

Berichtsblatt

1. ISBN	2. Berichtsart Schlußbericht	3.
4. Titel des Berichts Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten - wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerungskonzepten -		
5. Autor(en) (Name, Vorname(n)) Dr.-Ing. Khelil, Amar		6. Abschlußdatum des Vorhabens November 1989
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Wasserwirtschaft, Hydro- logie und landw. Wasserbau Universität Hannover Appelstr. 9a 3000 Hannover 1		7. Veröffentlichungsdatum
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) Postfach 200706 5300 Bonn 2		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen 02-WA86470
		11. Seitenzahl Bericht : 74 + Fi- guren u. Anlagen
		12. Literaturangaben 67
		14. Tabellen 10
		15. Abbildungen 75
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems 'Bremen Links der Weser' soll verbessert werden, indem die vorhandenen Speicherkapazitäten durch geeignete Steuerung der Pumpen ausgenutzt werden. Die aus der praktischen Erfahrung gewonnenen Steuerstrategien werden kritisiert und modifiziert. Die vorgeführte Methodik beruht auf der Möglichkeit, die Vorgänge in der Kanalisation einerseits hydrodynamisch zu simulieren und andererseits die wesentlichen Steuerungsregeln in die Wissensbasis eines zu diesem Zweck entwickelten Expertensystems einzutragen. Beide Bausteine werden in einem erweiterten Simulationsmodell miteinander verbunden. Die wesentlichen Merkmale des Simulationsmodells sowie des Expertensystems werden erläutert. Die Etappen zur Analyse der Steuerung werden dokumentiert. Als Ergebnis wird eine neue Strategie vorgestellt, die gegenüber der alten ein größeres 'Risiko' eingeht. Dieses Risiko ist aber durch viele Simulationen kalkuliert und abgegrenzt. Parallel dazu wird das Expertensystem (mit einer speziellen Wissensbasis) im on-line Betrieb mit dem Datenerfassungssystem verknüpft. Die im on-line Betrieb spezifischen Anforderungen an das Expertensystem werden erläutert. Zur Fortsetzung der Studie werden drei Hauptthemen vorgeschlagen und diskutiert. Es sind das automatische Lernen, das Erweitern der Zustandsbeschreibung und die Stabilität der Steuerung.		
19. Schlagwörter - Kanalnetzsteuerung - Expertensystem - Steuerungsstrategie - Kanalnetzsimulation		
20. Verlag		21. Preis

'Scientific Study on the Control of a Combined Drainage System to Improve the River Quality as well as to Decrease the Operation Costs'.

Abstract of the Project

It will be tried to improve the efficiency of the drainage system in the catchment 'Bremen Left Side of the Weser' through a proper activation of the on-line pumps, that is to say through a optimized control strategy. Aims, boundary conditions and ways of real time control are discussed.

In this project, the analyse of the control strategy bases on 2 basic requirements: 1) the possibility of hydrodynamic simulations of the processes, 2) the possibility to write the control rules in the knowledge base of an expertsystem, that is specially built to tackle the problem. Both components were connected to constitute an extended simulation modell.

The main features of hydrodynamic modell and expertsystem are explained. The main steps towards the developement of an improved strategy are documented. As a result a modified strategy is proposed, which 'takes' more risks than the older one. These risks are nevertheless calculated.

Parallely to the analysis the expertsystem was connected to the measurement and monitoring system that operates on-line in Bremen. Special requirements for on-line operations are discussed.

In the last chapter possibilities of further developments are listed and discussed. The subjects relate to machine learning, extended description of the network state and stability of the control.

Forschungsvorhaben 02-WA86460

'Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten

-wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerkonzepten-

Kurzfassung

Die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems 'Bremen Links der Weser' soll verbessert werden, indem die vorhandenen Speicherkapazitäten durch geeignete Steuerung der Pumpen ausgenutzt werden. Die aus der praktischen Erfahrung gewonnenen Steuerstrategien werden kritisiert und modifiziert.

Die vorgeführte Methodik beruht auf der Möglichkeit, die Vorgänge in der Kanalisation einerseits hydrodynamisch zu simulieren und andererseits die wesentlichen Steuerungsregeln in die Wissensbasis eines zu diesem Zweck entwickelten Expertensystems einzutragen. Beide Bausteine werden in einem erweiterten Simulationsmodell miteinander verbunden.

Die wesentlichen Merkmale des Simulationsmodells sowie des Expertensystems werden erläutert. Die Etappen zur Analyse der Steuerung werden dokumentiert. Als Ergebnis wird eine neue Strategie vorgestellt, die gegenüber der alten ein größeres 'Risiko' eingeht. Dieses Risiko ist aber durch viele Simulationen kalkuliert und abgegrenzt.

Parallel dazu wird das Expertensystem (mit einer speziellen Wissensbasis) im on-line Betrieb mit dem Datenerfassungssystem verknüpft. Die im on-line Betrieb spezifischen Anforderungen an das Expertensystem werden erläutert.

Zur Fortsetzung der Studie werden drei Hauptthemen vorgeschlagen und diskutiert. Es sind das automatische Lernen, das Erweitern der Zustandsbeschreibung und die Stabilität der Steuerung.

Bundesministerium für Forschung und Technologie

Forschungsbericht

Forschungsvorhaben 02-WA86470

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie
und landwirtschaftlichen Wasserbau

Prof. Dr.-Ing. B. Hoffmann
o. Prof. Dr. sc. techn. K. Lecher
Prof. Dr.-Ing. R. Mull
Prof. Dr.-Ing. F. Sieker

Universität Hannover
D-3000 Hannover 1
Appelstraße 9A
☎ 05 11/762-2237
Telex: 09-23 868 unihn d
Telefax: 05 11/762-3456

'Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der
Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten
-Wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerungskonzepten-'

von
Dr.-Ing. Amar Khelil

Universität Hannover
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie
und landw. Wasserbau

Projektleiter:
Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker

'Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der
Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten
-Wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerungskonzepten-'

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker

Sachbearbeiter und Berichter:

Dr.-Ing. Amar Khelil

Folgende Personen sind an diesem Projekt beteiligt:

Dr.-Ing. Lothar Fuchs
(Sachbearbeiter bis April 1988)
Andreas Heinemann
Volker Huhn
Zheng Yue Jin
Andreas Neumann
Stefan Schneider
Manfred Schütze
Marko Siekmann

November 1990

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL I: AUSGANGSPUNKT DES PROJEKTES.

- I) Einführung in die Problematik.
- II) Beschreibung des Mischsystems.
 - II.1) Das Entwässerungssystem.
 - II.2) Die Pumpwerke.
- III) Steuerung des Mischsystems 'Bremen Links der Weser'.
 - III.1) Ziele und Randbedingungen.
 - III.2) Datenerfassungssystem.
 - III.3) Steuerungsstrategie.

TEIL II: SIMULATION.

- I) Die Anforderungen an das Simulationsmodell.
 - I.1) Notwendigkeit der Simulation.
 - I.2) Vorgänge und Modellierung.
 - I.3) Elemente eines Entwässerungssystems und Beschreibung ihrer Zustände.
 - I.4) Klassifizierung der Steuerung.
 - I.5) Auswahl eines Modells.
- II) Modellbeschreibung im Modell System-Extran.
- III) Verifizierung des Modells.
 - III.1) Die Wahl der Ereignisse.
 - III.2) Beurteilung der Ergebnisse.

TEIL III: ENTWICKLUNG VON STEUERSTRATEGIEN.

- I) Entwicklung von Steuerstrategien durch Optimierung.
 - I.1) Formulierung des Optimierungsproblems.
 - I.2) Schwerpunkte beim Aufbau.
- II) Entwicklung eines Expertensystemes.
 - II.1) Definition eines Expertensystemes.

- II.2) Struktur.
- II.3) Schwerpunkte beim Aufbau.
- II.4) Etappen zur Entwicklung einer Steuerung des Mischsystems in Bremen mit einem Expertensystem ?

TEIL IV: IMPLEMENTIERUNG EINES EXPERTENSYSTEMS IM ON-LINE BETRIEB.

- I) Ablauf der Verarbeitung einer Strategie im on-line betrieb.
- II) Steuerungskonzept.
- III) Beschreibung der implementierten Wissensbasis.
 - III.1) Die zwei Gedächtnisse.
 - III.2) Struktur einer Steuerregel.
 - III.3) Organisation der Produktionsbasis.
- IV) Erfahrung mit dem On-Line Betrieb.

TEIL V: ENTWICKLUNG EINES ERWEITERTEN SIMULATIONSMODELLS.

- I) Das Modell 'Steuer'.
 - I.1) Struktur des Modells.
 - I.2) Die Standardproduktionsbasis.
- II) Auswahl der Belastungsfälle.
- III) Analyse der Standardstrategie.
- IV) Entwicklung einer modifizierten Strategie.
 - IV.1) Die Grundlagen.
 - IV.2) Beschreibung der neuen Regelbasis.
- V) Bewertung und Vergleich der Regelbasen.
 - V.1) Untersuchung von Einzelereignissen.
 - V.2) Untersuchung der Langzeitsimulation.
 - V.3) Spezielle Untersuchungen.

TEIL VI: ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN.

- I) Methoden zur automatischen Entwicklung von Steuerstrategien.
 - I. 1) Implementierung von verschiedenen Lernalgorithmen.
 - I. 2) Anwendung von Optimierungsmodellen.

- II) Erfassung von zusätzlichen Zustandsvariablen.
 - II. 1) Erweiterung der mengenmässigen Zustandsbetrachtung.
 - II. 2) Berücksichtigung von Güteparametern.

- III) Stabilität des Entscheidungsprozesses.
 - III. 1) Konsistenzanalyse und Rekonstruktion von Meßdaten.
 - III. 2) Einfluß von Störungen.
 - III. 3) Einfluß des Steuerungsintervalls.

LISTE DER FIGUREN

TEIL I

- Fig. 1 : Darstellung des gesamten Einzugsgebiets ('Links+Rechts der Weser')
- Fig. 2 : Skizze des Systems in 'Bremen links der Weser'
- Fig. 3 : Schema der Pumpenstation Krimpel
- Fig. 4 : Schema der Pumpenstation HPWL
- Fig. 5 : Das Meßnetz

TEIL II

- Fig. 6 : Darstellung des Netzes in den wichtigen Umrissen.
- Fig. 7 : Systemskizze.
- Fig. 8 : Modelldarstellung des Netzes.

TEIL III

- Fig. 9 : Möglicher Ablauf der Optimierung einer Strategie in einer gekoppelten Version
- Fig. 10 : Mögliche Systembeschreibung des Entwässerungsnetzes 'Bremen Links des Weseruferes' in einem Optimierungsmodell.
- Fig. 11 : Struktur eines Expertensystems
- Fig. 12 : Skizze Steuerung des Bremer Entwässerungsnetzes.

TEIL IV

- Fig. 13 : Informationsfluß im on-line Betrieb

TEIL V

- Fig. 14 : Informationsfluß in der Simulation mit 'Steuer'
- Fig. 15 : Vergleich von Abfluß- und Restvolumen der 25 Ereignisse mit der größten Niederschlagshöhe
- Fig. 16a: Darstellung der Niederschlagsverteilung, Ereignis Nr.:005
- Fig. 16b: Darstellung der Niederschlagsverteilung, Ereignis Nr.:006
- Fig. 17a: Darstellung der Niederschlagsverteilung, Ereignis Nr.:011
- Fig. 17b: Darstellung der Niederschlagsverteilung, Ereignis Nr.:015

