster Steigung 1 | -                         | -                             | -                                      |
| 75 | Step | Hochschalten 1              | -                         | -                             | r1_pMin=05<br>r1_pMin=11<br>r1_pMin=12 |
| 76 | Step | Q Step 1                    | Q_step1                   | 4.2.8                         | v1_Qstp_05<br>v1_Qstp_11<br>v1_Qstp_12 |
| 77 | Step | Index Pre 2                 | -                         | -                             | v_step_05<br>v_step_11<br>v_step_12    |
| 78 | Step | Index Next 2                | -                         | -                             | v_next_05<br>v_next_11<br>v_next_12    |
| 79 | Step | Q Pre 2                     | -                         | -                             | v1_Qstp_05<br>v1_Qstp_11<br>v1_Qstp_12 |
| 80 | Step | Q Pre 2; Gesamt             | -                         | -                             | -                                      |
| 81 | Step | Q Next 2                    | -                         | -                             | t2_Qstp_05<br>t2_Qstp_11<br>t2_Qstp_12 |
| 82 | Step | Delta Q 2                   | -                         | -                             | v2_dQ_05<br>v2_dQ_11<br>v2_dQ_12       |
| 83 | Step | Rest 2                      | Q_Rest bzw.<br>Q_Rest,neu | 4.2.8                         | v1_QRstKap                             |
| 84 | Step | Steigung 2                  | -                         | -                             | v2_m_05<br>v2_m_11<br>v2_m_12          |
| 85 | Step | Steigung 2; Gesamt          | -                         | -                             | -                                      |
| 86 | Step | PW mit kleinster Steigung 2 | -                         | -                             | -                                      |
| 87 | Step | Hochschalten 2              | -                         | -                             | r2_pMin=05<br>r2_pMin=11<br>r2_pMin=12 |
| 88 | Step | Q Step 2                    | Q_step2                   | 4.2.8                         | v2_Qstp_05<br>v2_Qstp_11<br>v2_Qstp_12 |

|     |                |  |                           |       |  |
|-----|----------------|--|---------------------------|-------|--|
| 89  | Step           | Index Pre 3                              | -                         | -     | v_step_05<br>v_step_11<br>v_step_12    |
| 90  | Step           | Index Next 3                             | -                         | -     | v_next_05<br>v_next_11<br>v_next_12    |
| 91  | Step           | Q Pre 3                                  | -                         | -     | v2_Qstp_05<br>v2_Qstp_11<br>v2_Qstp_12 |
| 92  | Step           | Q Pre 3; Gesamt                          | -                         | -     | -                                      |
| 93  | Step           | Q Next 3                                 | -                         | -     | -                                      |
| 94  | Step           | Delta Q 3                                | -                         | -     | -                                      |
| 95  | Step           | Rest 3                                   | Q_Rest bzw.<br>Q_Rest,neu | 4.2.8 | -                                      |
| 96  | Step           | Steigung 3                               | -                         | -     | -                                      |
| 97  | Step           | Steigung 3; Gesamt                       | -                         | -     | -                                      |
| 98  | Step           | PW mit kleinster Steigung 3              | -                         | -     | -                                      |
| 99  | Step           | Hochschalten 3                           | -                         | -     | -                                      |
| 100 | Step           | Q Step 3                                 | -                         | -     | -                                      |
| 101 | System         | EVA Vorschlag                            | Q_step3                   | 4.2.8 | -                                      |
| 102 | Step           | Pegel unter EVA-EIN                      | -                         | -     | -                                      |
| 103 | Step           | Q Step 3 > Q wbe                         | -                         | -     | -                                      |
| 104 | Step           | Normalbetrieb?                           | -                         | -     | -                                      |
| 105 | Step           | EVA Roh                                  | -                         | -     | v_Q_final                              |
| 106 | System<br>Step | Förderungsvorschlag bzw.<br>EVA Signal   | -                         | -     | -                                      |
| 107 | Step           | Fördervorschlag Zahlenwert               | -                         | -     | -                                      |
| 108 | Step           | Fördervorschlag Zahlenwert;<br>Gesamt    | -                         | -     | -                                      |
| 109 | Step           | Abweichung von Qakt zu QStep3            | -                         | -     | -                                      |
| 110 | Step           | Toleranz für Abweichung                  | -                         | -     | -                                      |
| 111 | Step           | Abweichung toleriert?                    | -                         | -     | -                                      |
| 112 | Step           | Qakt und Qvorschlag grün<br>formatieren? | -                         | -     | -                                      |

Tabelle 3.B: Beschreibung, Typ und Einheit der verwendeten Variablen. Die ID in der ersten Spalte bezieht sich auf die entsprechende ID in Tabelle 3.A.

| ID  | Beschreibung  | Typ                                  | Einheit                 |
|-----|---|--------------------------------------|-------------------------|
| 1   | Aktuelle Aufnahmefähigkeit (Volumenstrom-Kapazität) des Klärwerks Schönerlinde. Wird vom Benutzer eingegeben, z.B. 3300 l/s   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 2   | Volumenstrom, den die von EVA gesteuerten PW Bln V, Bln XI, Bln XII (EVA-PW) in der Summe fördern sollten, um die aktuelle Kapazität der Kläranlage Schönerlinde voll auszunutzen.  | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 3   | Volumenstrom, den die EVA-PW über ihre Mindestförderung hinaus insgesamt zusätzlich fördern sollten, um die aktuelle Kapazität des Klärwerks Schönerlinde voll auszunutzen. Die Variable ist auf Werte $\geq 0$ begrenzt.   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 4   | Volumenströme, die aus betrieblichen Gründen an den einzelnen EVA-PW nicht unterschritten werden dürfen.  | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 5   | Summe der Volumenströme, die aus betrieblichen Gründen an den einzelnen EVA-PW nicht unterschritten werden dürfen.  | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 6   | Volumenströme, die an den einzelnen EVA-PW maximal eingestellt werden dürfen.   | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 7   | Förderspannen (Ranges) der einzelnen EVA-PW. Unter Förderspanne wird die Differenz zwischen maximal erlaubtem und minimal gefordertem Volumenstrom an einem EVA-PW verstanden. Um diesen Volumenstrom kann die minimale Förderung höchstens erhöht werden.                                | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 8   | Volumenströme, die gemäß wasserbehördlicher Erlaubnis (WBE) an den einzelnen EVA-PW im Regenfall gefördert werden sollen.   | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 9   | Volumina, die in den an die EVA-PW angeschlossenen Kanalisationsnetzen maximal aktiviert werden können  | Feld von Volumina                    | m <sup>3</sup>          |
| 10  | Wichtungsfaktoren, mit denen die den EVA-PW zugeordneten Auslastungen jeweils multipliziert werden, um so als Maß für die Priorisierung in den EVA-Verteilungsalgorithmus einzugehen.   | Feld von Faktoren                    | 1                       |
| 11  | Mögliche Schaltstufen für die einzelnen EVA-PW. Darunter sollen diejenigen diskreten Volumenströme verstanden werden, die aus betrieblichen Gründen im jeweiligen Pumpwerk tatsächlich nur eingestellt werden sollen.   | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 12  | Speicherkennlinien für die einzelnen EVA-PW, die verschiedenen Pegelständen im Saugraum die jeweils zugehörigen aktivierten Volumina im entsprechenden Kanalisationsnetz zuordnen.  | Feld von Pegeln<br>Feld von Volumina | m üNN<br>m <sup>3</sup> |
| 13  | Volumenströme, die von den einzelnen EVA-PW aktuell gefördert werden  | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 14  | Summe der Volumenströme, die von den einzelnen EVA-PW aktuell gefördert werden.   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 15  | Aktueller Zulauf zur Kläranlage Schönerlinde.   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 16  | Volumenströme, die von anderen als den EVA-PW zur Kläranlage Schönerlinde gefördert werden.   | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 17  | Summe der Volumenströme, die von anderen als den EVA-PW zur Kläranlage Schönerlinde gefördert werden.   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 18  | Aktuell an den EVA-PW anliegende Pegelstände.   | Feld von Pegeln                      | m üNN                   |
| 19  | EVA-Einschaltpegel. Ist an einem der EVA-PW der entsprechende EVA-Einschaltpegel erreicht oder überschritten, so wird an diesem PW der vom EVA-Tool berechnete Volumenstrom als neu einzustellender Volumenstrom vorgeschlagen. Die Pegel sind als Konstante im Tabellenblatt vorgegeben. | Feld von Pegeln                      | m üNN                   |
| 29  | Zwischenwerte für die Berechnung des aktivierten Volumens aus den Speicherkennlinien  | Index bzw. Volumen                   | 1 bzw. m <sup>3</sup>   |
| 30  | Volumina, die in den an die EVA-PW angeschlossenen Kanalisationsnetzen aktuell aktiviert sind.  | Feld von Volumina                    | m <sup>3</sup>          |
| 31  | Volumina, die in den an die EVA-PW angeschlossenen Kanalisationsnetzen noch zusätzlich zur aktuellen Auslastung aktiviert werden können.  | Feld von Volumina                    | m <sup>3</sup>          |
| 32  | Speicherauslastungen der an die EVA-PW angeschlossenen Teilkalisationsnetze. Unter Speicherauslastung wird das Verhältnis von aktuell aktiviertem zum maximal aktivierbaren Volumen verstanden.   | Feld von Anteilen                    | 1                       |
| 113 | Auf Werte $\geq 0.00001$ begrenzte Speicherauslastungen.  | Feld von Anteilen                    | 1                       |
| 33  | Gewichtete Speicherauslastungen für die einzelnen EVA-PW. Die gewichtete Speicherauslastung ergibt sich aus der Multiplikation der Speicherauslastung eines EVA-PW mit dem Wichtungsfaktor des entsprechenden PW und dient als Maß für die Priorisierung.                                 | Feld von Zahlen                      | 1                       |
| 34  | Mit der gewichteten Speicherauslastung gewichtete Förderspannen der einzelnen EVA-PW.   | Feld von Volumenströmen              | l/s                     |
| 35  | Summe der gewichteten Förderspannen aller EVA-PW.   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 36  | Im ersten Schritt auf die einzelnen EVA-PW zu verteiler Volumenstrom. Dieser entspricht dem Volumenstrom (3), den die EVA-PW über Min-Förderung hinaus insgesamt zusätzlich fördern sollten, um die aktuelle Kapazität der KA Schönerlinde auszunutzen.                                   | Volumenstrom                         | l/s                     |
| 37  | Quotient aus zu verteilendem Volumenstrom (36) und der Summe der gewichteten  | Steigung                             | 1                       |

| ID | Beschreibung  | Typ                      | Einheit |
|----|---|--------------------------|---------|
|    | Förderspannen aller EVA-PW (35). Dieser Quotient entspricht in der graphischen Darstellung der Steigung der ersten Ursprungsgeraden.  |                          |         |
| 38 | Im ersten Schritt berechnete prozentuale Förderspannenanteile für die einzelnen EVA-PW. Unter Förderspannenanteil wird der jeweilige Anteil am Förderbereich verstanden, um den die Min-Förderung des entsprechenden PW erhöht werden soll. Der prozentuale Förderspannenanteil ergibt sich jeweils als Produkt aus der Steigung (37) und der jeweiligen gewichteten Speicherauslastung (33) des PW.  | Feld von Anteilen        | 1       |
| 39 | Im ersten Schritt berechnete (absolute) Förderspannenanteile für die einzelnen EVA-PW. Unter (absolutem) Förderspannenanteil wird der Volumenstrom verstanden, um den die Min-Förderung des entsprechenden PW erhöht werden soll. Er ergibt sich aus dem Produkt aus prozentualem Förderspannenanteil (38) und der Förderspanne (7).  | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 40 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob der im ersten Schritt berechnete Förderspannenanteil (39) die Förderspanne des entsprechenden PW übersteigt, ob also dessen berechneter prozentualer Förderspannenanteil größer als eins war.  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 41 | Für alle EVA-PW, deren im ersten Schritt berechneter Förderspannenanteil innerhalb der möglichen Förderspanne liegt, werden hier die gewichteten Förderspannen aus (34) übernommen, für die anderen wird ein Leerwert eingetragen. Liegen alle im ersten Schritt berechneten Förderspannenanteile innerhalb der jeweiligen Förderspannen, so ergeben sich im Folgenden keine Änderungen mehr, die Berechnungen des ersten Schrittes werden dann lediglich wiederholt.   | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 42 | Summe aller in (41) enthaltenen gewichteten Förderspannen.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 43 | Im zweiten Schritt ggf. neu zu verteilender Restvolumenstrom. Dieser ergibt sich aus dem ursprünglich zu verteilenden Volumenstrom (36), abzüglich der Förderspannen derjenigen PW, für die im ersten Schritt ein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde. Der Restvolumenstrom wird auf diejenigen PW verteilt, für die im ersten Schritt kein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 44 | Quotient aus ggf. neu zu verteilendem Restvolumenstrom (43) und der Summe gewichteter Förderspannen (42). Dieser Quotient entspricht in der graphischen Darstellung der Steigung der ggf. zweiten, neuen Ursprungsgeraden.  | Steigung                 | 1       |
| 45 | Im zweiten Schritt berechnete prozentuale Förderspannenanteile für die einzelnen EVA-PW. Diese ergeben sich als Produkte aus der zweiten Steigung (44) und den jeweiligen gewichteten Speicherauslastungen (33) der PW.   | Feld von Anteilen        | 1       |
| 46 | Im zweiten Schritt berechnete (absolute) Förderspannenanteile (Def. siehe (39)) für die einzelnen EVA-PW. Der Förderspannenanteil ergibt sich für diejenigen EVA-PW, für die im ersten Schritt kein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde, aus dem Produkt aus dem im zweiten Schritt neu berechneten prozentualen Förderbereichsanteil (45) und der Förderspanne des PW. Für die übrigen EVA-PW wird deren maximaler Förderspannenanteil, nämlich die Förderspanne selbst, eingetragen.                      | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 47 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob der im ersten oder im zweiten Schritt für das jeweilige PW berechnete Förderspannenanteil die Förderspanne desselben PW übersteigt.  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 48 | Für alle EVA-PW, deren Förderspannenanteil weder im ersten noch im zweiten Schritt zu hoch war, werden hier die gewichteten Förderspannen aus (41) bzw. (34) übernommen, für die anderen wird ein Leerwert eingetragen. Liegen alle im zweiten Schritt berechneten Förderspannenanteile innerhalb der Förderspannen, so ergeben sich im Folgenden keine Änderungen mehr, die Berechnungen des zweiten Schrittes werden dann lediglich wiederholt.   | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 49 | Summe aller in (48) enthaltenen gewichteten Förderspannen.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 50 | Im dritten Schritt ggf. neu zu verteilender Restvolumenstrom. Dieser ergibt sich aus dem ursprünglich zu verteilenden Volumenstrom (36), abzüglich der Förderspannen derjenigen PW, für die im ersten oder zweiten Schritt ein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde. Der Restvolumenstrom wird auf diejenigen PW verteilt, für die weder im ersten noch im zweiten Schritt ein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 51 | Quotient aus ggf. neu zu verteilendem Restvolumenstrom (50) und der Summe gewichteter Förderspannen (49). Dieser Quotient entspricht in der graphischen Darstellung der Steigung der ggf. dritten, neuen Ursprungsgeraden.  | Steigung                 | 1       |
| 52 | Im dritten Schritt berechnete prozentuale Förderspannenanteile für die einzelnen EVA-PW. Diese ergeben sich als Produkte aus der dritten Steigung (51) mit den jeweiligen gewichteten Speicherauslastungen der PW.  | Feld von Anteilen        | 1       |
| 53 | Im dritten Schritt berechnete (absolute) Förderspannenanteile (Def. siehe (39)) für die einzelnen EVA-PW. Der Förderspannenanteil ergibt sich für diejenigen EVA-PW, für die weder im ersten, noch im zweiten Schritt ein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde, aus dem Produkt aus dem im dritten Schritt neu berechneten prozentualen Förderspannenanteil (52) und der Förderspanne des PW. Für die übrigen EVA-PW wird deren maximaler Förderspannenanteil, nämlich die Förderspanne selbst, eingetragen. | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 54 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob der im   | Feld von                 | boolean |

| ID | Beschreibung   | Typ                      | Einheit |
|----|--|--------------------------|---------|
|    | ersten, zweiten oder dritten Schritt für das jeweilige PW berechnete Förderspannenanteil die Förderspanne desselben PW übersteigt.   | Wahrheitswerten          |         |
| 55 | Für alle EVA-PW, deren Förderspannenanteile weder im ersten, noch im zweiten, noch im dritten Schritt zu hoch war, werden hier die gewichteten Förderspannen aus (48) bzw. (41) bzw. (34) übernommen, für die anderen wird ein Leerwert eingetragen.   | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 58 | Quotient aus ggf. neu zu verteilendem Restvolumenstrom (57) und der Summe gewichteter Förderspannen (56). Wurden im Verlauf der Schritte 1 bis 3 für alle EVA-PW zu hohe Förderspannenanteile berechnet, so tritt hier eine Division durch null auf.   | Steigung                 | 1       |
| 59 | Im vierten Schritt berechnete prozentuale Förderspannenanteile für die einzelnen EVA-PW. Diese ergeben sich als Produkte aus der vierten Steigung (58) mit den jeweiligen gewichteten Speicherauslastungen der PW.   | Feld von Anteilen        | 1       |
| 60 | Letztendlich gültige (absolute) Förderspannenanteile (Def. siehe (39)) für die einzelnen EVA-PW. Der jeweilige Förderspannenanteil ergibt sich für diejenigen EVA-PW, für die weder im ersten noch im zweiten, noch im dritten Schritt ein zu großer Förderspannenanteil berechnet wurde, aus dem Produkt aus dem im vierten Schritt neu berechneten prozentualen Förderspannenanteil (59) und der Förderspanne des PW. Für die übrigen EVA-PW wird deren maximaler Zusatzförderstrom, nämlich die Förderspanne selbst, eingetragen. | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 61 | Vgl. (54)  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 62 | Verhältnisse von letztendlich ermittelten Förderspannenanteilen (60) für die einzelnen EVA-PW zu deren Förderspannen. Diese entsprechen den prozentualen Anteilen, zu denen die jeweilige Förderspanne des entsprechenden PW ausgenutzt werden soll.   | Feld von Anteilen        | 1       |
| 63 | Volumenströme, die die einzelnen EVA-PW gemäß der EVA-Verteilung ohne Berücksichtigung der möglichen Schaltstufen der Pumpen fördern sollten. Diese ergeben sich für jedes PW jeweils aus der Summe aus Mindestvolumenstrom und dem in (60) berechneten Förderbereichsanteil.  | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 64 | Summe der Volumenströme, die gemäß der EVA-Verteilung von den EVA-PW ohne Berücksichtigung der Pumpenschaltstufen gefördert werden sollten. Solange in (63) nicht für alle EVA-PW deren maximal mögliche Fördermenge berechnet wurde, muss diese Summe dem ursprünglich auf die einzelnen EVA-PW zu verteilenden Volumenstrom (36) entsprechen.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 65 | Indizes der jeweils größten möglichen Schaltstufen, die noch kleiner oder gleich dem für das jeweilige EVA-PW vorgeschlagenen Volumenstrom aus (63) sind. Die Indizes beziehen sich auf das für das entsprechende EVA-PW geltende Feld möglicher Schaltstufen in (11).   | Feld von Indizes         | 1       |
| 66 | Indizes der nächsthöheren möglichen Schaltstufen für die einzelnen EVA-PW. Ist in (65) für ein PW bereits der größtmögliche Index eingetragen, so stimmt der Index hier mit dem entsprechenden in (65) überein.  | Feld von Indizes         | 1       |
| 67 | Größtmögliche Volumenstrom-Schaltstufen für jedes EVA-PW, die jeweils noch kleiner oder gleich dem für das entsprechende PW vorgeschlagenen Volumenstrom aus (63) sind. In der graphischen Darstellung entsprechen diese Volumenströme den jeweils höchsten, noch unter der letztgültigen Geraden liegenden Schaltstufen.  | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 68 | Summe der Volumenstrom-Schaltstufen aus (67).  | Volumenstrom             | l/s     |
| 69 | Gegenüber (67) jeweils nächsthöhere mögliche Volumenstrom-Schaltstufen für die einzelnen EVA-PW.   | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 70 | Volumenstromerhöhungen, die sich für die einzelnen EVA-PW jeweils aus dem Hochschalten von der niedrigeren Schaltstufe (67) auf die nächsthöhere Schaltstufe (69) ergeben würden.  | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 71 | Restvolumenstrom, der sich aus der Differenz der Summe vorgeschlagener nichtdiskreter Volumenströme (63) zur Summe der möglichen niedrigeren oder gleichen Volumenstrom-Schaltstufen (67) ergibt.  | Volumenstrom             | l/s     |
| 72 | Dieses Feld enthält für alle EVA-PW jeweils die Steigung derjenigen Ursprungsgeraden, die in der graphischen Darstellung durch die nächsthöhere mögliche Förderstromschaltstufe geht. Für EVA-PW, deren in (67) ermittelte Schaltstufe bereits der höchsten Schaltstufe entspricht oder deren Volumenstromerhöhung aus (70) den in (71) ermittelten Restvolumenstrom übersteigt, wird kein Wert eingetragen.   | Steigung                 | 1       |
| 73 | Minimum der in (72) enthaltenen Steigungen. Dasjenige EVA-PW, dem die kleinste Steigung zugeordnet ist, wird in die nächsthöhere Förderstromstufe geschaltet.  | Steigung                 | 1       |
| 74 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob sie dasjenige PW mit der kleinsten Steigung aus (73) sind. Dies kann immer nur für eines der PW gelten.   | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 75 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob sie dasjenige PW sind, dessen Pumpe in die gegenüber (67) nächsthöhere Stufe schalten soll. Die (wiederholte) Abfrage, ob die Volumenstromerhöhung den in (71) ermittelten Restvolumenstrom nicht übersteigt, ist notwendig, da die Wahrheitswerte in (74) für alle EVA-PW wahr werden, wenn der jeweilige Förderstromschritt für alle EVA-PW zu  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |



| ID  | Beschreibung  | Typ                         | Einheit |
|-----|---|-----------------------------|---------|
| 76  | Gestufte Volumenströme nach dem ersten Schritt. Entspricht für dasjenige EVA-PW, das gemäß (75) hochgeschaltet werden soll, dem Volumenstrom der höheren Schaltstufe aus (69), für alle anderen dem Volumenstrom der bisher bestimmten Schaltstufe aus (67).  | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 77  | Indizes der jeweils größten möglichen Schaltstufen, die noch kleiner oder gleich dem gestuften Volumenstrom aus (76) sind. Das ist jeweils genau der Index, unter dem die jeweilige in (76) stehende Schaltstufe im entsprechenden Feld (11) der möglichen Schaltstufen eingetragen ist.  | Feld von Indizes            | 1       |
| 78  | Indizes der gegenüber dem ersten Schritt nächsthöheren möglichen Schaltstufen für die einzelnen EVA-PW. Ist in (77) für ein PW bereits der größtmögliche Index eingetragen, so stimmt der Index hier mit dem entsprechenden in (77) überein.  | Feld von Indizes            | 1       |
| 79  | Die den Indizes aus (77) entsprechend zugeordneten gestuften Volumenströme. Diese müssen mit den Werten in (76) übereinstimmen.   | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 80  | Summe der Volumenstrom-Schaltstufen aus (79).   | Volumenstrom                | l/s     |
| 81  | Die den Indizes aus (78) entsprechend zugeordneten gestuften Volumenströme der jeweils nächsthöheren möglichen Schaltstufen.  | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 82  | Volumenstromerhöhungen, die sich für die einzelnen EVA-PW jeweils aus dem Hochschalten von der Schaltstufe aus (79) auf die nächsthöhere Schaltstufe aus (81) ergeben würden.   | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 83  | Restvolumenstrom, der sich aus der Differenz der Summe vorgeschlagener nichtdiskreter Volumenströme (63) zur Summe der bisher gewählten Volumenstrom-Schaltstufen aus (76) ergibt.  | Volumenstrom                | l/s     |
| 84  | Dieses Feld enthält für alle EVA-PW jeweils die Steigung derjenigen Ursprungsgeraden, die in der graphischen Veranschaulichung durch die jeweilige nächsthöhere mögliche Förderstromschaltstufe aus (81) geht. Für EVA-PW, deren in (81) ermittelte Schaltstufe bereits der höchsten Schaltstufe entspricht oder deren Volumenstromerhöhung aus (82) den in (83) ermittelten Restvolumenstrom übersteigt, wird kein Wert eingetragen. | Steigung                    | 1       |
| 85  | Minimum der in (84) enthaltenen Steigungen. Dasjenige EVA-PW, dem die kleinste Steigung zugeordnet ist, wird in die nächsthöhere Förderstromstufe geschaltet.   | Steigung                    | 1       |
| 86  | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob sie dasjenige PW mit der kleinsten Steigung aus (85) sind. Dies kann immer nur für eines der PW gelten.  | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |
| 87  | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob sie dasjenige PW sind, dessen Pumpe in die gegenüber (76) nächsthöhere Stufe schalten soll. Die (wiederholte) Abfrage, ob die Volumenstromerhöhung den in (83) ermittelten Restvolumenstrom nicht übersteigt, ist notwendig, da die Wahrheitswerte in (86) für alle EVA-PW wahr werden, wenn der jeweilige Förderstromschritt für alle EVA-PW zu groß ist.           | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |
| 88  | Gestufte Volumenströme nach dem zweiten Schritt. Entspricht für dasjenige EVA-PW, das gemäß (87) hochgeschaltet werden soll, dem Volumenstrom der höheren Schaltstufe aus (81), für alle anderen dem Volumenstrom der bisher bestimmten Schaltstufe aus (79).   | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 89  | analog zu (77)  | Feld von Indizes            | 1       |
| 90  | analog zu (78)  | Feld von Indizes            | 1       |
| 91  | analog zu (79)  | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 92  | analog zu (80)  | Volumenstrom                | l/s     |
| 93  | analog zu (81)  | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 94  | analog zu (82)  | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 95  | analog zu (83)  | Volumenstrom                | l/s     |
| 96  | analog zu (84)  | Steigung                    | 1       |
| 97  | analog zu (85)  | Steigung                    | 1       |
| 98  | analog zu (86)  | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |
| 99  | analog zu (87)  | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |
| 100 | analog zu (88). Diese Volumenströme entsprechen schließlich den gemäß dem EVA-Verteilungsalgorithmus an den einzelnen EVA-PW zu fördernden Volumenströmen. Sie erfüllen die Forderung, innerhalb des jeweils möglichen Förderbereichs zu liegen und einer der jeweils möglichen diskreten Förderstromstufen zu entsprechen.   | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 101 | Das sind die für die verschiedenen EVA-PW ermittelten, möglichst zu fördernden Volumenströme aus (100).   | Feld von<br>Volumenströmen  | l/s     |
| 102 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob ihr Pegel den EVA-Einschaltpegel aus (19) unterschreitet.  | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |
| 103 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob der in (100) vorgeschlagene Förderstrom den entsprechenden Förderstrom (8) nach Wasserbehördlicher Erlaubnis überschreitet.  | Feld von<br>Wahrheitswerten | boolean |

| ID  | Beschreibung   | Typ                      | Einheit |
|-----|--|--------------------------|---------|
| 104 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob sie im Normalbetrieb betrieben werden sollen. Dies ist der Fall, wenn ihr aktueller Pegel unter dem EVA-Einschaltpegel liegt und gleichzeitig ein Förderstrom vorgeschlagen wird, der den Förderstrom nach Wasserbehördlicher Erlaubnis überschreitet.  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 105 | Feld von Zeichenketten, die dem Anwender des EVA-Tools als Handlungsanweisungen zu den einzelnen EVA-PW angezeigt werden sollen. Ist die Bedingung für Normalbetrieb in (104) erfüllt, so erfolgt ein entsprechender Hinweis. Andernfalls wird der EVA-Vorschlag aus (101), als solcher gekennzeichnet, ausgegeben.  | Feld von Zeichenketten   | Text    |
| 106 | Feld von Zeichenketten, die dem Anwender des EVA-Tools als Handlungsanweisungen zu den einzelnen EVA-PW angezeigt werden sollen. Hat die Validierung der PI-Daten einen Fehler ergeben, so wird eine entsprechende Meldung ausgegeben, ansonsten wird jeweils die Zeichenkette aus (105) übernommen.   | Feld von Zeichenketten   | Text    |
| 107 | Feld, das für jedes EVA-PW entweder den aktuell geförderten oder den von EVA vorgeschlagenen Volumenstrom enthält. Soll ein EVA-PW gemäß (104) im Normalbetrieb betrieben werden, so steht hier die aktuelle Förderung, sonst die von EVA vorgeschlagene aus (101).  | Feld von Volumenströmen  | l/s     |
| 108 | Summe der in (107) stehenden Volumenströme. Diese Summe gibt den Volumenstrom wieder, der von allen EVA-PW zusammen gefördert würde, wenn jeweils der von EVA vorgeschlagene Volumenstrom erreicht bzw. bei Normalbetrieb der aktuelle Förderstrom begehalten würde.   | Volumenstrom             | l/s     |
| 109 | Prozentuale Abweichungen der aktuellen Fördervolumenströme der EVA-PW von den entsprechenden Volumenströmen, die EVA für die einzelnen EVA-PW vorschlägt.  | Feld von Anteilen        | 100%    |
| 110 | Für eine grüne Formatierung gemäß (112) maximal tolerierter Prozentsatz der Abweichung zwischen aktueller und vorgeschlagener Förderung. Hier werden feste Werte eingetragen, aktuell 10%  | Feld von Zahlen          | 100%    |
| 111 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob die Abweichung aus (109) kleiner oder gleich der tolerierten Abweichung aus (110) ist.  | Feld von Wahrheitswerten | boolean |
| 112 | Wahrheitswerte, die für die einzelnen EVA-PW jeweils angeben, ob aktuelle Förderung und vorgeschlagene EVA-Förderung im Tabellenblatt "Start" durch eine grüne Markierung hervorgehoben werden sollen. Dazu muss Validierung der PI-Eingangsdaten positiv verlaufen sein, das entsprechende PW darf sich nicht im Normalbetrieb befinden und die Abweichung muss gemäß (111) toleriert sein. | Feld von Wahrheitswerten | boolean |

## Anhang 4 – Implementierung des Algorithmus als InfoWorks RTC-File

Die folgende Tabelle beschreibt die Befehlsabfolge innerhalb des in InfoWorks CS implementierten RTC-Moduls, das den EVA-Algorithmus umsetzt. Die in Spalte „(Var-ID)“ zugeordnete ID korrespondiert mit den in Anhang 3 verwendeten IDs zur Beschreibung der verwendeten Berechnungsgrößen.

| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert   |
|-------|------------|-----------|----------|--|
| 1     |            |           | Comment  | =====  |
| 2     |            |           | Comment  | Maximale Foerderstroeme u. a. Konstanten definieren                |
| 3     |            |           | Comment  | =====  |
| 4     | r_vorlauf  |           | Range    | = time [03-12-07 06:00, 03-12-07 11:00)                            |
| 5     |            |           | Comment  | === Soll-Pegelstaende fuer Initialisierung ===                     |
| 6     | v_H_INI_05 |           | Variable | = 31.52000   |
| 7     | v_H_INI_11 |           | Variable | = 38.98000   |
| 8     | v_H_INI_12 |           | Variable | = 32.23000   |
| 9     |            |           | Comment  | === Allgemeine Konstanten ===                                      |
| 10    | v_MY_ONE   |           | Variable | = 1.00000  |
| 11    | r_MY_TRUE  |           | Range    | = v_MY_ONE [0.000, +Inf)   |
| 12    | r_MY_FALSE |           | Range    | = v_MY_ONE [-Inf, 0.000)   |
| 13    | v_MY_INFIN |           | Variable | = 1000000.00000  |
| 14    |            |           | Comment  | === Minimale Auslastung ===  |
| 15    | v_MIN_AUSL |           | Variable | = 0.00001  |
| 16    |            |           | Comment  | === Maximale Volumina bei Vollfuellung ===                         |
| 17    | v_V_MAX_05 | (9)       | Variable | = 14510.00000  |
| 18    | v_V_MAX_11 | (9)       | Variable | = 5000.00000   |
| 19    | v_V_MAX_12 | (9)       | Variable | = 4740.00000   |
| 20    |            |           | Comment  | === Gewichtungsfaktoren ===  |
| 21    | v_GWCHT_05 | (10)      | Variable | = 1.20000  |
| 22    | v_GWCHT_11 | (10)      | Variable | = 1.10000  |
| 23    | v_GWCHT_12 | (10)      | Variable | = 1.10000  |
| 24    |            |           | Comment  | === Mindestfoerderstroeme ===                                      |
| 25    | v_Q_MIN_05 | (4)       | Variable | = 0.17000  |
| 26    | v_Q_MIN_11 | (4)       | Variable | = 0.16000  |
| 27    | v_Q_MIN_12 | (4)       | Variable | = 0.13000  |
| 28    |            |           | Comment  | === Maximale Foerderstroeme ===                                    |
| 29    | v_Q_MAX_05 | (6)       | Variable | = 0.60000  |
| 30    | v_Q_MAX_11 | (6)       | Variable | = 0.65000  |
| 31    | v_Q_MAX_12 | (6)       | Variable | = 0.35000  |
| 32    |            |           | Comment  | === Foerderstroeme nach Wasserbehoerdlicher Erlaubnis ===          |
| 33    | v_Q_WBE_05 | (8)       | Variable | = 0.56000  |
| 34    | v_Q_WBE_11 | (8)       | Variable | = 0.50000  |
| 35    | v_Q_WBE_12 | (8)       | Variable | = 0.30000  |
| 36    |            |           | Comment  | === Potential der PW incl. Mindestfoedererung ===                  |
| 37    | v_Q_POT_PW | (2)       | Variable | = 1.6000   |
| 38    |            |           | Comment  | =====  |
| 39    |            |           | Comment  | Pegelstaende   |
| 40    |            |           | Comment  | =====  |
| 41    | r_H_05     | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_V [25.500 m AD, 34.000 m AD)   |
| 42    | r_H_11     | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XI [34.000 m AD, 44.000 m AD)  |
| 43    | r_H_12     | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XII [31.150 m AD, 35.000 m AD) |
| 44    |            |           | Comment  | =====  |
| 45    |            |           | Comment  | Ein- und Ausschaltpegel  |
| 46    |            |           | Comment  | =====  |
| 47    | r_HConG_05 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_V [31.250 m AD, +Inf)          |
| 48    | r_HConG_11 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XI [39.800 m AD, +Inf)         |
| 49    | r_HConG_12 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XII [32.230 m AD, +Inf)        |
| 50    | r_HConL_05 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_V [-Inf, 31.000 m AD)          |
| 51    | r_HConL_11 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XI [-Inf, 39.500 m AD)         |
| 52    | r_HConL_12 |           | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XII [-Inf, 32.100 m AD)        |
| 53    |            |           | Comment  | =====  |
| 54    |            |           | Comment  | Foederbereiche (Range - Rng) zwischen Q_MIN und Q_MAX              |

| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert  |
|-------|------------|-----------|----------|---|
| 55    |            |           | Comment  | =====   |
| 56    | v_Q_Rng_05 | (7)       | Variable | = v_Q_MAX_05 - v_Q_MIN_05   |
| 57    | v_Q_Rng_11 | (7)       | Variable | = v_Q_MAX_11 - v_Q_MIN_11   |
| 58    | v_Q_Rng_12 | (7)       | Variable | = v_Q_MAX_12 - v_Q_MIN_12   |
| 59    |            |           | Comment  | =====   |
| 60    |            |           | Comment  | Potential der PW excl. Mindestfoerderung; muss >= 0 sein            |
| 61    |            |           | Comment  | =====   |
| 62    | v_Q_KAP_MW | (3)       | Variable | = v_Q_POT_PW - v_Q_MIN_05   |
| 63    | v_Q_KAP_MW |           | Variable | = v_Q_KAP_MW - v_Q_MIN_11   |
| 64    | v_Q_KAP_MW |           | Variable | = v_Q_KAP_MW - v_Q_MIN_12   |
| 65    | r_Q_KAP<0  |           | Range    | = v_Q_KAP_MW [-Inf, 0.000)  |
| 66    | v_Q_KAP_MW |           | Variable | = if r_Q_KAP<0 then 0.00000 else v_Q_KAP_MW                         |
| 67    |            |           | Comment  | =====   |
| 68    |            |           | Comment  | EVA einschalten, wenn ein Pegel ueber EVA-EIN-Pegel                 |
| 69    |            |           | Comment  | EVA ausschalten, wenn alle Pegel unter EVA-AUS-Pegel                |
| 70    |            |           | Comment  | =====   |
| 71    | l_swchOn   |           | Logic    | = (r_HConG_05 or r_HConG_11 or r_HConG_12)                          |
| 72    | l_swchOff  |           | Logic    | = (r_HConL_05 and r_HConL_11 and r_HConL_12)                        |
| 73    |            |           | Comment  | === Ausgangspunkt: alter EVA-Status                                 |
| 74    | v_state    |           | Variable | = v_state   |
| 75    |            |           | Comment  | === Zustand aendern, wenn Ein- oder Ausschaltbedingung erfuehlt === |
| 76    | v_state    |           | Variable | = if l_swchOn then 1.00000 else v_state                             |
| 77    | v_state    |           | Variable | = if l_swchOff then 0.00000 else v_state                            |
| 78    | r_stateOff |           | Range    | = v_state [-Inf, 1.000)   |
| 79    | r_stateOn  |           | Range    | = v_state [1.000, +Inf)   |
| 80    |            |           | Comment  | =====   |
| 81    |            |           | Comment  | Berechnung der einzelnen Speicherauslastungen                       |
| 82    |            |           | Comment  | - Volumen aus Speicherkennlinien-Tabellen                           |
| 83    |            |           | Comment  | - Auslastung = Volumen / max. Volumen                               |
| 84    |            |           | Comment  | - Gewichtung der Auslastung mit Priorisierungsfaktoren              |
| 85    |            |           | Comment  | =====   |
| 86    | r_H_N_05   | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_V [25.550 m AD, 34.000 m AD)    |
| 87    | t_V_akt_05 | (12, 30)  | Table    | = f(r_H_N_05), Type: Linear   |
| 88    | r_H_N_11   | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XI [34.000 m AD, 44.000 m AD)   |
| 89    | t_V_akt_11 | (12, 30)  | Table    | = f(r_H_N_11), Type: Linear   |
| 90    | r_H_N_12   | (18)      | Range    | = height above datum @ Saugraum_Bln_XII [31.190 m AD, 35.000 m AD)  |
| 91    | t_V_akt_12 | (12, 30)  | Table    | = f(r_H_N_12), Type: Linear   |
| 92    | v_Ausl_05  | (32)      | Variable | = t_V_akt_05 / v_V_MAX_05   |
| 93    | v_Ausl_11  | (32)      | Variable | = t_V_akt_11 / v_V_MAX_11   |
| 94    | v_Ausl_12  | (32)      | Variable | = t_V_akt_12 / v_V_MAX_12   |
| 95    | v_Ausl_05  | (33)      | Variable | = v_Ausl_05 * v_GWCHT_05  |
| 96    | v_Ausl_11  | (33)      | Variable | = v_Ausl_11 * v_GWCHT_11  |
| 97    | v_Ausl_12  | (33)      | Variable | = v_Ausl_12 * v_GWCHT_12  |
| 98    |            |           | Comment  | =====   |
| 99    |            |           | Comment  | Zu geringe Auslastungen auf minimale Auslastung setzen              |
| 100   |            |           | Comment  | =====   |
| 101   | v_tmpDiff  |           | Variable | = v_MIN_AUSL - v_Ausl_05  |
| 102   | r_Ausl05=0 |           | Range    | = v_tmpDiff [0.000, +Inf)   |
| 103   | v_tmpDiff  |           | Variable | = v_MIN_AUSL - v_Ausl_11  |
| 104   | r_Ausl11=0 |           | Range    | = v_tmpDiff [0.000, +Inf)   |
| 105   | v_tmpDiff  |           | Variable | = v_MIN_AUSL - v_Ausl_12  |
| 106   | r_Ausl12=0 |           | Range    | = v_tmpDiff [0.000, +Inf)   |
| 107   | v_Ausl_05  |           | Variable | = if r_Ausl05=0 then v_MIN_AUSL else v_Ausl_05                      |
| 108   | v_Ausl_11  |           | Variable | = if r_Ausl11=0 then v_MIN_AUSL else v_Ausl_11                      |
| 109   | v_Ausl_12  |           | Variable | = if r_Ausl12=0 then v_MIN_AUSL else v_Ausl_12                      |
| 110   |            |           | Comment  | =====   |
| 111   |            |           | Comment  | Berechnung der neuen Foerderung                                     |
| 112   |            |           | Comment  | =====   |
| 113   |            |           | Comment  | Berechnung des Faktors  |
| 114   |            |           | Comment  | f = v_Q_KAP_MW / (v_Ausl_05 * v_Q_Rng_05 + v_Ausl_11 * v_Q_Rng_11 + |
| 115   |            |           | Comment  | =====   |
| 116   | v_p_05     | (34)      | Variable | = v_Ausl_05 * v_Q_Rng_05  |
| 117   | v_p_11     | (34)      | Variable | = v_Ausl_11 * v_Q_Rng_11  |
| 118   | v_p_12     | (34)      | Variable | = v_Ausl_12 * v_Q_Rng_12  |
| 119   | v_nenner   | (35)      | Variable | = v_p_05 + v_p_11   |
| 120   | v_nenner   |           | Variable | = v_nenner + v_p_12   |
| 121   | v_nenner   |           | Variable | = v_nenner + 0.00001  |
| 122   | v_faktor_0 | (37)      | Variable | = v_Q_KAP_MW / v_nenner   |

| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert   |
|-------|------------|-----------|----------|--|
| 123   |            |           | Comment  | =====  |
| 124   |            |           | Comment  | Berechnung der opt. Pumpenleistungen (in % von Q_Rng)        |
| 125   |            |           | Comment  | =====  |
| 126   | v_p_opt_05 | (38)      | Variable | = v_faktor_0 * v_Ausl_05                                     |
| 127   | v_p_opt_11 | (38)      | Variable | = v_faktor_0 * v_Ausl_11                                     |
| 128   | v_p_opt_12 | (38)      | Variable | = v_faktor_0 * v_Ausl_12                                     |
| 129   |            |           | Comment  | =====  |
| 130   |            |           | Comment  | Ist eine Pumpenleistung > 100%, so wird neu berechnet        |
| 131   |            |           | Comment  | =====  |
| 132   | r1_p_05>1  | (40)      | Range    | = v_p_opt_05 [1.000, +Inf)                                   |
| 133   | r1_p_11>1  | (40)      | Range    | = v_p_opt_11 [1.000, +Inf)                                   |
| 134   | r1_p_12>1  | (40)      | Range    | = v_p_opt_12 [1.000, +Inf)                                   |
| 135   | v_N        | (42)      | Variable | = v_nenner   |
| 136   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_05   |
| 137   | v_N        |           | Variable | = if r1_p_05>1 then v_N_red else v_N                         |
| 138   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_11   |
| 139   | v_N        |           | Variable | = if r1_p_11>1 then v_N_red else v_N                         |
| 140   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_12   |
| 141   | v_N        |           | Variable | = if r1_p_12>1 then v_N_red else v_N                         |
| 142   | v_QKapRest | (36, 43)  | Variable | = v_Q_KAP_MW   |
| 143   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_05                                    |
| 144   | v_QKapRest |           | Variable | = if r1_p_05>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 145   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_11                                    |
| 146   | v_QKapRest |           | Variable | = if r1_p_11>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 147   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_12                                    |
| 148   | v_QKapRest |           | Variable | = if r1_p_12>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 149   | v_faktor_1 | (44)      | Variable | = v_QKapRest / v_N   |
| 150   | v_p_tmp_05 | (45)      | Variable | = v_faktor_1 * v_Ausl_05                                     |
| 151   | v_p_tmp_11 | (45)      | Variable | = v_faktor_1 * v_Ausl_11                                     |
| 152   | v_p_tmp_12 | (45)      | Variable | = v_faktor_1 * v_Ausl_12                                     |
| 153   | v_p_opt_05 |           | Variable | = if r1_p_05>1 then v_p_opt_05 else v_p_tmp_05               |
| 154   | v_p_opt_11 |           | Variable | = if r1_p_11>1 then v_p_opt_11 else v_p_tmp_11               |
| 155   | v_p_opt_12 |           | Variable | = if r1_p_12>1 then v_p_opt_12 else v_p_tmp_12               |
| 156   |            |           | Comment  | =====  |
| 157   |            |           | Comment  | Ist eine Pumpenleistung > 100%, so wird wieder neu berechnet |
| 158   |            |           | Comment  | =====  |
| 159   | r2_p_05>1  | (47)      | Range    | = v_p_opt_05 [1.000, +Inf)                                   |
| 160   | r2_p_11>1  | (47)      | Range    | = v_p_opt_11 [1.000, +Inf)                                   |
| 161   | r2_p_12>1  | (47)      | Range    | = v_p_opt_12 [1.000, +Inf)                                   |
| 162   | v_N        | (49)      | Variable | = v_nenner   |
| 163   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_05   |
| 164   | v_N        |           | Variable | = if r2_p_05>1 then v_N_red else v_N                         |
| 165   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_11   |
| 166   | v_N        |           | Variable | = if r2_p_11>1 then v_N_red else v_N                         |
| 167   | v_N_red    |           | Variable | = v_N - v_p_12   |
| 168   | v_N        |           | Variable | = if r2_p_12>1 then v_N_red else v_N                         |
| 169   | v_QKapRest | (50)      | Variable | = v_Q_KAP_MW   |
| 170   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_05                                    |
| 171   | v_QKapRest |           | Variable | = if r2_p_05>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 172   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_11                                    |
| 173   | v_QKapRest |           | Variable | = if r2_p_11>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 174   | v_Kap_red  |           | Variable | = v_QKapRest - v_Q_Rng_12                                    |
| 175   | v_QKapRest |           | Variable | = if r2_p_12>1 then v_Kap_red else v_QKapRest                |
| 176   | v_faktor_2 | (51)      | Variable | = v_QKapRest / v_N   |
| 177   | v_p_tmp_05 | (52)      | Variable | = v_faktor_2 * v_Ausl_05                                     |
| 178   | v_p_tmp_11 |           | Variable | = v_faktor_2 * v_Ausl_11                                     |
| 179   | v_p_tmp_12 |           | Variable | = v_faktor_2 * v_Ausl_12                                     |
| 180   | v_p_opt_05 |           | Variable | = if r2_p_05>1 then v_p_opt_05 else v_p_tmp_05               |
| 181   | v_p_opt_11 |           | Variable | = if r2_p_11>1 then v_p_opt_11 else v_p_tmp_11               |
| 182   | v_p_opt_12 |           | Variable | = if r2_p_12>1 then v_p_opt_12 else v_p_tmp_12               |
| 183   |            |           | Comment  | =====  |
| 184   |            |           | Comment  | Berechnung der opt. Förderstroms                             |
| 185   |            |           | Comment  | =====  |
| 186   | v_Q_tmp_05 |           | Variable | = v_p_opt_05 * v_Q_Rng_05                                    |
| 187   | v_Q_tmp_11 |           | Variable | = v_p_opt_11 * v_Q_Rng_11                                    |
| 188   | v_Q_tmp_12 |           | Variable | = v_p_opt_12 * v_Q_Rng_12                                    |
| 189   | v_Q_opt_05 |           | Variable | = if r2_p_05>1 then v_Q_Rng_05 else v_Q_tmp_05               |
| 190   | v_Q_opt_11 |           | Variable | = if r2_p_11>1 then v_Q_Rng_11 else v_Q_tmp_11               |

| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert   |
|-------|------------|-----------|----------|--|
| 191   | v_Q_opt_12 |           | Variable | = if r2_p_12>1 then v_Q_Rng_12 else v_Q_tmp_12         |
| 192   | v_Q_opt_05 | (63)      | Variable | = v_Q_opt_05 + v_Q_MIN_05                              |
| 193   | v_Q_opt_11 | (63)      | Variable | = v_Q_opt_11 + v_Q_MIN_11                              |
| 194   | v_Q_opt_12 | (63)      | Variable | = v_Q_opt_12 + v_Q_MIN_12                              |
| 195   |            |           | Comment  | =====  |
| 196   |            |           | Comment  | Bestimmung der Stufe unter der Gerade                  |
| 197   |            |           | Comment  | =====  |
| 198   | t0_step_05 |           | Table    | = f(v_Q_opt_05), Type: Step                            |
| 199   | t0_step_11 |           | Table    | = f(v_Q_opt_11), Type: Step                            |
| 200   | t0_step_12 |           | Table    | = f(v_Q_opt_12), Type: Step                            |
| 201   |            |           | Comment  | =====  |
| 202   |            |           | Comment  | aktuelle Stufe = Stufe 0 = Stufe unter Gerade          |
| 203   |            |           | Comment  | =====  |
| 204   | v_step_05  | (65)      | Variable | = t0_step_05   |
| 205   | v_step_11  | (65)      | Variable | = t0_step_11   |
| 206   | v_step_12  | (65)      | Variable | = t0_step_12   |
| 207   |            |           | Comment  | =====  |
| 208   |            |           | Comment  | Bestimmung des zugehoerigen Q                          |
| 209   |            |           | Comment  | =====  |
| 210   | t0_Qstp_05 | (11, 67)  | Table    | = f(v_step_05), Type: Step                             |
| 211   | t0_Qstp_11 | (11, 67)  | Table    | = f(v_step_11), Type: Step                             |
| 212   | t0_Qstp_12 | (11, 67)  | Table    | = f(v_step_12), Type: Step                             |
| 213   |            |           | Comment  | =====  |
| 214   |            |           | Comment  | Anfangszuweisung                                       |
| 215   |            |           | Comment  | =====  |
| 216   | v0_Qstp_05 |           | Variable | = t0_Qstp_05   |
| 217   | v0_Qstp_11 |           | Variable | = t0_Qstp_11   |
| 218   | v0_Qstp_12 |           | Variable | = t0_Qstp_12   |
| 219   |            |           | Comment  | =====  |
| 220   |            |           | Comment  | Bestimmung der Restkapazitaet (1)                      |
| 221   |            |           | Comment  | =====  |
| 222   | v0_QRstKap | (71)      | Variable | = v_Q_POT_PW   |
| 223   | v0_QRstKap |           | Variable | = v0_QRstKap - v0_Qstp_05                              |
| 224   | v0_QRstKap |           | Variable | = v0_QRstKap - v0_Qstp_11                              |
| 225   | v0_QRstKap |           | Variable | = v0_QRstKap - v0_Qstp_12                              |
| 226   |            |           | Comment  | =====  |
| 227   |            |           | Comment  | naechsthoehere Stufen (1)                              |
| 228   |            |           | Comment  | =====  |
| 229   | v_next_05  | (66)      | Variable | = v_step_05 + 1.00000                                  |
| 230   | v_next_11  | (66)      | Variable | = v_step_11 + 1.00000                                  |
| 231   | v_next_12  | (66)      | Variable | = v_step_12 + 1.00000                                  |
| 232   |            |           | Comment  | =====  |
| 233   |            |           | Comment  | naechsthoehere Qs (1)                                  |
| 234   |            |           | Comment  | =====  |
| 235   | t1_Qstp_05 | (11, 69)  | Table    | = f(v_next_05), Type: Step                             |
| 236   | t1_Qstp_11 | (11, 69)  | Table    | = f(v_next_11), Type: Step                             |
| 237   | t1_Qstp_12 | (11, 69)  | Table    | = f(v_next_12), Type: Step                             |
| 238   |            |           | Comment  | =====  |
| 239   |            |           | Comment  | Berechnung der Q-Er hoehung (1)                        |
| 240   |            |           | Comment  | =====  |
| 241   | v1_dQ_05   | (70)      | Variable | = t1_Qstp_05 - v0_Qstp_05                              |
| 242   | v1_dQ_11   | (70)      | Variable | = t1_Qstp_11 - v0_Qstp_11                              |
| 243   | v1_dQ_12   | (70)      | Variable | = t1_Qstp_12 - v0_Qstp_12                              |
| 244   | r1_dQ_05=0 |           | Range    | = v1_dQ_05 [-0.001, 0.001)                             |
| 245   | r1_dQ_11=0 |           | Range    | = v1_dQ_11 [-0.001, 0.001)                             |
| 246   | r1_dQ_12=0 |           | Range    | = v1_dQ_12 [-0.001, 0.001)                             |
| 247   |            |           | Comment  | =====  |
| 248   |            |           | Comment  | Test, ob Er hoehung die Restkapazitaet uebersteigt (1) |
| 249   |            |           | Comment  | =====  |
| 250   | v1_Rest_05 |           | Variable | = v0_QRstKap - v1_dQ_05                                |
| 251   | v1_Rest_11 |           | Variable | = v0_QRstKap - v1_dQ_11                                |
| 252   | v1_Rest_12 |           | Variable | = v0_QRstKap - v1_dQ_12                                |
| 253   | r1_dQ_05>R |           | Range    | = v1_Rest_05 [-Inf, 0.000)                             |
| 254   | r1_dQ_11>R |           | Range    | = v1_Rest_11 [-Inf, 0.000)                             |
| 255   | r1_dQ_12>R |           | Range    | = v1_Rest_12 [-Inf, 0.000)                             |
| 256   |            |           | Comment  | =====  |
| 257   |            |           | Comment  | Hebel-Steigungen fuer hoehere Stufen berechnen (1)     |
| 258   |            |           | Comment  | =====  |



| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert  |
|-------|------------|-----------|----------|---|
| 259   | v1_m_05    | (72)      | Variable | = t1_Qstp_05 - v_Q_MIN_05                       |
| 260   | v1_m_11    | (72)      | Variable | = t1_Qstp_11 - v_Q_MIN_11                       |
| 261   | v1_m_12    | (72)      | Variable | = t1_Qstp_12 - v_Q_MIN_12                       |
| 262   | v1_m_05    |           | Variable | = v1_m_05 / v_Q_Rng_05                          |
| 263   | v1_m_11    |           | Variable | = v1_m_11 / v_Q_Rng_11                          |
| 264   | v1_m_12    |           | Variable | = v1_m_12 / v_Q_Rng_12                          |
| 265   | v1_m_05    |           | Variable | = v1_m_05 / v_Ausl_05                           |
| 266   | v1_m_11    |           | Variable | = v1_m_11 / v_Ausl_11                           |
| 267   | v1_m_12    |           | Variable | = v1_m_12 / v_Ausl_12                           |
| 268   |            |           | Comment  | =====   |
| 269   |            |           | Comment  | m nicht beruecksichtigen, wenn                  |
| 270   |            |           | Comment  | - bereits hoechste Stufe erreicht oder          |
| 271   |            |           | Comment  | - naechste Stufe > Restkapazitaet               |
| 272   |            |           | Comment  | =====   |
| 273   | l1_mOk_05  |           | Logic    | = not (r1_dQ_05=0 or r1_dQ_05>R)                |
| 274   | l1_mOk_11  |           | Logic    | = not (r1_dQ_11=0 or r1_dQ_11>R)                |
| 275   | l1_mOk_12  |           | Logic    | = not (r1_dQ_12=0 or r1_dQ_12>R)                |
| 276   |            |           | Comment  | =====   |
| 277   |            |           | Comment  | kleinste Steigung ermitteln (1)                 |
| 278   |            |           | Comment  | =====   |
| 279   | v_pw_min   |           | Variable | = 0.00000                                       |
| 280   | v_m_min    | (73)      | Variable | = v_MY_INFIN                                    |
| 281   | v_tmp      |           | Variable | = v1_m_05 - v_m_min                             |
| 282   | r1_min_05  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                           |
| 283   | l1_min_05  |           | Logic    | = (r1_min_05 and l1_mOk_05)                     |
| 284   | v_m_min    |           | Variable | = if l1_min_05 then v1_m_05 else v_m_min        |
| 285   | v_pw_min   |           | Variable | = if l1_min_05 then 5.00000 else v_pw_min       |
| 286   | v_tmp      |           | Variable | = v1_m_11 - v_m_min                             |
| 287   | r1_min_11  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                           |
| 288   | l1_min_11  |           | Logic    | = (r1_min_11 and l1_mOk_11)                     |
| 289   | v_m_min    |           | Variable | = if l1_min_11 then v1_m_11 else v_m_min        |
| 290   | v_pw_min   |           | Variable | = if l1_min_11 then 11.00000 else v_pw_min      |
| 291   | v_tmp      |           | Variable | = v1_m_12 - v_m_min                             |
| 292   | r1_min_12  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                           |
| 293   | l1_min_12  |           | Logic    | = (r1_min_12 and l1_mOk_12)                     |
| 294   | v_m_min    |           | Variable | = if l1_min_12 then v1_m_12 else v_m_min        |
| 295   | v_pw_min   |           | Variable | = if l1_min_12 then 12.00000 else v_pw_min      |
| 296   |            |           | Comment  | =====   |
| 297   |            |           | Comment  | entsprechendes Pumpwerk hochschalten (1)        |
| 298   |            |           | Comment  | =====   |
| 299   | r1_pMin=05 | (75)      | Range    | = v_pw_min [5.000, 5.001)                       |
| 300   | r1_pMin=11 | (75)      | Range    | = v_pw_min [11.000, 11.001)                     |
| 301   | r1_pMin=12 | (75)      | Range    | = v_pw_min [12.000, 12.001)                     |
| 302   | v1_logi_05 |           | Variable | = if r1_pMin=05 then 1.00000 else 0.00000       |
| 303   | v1_logi_11 |           | Variable | = if r1_pMin=11 then 1.00000 else 0.00000       |
| 304   | v1_logi_12 |           | Variable | = if r1_pMin=12 then 1.00000 else 0.00000       |
| 305   |            |           | Comment  | =====   |
| 306   |            |           | Comment  | neue aktuelle Stufen (1)                        |
| 307   |            |           | Comment  | =====   |
| 308   | v_step_05  | (77)      | Variable | = if r1_pMin=05 then v_next_05 else v_step_05   |
| 309   | v_step_11  | (77)      | Variable | = if r1_pMin=11 then v_next_11 else v_step_11   |
| 310   | v_step_12  | (77)      | Variable | = if r1_pMin=12 then v_next_12 else v_step_12   |
| 311   |            |           | Comment  | =====   |
| 312   |            |           | Comment  | neue aktuelle Qs (1)                            |
| 313   |            |           | Comment  | =====   |
| 314   | v1_Qstp_05 | (76, 79)  | Variable | = if r1_pMin=05 then t1_Qstp_05 else v0_Qstp_05 |
| 315   | v1_Qstp_11 | (76, 79)  | Variable | = if r1_pMin=11 then t1_Qstp_11 else v0_Qstp_11 |
| 316   | v1_Qstp_12 | (76, 79)  | Variable | = if r1_pMin=12 then t1_Qstp_12 else v0_Qstp_12 |
| 317   |            |           | Comment  | =====   |
| 318   |            |           | Comment  | Bestimmung der Restkapazitaet (2)               |
| 319   |            |           | Comment  | =====   |
| 320   | v1_QRstKap | (83)      | Variable | = v_Q_POT_PW                                    |
| 321   | v1_QRstKap |           | Variable | = v1_QRstKap - v1_Qstp_05                       |
| 322   | v1_QRstKap |           | Variable | = v1_QRstKap - v1_Qstp_11                       |
| 323   | v1_QRstKap |           | Variable | = v1_QRstKap - v1_Qstp_12                       |
| 324   |            |           | Comment  | =====   |
| 325   |            |           | Comment  | naechsthoehere Stufen (2)                       |
| 326   |            |           | Comment  | =====   |

| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert  |
|-------|------------|-----------|----------|---|
| 327   | v_next_05  | (78)      | Variable | = v_step_05 + 1.00000                                 |
| 328   | v_next_11  | (78)      | Variable | = v_step_11 + 1.00000                                 |
| 329   | v_next_12  | (78)      | Variable | = v_step_12 + 1.00000                                 |
| 330   |            |           | Comment  | =====   |
| 331   |            |           | Comment  | naechsthoehere Qs (2)                                 |
| 332   |            |           | Comment  | =====   |
| 333   | t2_Qstp_05 | (11, 81)  | Table    | = f(v_next_05), Type: Step                            |
| 334   | t2_Qstp_11 | (11, 81)  | Table    | = f(v_next_11), Type: Step                            |
| 335   | t2_Qstp_12 | (11, 81)  | Table    | = f(v_next_12), Type: Step                            |
| 336   |            |           | Comment  | =====   |
| 337   |            |           | Comment  | Berechnung der Q-Erhoehung (2)                        |
| 338   |            |           | Comment  | =====   |
| 339   | v2_dQ_05   | (82)      | Variable | = t2_Qstp_05 - v1_Qstp_05                             |
| 340   | v2_dQ_11   | (82)      | Variable | = t2_Qstp_11 - v1_Qstp_11                             |
| 341   | v2_dQ_12   | (82)      | Variable | = t2_Qstp_12 - v1_Qstp_12                             |
| 342   | r2_dQ_05=0 |           | Range    | = v2_dQ_05 [-0.001, 0.001)                            |
| 343   | r2_dQ_11=0 |           | Range    | = v2_dQ_11 [-0.001, 0.001)                            |
| 344   | r2_dQ_12=0 |           | Range    | = v2_dQ_12 [-0.001, 0.001)                            |
| 345   |            |           | Comment  | =====   |
| 346   |            |           | Comment  | Test, ob Erhoehung die Restkapazitaet uebersteigt (2) |
| 347   |            |           | Comment  | =====   |
| 348   | v2_Rest_05 |           | Variable | = v1_QRstKap - v2_dQ_05                               |
| 349   | v2_Rest_11 |           | Variable | = v1_QRstKap - v2_dQ_11                               |
| 350   | v2_Rest_12 |           | Variable | = v1_QRstKap - v2_dQ_12                               |
| 351   | r2_dQ_05>R |           | Range    | = v2_Rest_05 [-Inf, 0.000)                            |
| 352   | r2_dQ_11>R |           | Range    | = v2_Rest_11 [-Inf, 0.000)                            |
| 353   | r2_dQ_12>R |           | Range    | = v2_Rest_12 [-Inf, 0.000)                            |
| 354   |            |           | Comment  | =====   |
| 355   |            |           | Comment  | Hebel-Steigungen fuer hoehere Stufen berechnen (2)    |
| 356   |            |           | Comment  | =====   |
| 357   | v2_m_05    | (84)      | Variable | = t2_Qstp_05 - v_Q_MIN_05                             |
| 358   | v2_m_11    | (84)      | Variable | = t2_Qstp_11 - v_Q_MIN_11                             |
| 359   | v2_m_12    | (84)      | Variable | = t2_Qstp_12 - v_Q_MIN_12                             |
| 360   | v2_m_05    |           | Variable | = v2_m_05 / v_Q_Rng_05                                |
| 361   | v2_m_11    |           | Variable | = v2_m_11 / v_Q_Rng_11                                |
| 362   | v2_m_12    |           | Variable | = v2_m_12 / v_Q_Rng_12                                |
| 363   | v2_m_05    |           | Variable | = v2_m_05 / v_Ausl_05                                 |
| 364   | v2_m_11    |           | Variable | = v2_m_11 / v_Ausl_11                                 |
| 365   | v2_m_12    |           | Variable | = v2_m_12 / v_Ausl_12                                 |
| 366   |            |           | Comment  | =====   |
| 367   |            |           | Comment  | m nicht beruecksichtigen, wenn                        |
| 368   |            |           | Comment  | - bereits hoechste Stufe erreicht oder                |
| 369   |            |           | Comment  | - naechste Stufe > Restkapazitaet                     |
| 370   |            |           | Comment  | =====   |
| 371   | l2_mOk_05  |           | Logic    | = not (r2_dQ_05=0 or r2_dQ_05>R)                      |
| 372   | l2_mOk_11  |           | Logic    | = not (r2_dQ_11=0 or r2_dQ_11>R)                      |
| 373   | l2_mOk_12  |           | Logic    | = not (r2_dQ_12=0 or r2_dQ_12>R)                      |
| 374   |            |           | Comment  | =====   |
| 375   |            |           | Comment  | kleinste Steigung ermitteln (2)                       |
| 376   |            |           | Comment  | =====   |
| 377   | v_pw_min   |           | Variable | = 0.00000   |
| 378   | v_m_min    | (85)      | Variable | = v_MY_INFIN  |
| 379   | v_tmp      |           | Variable | = v2_m_05 - v_m_min                                   |
| 380   | r2_min_05  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                                 |
| 381   | l2_min_05  |           | Logic    | = (r2_min_05 and l2_mOk_05)                           |
| 382   | v_m_min    |           | Variable | = if l2_min_05 then v2_m_05 else v_m_min              |
| 383   | v_pw_min   |           | Variable | = if l2_min_05 then 5.00000 else v_pw_min             |
| 384   | v_tmp      |           | Variable | = v2_m_11 - v_m_min                                   |
| 385   | r2_min_11  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                                 |
| 386   | l2_min_11  |           | Logic    | = (r2_min_11 and l2_mOk_11)                           |
| 387   | v_m_min    |           | Variable | = if l2_min_11 then v2_m_11 else v_m_min              |
| 388   | v_pw_min   |           | Variable | = if l2_min_11 then 11.00000 else v_pw_min            |
| 389   | v_tmp      |           | Variable | = v2_m_12 - v_m_min                                   |
| 390   | r2_min_12  |           | Range    | = v_tmp [-Inf, 0.000)                                 |
| 391   | l2_min_12  |           | Logic    | = (r2_min_12 and l2_mOk_12)                           |
| 392   | v_m_min    |           | Variable | = if l2_min_12 then v2_m_12 else v_m_min              |
| 393   | v_pw_min   |           | Variable | = if l2_min_12 then 12.00000 else v_pw_min            |
| 394   |            |           | Comment  | =====   |



| Zeile | Name       | (Var.-ID) | Typ      | Wert   |
|-------|------------|-----------|----------|--|
| 395   |            |           | Comment  | entsprechendes Pumpwerk hochschalten (2)                           |
| 396   |            |           | Comment  | =====  |
| 397   | r2_pMin=05 | (87)      | Range    | = v_pw_min [5.000, 5.001)  |
| 398   | r2_pMin=11 | (87)      | Range    | = v_pw_min [11.000, 11.001)  |
| 399   | r2_pMin=12 | (87)      | Range    | = v_pw_min [12.000, 12.001)  |
| 400   | v2_logi_05 |           | Variable | = if r2_pMin=05 then 1.00000 else 0.00000                          |
| 401   | v2_logi_11 |           | Variable | = if r2_pMin=11 then 1.00000 else 0.00000                          |
| 402   | v2_logi_12 |           | Variable | = if r2_pMin=12 then 1.00000 else 0.00000                          |
| 403   |            |           | Comment  | =====  |
| 404   |            |           | Comment  | neue aktuelle Stufen (2)   |
| 405   |            |           | Comment  | =====  |
| 406   | v_step_05  | (89)      | Variable | = if r2_pMin=05 then v_next_05 else v_step_05                      |
| 407   | v_step_11  | (89)      | Variable | = if r2_pMin=11 then v_next_11 else v_step_11                      |
| 408   | v_step_12  | (89)      | Variable | = if r2_pMin=12 then v_next_12 else v_step_12                      |
| 409   |            |           | Comment  | =====  |
| 410   |            |           | Comment  | neue aktuelle Qs (2)   |
| 411   |            |           | Comment  | =====  |
| 412   | v2_Qstp_05 | (88, 91)  | Variable | = if r2_pMin=05 then t2_Qstp_05 else v1_Qstp_05                    |
| 413   | v2_Qstp_11 | (88, 91)  | Variable | = if r2_pMin=11 then t2_Qstp_11 else v1_Qstp_11                    |
| 414   | v2_Qstp_12 | (88, 91)  | Variable | = if r2_pMin=12 then t2_Qstp_12 else v1_Qstp_12                    |
| 415   |            |           | Comment  | =====  |
| 416   |            |           | Comment  | Globale oder lokale Steuerung (Automatik)?                         |
| 417   |            |           | Comment  | =====  |
| 418   |            |           | Comment  | === Qstep <= Qwbe? ===   |
| 419   | v_tmp      |           | Variable | = v_Q_WBE_05 - v2_Qstp_05  |
| 420   | r_Q<=WBE05 |           | Range    | = v_tmp [0.000, +Inf)  |
| 421   | v_tmp      |           | Variable | = v_Q_WBE_11 - v2_Qstp_11  |
| 422   | r_Q<=WBE11 |           | Range    | = v_tmp [0.000, +Inf)  |
| 423   | v_tmp      |           | Variable | = v_Q_WBE_12 - v2_Qstp_12  |
| 424   | r_Q<=WBE12 |           | Range    | = v_tmp [0.000, +Inf)  |
| 425   |            |           | Comment  | === Pegel >= EVA-EIN-Pegel ODER Qstep <= Qwbe? Ja --> Qstep ok === |
| 426   | l_glob__05 |           | Logic    | = (r_HConG_05 or r_Q<=WBE05)                                       |
| 427   | l_glob__11 |           | Logic    | = (r_HConG_11 or r_Q<=WBE11)                                       |
| 428   | l_glob__12 |           | Logic    | = (r_HConG_12 or r_Q<=WBE12)                                       |
| 429   |            |           | Comment  | === Zusaeztlich muss EVA ueberhaupt aktiv sein ===                 |
| 430   | l_glob_05  |           | Logic    | = (l_glob__05 and r_stateOn)                                       |
| 431   | l_glob_11  |           | Logic    | = (l_glob__11 and r_stateOn)                                       |
| 432   | l_glob_12  |           | Logic    | = (l_glob__12 and r_stateOn)                                       |
| 433   |            |           | Comment  | =====  |

## Anhang 5 –Modellparameter für die nach dem EVA-Test simulierten Niederschlagsereignisse und Bewertung der Kalibrierung

### Modellparameter

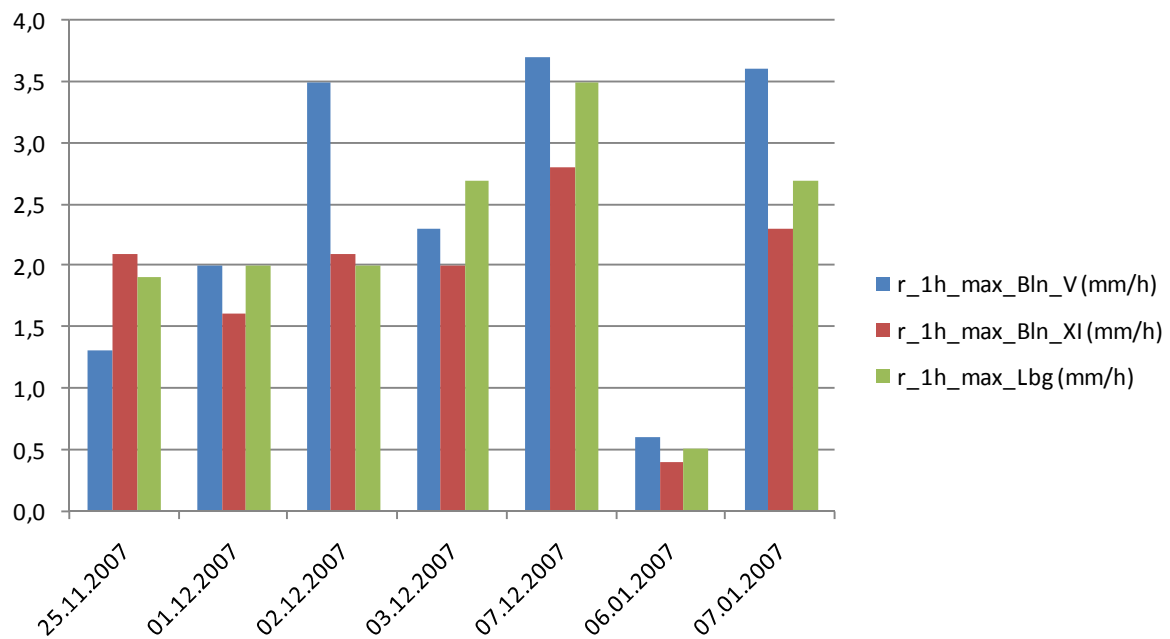
| Ereignis   | EZG     |      | Runoff routing value | Fixed runoff coefficient | Initial loss value |
|------------|---------|------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| 01.12.2007 | Bln V   |      | 1,00                 | 0,675                    | 0,000005           |
|            | Bln XI  | XI   | 1,00                 | 0,90                     | 0,000007           |
|            |         | Xia  | 5,00                 | 0,90                     | 0,000007           |
|            | Bln XII | Nord | 1,50                 | 0,68                     | 0,00003            |
| Süd        |         | 1,75 | 0,60                 | 0,00001                  |                    |
| 02.12.2007 | Bln V   |      | 1,00                 | 0,575                    | 0,00002            |
|            | Bln XI  | XI   | 1,00                 | 0,90                     | 0,000018           |
|            |         | Xia  | 10,0                 | 0,70                     | 0,000008           |
|            | Bln XII | Nord | 1,25                 | 0,65                     | 0,00005            |
| Süd        |         | 1,25 | 0,55                 | 0,00002                  |                    |
| 03.12.2007 | Bln V   |      | 2,00                 | 0,75                     | 0,000002           |
|            | Bln XI  | XI   | 0,50                 | 0,75                     | 0,000008           |
|            |         | Xia  | 1,00                 | 0,65                     | 0,000008           |
|            | Bln XII | Nord | 2,00                 | 0,63                     | 0,000005           |
| Süd        |         | 2,00 | 0,55                 | 0,000002                 |                    |
| 07.12.2007 | Bln V   |      | 2,00                 | 0,64                     | 0,000005           |
|            | Bln XI  | XI   | 3,00                 | 0,80                     | 0,000007           |
|            |         | Xia  | 5,00                 | 0,90                     | 0,000007           |
|            | Bln XII | Nord | 2,00                 | 0,70                     | 0,000007           |
| Süd        |         | 1,75 | 0,60                 | 0,000007                 |                    |
| 07.01.2008 | Bln V   |      | 2,50                 | 0,573                    | 0,000005           |
|            | Bln XI  | XI   | 3,00                 | 0,90                     | 0,000007           |
|            |         | Xia  | 10,0                 | 0,90                     | 0,000007           |
|            | Bln XII | Nord | 1,50                 | 0,56                     | 0,000007           |
| Süd        |         | 1,75 | 0,50                 | 0,000007                 |                    |