- Fig.18** : Darstellung des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:006, Standardregelbasis
- Fig.19** : Darstellung des Wasserstandes im Schacht H11, Ereignis Nr.:006, Standardregelbasis
- Fig.20** : Darstellung des Wasserstandes im Schacht H22, Ereignis Nr.:011, Standardregelbasis
- Fig.21** : Darstellung des Wasserstandes im Schacht H23, Ereignis Nr.:011, Standardregelbasis
- Fig.22** : Darstellung des Wasserstandes im Schacht H04, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis
- Fig.23** : Darstellung der Pumpenleistung von Pumpe P6, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis
- Fig.24** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.25** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H11, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.26** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H22, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.27** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H23, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.28** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H04, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.29** : Vergleich der Pumpenleistung von Pumpe P1, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.30** : Darstellung der einstauenden Schächte, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis
- Fig.31** : Darstellung der einstauenden Schächte, Ereignis Nr.:005, modifizierte Regelbasis
- Fig.32** : Darstellung der überstauenden Schächte, Ereignis Nr.:005, Standardregelbasis
- Fig.33** : Darstellung der überstauenden Schächte, Ereignis Nr.:005, modifizierte Regelbasis
- Fig.34** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:015, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.35** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H11, Ereignis Nr.:015, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.36** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H22, Ereignis Nr.:015, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.37** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H23, Ereignis Nr.:015, Standardregelbasis – modifizierte Regelbasis
- Fig.38** : Darstellung der einstauenden Schächte, Ereignis Nr.:015, Standardstrategie
- Fig.39** : Darstellung der einstauenden Schächte, Ereignis Nr.:015, modifizierte Strategie
- Fig.40** : Darstellung der überstauenden Schächte, Ereignis Nr.:015, Standardstrategie
- Fig.41** : Darstellung der überstauenden Schächte, Ereignis Nr.:015, modifizierte Strategie
- Fig.42** : Überlastungshäufigkeit des Mischnetzes 'Bremen links der Weser'
- Fig.43** : Darstellung der Einstauhäufigkeit (Ereignisse von 30 Jahren), Standardstrategie
- Fig.44** : Darstellung der Einstauhäufigkeit (Ereignisse von 30 Jahren), modifizierte Strategie
- Fig.45** : Darstellung der Überstauhäufigkeit (Ereignisse von 30 Jahren), Standardstrategie
- Fig.46** : Darstellung der Überstauhäufigkeit (Ereignisse von 30 Jahren), modifizierte Strategie
- Fig.47** : Einstauhäufigkeit
- Fig.48** : Überstauhäufigkeit
- Fig.49** : Gegenüberstellung von Einstaudauer und Überstaumenge, Standardstrategie
- Fig.50** : Gegenüberstellung von Einstaudauer und Überstaumenge, modifizierte Strategie
- Fig.51** : Vergleich der Entlastungsmenge in die verschiedenen Vorfluter; Standardstrategie – modifizierte Strategie
- Fig.52** : Gegenüberstellung der Gesamtfördermengen der Pumpen, Standardstrategie – modifizierte Strategie
- Fig.53** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P1, Standardstrategie
- Fig.54** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P1, modifizierte Strategie
- Fig.55** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P2, Standardstrategie
- Fig.56** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P2, modifizierte Strategie
- Fig.57** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P3, Standardstrategie
- Fig.58** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P3, modifizierte Strategie
- Fig.59** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P4, Standardstrategie
- Fig.60** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P4, modifizierte Strategie
- Fig.61** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P5, Standardstrategie
- Fig.62** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P5, modifizierte Strategie
- Fig.63** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P6, Standardstrategie
- Fig.64** : Darstellung der Pumpenlaufzeiten für Pumpe P6, modifizierte Strategie
- Fig.65** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Doppelereignis Nr.: 015, Standardstrategie – mod. Strategie
- Fig.66** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H11, Doppelereignis Nr.: 015, Standardstrategie – mod. Strategie
- Fig.67** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H22, Doppelereignis Nr.: 015, Standardstrategie – mod. Strategie
- Fig.68** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H23, Doppelereignis Nr.: 015, Standardstrategie – mod. Strategie
- Fig.69** : Darstellung der einstauenden Schächte, Doppelereignis Nr.:015, Standardstrategie
- Fig.70** : Darstellung der einstauenden Schächte, Doppelereignis Nr.:015, modifizierte Strategie
- Fig.71** : Darstellung der überstauenden Schächte, Doppelereignis Nr.:015, Standardstrategie
- Fig.72** : Darstellung der überstauenden Schächte, Doppelereignis Nr.:015, modifizierte Strategie
- Fig.73** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:002, drei Regenschreiber–drei Regenschreiber gemittelt
- Fig.74** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:003, drei Regenschreiber–drei Regenschreiber gemittelt
- Fig.75** : Vergleich des Wasserstandes im Schacht H10, Ereignis Nr.:004, drei Regenschreiber–drei Regenschreiber gemittelt

1) EINFÜHRUNG IN DIE PROBLEMATIK

Infolge der ökologischen Katastrophen der letzten Jahre ist der Umweltschutz mehr und mehr in den Vordergrund getreten. Der Verbesserung der Gewässergüte kommt eine besondere Bedeutung zu. Die Reduzierung der Entlastungen aus den Mischsystemen in den Vorfluter (in Menge sowie in Häufigkeit) stellt in diesem Zusammenhang eines der Ziele dar.

Um dieses zu erreichen, werden unterschiedliche Maßnahmen in Betracht gezogen, die einzeln oder verbunden eingesetzt werden können. Diese werden in drei Kategorien eingeordnet:

- 1) Konstruktive Maßnahmen
- 2) Betriebliche Maßnahmen
- 3) Konzeptionelle Maßnahmen

* Konstruktive Maßnahmen sehen eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Netzes durch Modifizieren seiner Konfiguration vor. Als Beispiele seien folgende Vorschläge erwähnt:

- Erweiterung der Kläranlagenkapazität,
- Aufbau von Regenrückhaltebecken (Abkürzung RÜB) (ATV; A 117),
- Aufbau von Schmutzwasserspeichern (SWS) am Auslaß des Trennsystems (Kollatsch, Schilling; 1989),

* Durch betriebliche Maßnahmen wird eine bessere Ausnutzung der im Netz vorhandenen Kapazitäten erzielt. Sie setzen die Möglichkeit zur Echtzeitsteuerung voraus.

* Konzeptionelle Maßnahmen kennzeichnen sich durch eine Neuüberlegung der Aufgabe und Struktur des Kanalnetzes. Als Beispiel seien die dezentrale und semizentrale Retention ('die Abkoppelung des wenig verschmutzten Regenwassers vom Netz') erwähnt (ATV; A 138, A 128), (Grotehusman, Uhl; 1988), (Kheil, Grotehusmann, Uhl; 1990), (Sieker; 1986).

Konstruktive Maßnahmen (insbesondere der Aufbau von Regenrückhaltebecken) werden zur Zeit (ATV Richtlinien) bevorzugt. Sie sind aber sehr kostenintensiv (als Richtwert kann man mit 1 000 DM pro m³ Speicherkapazität rechnen) und ihre Effizienz ist, was die Reduzierung der Vorfluterbelastung anbelangt, nicht endgültig bewiesen, wird die Gesamtemission betrachtet (Durchschlag; 1989), (Sieker, Durchschlag; 1990).

TEIL I
ENTWÄSSERUNGSSYSTEM IN BREMEN;
AUSGANGSPUNKT DES PROJEKTES.

Deswegen werden zur Zeit die anderen Verfahren parallel nach ihrer Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht:

- Konzeptionelle Maßnahmen werden in mehreren Pilotprojekten (Hamburg, Tündern, Gelsenkirchen...) eingesetzt.
- Gleichzeitig wird in mehreren Großstädten Deutschlands (Hamburg, Bremen,...) und Europas (Paris, Nancy, Barcelona,...) versucht, sich einer optimierten on-line Steuerung des Netzes anzunähern.

Letztere ist besonders interessant in Städten, wo aufgrund der Situation (z.B sehr geringes Gefälle) eine on-line Steuerung schon besteht. Durch Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten können konstruktive Maßnahmen (insbesondere in der Kanalisation) auf ein Minimum reduziert oder sogar vermieden werden.

Solche Erwägungen stellen den Ausgangspunkt der Untersuchung dar, die vor drei Jahren im Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover am Beispiel des Netzes Bremen 'Links der Weser' eingeleitet wurde.

II) BESCHREIBUNG DES MISCHSYSTEMS

II.1) Das Entwässerungssystem Bremen 'Links der Weser'.

II.1.1) Das Einzugsgebiet :

Bemerkung:

Das gesamte Einzugsgebiet in Bremen besteht aus den beiden Teilen Bremen 'Rechts der Weser' und Bremen 'Links der Weser' (siehe Fig 1) . Die Untersuchung bezieht sich auf das kleinere Einzugsgebiet Bremen ' Links der Weser'. In den folgenden Kapiteln werden die Worte 'Netz' , 'Gebiet' ,... sich auf das Netz ,Gebiet,... 'Links der Weser' beziehen, es sei denn, ein anderer Bezug wird ausdrücklich vermerkt.

- Das Kanalnetz 'Links der Weser' entwässert ca. 1000 Ha, davon **470 Ha undurchlässige Fläche**.
- Im oberen Bereich des Netzes besteht ein Trennsystem. Im unteren Bereich (dem älteren Teil des Netzes) besteht ein Mischsystem.
- Das Einzugsgebiet ist flach; das mittlere **Gefälle** beträgt weniger als **1 m auf 1 km Kanalisation**.
- Unter diesen Umständen muß das gesamte Wasser (Abwasser und Regenwasser), das in das Netz hineinfließt, durch **Pumpen** (zur Zeit ca. **40**) befördert werden.
Abwasserpumpen sind oberhalb des Netzes installiert; unterhalb des Netzes (im älteren Teil des Netzes) sind Mischwasserpumpen installiert.

II.1.2) Die Steuerelemente :

Die drei wichtigsten Pumpstationen sind :

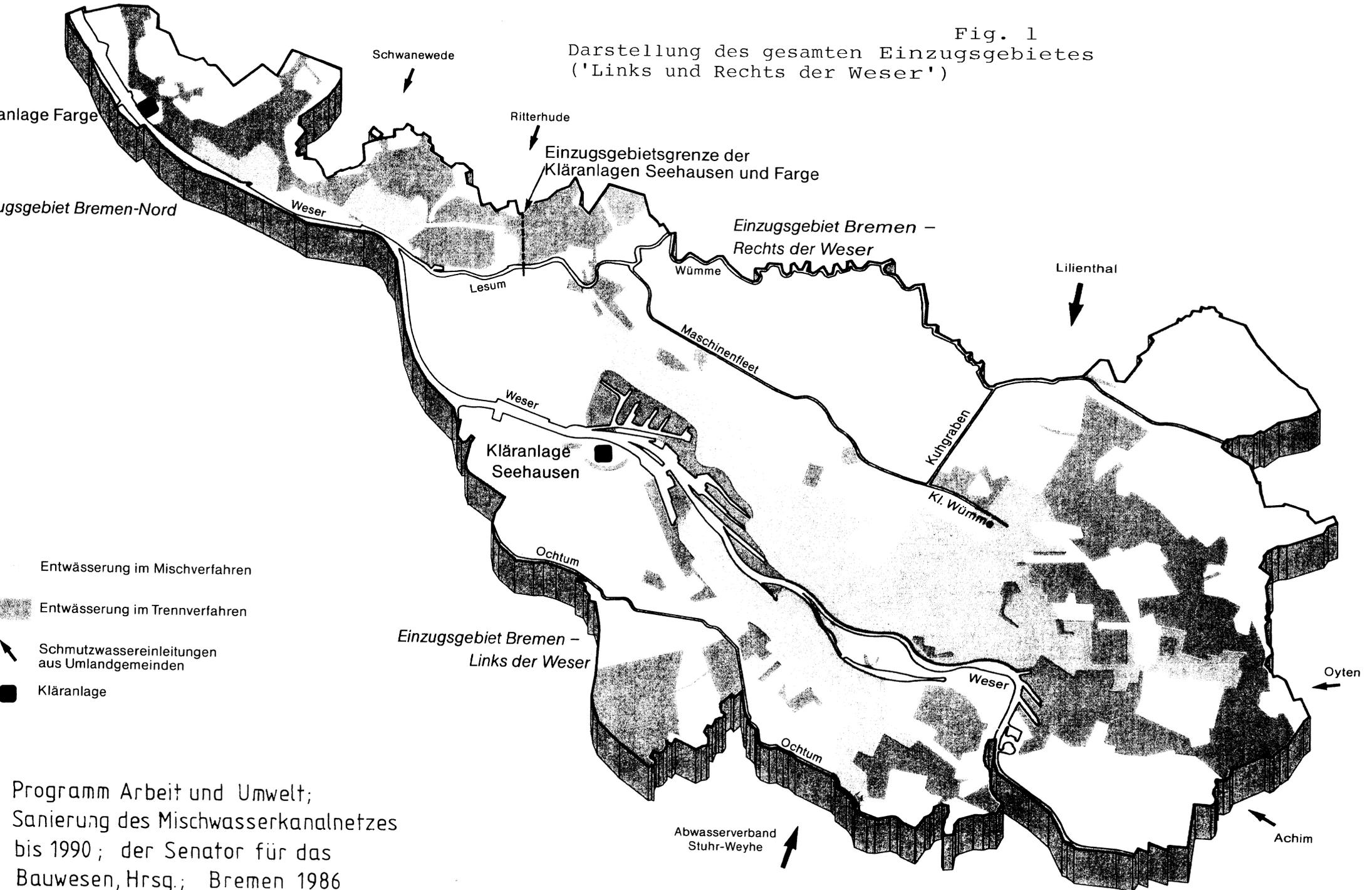
- 1) das **Hauptpumpwerk 'Links der Weser'** (Abkürzung **HPWL**) (Mischwasserpumpen **P1** , **P2** , **P3**).
- 2) das Pumpwerk **Krimpel** (Mischwasserpumpen **P4** , **P5**),
- 3) das Pumpwerk **Rablinghausen** (Mischwasserpumpe **P6**),

Bemerkung :

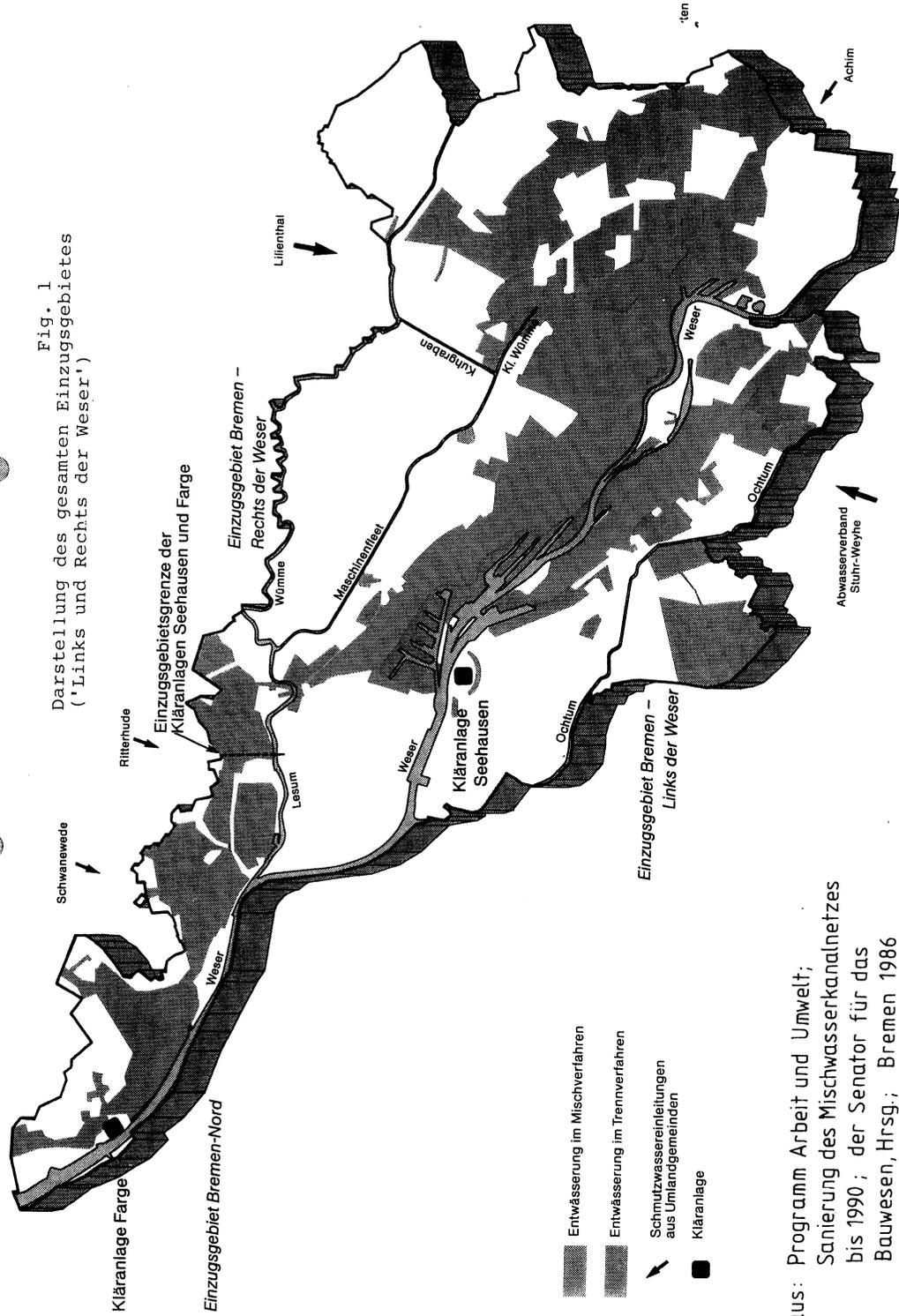
Im Gegensatz zu den Bezeichnungen der Regenschreiber (**Ni**) und der Pegel (**Hi**) entsprechen die Bezeichnungen der Pumpe (**Pi**) nicht den in Bremen üblichen Bezeichnungen. Aus modell-technischen Gründen wurde versucht, die Beschreibung der Pumpwerke zu vereinfachen, sofern sich daraus keine wesentliche Verzerrung der Realität ergab. Dementsprechend kann eine Pumpe (**Pi**) in Wirklichkeit für eine Zusammenstellung mehrerer Pumpen oder mehrerer Schnecken stehen. Im dem Falle wird das j-ste Element der Pumpe **Pi** mit **Pi.j** gekennzeichnet.

Fig. 1

Darstellung des gesamten Einzugsgebietes ('Links und Rechts der Weser')



Programm Arbeit und Umwelt;
Sanierung des Mischwasserkanalnetzes
bis 1990; der Senator für das
Bauwesen, Hrsg.; Bremen 1986



aus: Programm Arbeit und Umwelt;
Sanierung des Mischwasserkanalnetzes
bis 1990; der Senator für das
Bauwesen, Hrsg.; Bremen 1986

II.1.3) Speicherkapazität :

In den beiden Pumpstationen Krimpel und HPWL befinden sich **Regenüberlaufbecken (RÜB)** :

- 1) in Krimpel zwei Becken mit insgesamt $8\ 000\ m^3$ Speicherkapazität
- 2) im HPWL zwei Becken mit insgesamt $10\ 000\ m^3$ Speicherkapazität.

II.1.4) Entlastungsstellen :

Gewöhnlich wird das Mischwasser dem Pumpwerk HPWL und dann der Kläranlage 'Seehausen' zugeführt. Die maximale Kapazität der Kläranlage beträgt $3,8\ m^3/s$. Sie verarbeitet allerdings das Mischwasser vom Einzugsgebiet am rechten Ufer der Weser sowie das Mischwasser vom Einzugsgebiet am linken Ufer der Weser. Die Fördermenge, die vom linken Weserufer zur Kläranlage gefördert werden darf, ist dabei abhängig von der Menge, mit der die Kläranlage vom rechten Weserufer beschickt wird (d.h. Differenz zwischen Kläranlagenkapazität und dem Zufluß vom rechten Weserufer). Im Normalfall stehen dem Einzugsgebiet links des Weserufers bis ca. $1,1\ m^3/s$ zur Verfügung.

Falls das Ereignis die Kapazität des Systems (Kanalisation + Kläranlage) übersteigt, erfolgt eine Entlastung in den Vorfluter.

Es gibt vier Entlastungsstellen:

- 1) In der Krimpelstation eine Entlastungsstelle in das **Krimpelfleet**
- 2) Im HPWL eine Entlastungsstelle in die **Weser**
- 3) Im HPWL eine Entlastungsstelle in die **Wasserlöse**
- 4) Vor der Kläranlage eine Entlastungsstelle in die **Weser**.

Fig 2: Schema des Systems (Kanalnetz + Kläranlage).

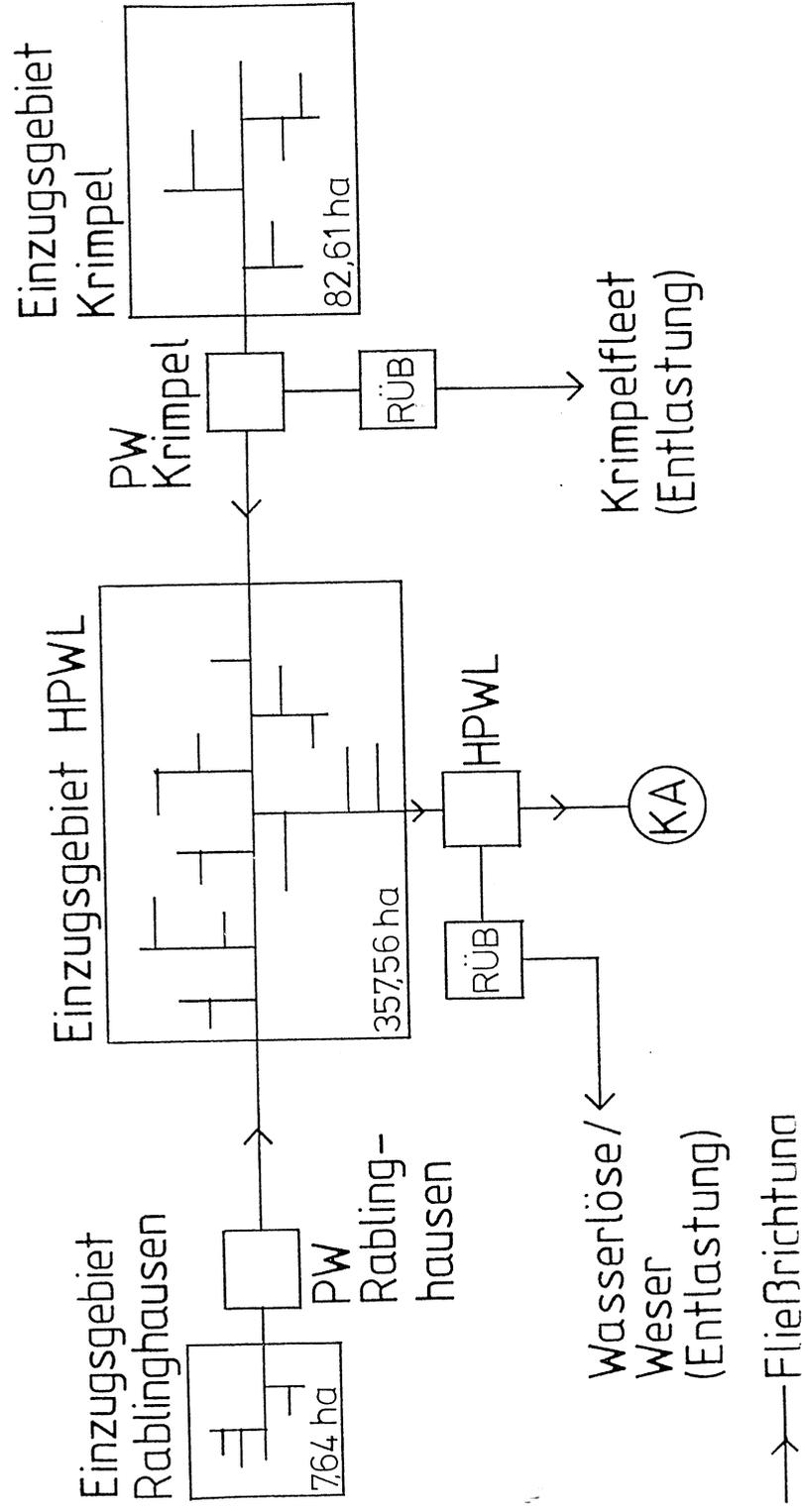
II.2) Die Pumpwerke :

Da die Pumpwerke Krimpel, HPWL und Rablinghausen eine zentrale Rolle bei der Steuerung des Netzes spielen (siehe Kapitel 3), werden sie kurz beschrieben. Weitere Informationen über diese und die anderen Pumpstationen sind den Zwischenberichten (Teil A; Kheil; 1989) und (Teil B; Winter, Broll; 1989) sowie dem Abschlußbericht (Teil B; Broll; 1990) zu entnehmen.

Pumpwerk Krimpel: (Fig. 3)

Das Pumpwerk liegt am Auslaß des Einzugsgebietes Krimpel (ca. 82 Ha undurchlässige Fläche). Das Mischwasser wird durch maximal 3 Schnecken (P4.1, P4.2, P4.3) aus dem Pumpensumpf (Sohlhöhe: $-1,86\ mNN$) um gut 4 m gehoben und fließt dann im Freigefälle in Richtung HPWL.

Fig.2 Schema des Systems 'Bremen links der Weser'



Die Regenüberlaufbecken können durch maximal 3 Schnecken (P5.1, P5.2, P5.3) befüllt werden. Wenn trotz der vollständigen Füllung der Becken die Pumpenförderung in die Becken nicht unterbrochen wird, erfolgt eine Entlastung des Mischwassers über ein Wehr (Oberkante: 4,80 mNN) in das Krimpelfleet (ca. 300 m Entfernung)

Die Becken in Krimpel werden durch einen Schieber (Sb 1) entleert. Wird er geöffnet, fließt das Mischwasser aus den Becken (Sohlhöhe: -0,45 mNN) in den Pumpensumpf zurück.

Pumpwerk HPWL: (Fig. 4)

Das Pumpwerk HPWL liegt unterhalb des gesamten Gebietes. Während des Trockenwetters wird das Schmutzwasser aus dem Pumpensumpf (-2,45mNN Sohlhöhe) mittels maximal 3 stufenlos regelbarer Pumpen (P1.1, P1.2, P1.3) über 2 Druckrohrleitungen zur Kläranlage Seehausen (7 Km Entfernung) gefördert.

Eine Befüllung der Regenüberlaufbecken erfolgt durch Schnecken (Pumpe P2). Bis maximal 3 Schnecken (P2.1, P2.2, P2.3) können aktiviert werden.

Wenn trotz einer vollständigen Füllung der Becken die Pumpenförderung nicht unterbrochen wird, erfolgt eine Entlastung über zwei Wehre (W1, W2; Oberkante: 4,43 mNN) in das Umlaufgerinne. Bis zu 2 m³/s Mischwasser werden dann in die Weser entlastet. Dieses geschieht durch Pumpen oder im freien Gefälle, je nachdem, welche Fließbedingungen im Rohr herrschen. Diese werden erheblich durch den Wasserstand in der Weser (Pegel H35) beeinflusst.