Bewertung der Kalibrierung (Vergleich zwischen simulierter und gemessener Wasserstandsganglinie mittels der Gütemaße DEVS, DEVM, STAN)

| Ereignis   | EZG     | DEVS                 | DEVM             | STAN              |
|------------|---------|----------------------|------------------|-------------------|
| 01.12.2007 | Bln V   | sehr gut<br>2.69     | sehr gut<br>2.74 | schlecht          |
|            | Bln XI  | gut<br>3.48          | sehr gut<br>3.58 | sehr gut<br>0.97  |
|            | Bln XII | sehr gut<br>0.55     | sehr gut<br>0.55 | sehr gut<br>0.95  |
| 02.12.2007 | Bln V   | gut<br>3.71          | sehr gut<br>3.77 | schlecht<br>-8.55 |
|            | Bln XI  | sehr gut<br>2.62     | sehr gut<br>2.74 | sehr gut<br>0.96  |
|            | Bln XII | sehr gut<br>0.55     | sehr gut<br>0.56 | sehr gut<br>0.98  |
| 03.12.2007 | Bln V   | sehr gut<br>0.29     | sehr gut<br>0.29 | brauchbar<br>0.63 |
|            | Bln XI  | sehr gut/gut<br>3.31 | sehr gut<br>3.46 | sehr gut<br>0.98  |
|            | Bln XII | sehr gut<br>0.20     | sehr gut<br>0.20 | sehr gut<br>1.00  |
| 07.12.2007 | Bln V   | sehr gut<br>0.84     | sehr gut<br>0.86 | sehr gut<br>0.91  |
|            | Bln XI  | sehr gut<br>1.62     | sehr gut<br>1.71 | sehr gut<br>0.99  |
|            | Bln XII | sehr gut<br>1.38     | sehr gut<br>1.40 | sehr gut<br>0.84  |
| 07.01.2008 | Bln V   | sehr gut<br>0.60     | sehr gut<br>0.61 | sehr gut<br>0.94  |
|            | Bln XI  | sehr gut/gut<br>3.47 | sehr gut<br>3.59 | sehr gut<br>0.98  |
|            | Bln XII | sehr gut<br>0.08     | sehr gut<br>0.08 | sehr gut<br>1.00  |

## Anhang 6 – Maximale stündliche Niederschlagsintensitäten der bewerteten Ereignisse

| N-Ereignis | r_1h_max_Bln_V (mm/h) | r_1h_max_Bln_XI (mm/h) | r_1h_max_Lbg (mm/h) |
|------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| 25.11.2007 | 1,3                   | 2,1                    | 1,9                 |
| 01.12.2007 | 2,0                   | 1,6                    | 2,0                 |
| 02.12.2007 | 3,5                   | 2,1                    | 2,0                 |
| 03.12.2007 | 2,3                   | 2,0                    | 2,7                 |
| 07.12.2007 | 3,7                   | 2,8                    | 3,5                 |
| 06.01.2007 | 0,6                   | 0,4                    | 0,5                 |
| 07.01.2007 | 3,6                   | 2,3                    | 2,7                 |



## Anhang 7 – Darstellung der Ganglinien und Mischwasserüberlaufmengen für die drei Szenarien der EVA-Bewertung

### Ereignis 01.12.2007

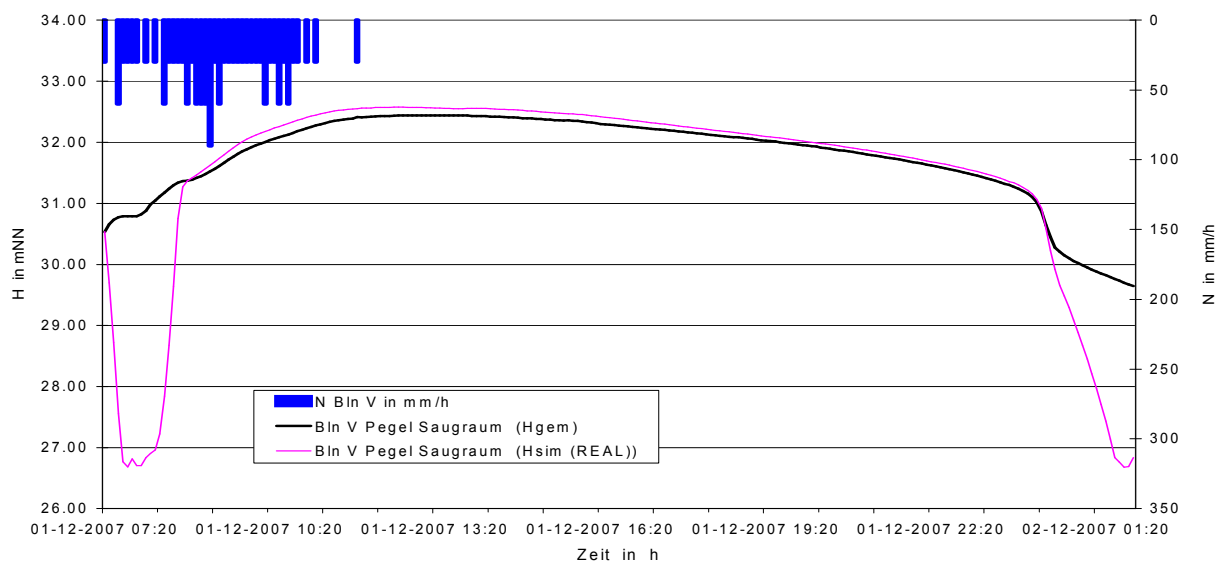


Bild A7.1 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am HPw Bln V für das Regenereignis vom 01.12.2007

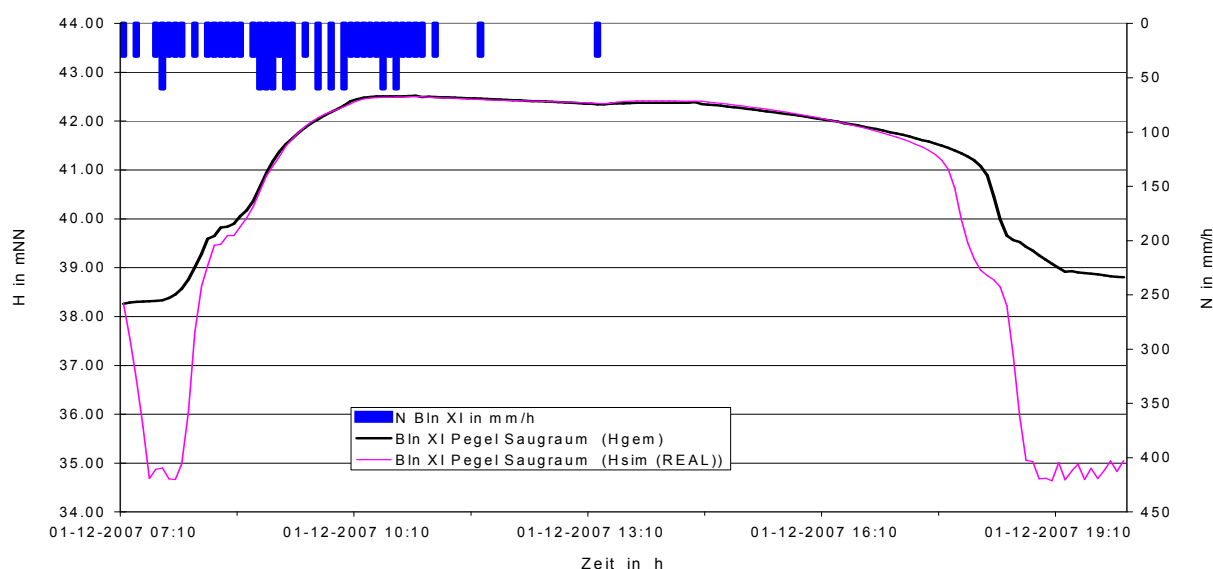


Bild A7.2 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XI für das Regenereignis vom 01.12.2007

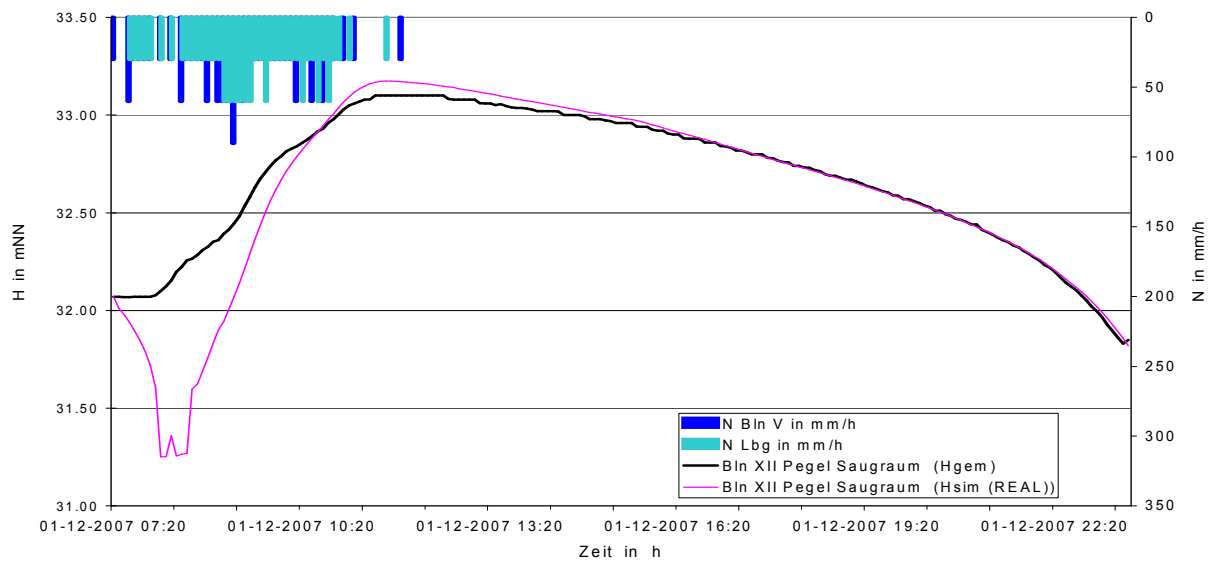


Bild A7.3 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XII für das Regenereignis vom 01.12.2007

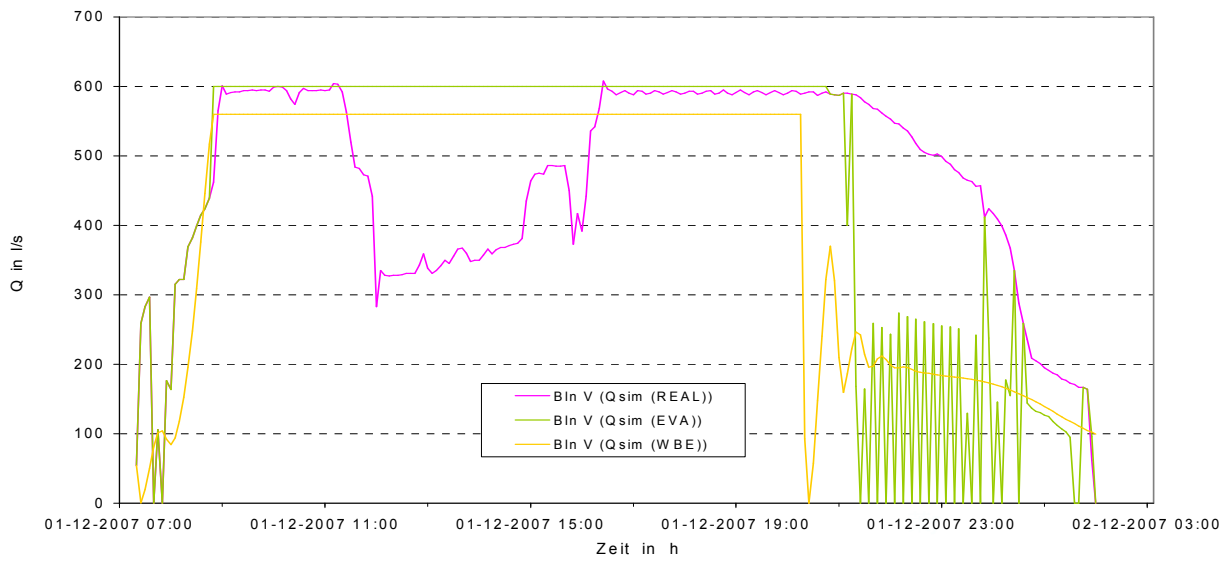


Bild A7.4 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am HPw Bln V für das Regenereignis vom 01.12.2007

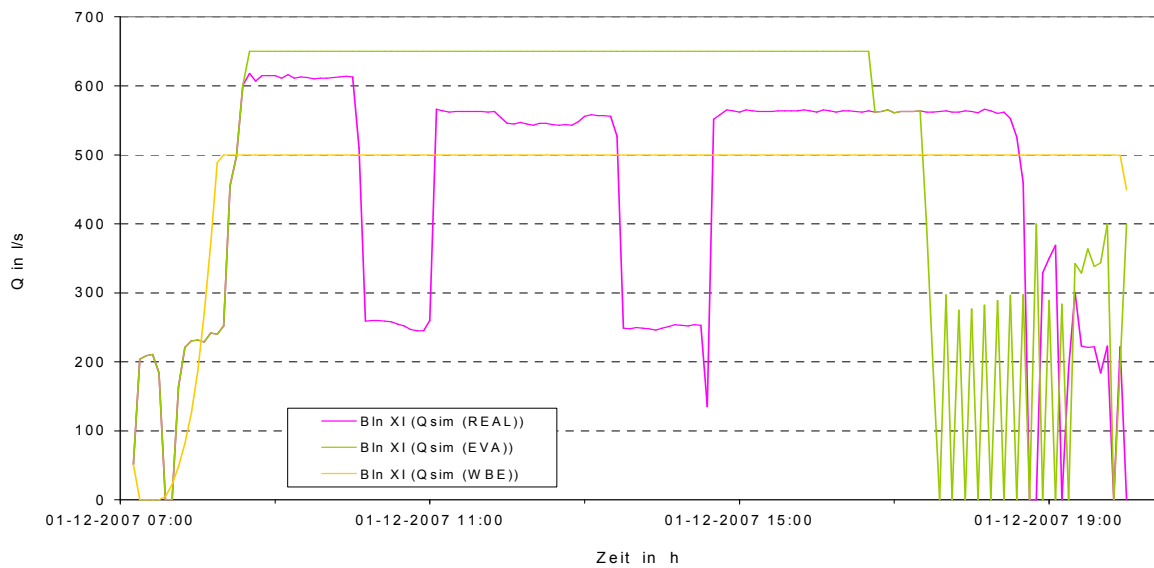


Bild A7.5 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw Bln XI für das Regenereignis vom 01.12.2007

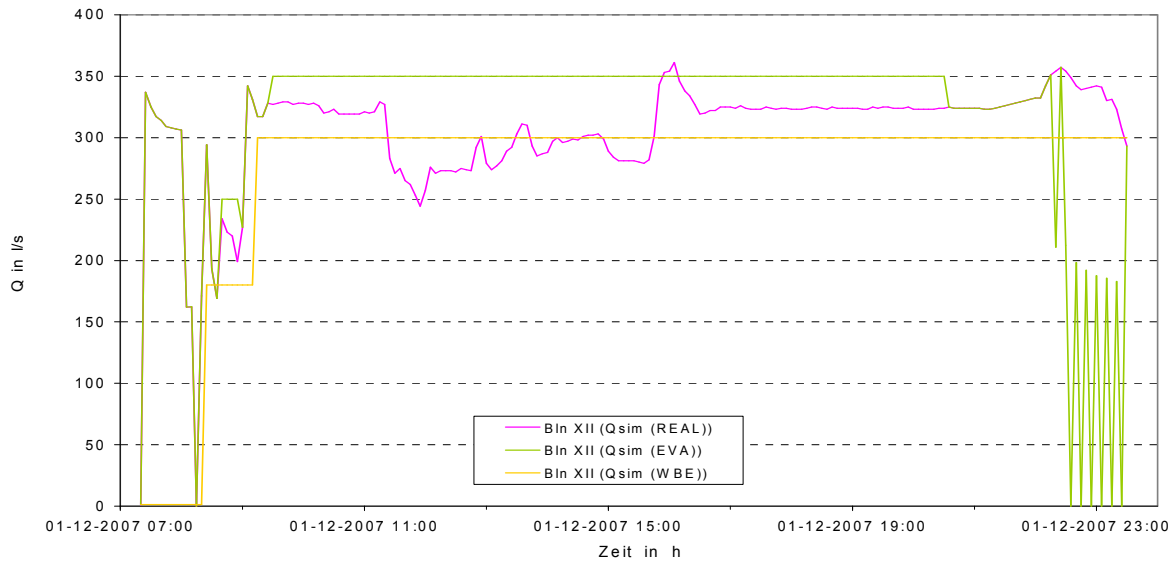


Bild A7.6 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in  $l/s$  am APw BIn XII für das Regenereignis vom 01.12.2007



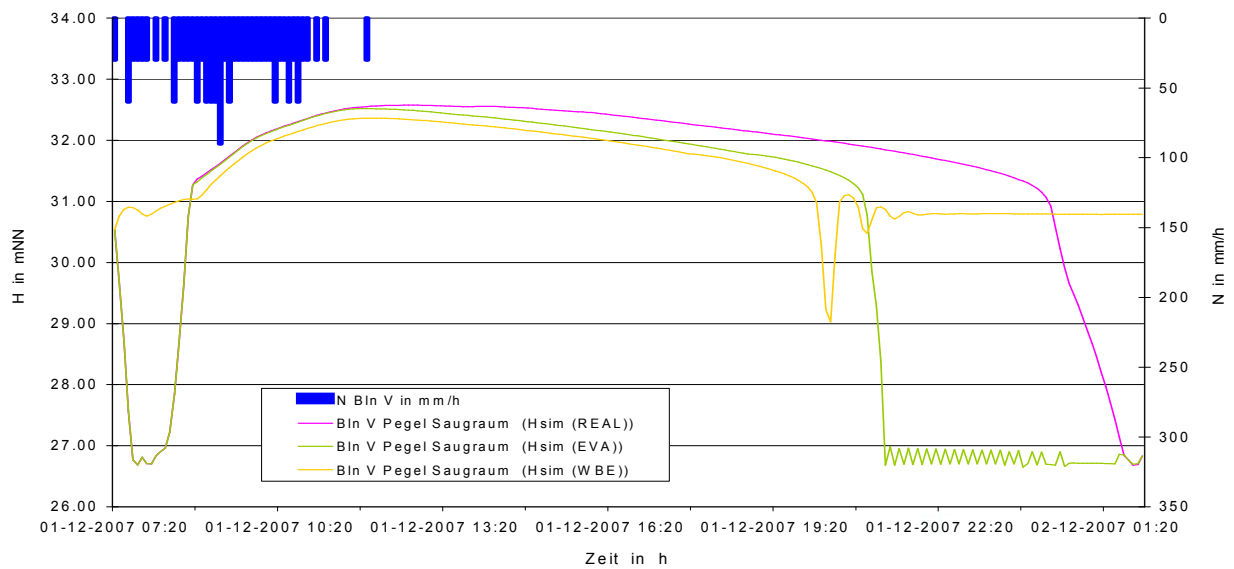


Bild A7.7 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des HPw Bln V für das Regenereignis vom 01.12.2007

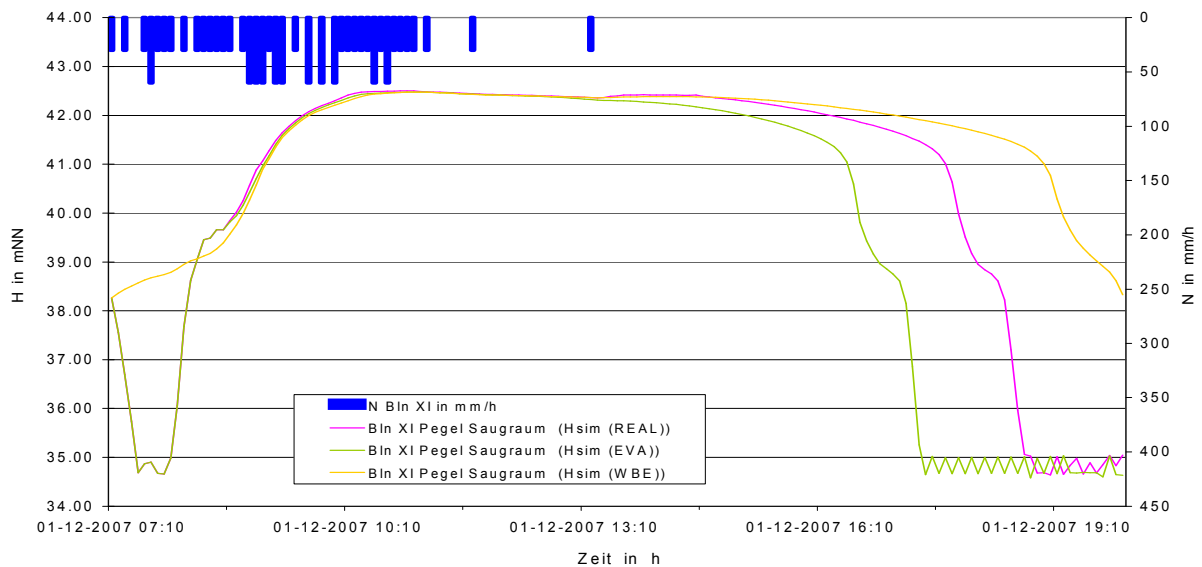


Bild A7.8 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XI für das Regenereignis vom 01.12.2007