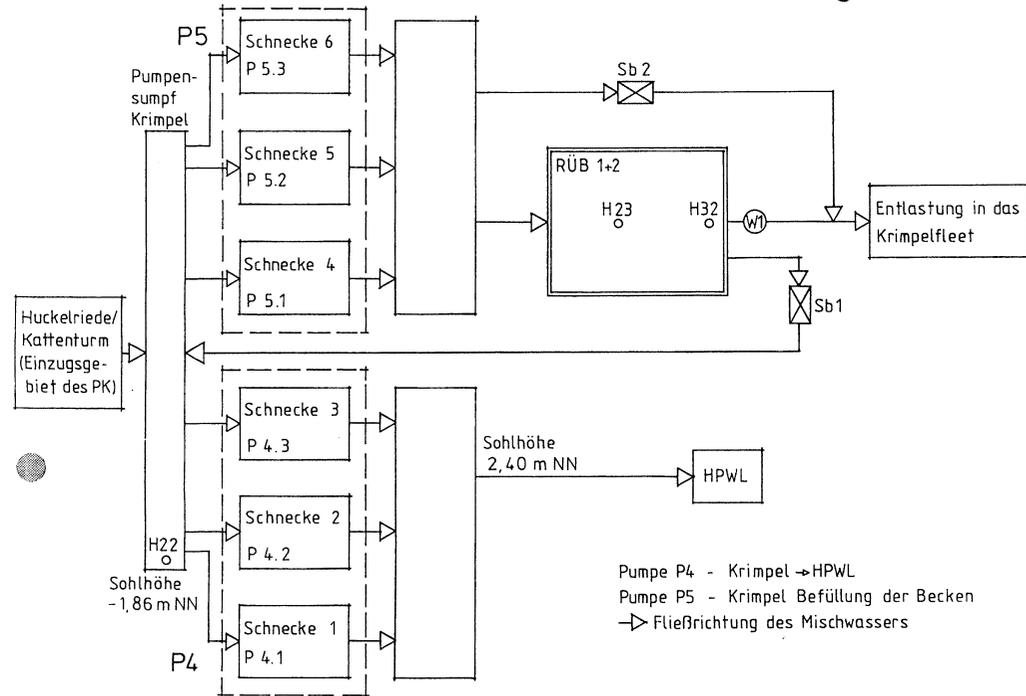
Die überschüssige Entlastungsmenge wird über ein Wehr (Oberkante: 4,13 mNN) in die Wasserlöse abgeführt.

Die Entleerung der Becken erfolgt durch einen Schieber (Sb 4). Wird der Schieber geöffnet, fließt das Wasser aus den Becken (Sohlhöhe: -0,95 mNN) in den Pumpensumpf zurück.

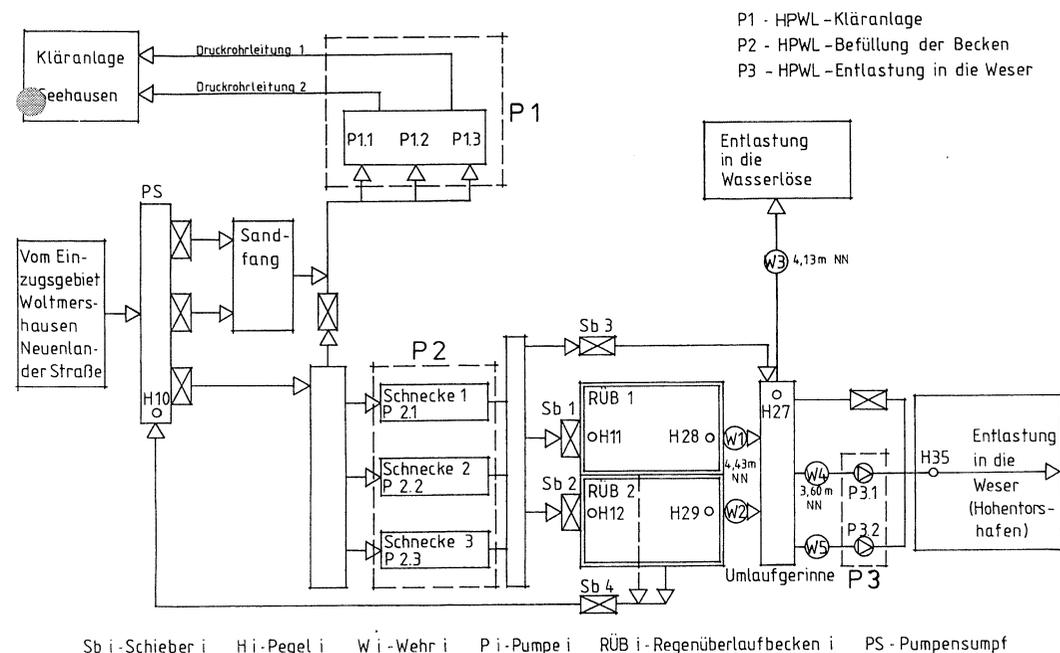
Pumpwerk Rablinghausen:

Das Mischwasserpumpwerk Rablinghausen ist das kleinste der drei Mischwasserpumpstationen. Das Mischwasser aus den nördlichen Stadtteilen wird dort um ca. 2,60m gehoben, um im weiteren Verlauf das HPWL im Freigefälle zu erreichen. Die Möglichkeit der Entlastung bzw. der Speicherung des Wassers in Rückhaltebecken besteht in Rablinghausen nicht. Die drei Pumpen (P6.1, P6.2, P6.3) werden durch die Pumpe P6 dargestellt. Die Leistungsvermögen der drei Pumpen sind die folgenden: P6.1 = 91 l/s; P6.2 = 91 l/s; P6.3 = 126 l/s.

Schema Pumpwerk Krimpel (PK) Fig. 3



Schema Hauptpumpwerk / linkes Weserufer (HPWL) Fig. 4



III) STEUERUNG

III.1) Ziele und Randbedingungen :

Seit Ende des 19. Jahrhunderts werden in den Großstädten Europas Entwässerungskanäle gebaut. Ihnen werden die folgenden Funktionen zugewiesen.

Im Trockenwetterfall leiten sie das Abwasser aus dem Gebiet zur Kläranlage ab, wo es vor der Entlastung in den Vorfluter verarbeitet wird. Im Regenwetterfall leiten sie zusätzlich das Regenwasser (insbesondere aus den undurchlässigen Flächen) ab, um Überflutungen der Straßen zu vermeiden.

Es wird zwischen Trennsystemen und Mischsystemen unterschieden:

In Trennsystemen werden Abwasser und Regenwasser getrennt transportiert. Das Regenwasser wird, wenn wenig verschmutzt, direkt in den Vorfluter geleitet. Sonst kann es entweder der Kläranlage oder einer speziellen Anlage zugeführt werden, um vor der Entlastung einem Reinigungsprozess zu unterliegen.

In Mischsystemen fließen Abwasser und Regenwasser (= Mischwasser) in denselben Kanälen (Rohren), um in der Kläranlage gemeinsam verarbeitet zu werden. Die Investitionskosten für den Aufbau eines Trennsystems sind normalerweise höher als für ein Mischsystem, jedoch treten in Mischsystemen erhebliche Schwierigkeiten auf, wenn stark verschmutztes Mischwasser wegen der begrenzten Kapazität der Kläranlage in den Vorfluter abgeführt werden muß.

In Bremen (sowie in den meisten Großstädten) existieren Trenn- und Mischsysteme nebeneinander. Dieses hat historische Gründe. Mischsysteme entwässern die ältesten Teileinzugsgebiete (stromabwärts), Trennsysteme die neugebauten Stadtgebiete (stromaufwärts)

In Bremen sind zudem die Fließbedingungen besonders ungünstig. Dieses resultiert zum einen aus dem sehr geringen Gefälle innerhalb des Gebietes, zum anderen aus der Tidebeeinflussung der Weser.

Ohne Steuerung durch Pumpen würde das Kanalnetz die oben genannten Funktionen nicht erfüllen können.

Demzufolge hat sich in Bremen seit Aufbau des Kanalnetzes die Frage gestellt, wie und nach welchen Prioritäten eine Steuerung die allgemeine Zielsetzung der Entwässerung unterstützen (bzw. ermöglichen) könne, insbesondere bei Regenwetter, wenn das Kanalnetz einer kritischen Belastung unterliegen kann.

Die Ziele der Steuerung beinhalten –nach ihrer Priorität geordnet– folgende Punkte (Broll; 1990), Fuchs; 1987), (Neumann A.;1987), (Schilling; 1988), (Voigt; 1989):

- 1) Verminderung (bzw.Vermeidung) von Überflutungen
- 2) Verminderung (bzw.Vermeidung) von Überlauf bzw. Entlastungen

Dieses setzt voraus :

- 1) eine möglichst optimierte Ausnutzung der in-line (in der Kanalisation selbst vorhandenen) Speicherkapazität, damit die Becken nur befüllt werden, wenn Überstau droht,
- 2) eine möglichst optimierte Ausnutzung der on-line (in den Regenrückhaltebecken vorhandenen) Speicherkapazität, damit Entlastungen nur auftreten, wenn es sich auf keinen Fall vermeiden läßt.

Als Randbedingungen der Steuerung sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- 1) Minimierung der Energiekosten für die Pumpen,
- 2) Gewährleistung der maximalen Sicherheit im Fall von Ausfällen (Ausfall von Meßgeräten oder Pumpen).

Das Berechnungsverfahren der Energiekosten ist in Verträgen festgelegt. Es ist schwierig, das Verfahren detailliert nachzuvollziehen. Darüberhinaus wurden im Laufe der Jahre Modifikationen durchgeführt. Man stellt jedoch fest, daß die Spitze des Energieverbrauchs (neben dem gesamten Energieverbrauch) eine erhebliche Rolle spielt, so daß eine Minimierung der Energiekosten im wesentlichen durch Reduzierung des Spitzenverbrauchs erfolgen kann.

III.2) Datenerfassungssystem (siehe Fig 5):

III.2.1) Die direkten Zustandsvariablen :

Um eine on-line Steuerung des Netzes überhaupt zu ermöglichen, ist eine Kenntnis des jeweiligen Zustandes im Netz unabdingbar. Diese Kenntnis wird im wesentlichen direkt durch ein Meßnetz erworben, dessen Meßdaten laufend in einem Zentralrechner gesammelt, analysiert und gespeichert werden.

Im Rahmen dieses Projektes hat die Stadt Bremen eine Restrukturierung und Erweiterung des alten Datenerfassungssystems durchgeführt. Die Daten, von denen im folgenden die Rede sein wird, werden alle 15 s auf dem Zentralrechner (PDP-11) im HPWL gespeichert und weiterverarbeitet.

Bemerkung:

Umfangreiche Informationen über die Meßdaten und das Datenerfassungssystem (Prinzipien der Messungen, Übertragungsmodus, Speichermodus, Bearbeitung,...) enthalten die entsprechenden Berichte der Stadt Bremen (Broll, Winter; Zwischenbericht Teil A; 1989) und (Broll; Abschlußbericht Teil A; 1990).

Die Meßgrößen im Netz sind die Niederschlagshöhen, die Wasserstandshöhen und die Durchflußraten.

a) Regenschreiber sind an 3 Stellen installiert:

N01	Pumpwerk Rablinghausen
N02	HPWL
N03	Pumpwerk Krimpel.

Die Niederschlagshöhenwerte werden in mm gemessen. Der Meßbereich beträgt 10 mm und die Auflösung 1/10 mm.

b) Pegel sind in der Kanalisation, in den Pumpensämpfen und in den Regenüberlaufbecken installiert.