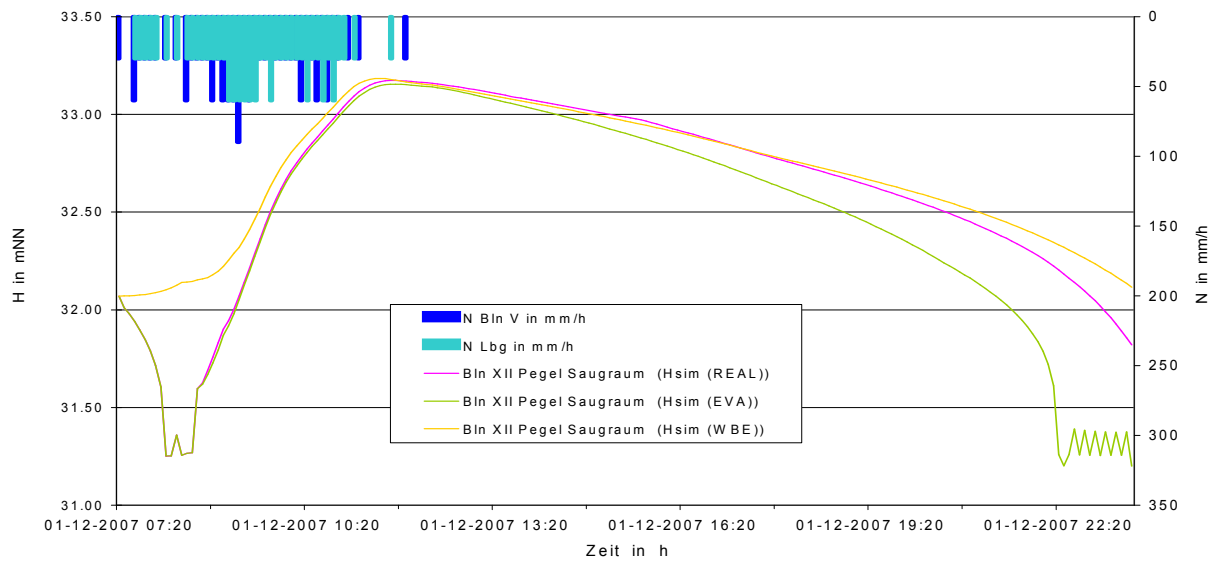
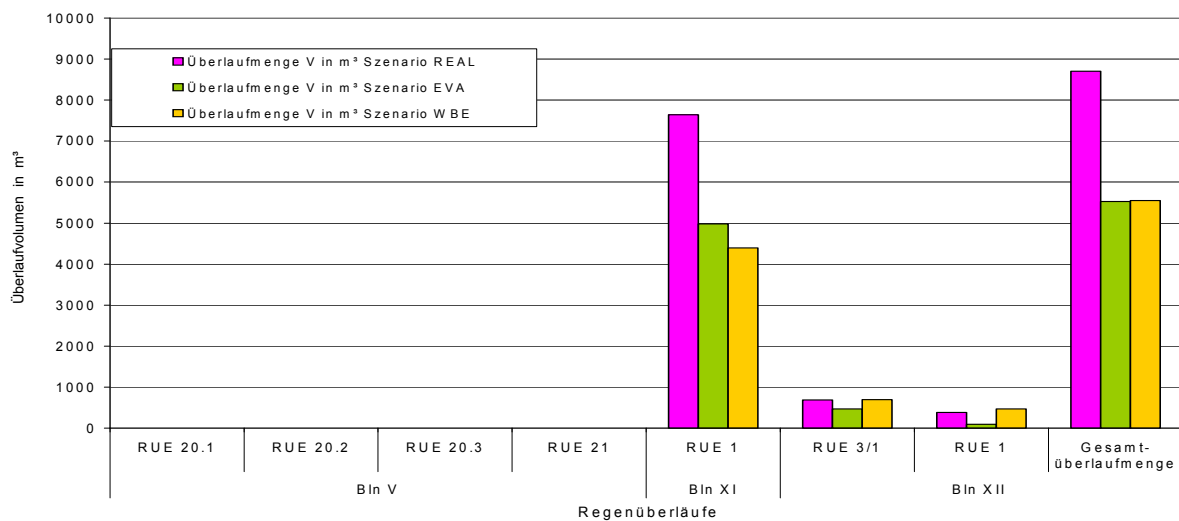


Bild A7.9 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XII für das Regenereignis vom 01.12.2007

Tabelle A7.1 Simulierte Regenüberlaufmengen in m<sup>3</sup> (Szenarien REAL, EVA, WBE) an ausgewählten Regenüberläufen der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI, Bln XII für das Regenereignis vom 01.12.2007

| EZG     | Regen-Überlauf            | Überlaufmenge simuliert Szenario REAL (m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge simuliert Szenario EVA (m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge simuliert Szenario WBE (m <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------|---|--|--|
| Bln V   | RUE 20.1                  | 0   | 0  | 0  |
|         | RUE 20.2                  | 0   | 0  | 0  |
|         | RUE 20.3                  | 0   | 0  | 0  |
|         | RUE 21                    | 0   | 0  | 0  |
| Bln XI  | RUE 1                     | 7642  | 4977   | 4390   |
| Bln XII | RUE 1                     | 686   | 463  | 690  |
|         | RUE 3/1                   | 381   | 89   | 468  |
|         | Gesamtregen-überlaufmenge | 8709  | 5528   | 5548   |



## Ereignis 02.12.2007

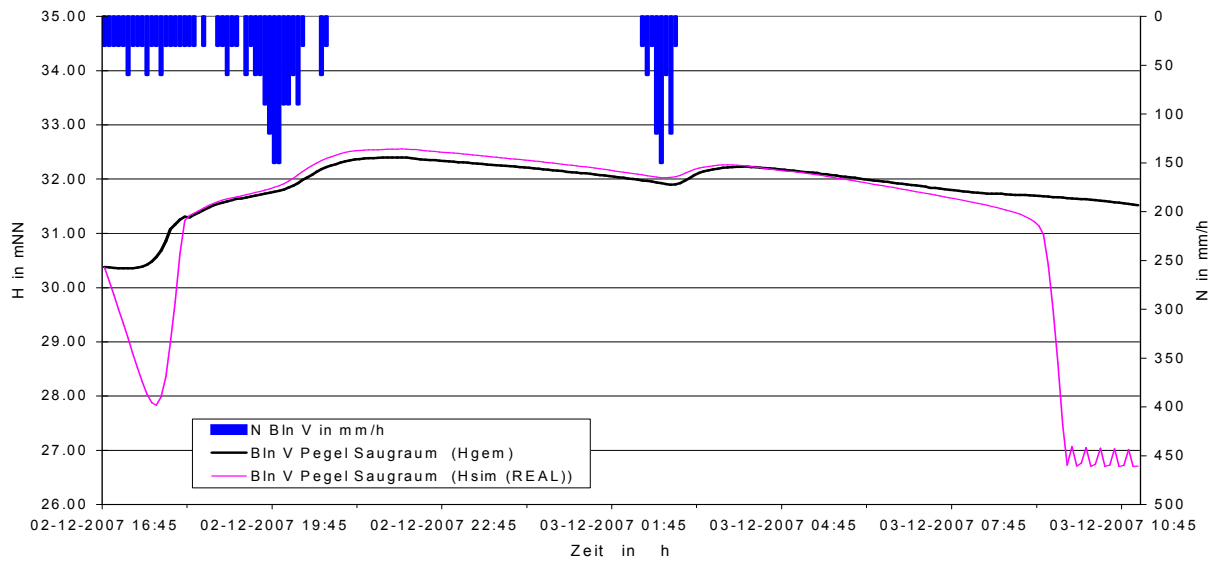


Bild A7.10 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am HPw Bln V für das Regenereignis vom 02.12.2007

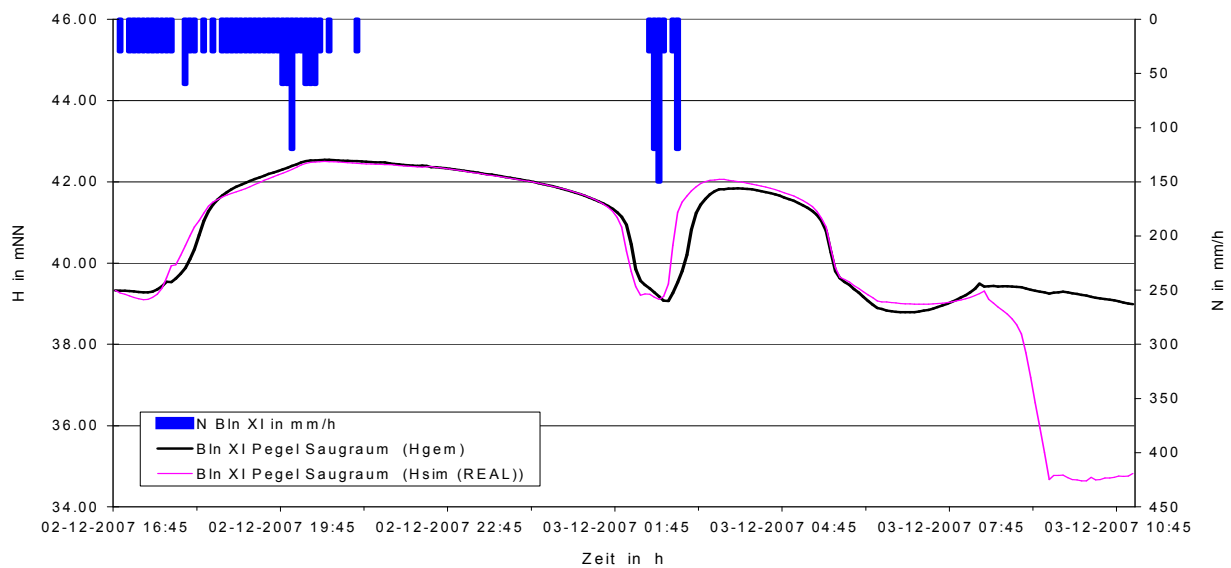


Bild A7.11 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XI für das Regenereignis vom 02.12.2007

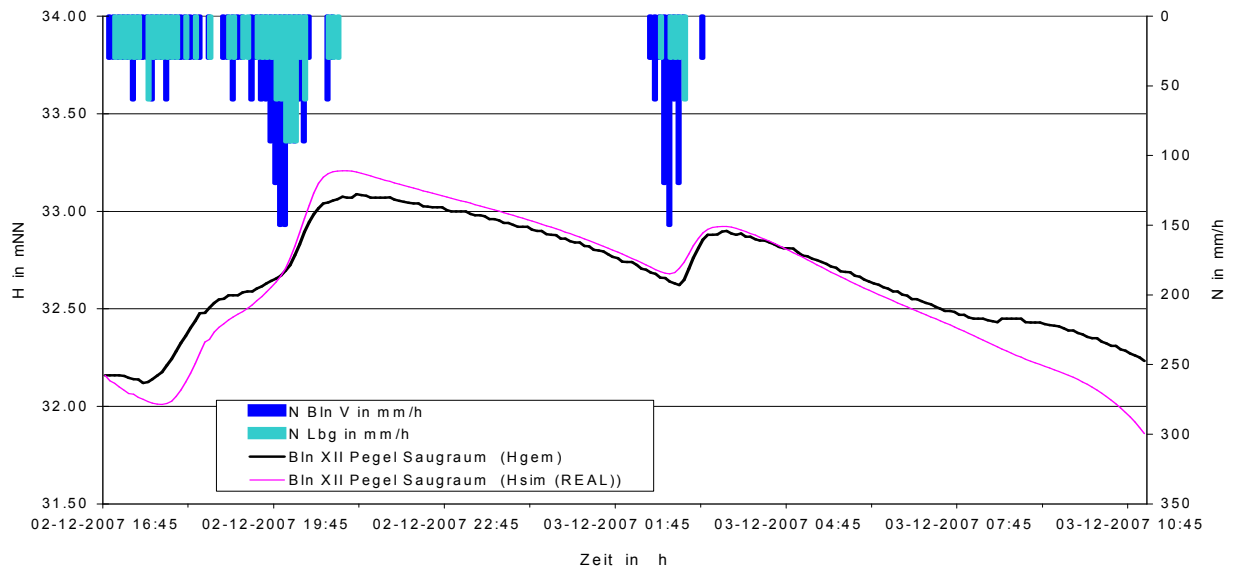


Bild A7.12 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XII für das Regenereignis vom 02.12.2007

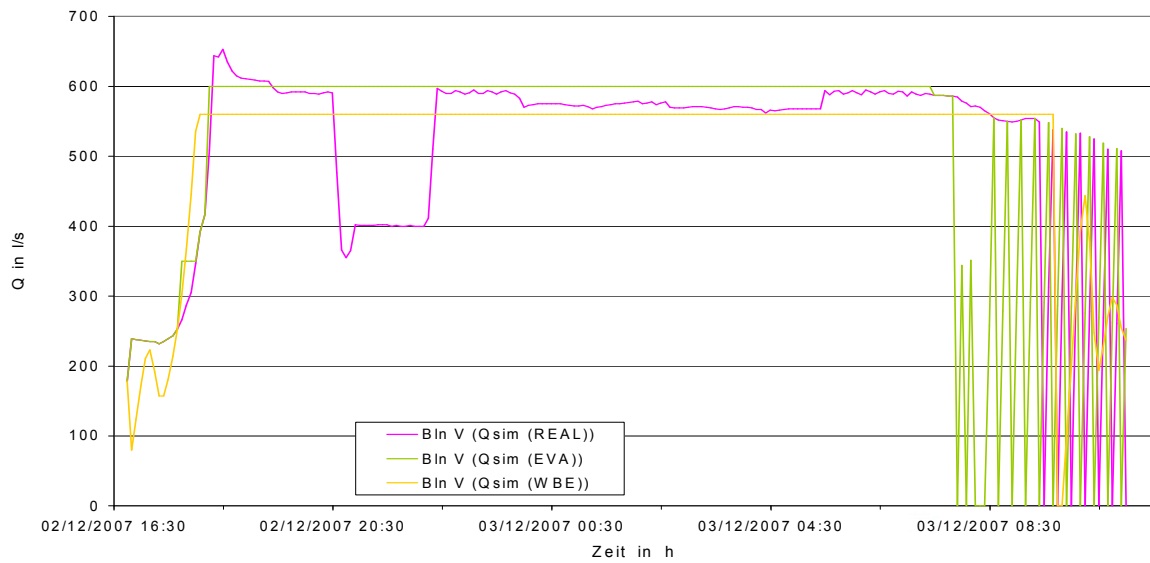


Bild A7.13 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am HPw Bln V für das Regenereignis vom 02.12.2007

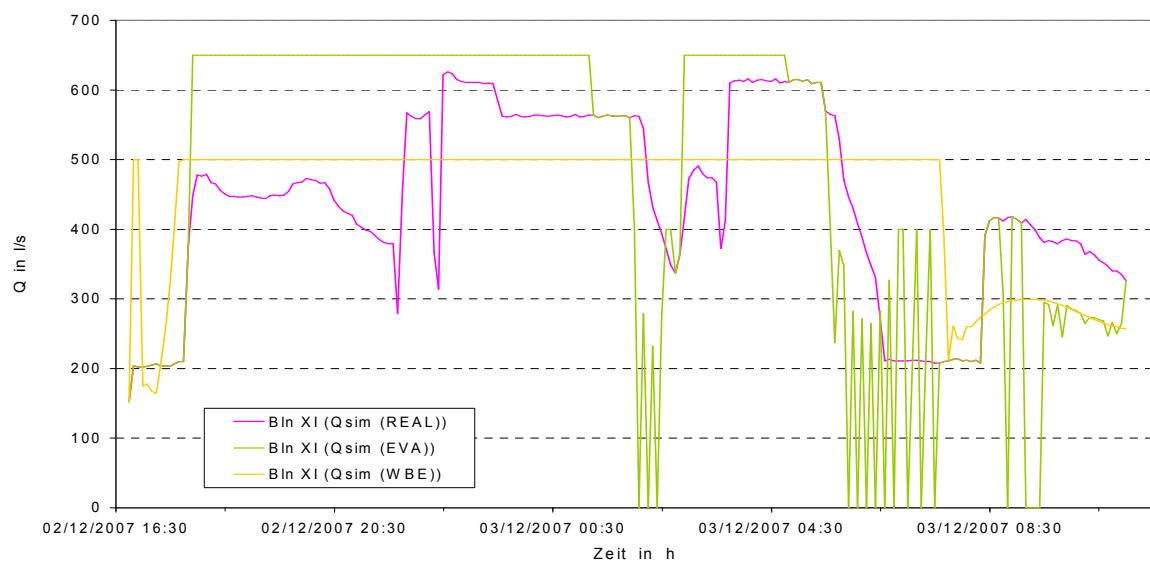


Bild A7.14 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw Bln XI für das Regenereignis vom 02.12.2007

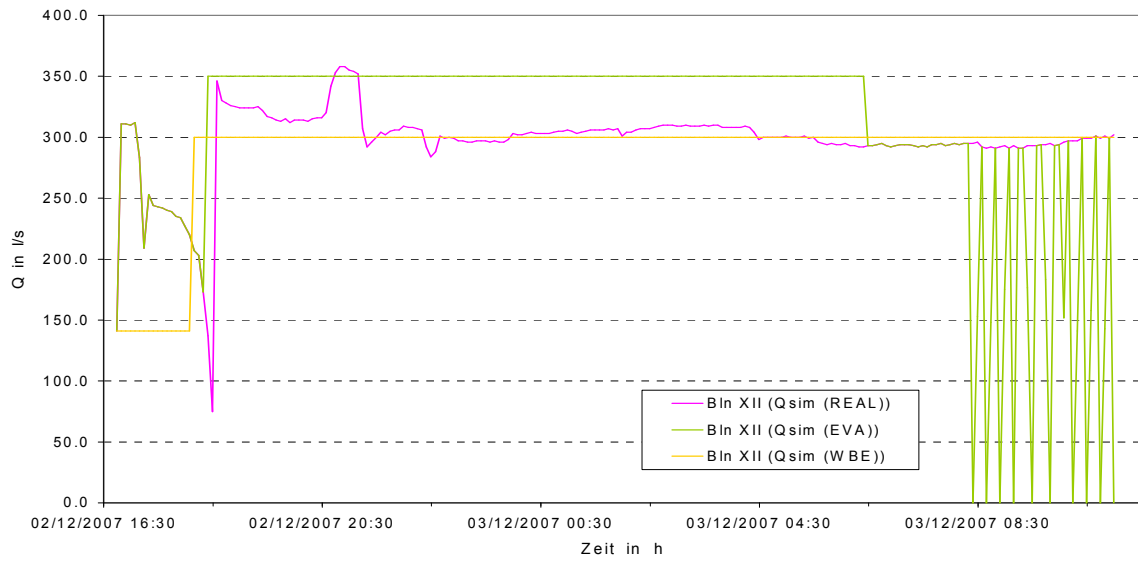


Bild A7.15 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in  $l/s$  am APw BIn XII für das Regenereignis vom 02.12.2007

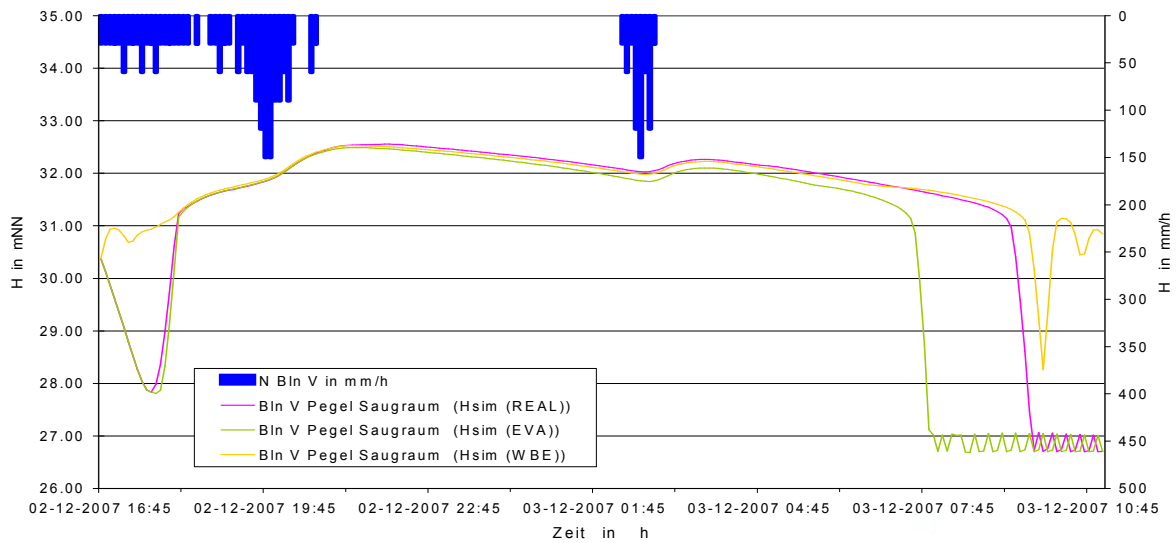


Bild A7.16 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des HPw Bln V für das Regenereignis vom 02.12.2007

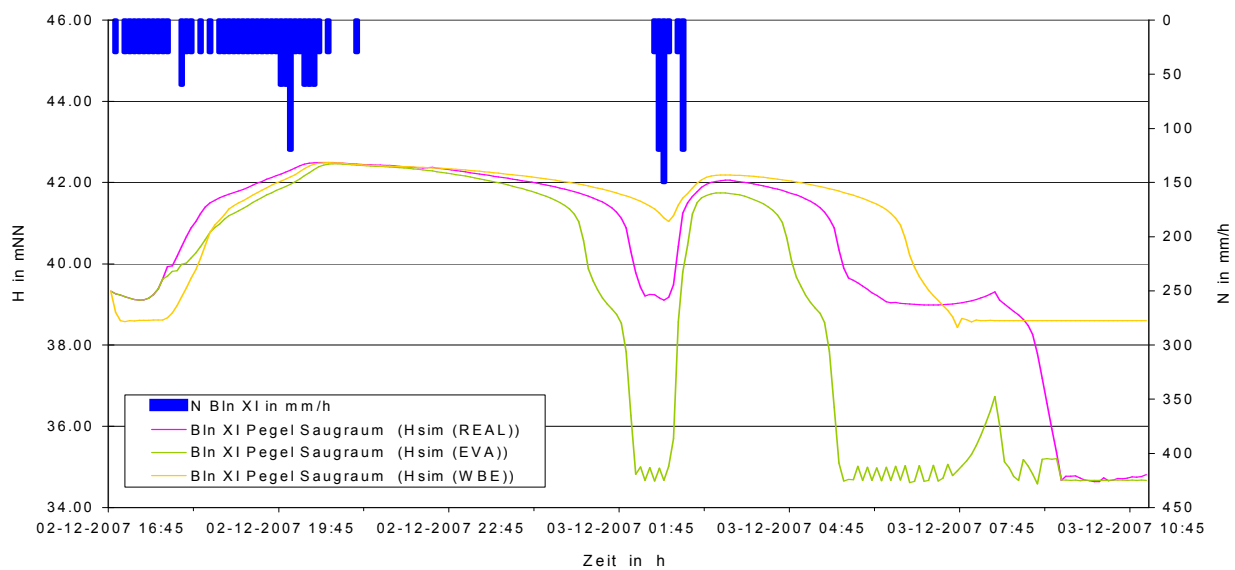


Bild A7.17 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XI für das Regenereignis vom 02.12.2007