Fig. 5
Darstellung des Meßnetzes
im System

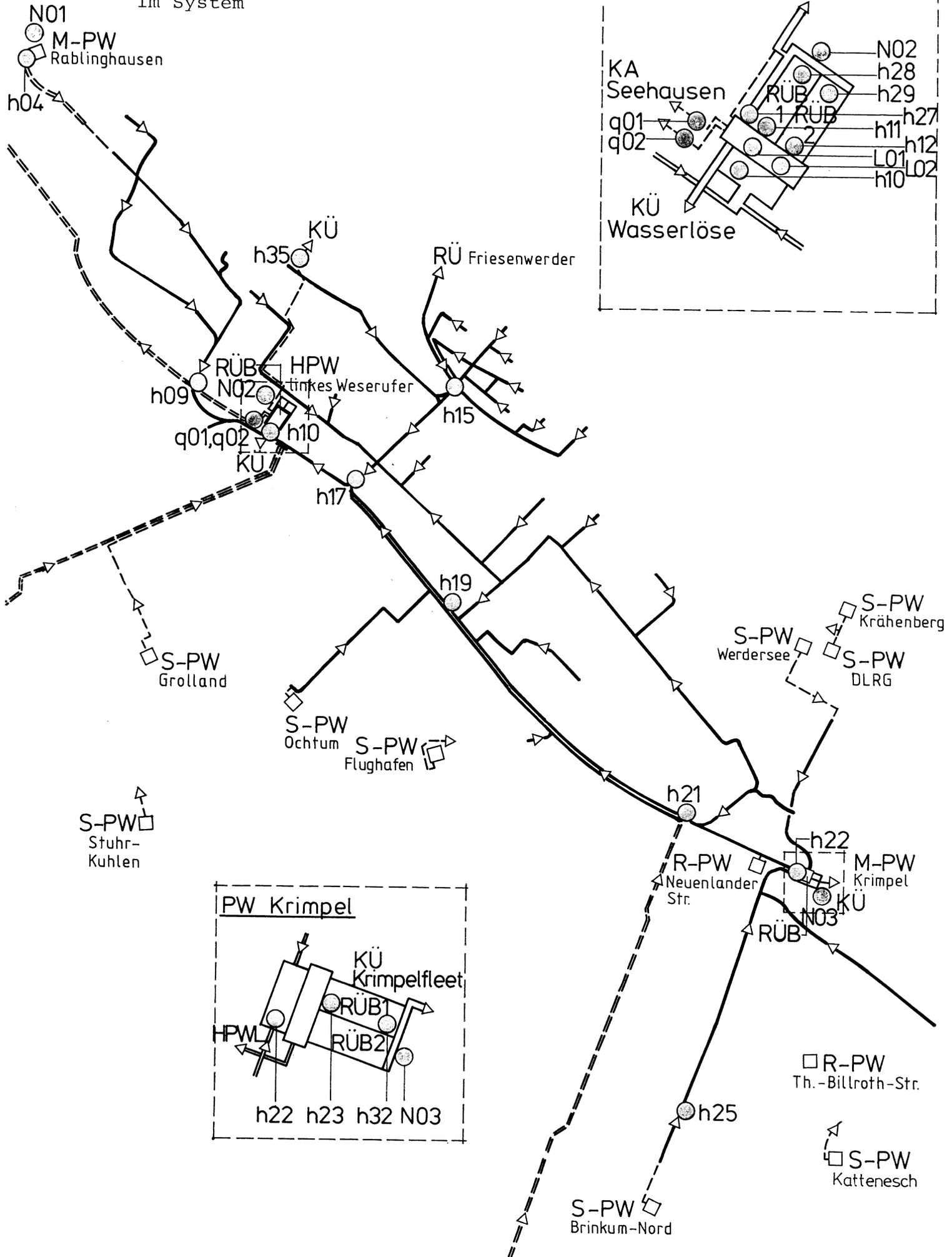
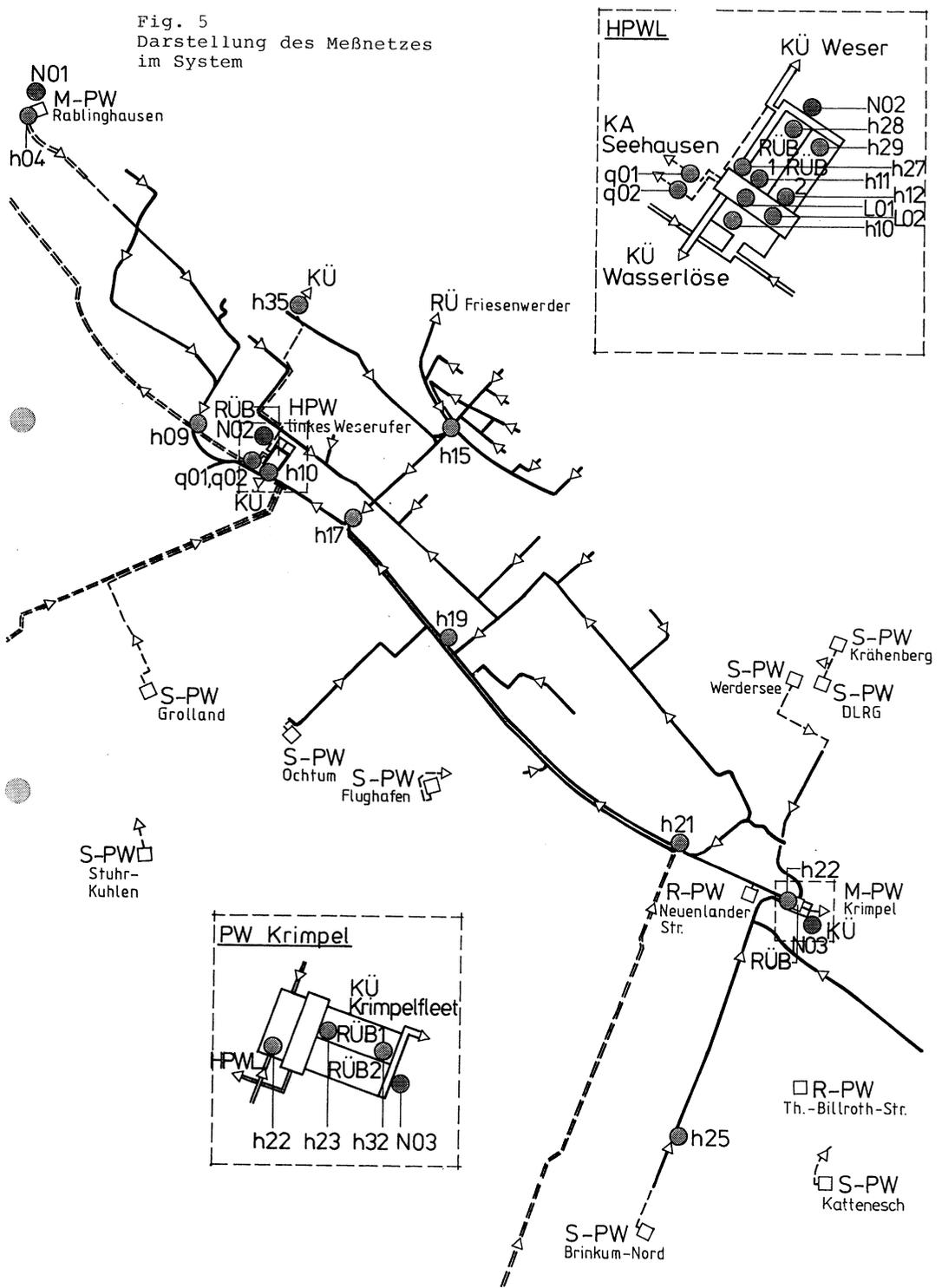


Fig. 5
Darstellung des Meßnetzes
im System



1) Im Kanal:

Pegel H09	Sammler Hempenweg
Pegel H15	Sammler Hohentorsplatz
Pegel H17	Sammler Hohentorsheerstr.
Pegel H19	Sammler Neuenländerstr./Meyerstr.
Pegel H21	Sammler Neuenländerstr./Lärmschutzwand
Pegel H25	Sammler Kattenturmer Heerstr.
Pegel H35	Auslaß Ladestr. (Weser)

2) In den Pumpensämpfen:

Pegel H04	Pumpensumpf Rablinghausen
Pegel H10	Pumpensumpf HPWL
Pegel H22	Pumpensumpf Krimpel
Pegel H40	Pumpensumpf Huchting

3) In den Regenüberlaufbecken:

H11	HPWL; Wasserstand im Becken (RÜB 1)
H12	HPWL; Wasserstand im Becken (RÜB 2)
H23	Krimpel; Wasserstand im Becken (RÜB 1+2).
H27	HPWL; Wasserstand im Umlaufgerinne.
H28	HPWL; Wasserstand über Wehroberkante (W1)
H29	HPWL; Wasserstand über Wehroberkante (W2)
H32	Krimpel; Wasserstand über der Wehroberkante (W1)

Die Wasserstandswerte werden in m über dem Nullpunkt der Sonde gemessen. Der Meßbereich und demzufolge die Auflösung ist vom Ort abhängig (siehe Anlage 1).

c) Durchflußraten (m³/s):

HPWL-Kläranlage	Druckrohrleitung 1 (IDM Verfahren)
HPWL-Kläranlage	Druckrohrleitung 2 (IDM Verfahren)
HPW1-Kläranlage	Druckrohrleitung (Venturirohr)
HPW2-Kläranlage	Druckrohrleitung (Venturirohr)
PW Huchting	Druckrohrleitung 1+2 (IDM Verfahren)

Bemerkung :

HPW1 und HPW2 sind die zwei Hauptpumpwerke im Einzugsgebiet Bremen 'Rechts der Weser'.

III.2.2) Die indirekten Zustandsvariablen :

Als indirekte Zustandsvariablen werden Variablen bezeichnet, die nicht direkt gemessen werden können, sondern erst aus anderen Variablen berechnet werden.

a) indirekte Durchflußraten bei Schnecken und Pumpen aus den Laufzeitmessungen (in s).

HPWL	Befüllung der Becken; Schnecken P2.1, P2.2, P2.3
Krimpel	Richtung HPWL; Schnecken P4.1, P4.2, P4.3
Krimpel	Befüllung der Becken; Schnecken P5.1, P5.2, P5.3

b) Die Stauraumauslastung :

Da die Steuerung des Bremer Netzes eine möglichst optimierte Ausnutzung der in-line Speicherkapazität anstrebt, ist der Grad der Stauraumauslastung innerhalb der Kanalisation eine wichtige Information. Jeder Wert der Stauraumauslastung wird aus dem Wasserstand an einem bestimmten Pegel berechnet. Zur Berechnung werden Funktionen benutzt, die den ausgenutzten Stauraum oberhalb des Pegels in Abhängigkeit vom Wasserstand approximieren.

Bemerkungen :

2) Weitere Informationen über die Wasserstands- und Abflußmessungen sind Anlage 1 zu entnehmen.

1) Alle Stauraumkurven und eine Systemskizze sind in Anlage 2 enthalten.

III.3) Steuerstrategie:

III.1) Definition

Neben einer guten Kenntnis des on-line Netzzustandes ist die Festlegung einer Steuerstrategie die zweite Bedingung eines on-line Betriebes. Eine gesamte Steuerstrategie wird durch die zeitliche Reihenfolge der Steuerentscheidungen über alle Steuergeräte (Pumpen, Schieber,...) eindeutig beschrieben. Für eine Pumpe mit verschiedenen Förderleistungsstufen beschreibt die Reihenfolge der Stufen über das Niederschlagsereignis eindeutig die Strategie bezüglich dieser Pumpe .

III.3.2) Bestimmung der Steuerstrategie

Den Prozess, im Laufe dessen Entscheidungen über die Steuerung der Geräte gefällt werden, heißt Strategiefindung oder Bestimmung der Steuerstrategie. Für das Bremer Netz werden die notwendigen on-line Steuerentscheidungen von einem Operator getroffen.

Auf der einen Seite verfügt er über schriftliche Unterlagen, in denen Steueranweisungen festgelegt sind. Diese Anweisungen können als Steuerregeln-für-den-Normalfall aufgefaßt werden. Sie bilden das, was wir im folgenden 'die Standardstrategie' nennen.

Auf der anderen Seite soll der Operator auf seine Erfahrung und sein Analysevermögen zurückgreifen, um unvorhersehbaren Schwierigkeiten entgegenzuwirken. – Als Beispiel für 'unvorhersehbare Schwierigkeiten' seien folgende Punkte genannt : Ausfälle von Meßgeräten oder Pumpen, Überstau im Netz. – In kritischen Fällen wird der Vorgesetzte über die Situation vor Ort informiert.

Da die gesetzlichen Mindestanforderungen an die Leistung eines Kanalnetzes immer höher werden, wird es notwendig, die Steuerregeln, die 'mit dem Netz gewachsen sind', mit Hilfe von wissenschaftlichen Methoden auf die Probe zu stellen.

Heutzutage sind die meist angewandten Methoden :

- die mathematische Optimierung,
- die Entwicklung einer geprüften Regelbasis.

Jede Methode weist Vor- und Nachteile auf. Nähere Erläuterungen befinden sich in Teil III dieses Berichtes.

Gemeinsame Voraussetzung solcher Untersuchungen ist jedoch eine gründliche Analyse des Verhaltens des Netzes im Trockenwetter- sowie im Regenwetterfall. Im folgenden Kapitel (Teil II: Simulation des Netzes) wird dieser Punkt ausführlich behandelt.

I) ANFORDERUNGEN AN DAS SIMULATIONSMODELL

I.1) Notwendigkeit der Simulation.

Im Trockenwetterfall beinhaltet die Tätigkeit des Operators viel Routinearbeit. Wichtige Aufgaben sind die Förderung des Trockenwetterzuflusses zur Kläranlage und die Instandhaltung des Netzes, wie Reinigung (von Rohren, Becken,...), Prüfung von Geräten (Meßgeräte, Steuergeräte) oder Reparaturen.

Im Regenwetterfall treten Schwierigkeiten auf.

Jedes Niederschlagsereignis hat einen speziellen Verlauf und verursacht in besonderen Situationen (einige Male pro Jahr) Belastungen, die die Kapazitäten des Netzes übersteigen können. In diesem Fall setzt ein geeigneter on-line-Betrieb des Netzes ein sicheres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Vorgängen, die in den einzelnen Elementen des Netzes ablaufen, voraus.

In der Praxis erwerben sich die Operatoren das notwendige Verständnis über die Wechselwirkungen der einzelnen Elemente durch ihre mit jedem Niederschlagsereignis wachsende Erfahrung. Bei der wissenschaftlichen Bearbeitung ist eine solche Vorgehensweise offensichtlich nicht zulässig. Notwendige Bedingung einer sinnvollen wissenschaftlichen Untersuchung ist die Möglichkeit zur Simulation.

I.2) Vorgänge und Modellierung (Dyck/Peschke; 1989), (Paulsen; 1987), (Thibault; 1979).

Für die mengenmäßige Simulation existieren heute viele einsetzbare Modelle, wobei zwischen den drei nacheinander auftretenden folgenden Teilprozessen unterschieden wird :

- der Abflußbildung (Berechnung des effektiven Niederschlags, bzw. der Niederschlagsverluste),
- der Abflußkonzentration (Berechnung der Zuflußwellen in die Kanalisation),
- dem Abflußtransport (Berechnung der Durchflußwellen bzw. der Abflußwellen und der Wasserstände im Kanalnetz).

Bei der Abflußbildung (Sieker, 1987) werden nur abstrakte Modelle eingesetzt. Das heißt, die auftretenden Niederschlagsverluste werden durch Vorgänge beschrieben, die nicht direkt der physikalischen Realität entsprechen.

Als Beispiele seien genannt:

- die Grenzwertmethode zur Berechnung der Muldenverluste bei durchlässigen sowie undurchlässigen Flächen,
- die Infiltrationsansätze von Horton oder Neumann für durchlässige Flächen.

Bei den Teilprozessen 'Abflußkonzentration' und 'Abflußtransport' wird zwischen hydrologischen und hydrodynamischen Modellen unterschieden.

Bei hydrologischen (Sieker; 1989) Modellen werden Abflußkonzentration an der Gebietsoberfläche und/oder Abflußtransport innerhalb des Netzes in der gleichen Art und Weise erfaßt; Einzugsgebiet und

Kanalisation bilden ein lineares System, dessen Verhalten durch eine Übertragungsfunktion charakterisiert wird.

Diese Funktion verbindet die Eingabeinformation (effektive Niederschlagswelle) mit der Ausgabeinformation (Abfluß am Auslaß des betrachteten Systems). Sie kann in den meisten Fällen als Lösung eines Gleichungssystems verstanden werden, dessen Aufbau einerseits auf der allgemeinen Kontinuitätsbedingung, andererseits auf einem dem Gebiet spezifischen Speicherverhalten beruht.

Als Beispiele für den Aufbau einer Übertragungsfunktion seien folgende Verfahren erwähnt: 'Einheitsganglinie', 'linearer Speicher', 'lineare Speicherkaskade'...

Bei hydrodynamischen Modellen wird versucht, insbesondere den Transportprozeß in der Kanalisation durch die Gleichungen aus der Hydrodynamik nachzubilden.

Eine wichtige Rolle kommt in der Stadthydrologie dem Saint-Venant'schen Gleichungssystem zu. Dieses Gleichungssystem beinhaltet eine Kontinuitätsgleichung und eine Bewegungsgleichung in einem infinitesimalen Kanalabschnitt. Dieses nicht-lineare Differentialgleichungssystem besitzt keine analytische Lösung. Mehrere numerische Lösungsmöglichkeiten wurden entwickelt (Scheffer, 1987), um die Zustände des Systems zu berechnen, vorausgesetzt, Anfangs- und Randbedingungen sind bekannt. Unter anderem seien erwähnt : endliche Differenzenverfahren (implizit oder explizit), endliche Elementverfahren, Charakteristikenverfahren.

Hydrologische Modelle zur Simulation der Abflußkonzentration und des Transports können jeden beliebigen Teil des Entwässerungssystems als eine Einheit erfassen. Man braucht dafür nur die entsprechende Übertragungsfunktion zu bestimmen (durch Kalibrierung mit vorhandenen Meßdaten oder durch Anwendung von Formeln).

Bei hydrodynamischen Modellen können sich dagegen die Saint-Venant'schen Gleichungen theoretisch nur auf einen infinitesimalen Abschnitt beziehen. Demzufolge benötigen hydrodynamische Modelle eine detailliertere Beschreibung des Gebietes bzw. des Netzes als hydrologische Modelle. Zudem benötigen sie eine längere Rechenzeit, sind aber, wenn richtig eingesetzt und kalibriert, genauer. Inbesondere können sie rückstaaubeinflusste Fließvorgänge innerhalb der Kanalisation nachbilden, was bei der linearen Systembeschreibung der hydrologischen Modelle unmöglich ist.

I.3) Elemente eines Entwässerungssystems und Beschreibung ihrer Zustände.

Die wesentlichen Elemente eines Entwässerungssystems sind :

- 1) Schächte : Ein Schacht bezeichnet einen Punkt im Kanalnetz, durch den Abwasser und/oder Niederschlagswasser in die Kanalisation hineinfließt.
- 2) Haltungen : In den Teilprozessen 'Abflußbildung' und 'Abflußkonzentration' bezieht sich der Begriff 'Haltung' auf einen Teil des Einzugsgebietes, der die Zuflußwelle zu einem gegebenen Schacht erzeugt. Im Teilprozeß 'Transport in der Kanalisation' bezieht sich der Begriff 'Haltung' auf eine Kanalisationsstrecke zwischen zwei Schächten.

Weitere Kanalnetzelemente können vorhanden sein.

1) Speicherelemente : Als Beispiele für Speicherelemente seien 'Regenrückhaltebecken' oder 'Schmutzwasserspeicher' genannt. Diese Speicherkapazität wird durch Steuerelemente aktiviert.

2) Steuerelemente : Als Beispiele für Steuerelemente seien Pumpen, Wehre und Schieber genannt. Nach der Art, wie diese Elemente gesteuert werden oder gesteuert werden können, wird zwischen mehreren Steuerungskategorien unterschieden.

Der Zustand in einem Kanalnetzelement wird durch eine oder mehrere der folgenden (Zustands-) Variablen charakterisiert ; Zuflußraten (m^3/s), Durchflußraten (m^3/s), Abflußraten (m^3/s), Wasserstände (m NN).

I.4) Charakterisierung der Steuerung (Schilling;1989)

Bei unbeweglichen Wehren gibt es kaum eine Möglichkeit zur Steuerung. Wasser wird in das Speicherbecken (Speicherung) oder in den Vorfluter (Entlastung) abgeleitet, sobald ein gewisser Wasserstand vor Ort überschritten wird.

In den anderen Fällen unterscheidet man zwischen einer lokalen Steuerung und einer Verbundsteuerung. Bei einer lokalen Steuerung werden feste von der jeweiligen Netzsituation unabhängige Sollwerte angesetzt. Die Sollwerte beziehen sich entweder auf einen Wasserstand oder auf eine Flußrate.

Es kann beispielsweise wünschenswert sein, den Wasserstand in einem Becken konstant zu halten (Erholungsteich, Fischteich, ...). Möglich ist aber auch, den Abfluß aus dem Becken konstant zu halten (Beschickung einer Kläranlage,...).

Wie diese vorgegebenen Sollwerte eingehalten werden können, hängt von den technischen Merkmalen des Steuergerätes ab. In vielen Fällen werden Kenntnisse aus der Regelungstechnik herangezogen (Schilling; 1988).

Bei einer Verbundsteuerung wird jeder Sollwert im Laufe des Ereignisses dem jeweiligen Netzzustand angepaßt. Nur eine Verbundsteuerung kann für sich den Anspruch erheben, bei jedem Ereignis die volle Kapazität des Kanals auszunutzen. Nur in diesem Fall kann man von einer on-line Steuerstrategie sprechen.

I.5) Auswahl eines Modells

Bei dem Projekt 'Steuerung des Netzes Bremen Links der Weser' handelt es sich um eine Verbundsteuerung. In erster Linie werden Pumpen (und Schnecken) eingesetzt (Befüllung der Speicherbecken und Beschickung der Kläranlage), in zweiter Linie Schieber (Entleerung der Becken). Da das Kanalnetz ein geringes Gefälle aufweist, ist es stark rückstaaubehaftet und sein Zustand wird in großem Maße von der Steuerstrategie der Pumpen beeinflusst.

Demzufolge muß der Transportprozeß in der Kanalisation mit einem hydrodynamischen Modell berechnet werden, in dem Pumpen simulierbar sind..

Als Simulationsmodell wird das Modell Hystem-Extran (Fuchs; 1988) verwendet.

Hystem ist ein hydrologisches Modell zur Simulation der Abflußbildung und Abflußkonzentration auf der Gebietsoberfläche.

Bei der Simulation der Abflußbildung werden folgende Ansätze benutzt:

- * für die undurchlässigen Flächen : Vorwegabzug der Benetzungsverluste und der Muldenverluste nach der Grenzwertmethode,
- * für die durchlässigen Flächen : Vorwegabzug der Benetzungs- und Muldenverluste und dann Infiltration nach Neumann.

Bei der Simulation der Abflußkonzentration wird die Übertragungsfunktion nach der Methode der Einheitsganglinie (Verwon, Harms; 1980) berechnet.

Extran ist ein hydrodynamisches Modell zur Berechnung des Transports in der Kanalisation. Zur Lösung des Saint-Venant'schen Gleichungssystems wird ein explizites Differenzenverfahren (nach Euler) eingesetzt.

Jede Haltung wird als ein (infinitesimaler!) Kanalabschnitt betrachtet, für den das Gleichungssystem jeweils gelöst wird. Der Zustand an einem Schacht wird durch eine Wasserstandsvariable gekennzeichnet. Der Zustand an einer Haltung wird durch eine Durchflußvariable und zwei Wasserstandsvariablen (oberhalb und unterhalb der Haltung) gekennzeichnet. Wegen des Lösungsverfahrens werden zudem pro Simulationszeitschritt an einer Stelle jeweils zwei Wasserstandswerte berechnet (zum halben und zum ganzen Zeitschritt).

Speicherelemente werden in Extran durch sogenannte Speicherschächte dargestellt.

Pumpen und (unbewegliche) Wehre sind simulierbar. Schieber können dagegen nicht direkt simuliert werden. Sie werden als Pumpe dargestellt. Die sogenannten on-line Pumpen werden nach den Wasserständen in den entsprechenden Pumpensämpfen gesteuert.

II) ERSTELLUNG EINER MODELLDARSTELLUNG DES NETZES

Ein hydrodynamisches Modell ist rechenzeintensiv, was sich bei der Entwicklung ungünstig auswirkt. Damit die notwendige Rechenzeit begrenzt bleibt, muß die Modellbeschreibung des Netzes stark vereinfacht werden, ohne jedoch die Qualität der Ergebnisse zu beeinträchtigen. – Die vom Datenerfassungssystem erhaltenen Meßdaten müssen mit hinreichender Genauigkeit nachgebildet werden können. – Die Entwicklung einer vereinfachten Darstellung des Netzes ist eine kritische und schwierige Phase, von der die Qualität der späteren Ergebnisse erheblich abhängt. Sie setzt eine Analyse des Netzverhaltens sowie Erfahrung mit dem verwendeten Simulationsmodell voraus. Zusätzlich zum Verständnis des Netzverhaltens werden Erfahrungen mit der Kalibrierung sowie genaue Kenntnisse der Grenzen des Simulationsmodells verlangt, damit Ursachen für Abweichungen zwischen Messung und Simulation gefunden werden können. – In Anlage 3 werden die wesentlichen Etappen dieses Kalibrierungsvorgangs dargelegt. –

In Fig.6 ist das vorhandene Kanalnetz in seinen Umrissen maßstabsgetreu gezeichnet. Das oberhalb gelegene Trennsystem wird nur an seinen Schnittstellen mit dem unterhalb gelegenen Mischsystem gezeigt.

In Fig.7 ist dasselbe Netz aus analytischen Gesichtspunkten graphisch dargestellt. Dementsprechend sind hier nur Größen zu sehen, die im on-line Betrieb eine wichtige Rolle bei der Zustandsbeschreibung oder Steuerentscheidung spielen. Aus dieser Graphik wird folgendes ersichtlich:

- 1) Die Pumpwerke haben wegen des geringen Gefälles (Rückstaugefahr) einen erheblichen Einfluß auf den Zustand (Wasserstand, Durchfluß) an Netzpunkten, die geographisch betrachtet durchaus weit entfernt liegen können (Notwendigkeit des hydrodynamischen Modells).
- 2) Die 'in-line' und 'on-line' verfügbaren Speicherkapazitäten stellen bei der Suche nach der geeigneten Steuerstrategie wichtige Größen dar. (Notwendigkeit einer guten Annäherung der Stauraumkurven).

In Fig.8 wird eine graphische Darstellung des Grobnetzes gezeigt. Trotz der sehr starken Vereinfachung in der Beschreibung – das Netz im Modell zählt nur 70 Haltungen gegenüber mehr als 3000 in der Realität – sind die in Fig.6 und Fig.7 bereits gezeigten Grundzüge zu erkennen.

Weitere Informationen sind den Anlagen 4, 5, 6, 7 zu entnehmen.

Anlage 4 : vollständige Beschreibung des Grobnetzes im Modell und Parameterwerte aller Teilprozesse.

Anlage 5 : Erläuterungen über die Konfigurationen der Pumpwerke Krimpel und HPWL.

Anlage 6 : Vergleich zwischen den Kurven der Stauraumauslastung im Modell und den entsprechenden tatsächlichen Kurven.

Anlage 7 : Darstellung des Trockenwetterzustandes im Modell.