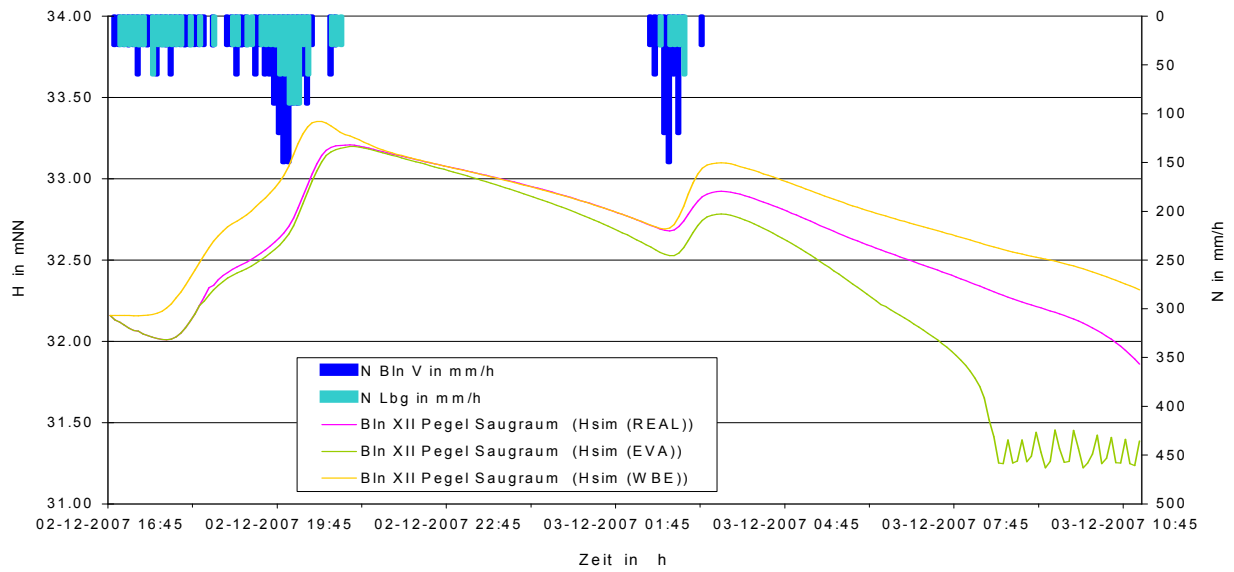
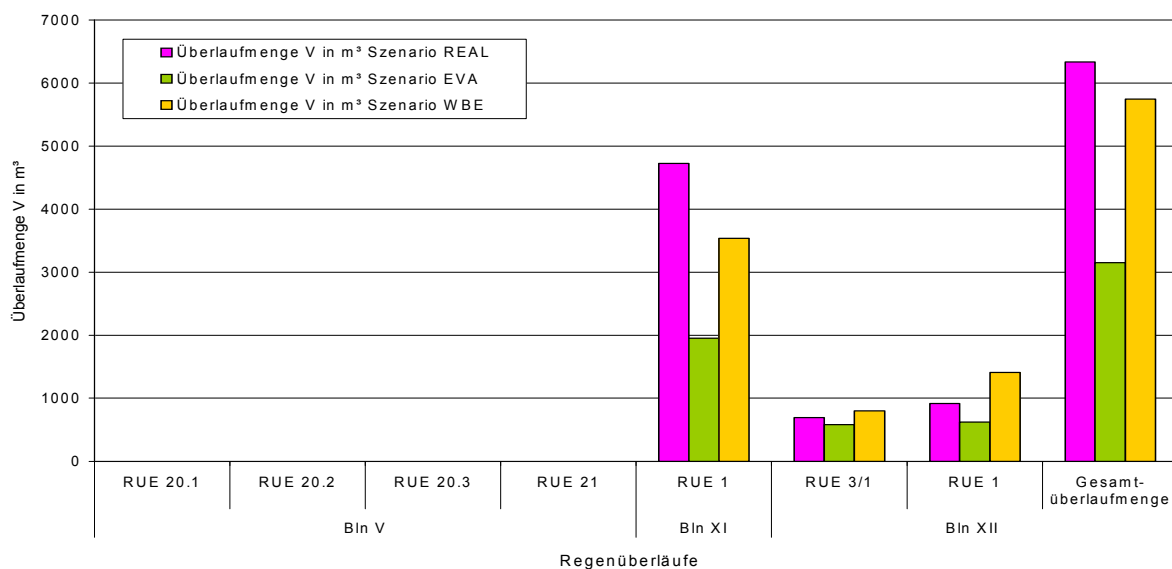


Bild A7.18 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XII für das Regenereignis vom 02.12.2007

Tabelle A7.2 Simulierte Regenüberlaufmengen in m<sup>3</sup> (Szenarien REAL, EVA, WBE) an ausgewählten Regenüberläufen der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI, Bln XII für das Regenereignis vom 02.12.2007

| EZG     | Regen-<br>überlauf                 | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario REAL<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario EVA<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario WBE<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------------------------|--|---|---|
| Bln V   | RUE 20.1                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 20.2                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 20.3                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 21                             | 0  | 0   | 0   |
| Bln XI  | RUE 1                              | 4723   | 1950  | 3539  |
| Bln XII | RUE 1                              | 693  | 579   | 798   |
|         | RUE 3/1                            | 920  | 624   | 1409  |
|         | Gesamtregen-<br>überlauf-<br>menge | 6336   | 3152  | 5747  |



### Ereignis 03.12.2007

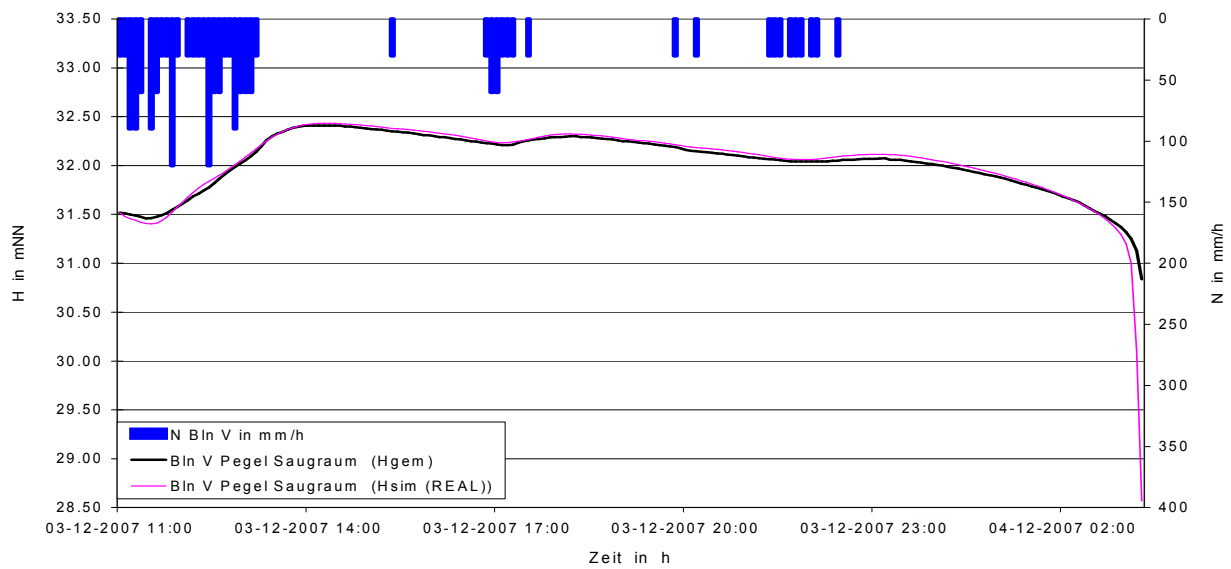


Bild A7.19 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am HPw Bln V für das Regenereignis vom 03.12.2007

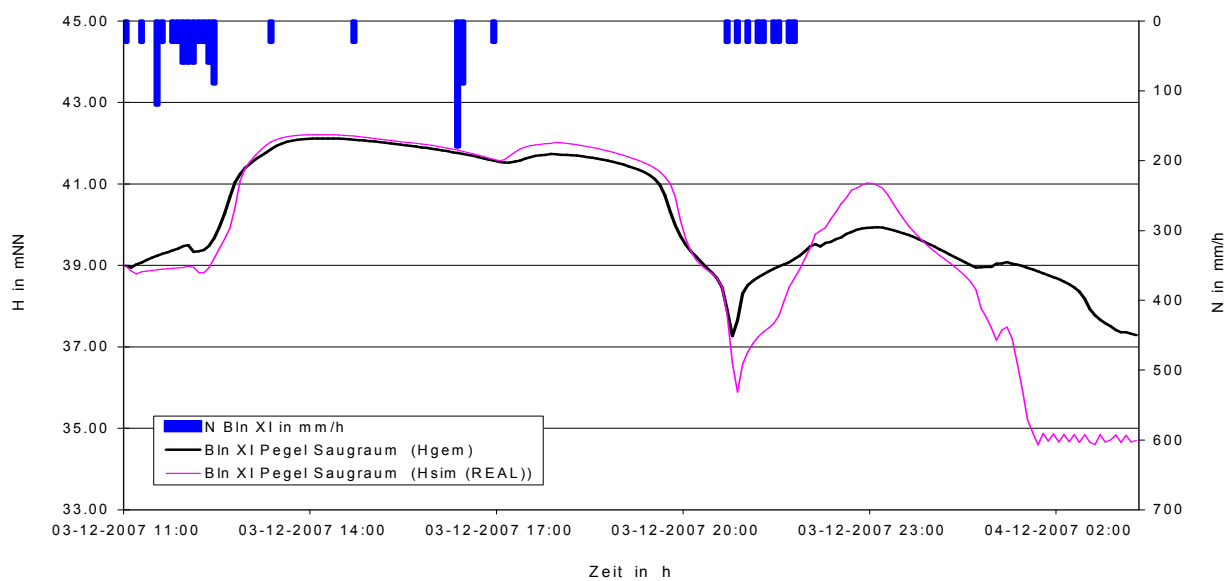


Bild A7.20 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XI für das Regenereignis vom 03.12.2007

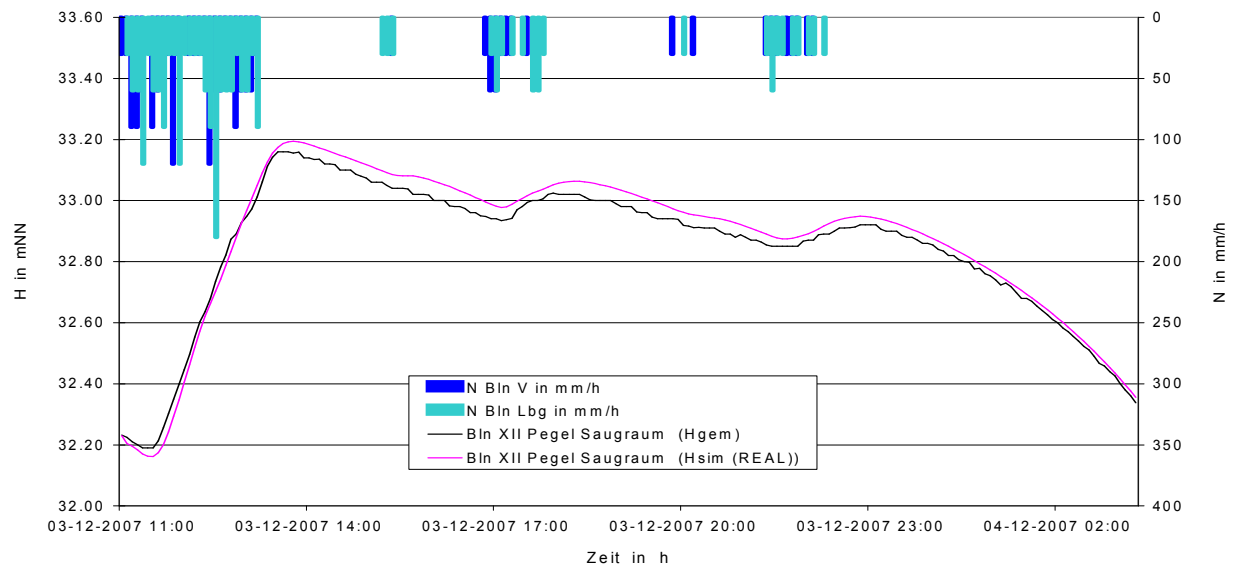


Bild A7.21 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XII für das Regenereignis vom 03.12.2007

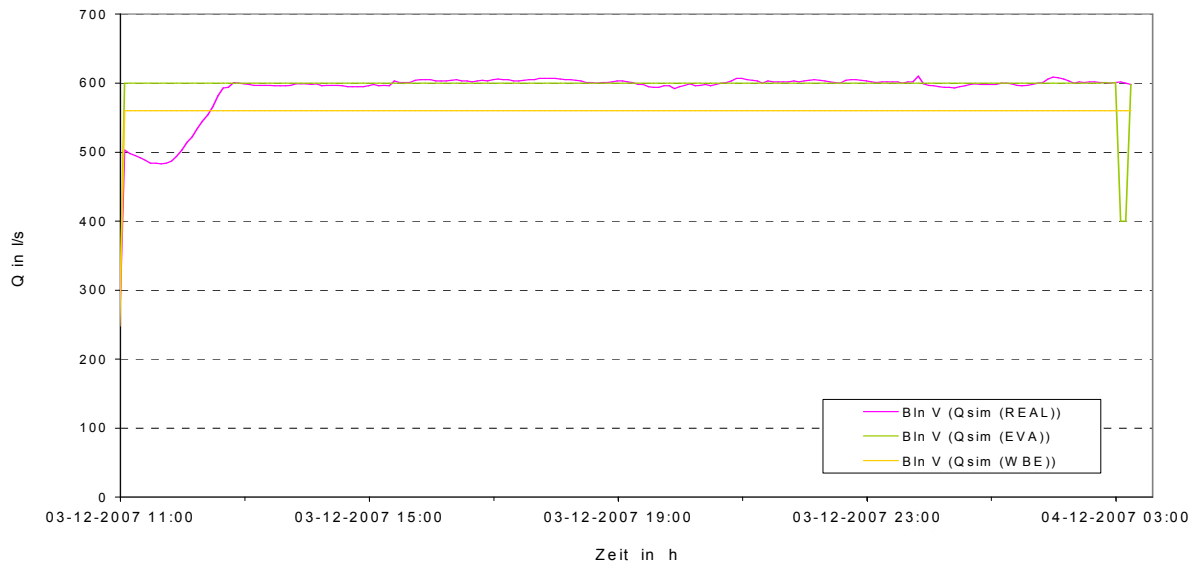


Bild A7.22 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am HPw Bln V für das Regenereignis vom 03.12.2007

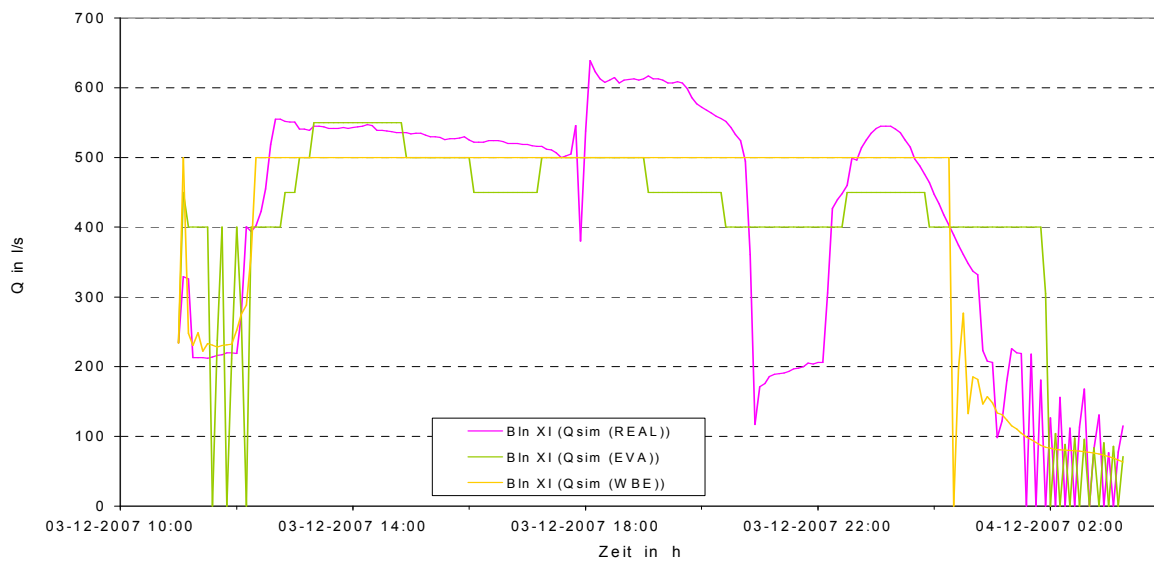


Bild A7.23 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw Bln XI für das Regenereignis vom 03.12.2007

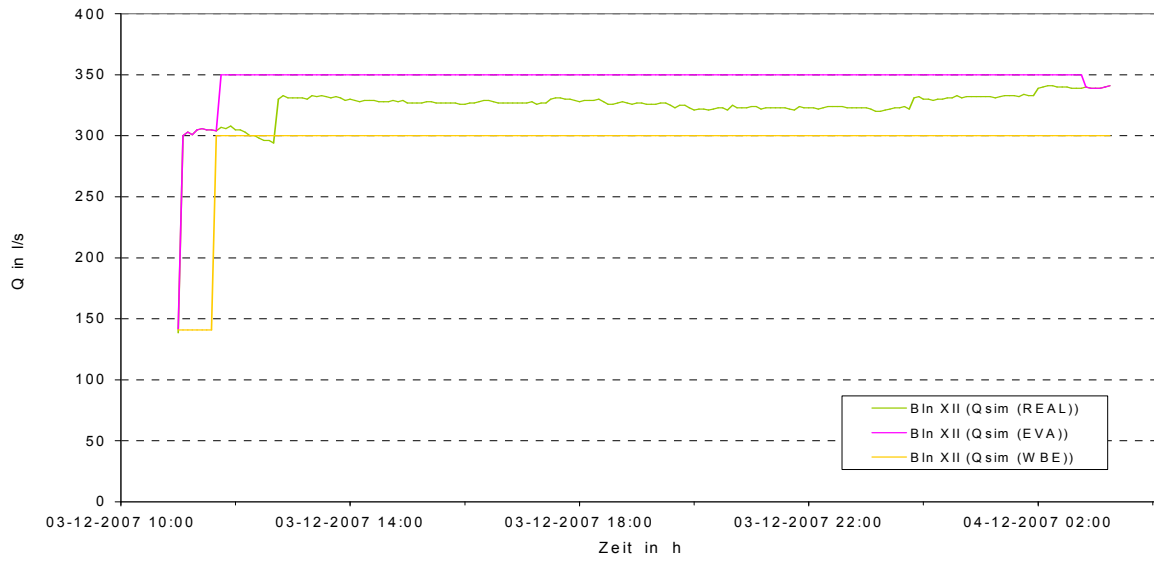


Bild A7.24 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in  $l/s$  am APw BIn XII für das Regenereignis vom 03.12.2007

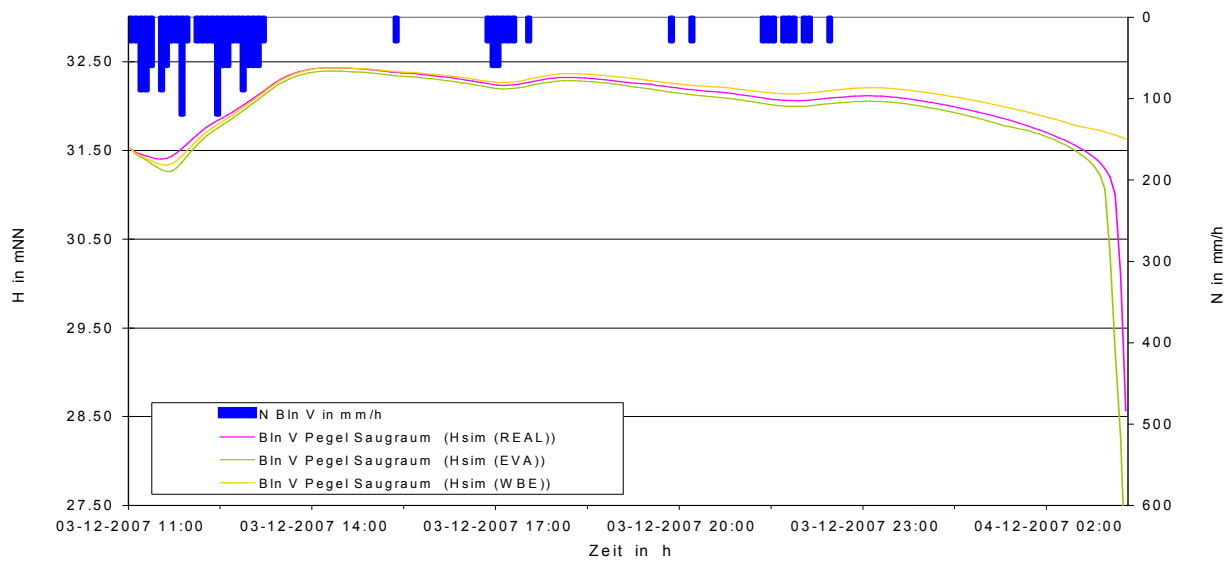


Bild A7.25 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des HPw Bln V für das Regenereignis vom 03.12.2007

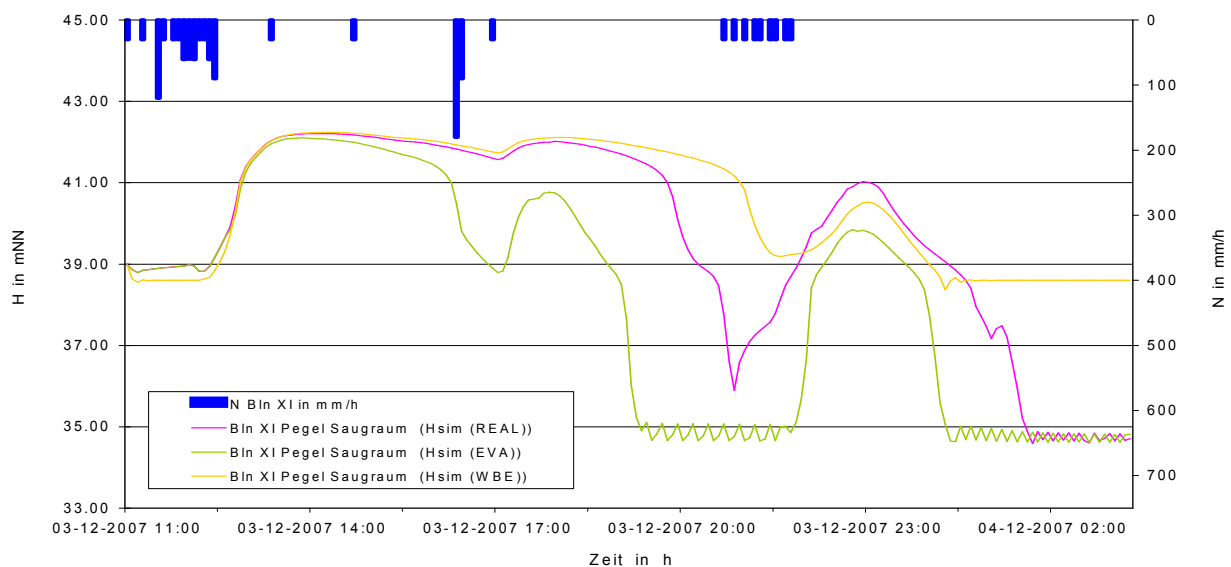


Bild A7.26 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XI für das Regenereignis vom 03.12.2007