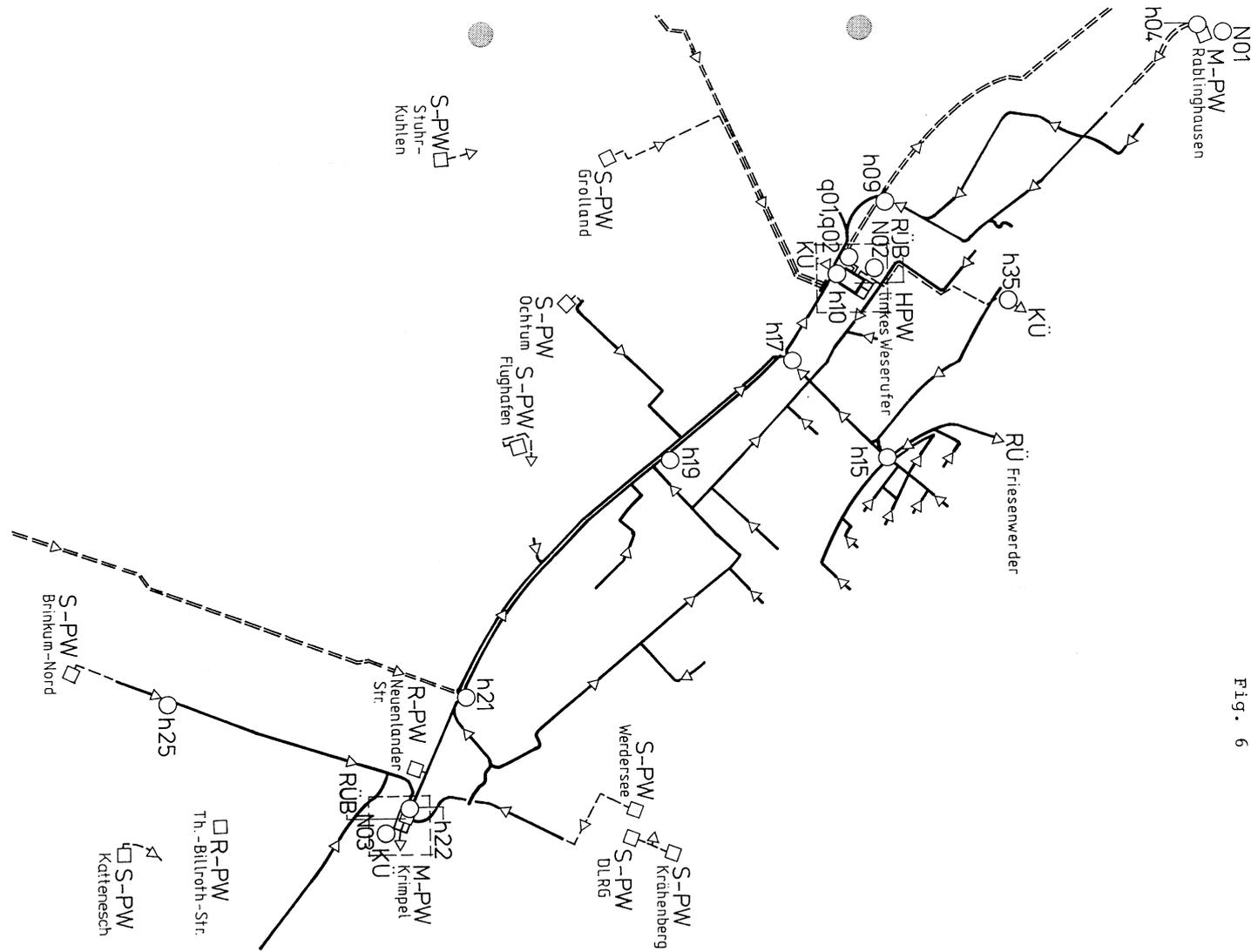
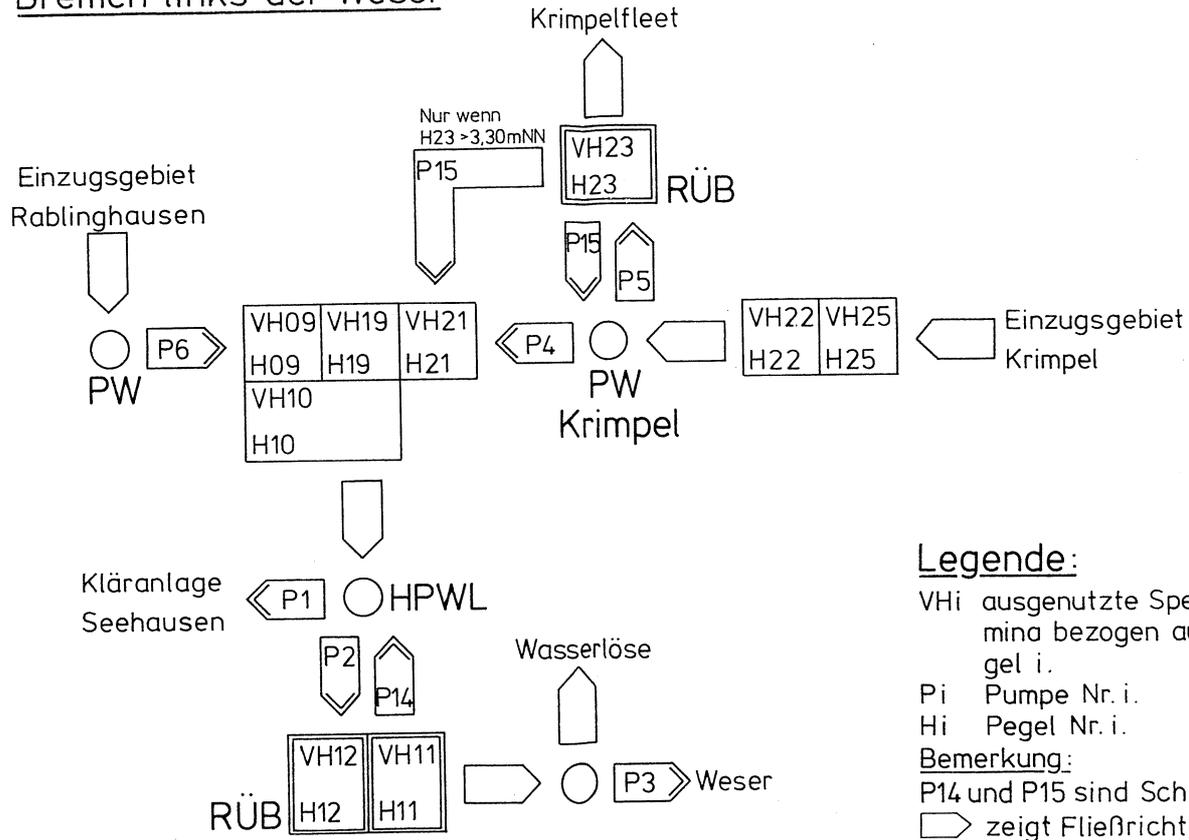


Fig. 6

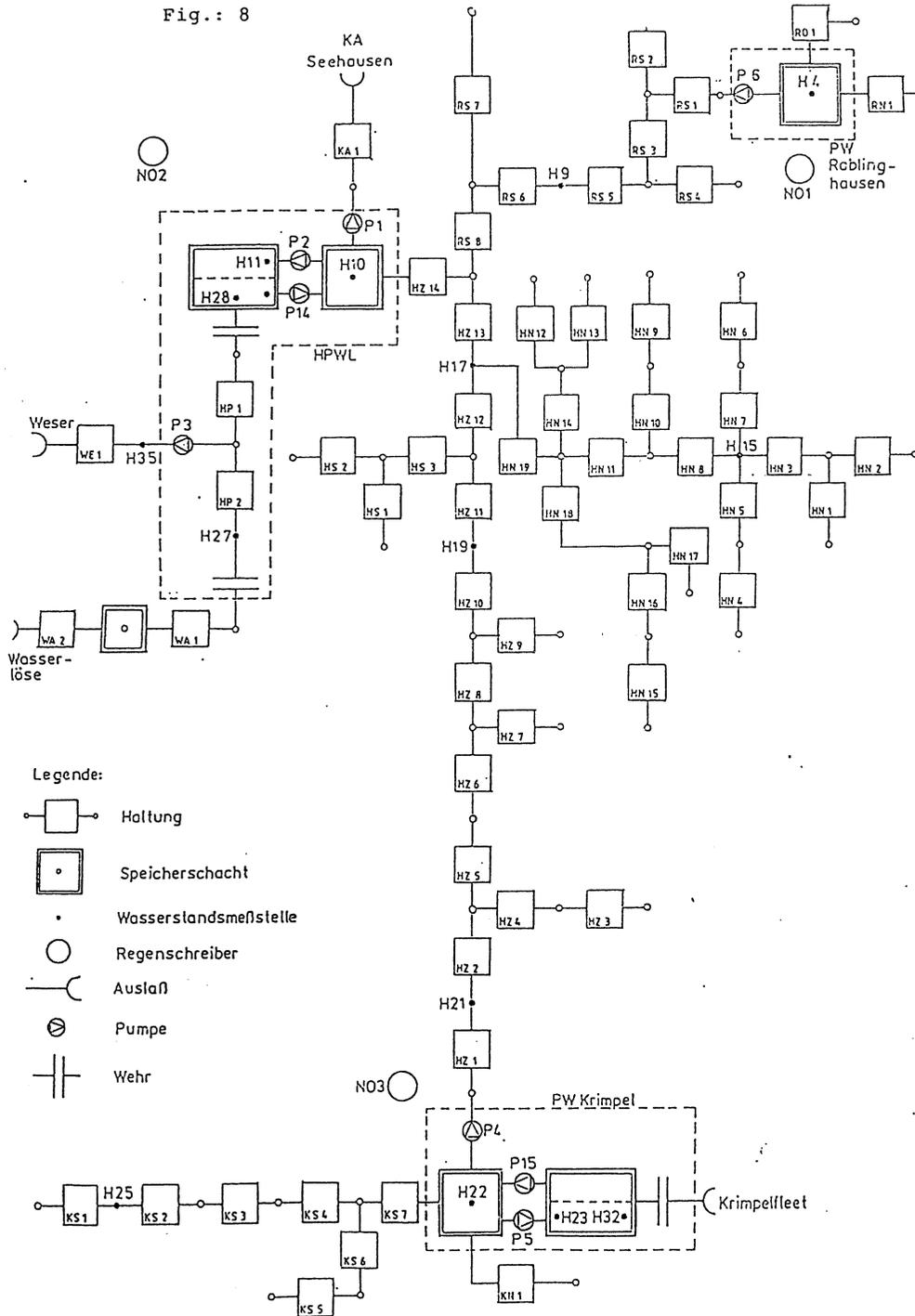
Steuerung des Kanalnetzes
Bremen links der Weser

Fig.: 7



Legende:
 VH_i ausgenutzte Speichervolumina bezogen auf den Pegel i.
 P_i Pumpe Nr. i.
 H_i Pegel Nr. i.
Bemerkung:
 P14 und P15 sind Schieber.
 [Symbol] zeigt Fließrichtung des Mischwassers.

Fig.: 8



III) VERIFIZIERUNG DES MODELLS

III. 1) Die Wahl der Ereignisse

Vergleiche zwischen gemessenen Zustandsdaten und Simulationsergebnissen werden für drei ausgewählte Ereignisse in Anlage 8 aufgezeigt. Es handelt sich um folgende Ereignisse:

- 1) Ereignis 01.06.1988 (1 Tag)
- 2) Ereignis 08.06.1988 (1 Tag)
- 3) Ereignis 27.-29.08.1989 (3 Tage).

Bemerkung:

In Anlage 9 werden Niederschlagsinformationen bezüglich der Jahre 1988 und 1989 aufgezeigt, die von einem unabhängigen Regenschreiber (Bremen Flughafen) aufgenommen wurden. Es werden unter anderem die wichtigsten Niederschlagsereignisse in der Reihenfolge ihrer Niederschlagshöhe aufgelistet.

Die ausgewählten Ereignisse sind innerhalb der beiden Jahre 1988-1989 die drei bedeutendsten Ereignisse, die vom Datenerfassungssystem (siehe Kapitel 1) registriert worden sind. Statistisch betrachtet liegen ihre Wiederkehrhäufigkeiten zwischen 1 und 3,5 Jahre (siehe Anlage 18 'Statistische Auswertung der Daten vom Regenschreiber 2833 Bremen Bayernstr. HPW1').

In allen drei Fällen wurden die Speicherbecken in Krimpel und HPWL befüllt. Bei den Ereignissen 08.06.88 und 27.-29.08.89 wurden sogar Entlastungen in den Vorfluter (die Weser) festgestellt. Dieses ist bei der weiteren Untersuchung von Interesse, in der festgestellt wird, ob gerade bei solchen Ereignissen eine Verbesserung der Steuerung hinsichtlich der gespeicherten und entlasteten Mengen möglich ist -siehe Kapitel V.

III. 2) Beurteilung der Simulation.

Bis auf die Entleerung der Becken werden die Ganglinien an den Wasserstandsmeßstellen relativ gut getroffen. Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Ganglinien sind zurückzuführen auf:

- 1) Vereinfachungen bei der Beschreibung der Vorgänge (Grenze des Modells)
- 2) Vereinfachungen bei der Beschreibung des Entwässerungssystems

Bei der Herstellung des Grobnetzes aus dem Feinnetz wurde darauf geachtet, daß in erster Linie die in-line Speicherkapazitäten gut getroffen werden, was insbesondere im oberen Teil des Netzes (H25; H15) Verzerrungen bei der Beschreibung der Fließvorgänge verursachen kann.