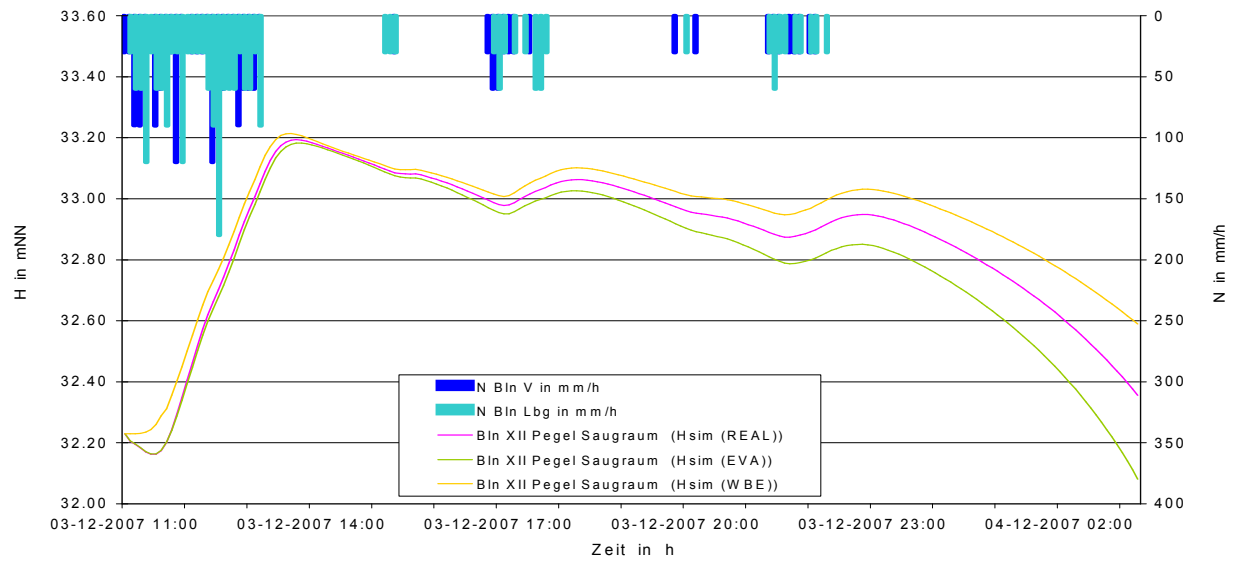
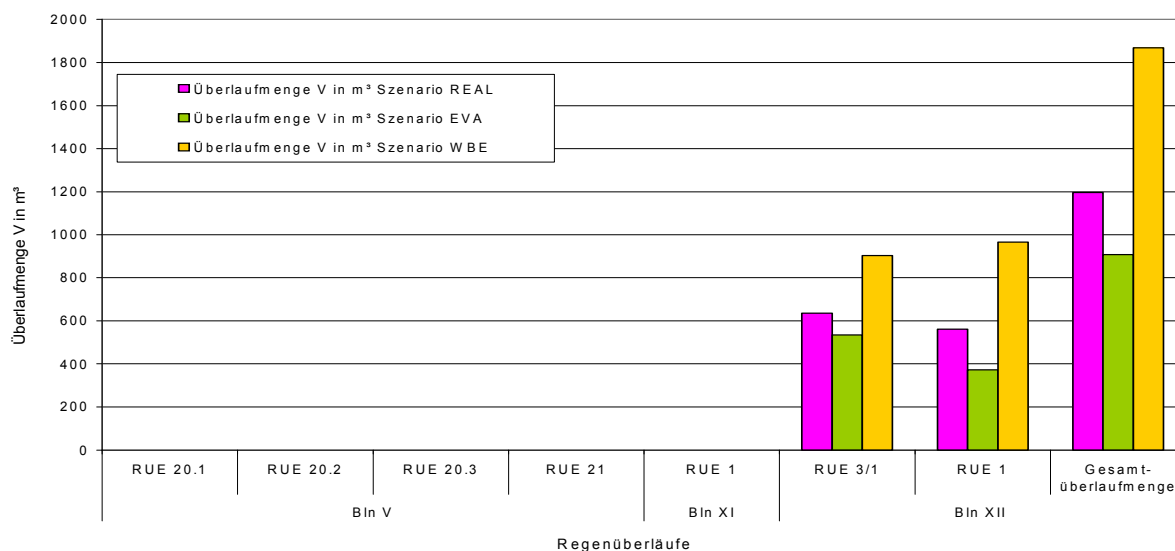


Bild A7.27 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XII für das Regenereignis vom 03.12.2007



Tabelle A7.3 Simulierte Regenüberlaufmengen in m<sup>3</sup> (Szenarien REAL, EVA, WBE) an ausgewählten Regenüberläufen der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI, Bln XII für das Regenereignis vom 03.12.2007

| EZG     | Regen-<br>überlauf                 | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario REAL<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario EVA<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario WBE<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------------------------|--|---|---|
| Bln V   | RUE 20.1                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 20.2                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 20.3                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 21                             | 0  | 0   | 0   |
| Bln XI  | RUE 1                              | 0  | 0   | 0   |
| Bln XII | RUE 1                              | 635  | 535   | 902   |
|         | RUE 3/1                            | 561  | 373   | 966   |
|         | Gesamtregen-<br>überlauf-<br>menge | 1196   | 908   | 1868  |



## Ereignis 07.12.2007

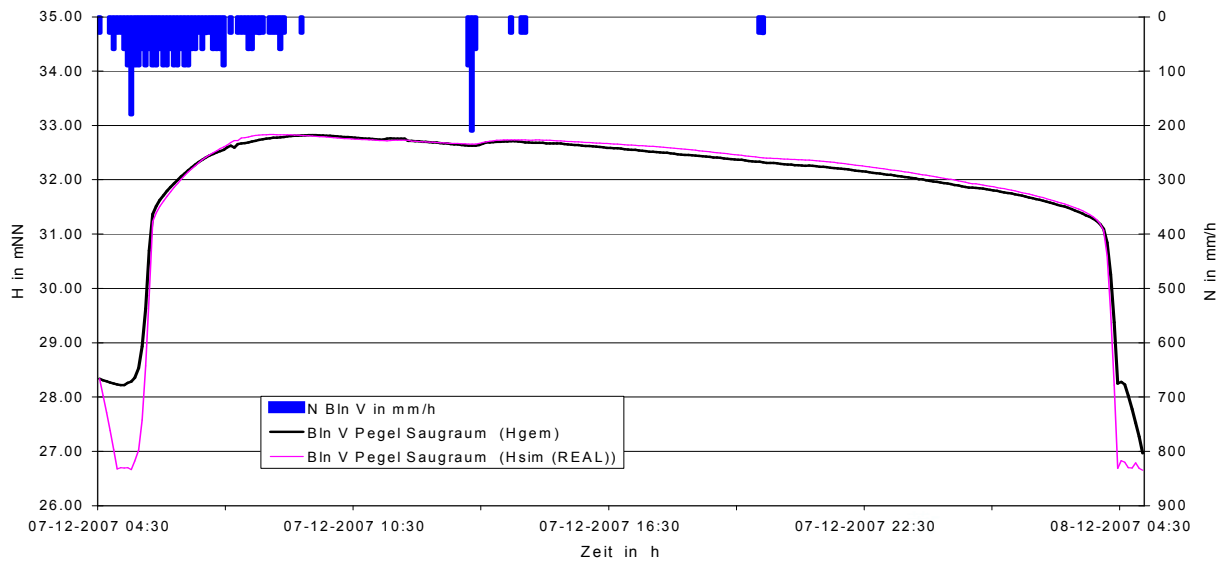


Bild A7.28 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.12.2007

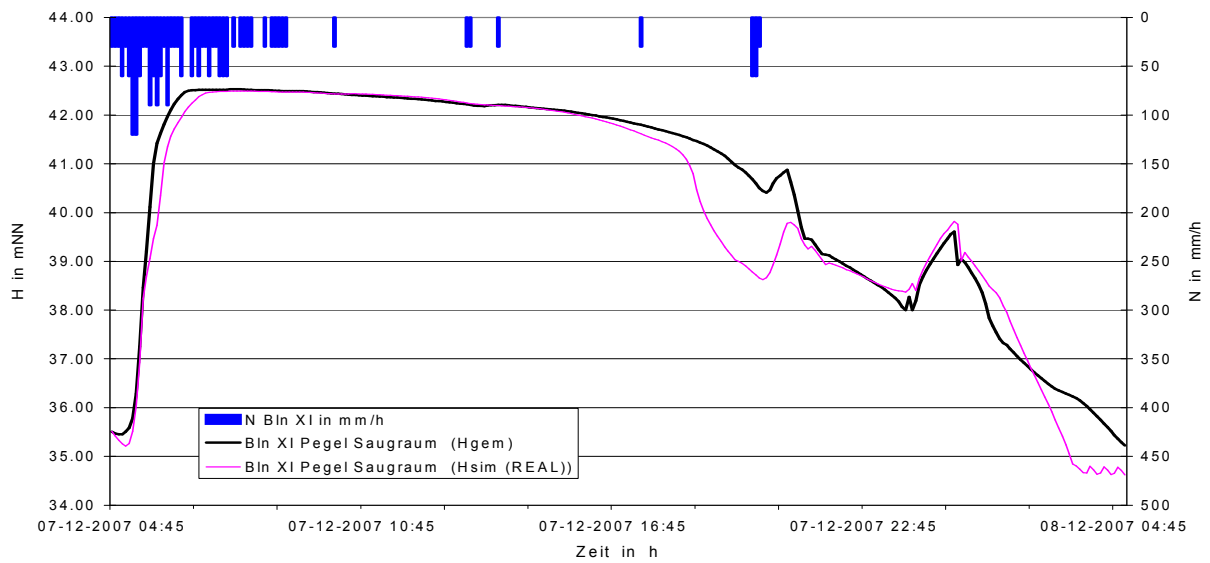


Bild A7.29 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.12.2007

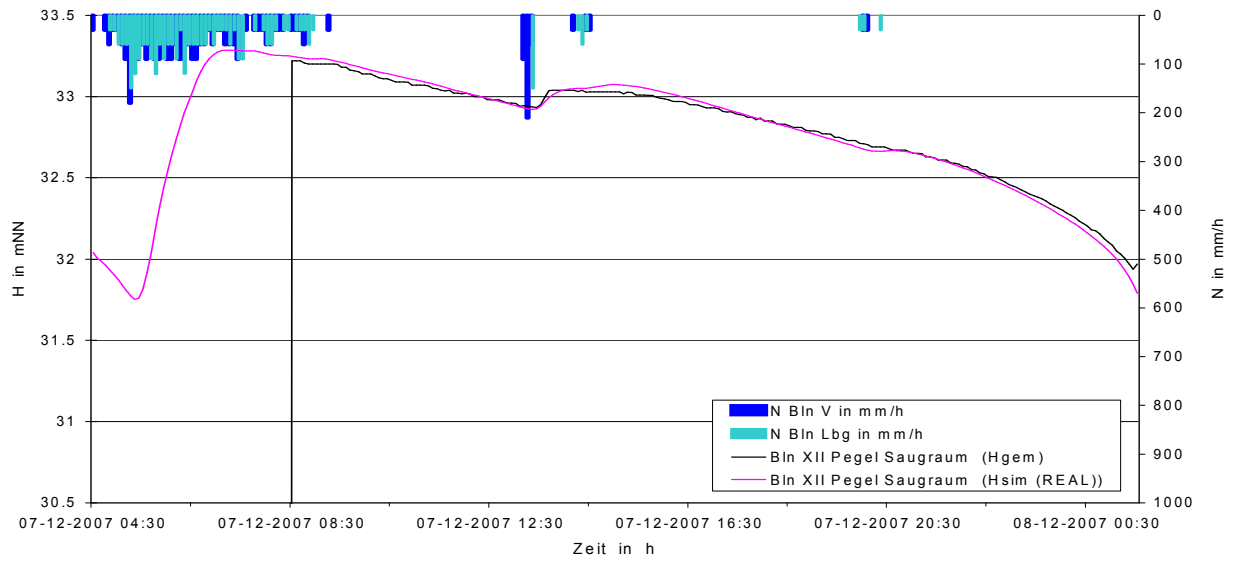


Bild A7.30 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XII für das Regenereignis vom 07.12.2007

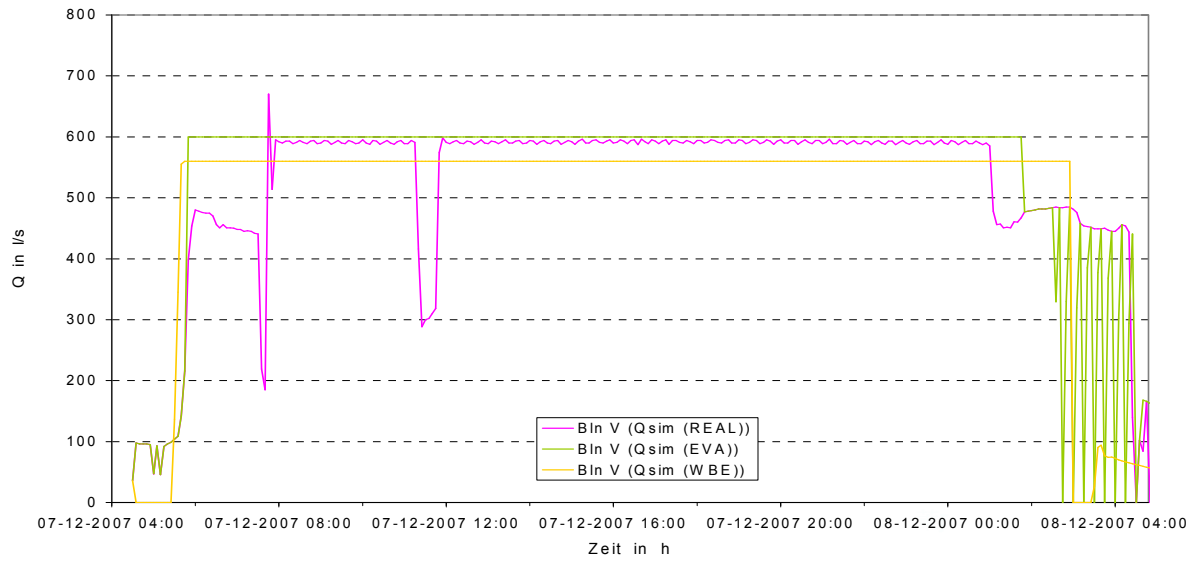


Bild A7.31 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.12.2007

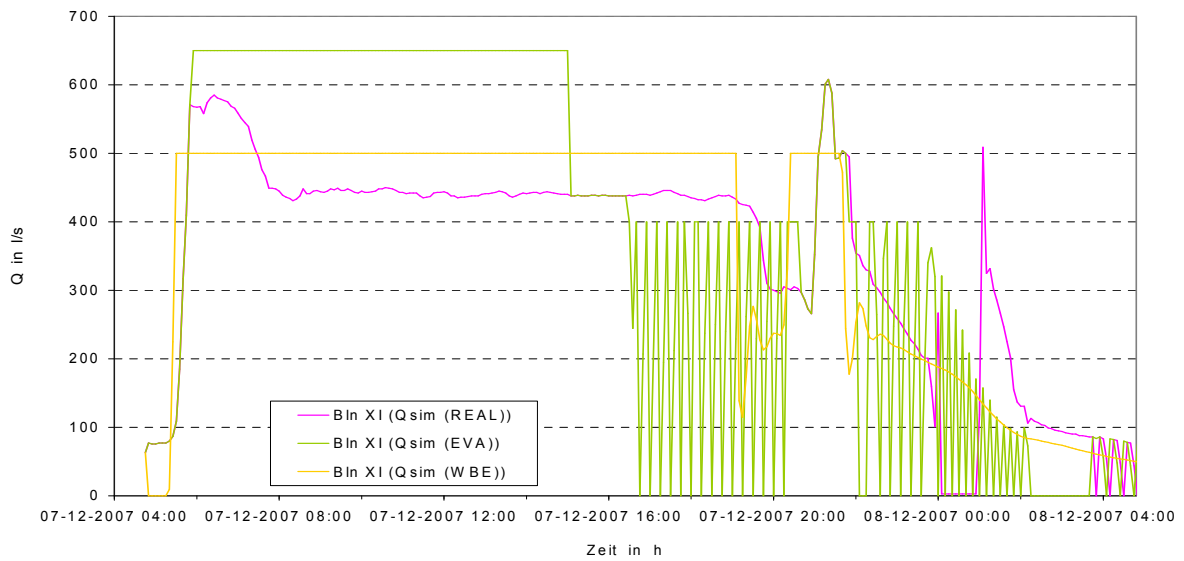


Bild A7.32 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.12.2007

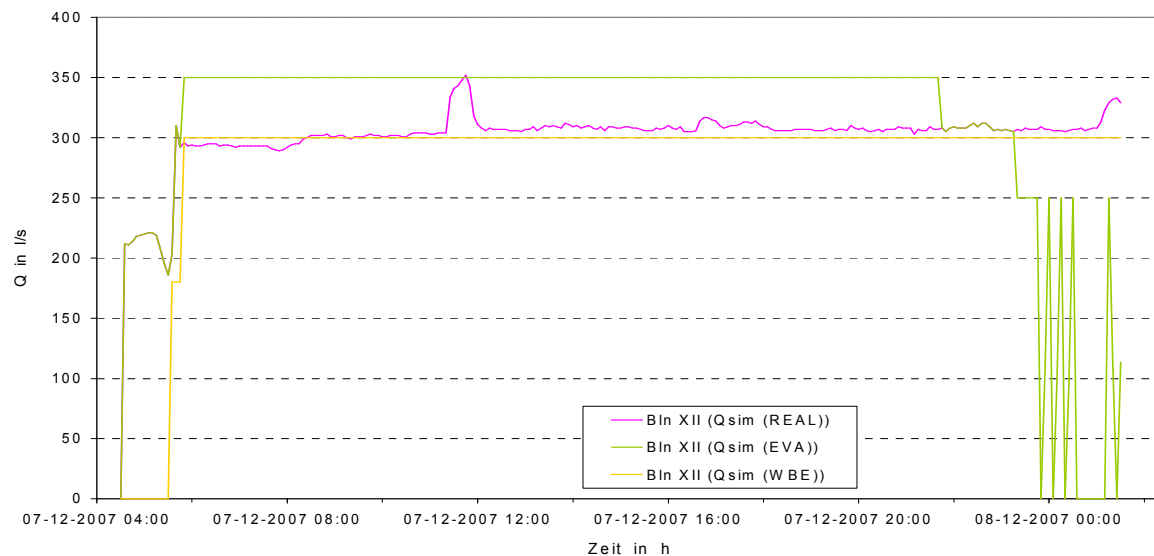


Bild A7.33 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw BIn XII für das Regenereignis vom 07.12.2007

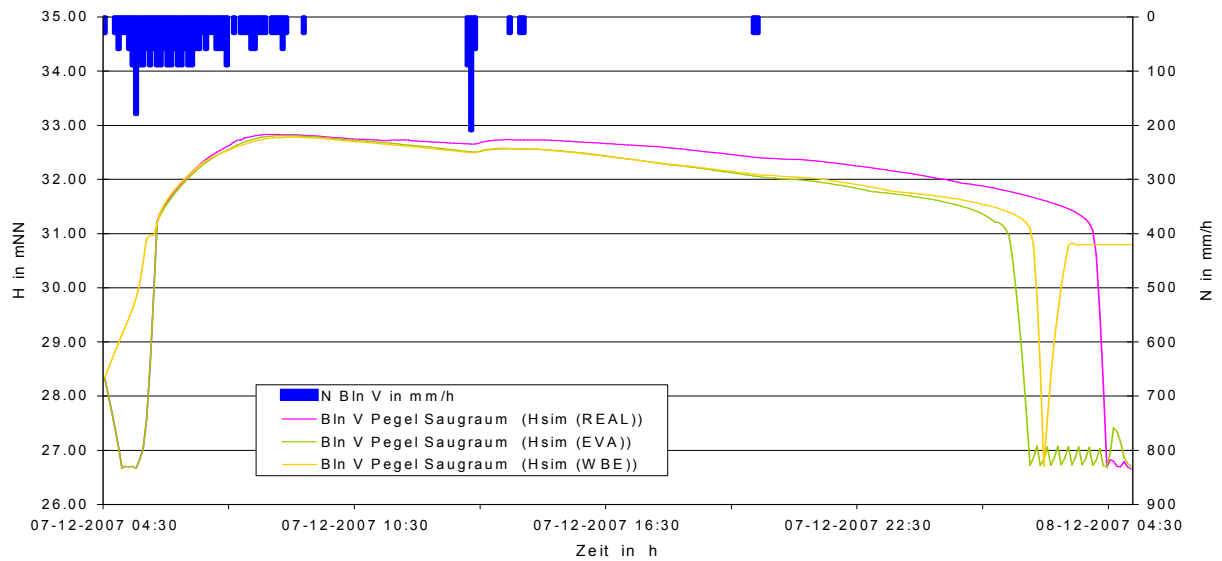


Bild A7.34 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.12.2007

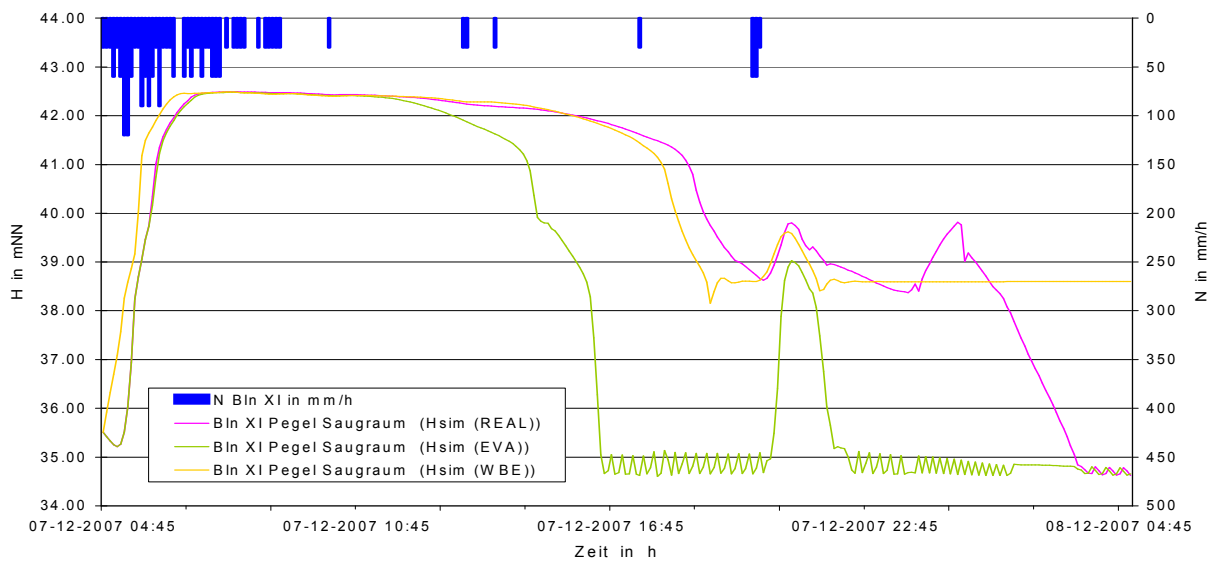


Bild A7.35 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.12.2007

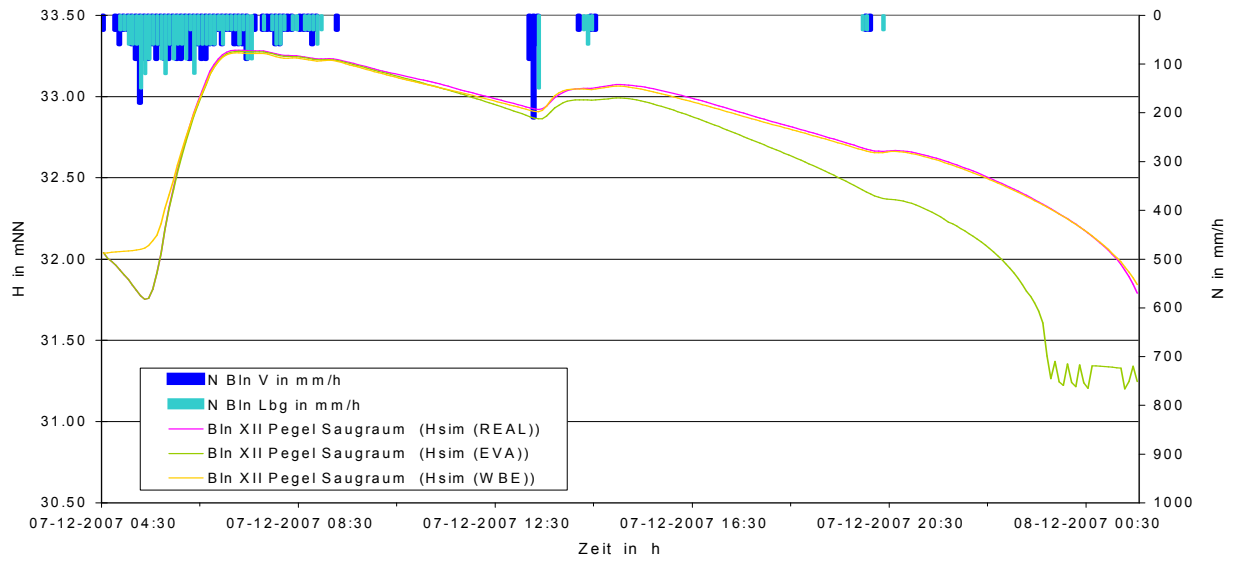
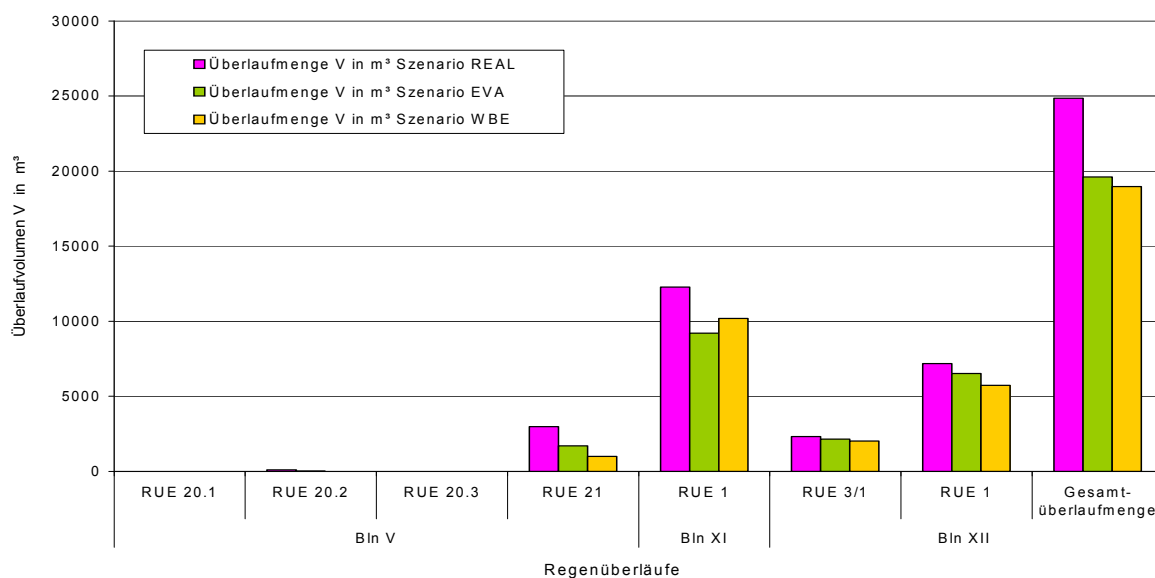


Bild A7.36 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XII für das Regenereignis vom 07.12.2007

Tabelle A7.4 Simulierte Regenüberlaufmengen in m<sup>3</sup> (Szenarien REAL, EVA, WBE) an ausgewählten Regenüberläufen der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI, Bln XII für das Regenereignis vom 07.12.2007

| EZG     | Regen-<br>überlauf                 | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario REAL<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario EVA<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario WBE<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------------------------|--|---|---|
| Bln V   | RUE 20.1                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 20.2                           | 100  | 19  | 0   |
|         | RUE 20.3                           | 0  | 0   | 0   |
|         | RUE 21                             | 2973   | 1702  | 1004  |
| Bln XI  | RUE 1                              | 12278  | 9220  | 10197   |
| Bln XII | RUE 1                              | 2321   | 2158  | 2028  |
|         | RUE 3/1                            | 7176   | 6520  | 5741  |
|         | Gesamtregen-<br>überlauf-<br>menge | 24848  | 19619   | 18970   |





### Ereignis 07.01.2008

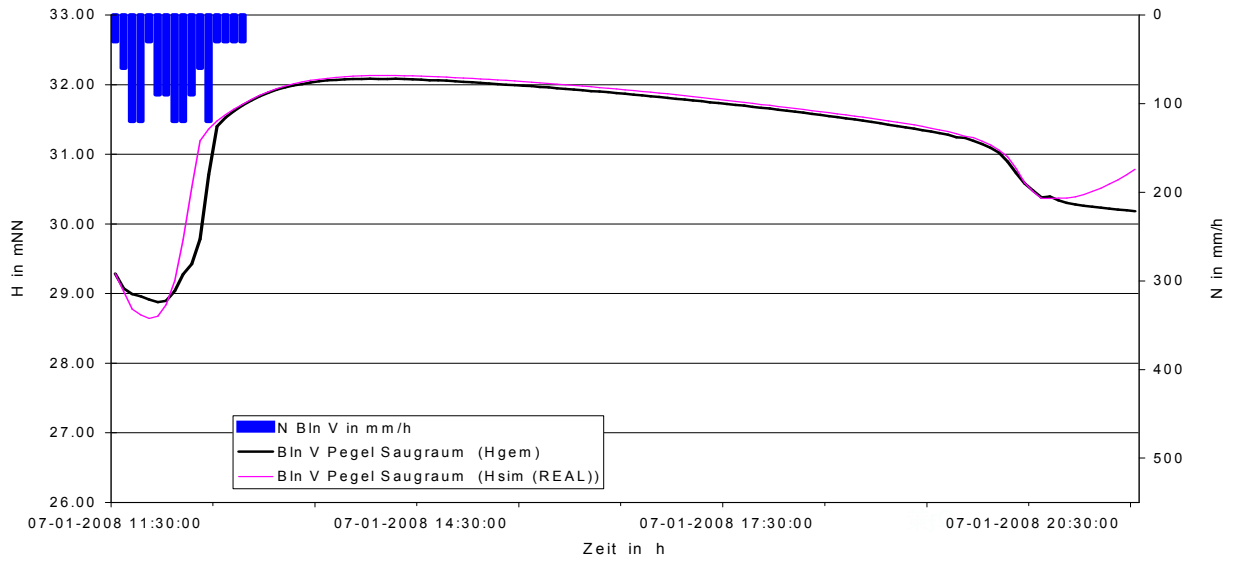


Bild A7.37 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.01.2008

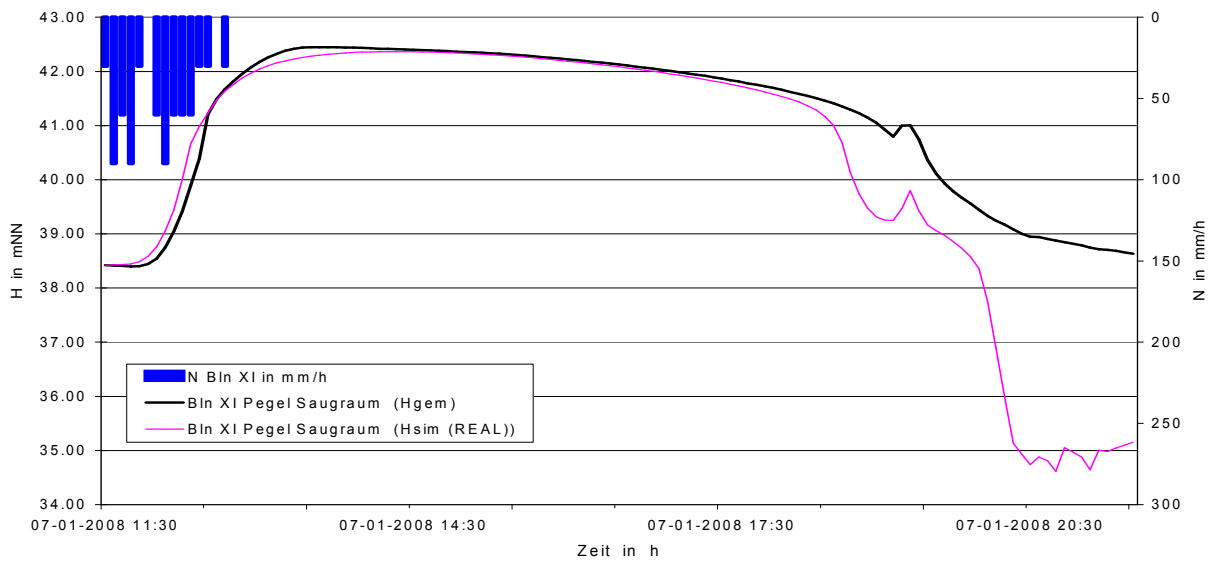


Bild A7.38 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.01.2008

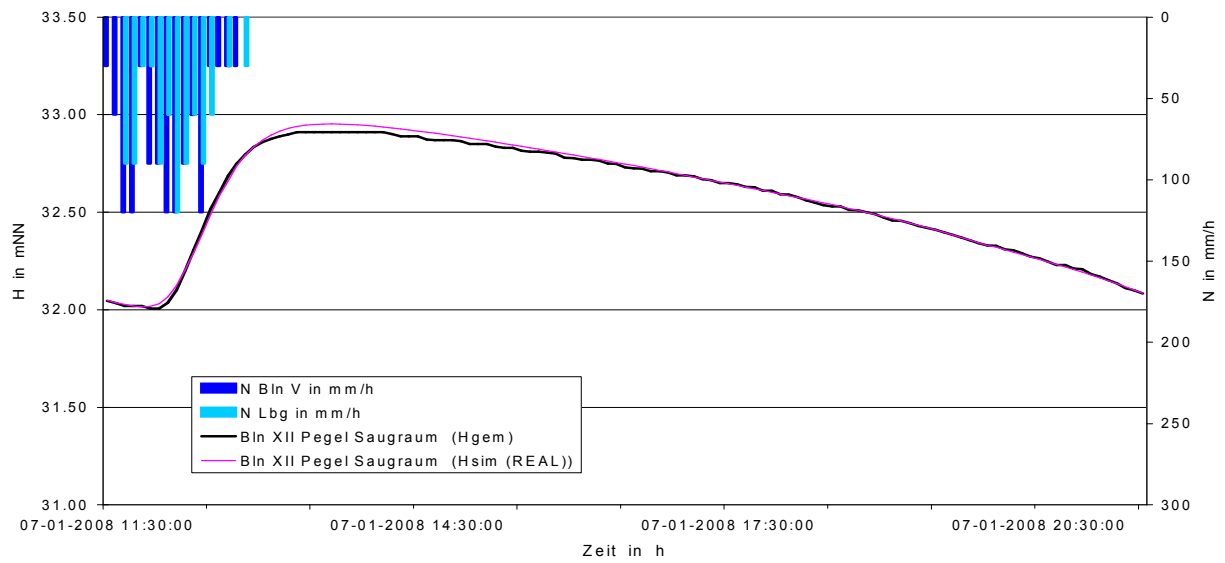


Bild A7.39 Gemessene und simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlich geförderten Abwassermengen am APw Bln XII für das Regenereignis vom 07.01.2008

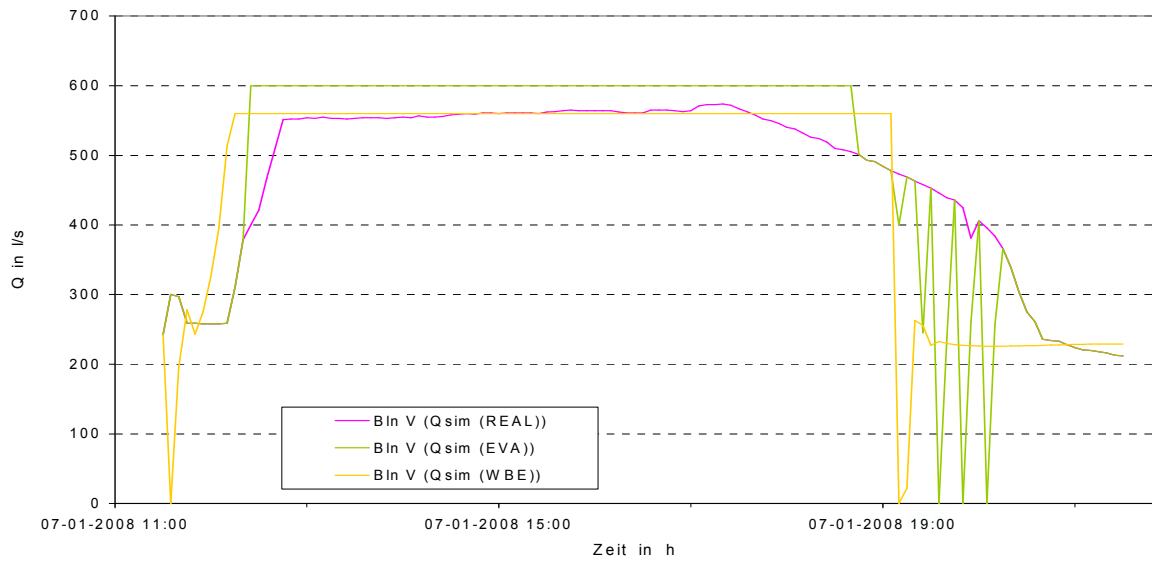


Bild A7.40 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.01.2008

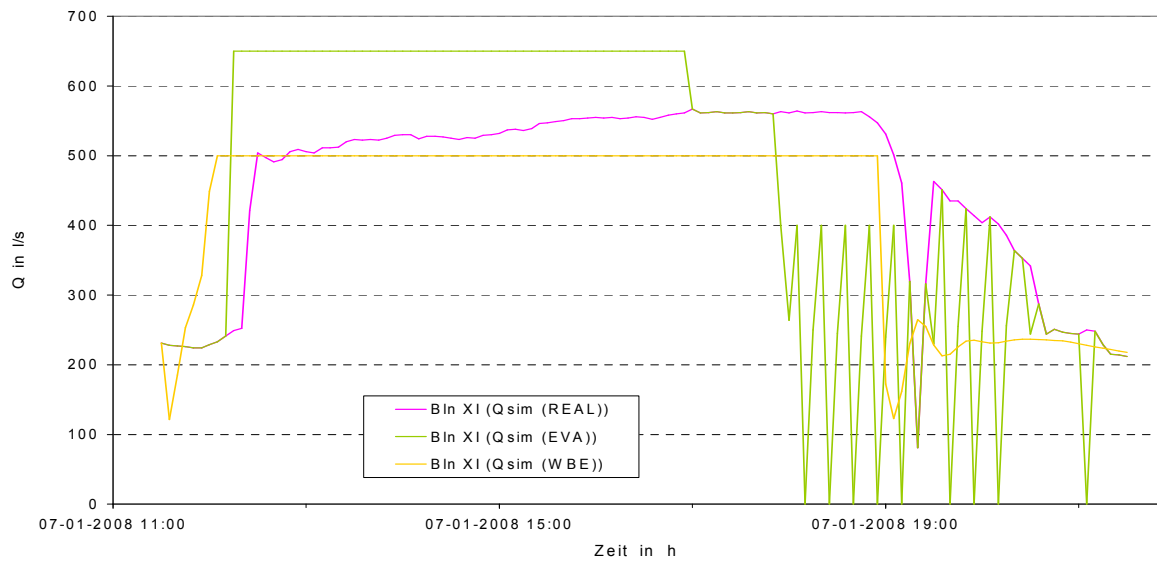


Bild A7.41 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in l/s am APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.01.2008

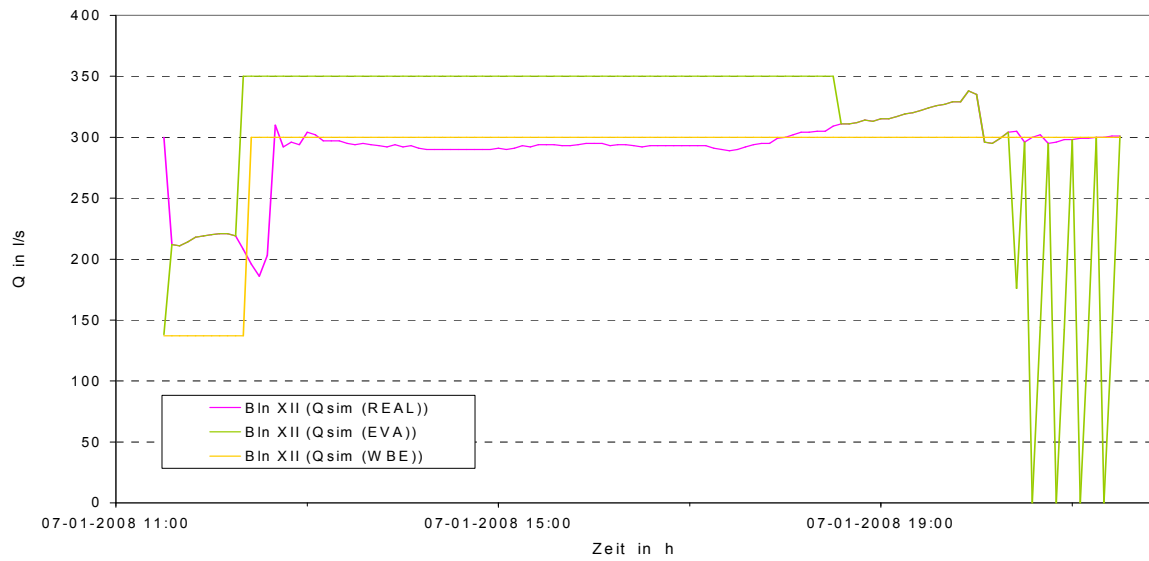


Bild A7.42 Tatsächliche, durch das EVA-Tool vorgeschlagene und WBE Fördermengen in  $l/s$  am APw BIn XII für das Regenereignis vom 07.01.2008

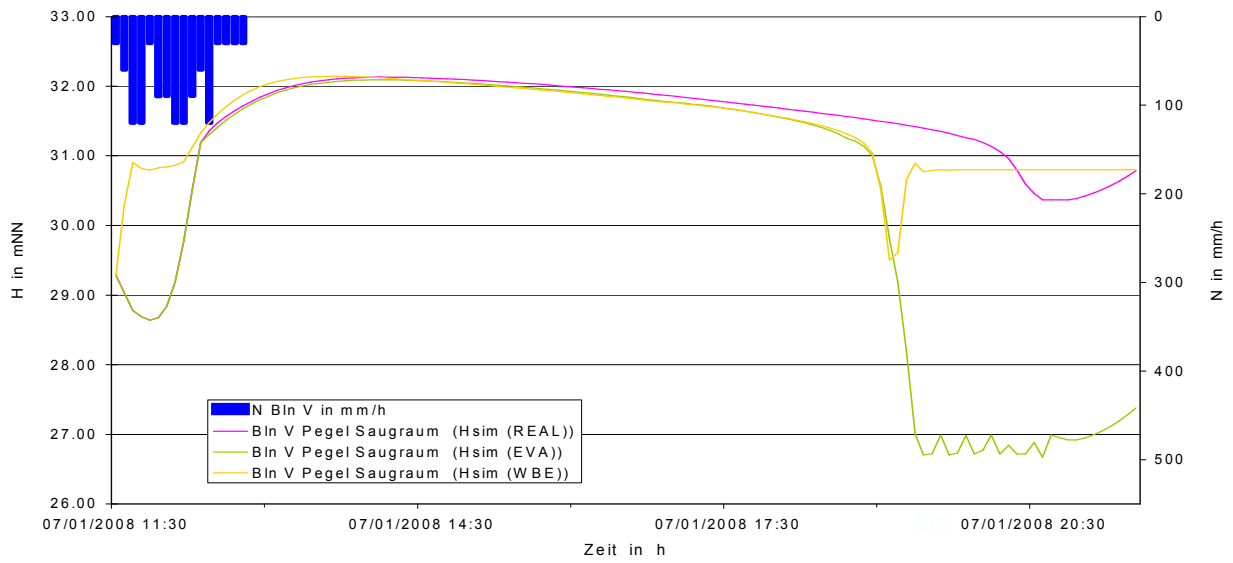


Bild A7.43 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des HPw Bln V für das Regenereignis vom 07.01.2008

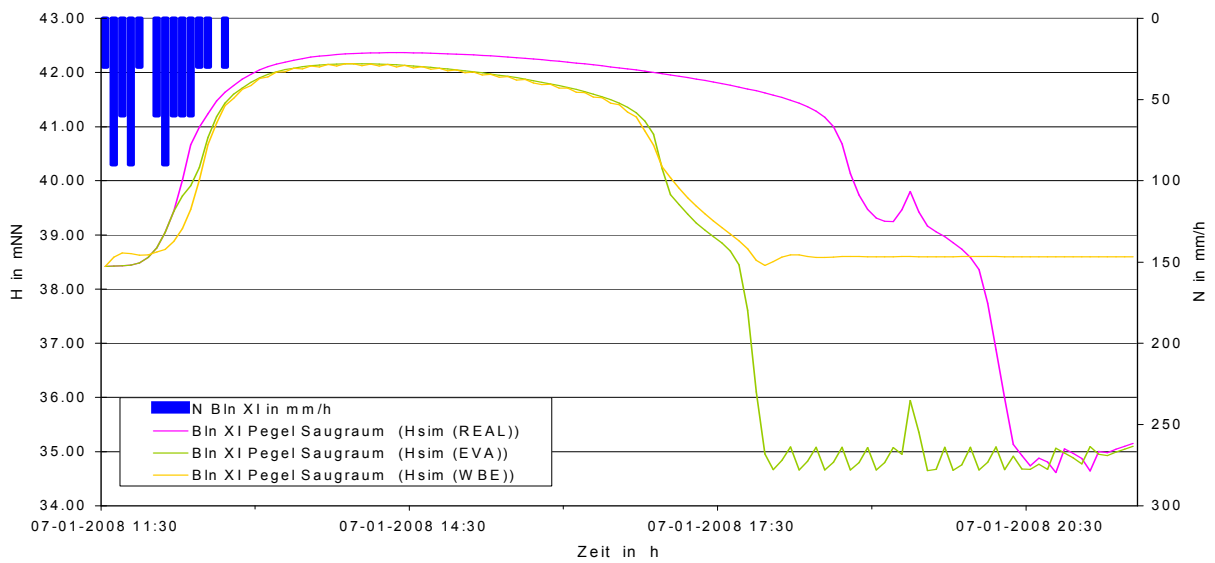


Bild A7.44 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XI für das Regenereignis vom 07.01.2008

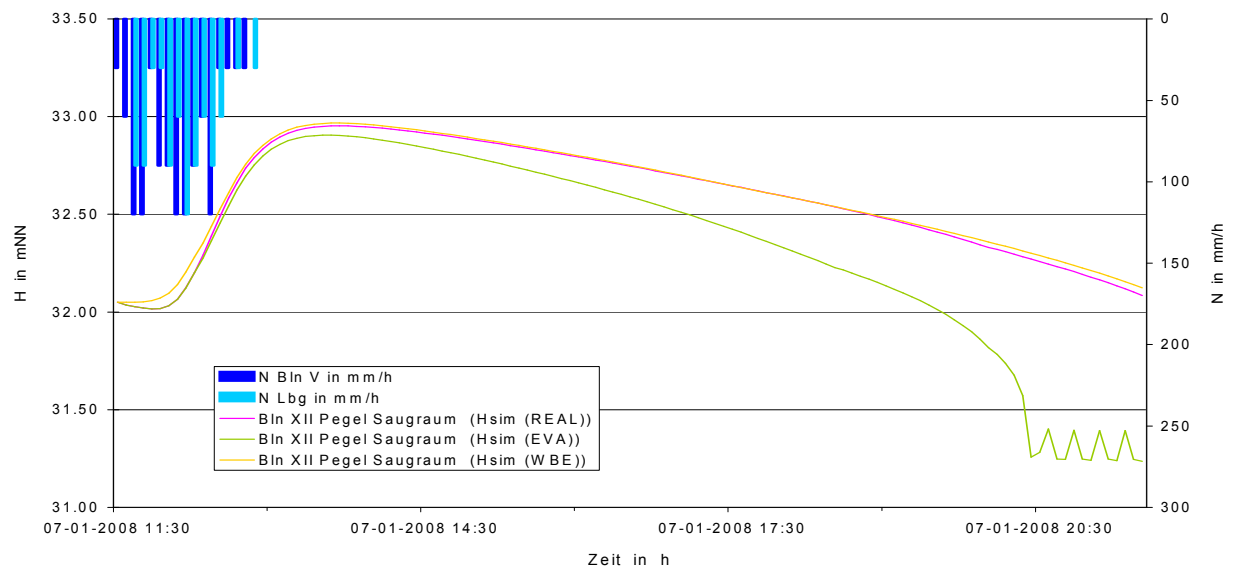


Bild A7.45 Simulierte Pegelstände in mNN unter Ansatz der tatsächlichen, der durch EVA vorgeschlagenen und der WBE Förderung im Saugraum des APw Bln XII für das Regenereignis vom 07.01.2008

Tabelle A7.5 Simulierte Regenüberlaufmengen in m<sup>3</sup> (Szenarien REAL, EVA, WBE) an ausgewählten Regenüberläufen der Einzugsgebiete Bln V, Bln XI, Bln XII für das Regenereignis vom 07.01.2008

| EZG     | Regen-<br>überlauf                  | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario<br>REAL<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario<br>EVA<br>(m <sup>3</sup> ) | Überlaufmenge<br>simuliert<br>Szenario WBE<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------------------------------|---|--|---|
| Bln V   | RUE 20.1                            | 0   | 0  | 0   |
|         | RUE 20.2                            | 0   | 0  | 0   |
|         | RUE 20.3                            | 0   | 0  | 0   |
|         | RUE 21                              | 0   | 0  | 0   |
| Bln XI  | RUE 1                               | 0   | 0  | 0   |
| Bln XII | RUE 1                               | 0   | 0  | 0   |
|         | RUE 3/1                             | 0   | 0  | 0   |
|         | Gesamt-regen-<br>überlauf-<br>menge | 0   | 0  | 0   |