- 3) Unstimmigkeiten bei den Steuerentscheidungen. Sie zeigen besonders starke Wirkungen an den Pegeln im unteren Teil des Netzes (H10, H09) und in den Becken (H11, H23) auf.
- Die Befüllung der Becken sowie die Beschickung der Kläranlage geschehen in der Realität nicht genau nach den im Modell angenommenen Vorschriften. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der tatsächliche Entscheidungsprozeß teilweise gar nicht formulierbar ist (d.h es gibt keine eindeutige Erklärung, wieso diese oder jene Entscheidung zu einem gegebenen Zeitpunkt ausgeführt wurde)

oder auf Parametern beruht, die im Modell nicht ohne weiteres simulierbar sind (z.B. die Mischwassermenge, mit der die Kläranlage aus dem Teilgebiet 'Rechts der Weser' beschickt wird).

- 4) Die Entleerung der Becken kann mit der normalen Simulationsversion nicht simuliert werden. Die Steuerung der Pumpen kann bei der Extran-Simulation nur aufgrund des Wasserstandes im dem Schacht, aus dem gepumpt wird, festgelegt werden. Dieses bedeutet, daß die Entleerung eines Beckens aufgrund des Wasserstandes in diesem entschieden würde. Dieses ist natürlich falsch. Der entscheidende Parameter ist natürlich die Stauraumauslastung innerhalb der Kanalisation.

Diese Erwägungen führen zu dem Schluß, daß das Modell 'Extran' die Vorgänge an der Oberfläche sowie in der Kanalisation richtig erfassen kann. Es bleiben jedoch Probleme, was die Bestimmung der Steuerstrategie anbelangt. Dementsprechend wird die Untersuchung von komplizierten Steuerstrategien nicht ohne Erweiterung des Modells simulierbar. In den Kapiteln III und IV wird auf diese Schwierigkeiten näher eingegangen.

TEIL III
ENTWICKLUNG VON STEUERSTRATEGIEN;
DIE METHODEN.

1) ENTWICKLUNG VON STEUERSTRATEGIEN DURCH OPTIMIERUNG

1.1) Formulierung des Optimierungsproblems (Bellmann;1967), (Bertsekas;1976), (Neugebauer;1990), (Petersen;1987), (Schilling;1988), (Semke;1984)

In einem Optimierungsproblem wird unterschieden zwischen Entscheidungsparametern und Zielparametern. Es wird versucht die Werte der Entscheidungsparameter so zu bestimmen, daß die entsprechenden Werte der Zielparameter als optimiert (in einem noch zu definierenden Sinne) gelten können.

Es ist in den meisten Fällen allerdings so, daß die Entscheidungsparameter nur Werte innerhalb eines Bereichs annehmen können. Die Bestimmung der Lösungswerte unterliegt also Einschränkungen, die man als Randbedingungen bezeichnet. Wie die Randbedingungen tatsächlich berücksichtigt werden (explizit oder implizit durch Angabe von zusätzlichen Zielparametern), hängt vom Optimierungsverfahren und dem tatsächlichen vorliegenden Problem ab. Es gibt keine allgemeine Vorgehensweise.

Zu den wichtigsten Zielparametern, die bei Entwicklung und Bewertung einer Steuerstrategie in einem Entwässerungssystem beachtet werden, zählen folgende Parameter:

- 1) Menge bzw. Häufigkeit von Einstau bzw. Überstau im Netz.
- 2) Menge bzw. Häufigkeit von Entlastungen ungereinigten Mischwassers in den Vorfluter.
- 3) Finanzielle Kosten. Darunter sind normalerweise die durch den Energieverbrauch entstehenden Kosten zu verstehen. Im Fall einer Entlastung bzw. Überflutung können jedoch zusätzliche Kosten in Form von Entschädigungen oder Bestrafungen hinzukommen.
- 4) Sicherheitsbetrachtungen, die in manchen Fällen den Raum der möglichen Steuereingriffe einschränken können. Als Beispiel sollte ein Schieber möglicherweise nicht ganz geöffnet oder geschlossen werden.

Mathematisch läßt sich ein Optimierungsproblem als Suche nach dem Optimum einer Funktion formulieren. Diese Funktion wird Kosten-Funktion oder Ziel-Funktion genannt, da sie eine Bewertung der gesamten gestellten Ziele ermöglicht.

Die Charakteristika der Zielfunktion bestimmen die Art und Weise, wie das Optimum gesucht wird – lineare Optimierung, quadratische Optimierung, ...-. Am häufigsten werden lineare Zielfunktionen konstruiert, wobei sich die entstandenen Kosten linear zu den Werten der Zielparameter berechnen lassen.

Im Fall der Bestimmung einer Steuerstrategie wird die Zielfunktion (F) durch eine Reihe von Netzzuständen (X_i) und Entscheidungswerten an den Steuerorganen (U_i) berechnet.

$$F = F(X_i, U_i), \quad 0 \leq i \leq n \quad (1)$$

- X_i : Zustand des Netzes zum Zeitschritt i.
- U_i : Werte der Entscheidungsparameter zum Zeitschritt i.
- n : Optimierungshorizont.
- Ein Zustand zum Zeitschritt i (X_i) wird beispielsweise durch mehrere Werte (Wasserstände und/oder Durchflüsse an verschiedenen kritischen Stellen des Netzes) beschrieben.
- Eine Entscheidung zum Zeitschritt i (U_i) setzt sich aus den Sollwerten an jedem einzelnen Steuerorgan zusammen.
- Der Optimierungshorizont n bestimmt die Anzahl der Steuerzeitschritte, die in einem einzelnen Optimierungsprozeß (zur Berechnung der Kostenfunktion) zu betrachten sind.

Im idealen Fall ist vorstellbar, daß der Horizont umso größer ist, je besser die Optimierung wird, da man eine globale (über das ganze Niederschlagsereignis) statt einer lokalen (über einen bestimmten Zeitraum) Optimierung vornimmt. In Wirklichkeit wird aus der Diskussion über Vor- und Nachteile der Optimierung ersichtlich, daß der Horizont notwendigerweise beschränkt (< 10) bleibt, so daß es nicht immer möglich ist, ein ganzes Ereignis mit kleinen Entscheidungszeitschritten zu simulieren.

Das Optimierungsproblem wird folgendermassen formuliert:

$$U_{i0} ; F(X_i, U_{i0}) = \min F(X_i, U_i) \quad 0 \leq i \leq n \quad (2)$$

U_{i0} ist eine bestimmte, die Kosten minimierende Reihenfolge von Sollwerten für alle Steuerorgane über den Horizont. Sie gilt demzufolge als beste Lösung bzw. Strategie. Die Existenz eines Optimums (bzw. mehrerer Optima) und die Wahl geeigneter Suchalgorithmen sind wiederum abhängig von der Form der Funktion.

Ist die Kostenfunktion als lineare Funktion definiert, gilt :

$$F(X_i, U_{i0}) = \sum \alpha_{k,i} x_{k,i} + \beta_{l,i} u_{l,i} \quad (3),$$

- α, β sind reale Koeffizienten, die die Gewichtung der verschiedenen Ziele darstellen.
- $x_{k,i}$ ist die k.ste Ordinate von X (Zustand) zum Zeitschritt i,

– $u_{i,j}$ ist die i .ste Ordinate von U (Sollwert) zum Zeitschritt i .

In diesem Fall kann bewiesen werden, daß es innerhalb des von den Randbedingungen bestimmten Suchraums ein einziges Optimum gibt.

1.2) Schwerpunkte beim Aufbau eines Optimierungsmoduls

1.2.1) Die 'implizite' Simulation (Fig. 9)

Bei dem Steuerungsproblem sind die Zustände zu den Zeitschritten i X_i ($i \geq j$) abhängig vom Zustand X_j , von der Entscheidung U_k ($j \leq k \leq i$) und den Störvariablen (Niederschlag) S_k ($j \leq k \leq i$). Demzufolge wird bei der Optimierung eine Simulation des Netzes implizit durchgeführt, um den Einfluß jeder möglichen Entscheidung zu errechnen.

Daraus ergibt sich ein großer Vorteil dieser Methode. Der Lösungsweg gilt, wenn das Steuerungsproblem einmal sinnvoll gestellt worden ist, für alle möglichen Belastungen des Netzes (Niederschlagsereignisse).

Das kann auf der anderen Seite zu erheblichen Einschränkungen der Resultate führen, weil dieselbe Simulation aus mehreren Gründen (Berechnungszeit, unvollständige Kenntnisse des Netzes, Charakteristika des Suchalgorithmus...) nur eine grobe Vereinfachung der tatsächlichen Vorgänge darstellen kann. Beispielsweise wird in fast allen Fällen vorausgesetzt, daß sich das Netz wie ein lineares System verhält. Die Relevanz einer derartigen Annahme ist unter anderem abhängig von der Konfiguration des Netzes, den Eigenschaften des Gebietes und der erwünschten Genauigkeit der Ergebnisse. Je grösser der Berechnungshorizont wird, desto grösser wird die Gefahr, daß die berechneten Zustände unrealistisch werden. Es wird ein theoretisches System optimiert, das immer weniger Bezug zur Realität hat. (Für weitere Informationen über den mathematischen Hintergrund der linearen Beschreibung wird auf Jacobs, Casti, Cheng verwiesen.)

Von daher ist es notwendig,

- sorgfältig bei der Herstellung der Netzbeschreibung für die Optimierung vorzugehen,
- die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das wirkliche Netz jeweils zu überprüfen.

1.2.2) Die 'Starrheit' des Modells in einem 'on-line' Betrieb

Eine andere wesentliche Einschränkung, die die a-priori Beschreibung mit sich zieht, ist die Unfähigkeit, bestimmte Vorfälle, wie zum Beispiel den Ausfall eines Steuer- oder Meßgerätes, in dem Suchprozeß zu berücksichtigen. Im Hinblick auf eine praktische Anwendung des

Entscheidungsmoduls im on-line Betrieb dürfen solche Fälle nicht außer Acht gelassen werden. Mehrere Lösungen sind denkbar:

- Speziell vorbereitete Modellbeschreibungen für jeden möglichen Fall,
- Nachgeschaltete Verarbeitung der mit dem Standardmodell entwickelten Entscheidungen...

1.2.3) Die Herstellung der Kostenfunktion

Zusätzliche Schwierigkeiten treten bei der Herstellung der Kostenfunktion auf. Diese resultieren aus zwei miteinander verknüpften Grundproblemen:

- Die numerische Erfassung der Beurteilungsfaktoren,
- Die Gewichtung der verschiedenen Zielparameter, die teilweise nicht miteinander vereinbar sind, zum Erreichen eines Gesamtziels.

Als mögliche praktische Beispiele seien folgende Punkte erwähnt:

- Die Berücksichtigung der Geruchsbelästigung, der Lärmbelästigung, des Vorhandenseins eines Denkmals oder bestimmter Wünsche der verantwortlichen Politiker ...
- Die Gegenüberstellung bestimmter entgegengesetzter Ziele wie die Entlastung ungereinigten Mischwassers gegen das mögliche Auftreten von Überstau...

Um diese Schwierigkeiten teilweise zu beheben, wird es sinnvoll, eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen und die 'Stabilität' des Optimums zu beweisen.

In Fig. 10 wird eine mögliche Darstellung des Bremer Netzes für eine lineare Optimierung gezeigt. Die berücksichtigten Variablen dienen zur Bewertung der Kosten.

Als anderes Beispiel der Anwendung von Optimierungsmethoden für die on-line Strategieentwicklung kann man die Steuerung eines Teils des Netzes in dem 'Departement de la Seine-Saint-Denis' (Vorort von Paris) nennen. In diesem Fall liegt der Schwerpunkt auf der Steuerung von zwei Regenrückhaltebecken, um Überstau an kritischen Punkten unterhalb des Netzes zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren (Frérot and Co).

II) ENTWICKLUNG EINES EXPERTENSYSTEMS

Bemerkung:

In Anlage 10 werden die wichtigsten Begriffe bei der Beschreibung eines Expertensystemes aufgelistet und erläutert. Diese werden im Text durch das Zeichen (*) markiert.

II.1) Definition eines Expertensystems

Der zweite mögliche Weg ein Steuerentscheidungsmodul zu konstruieren, basiert auf dem Aufbau eines wissensbasierten Systems ('knowledge based system') (*). Diese Vorgehensweise beruht auf Kenntnissen, die sich aus der Forschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz (Artificial Intelligence) (*) ergeben haben (Retti;1986), (Metzing;1989), (Winston; 1987). Dieser neue Forschungsbereich ist in den fünfziger/sechziger Jahren in den USA entstanden, als es die technischen Fortschritte in der Informatik ermöglichten, Ergebnisse der Forschung in Logik und Mathematik auf die Entwicklung neuer Methoden zur Problemlösung anzuwenden.

Im Zuge des damaligen Optimismus wurde die baldige Entwicklung von Computersystemen zur Lösung vielfältiger Probleme (General Problem Solver) prophezeit. Es zeigte sich jedoch schnell, daß das ursprüngliche Ziel nicht ohne 'Zwischenstationen' zu erreichen ist. Nach der ersten Enttäuschung wurden die voreiligen Versprechungen revidiert und viel bescheidener formuliert. Statt eine allgemeine Lösungsmethode zu entwickeln, verschob sich der Schwerpunkt auf den Aufbau von Computersystemen, die in einem beschränkten (technischen) Bereich 'intelligente' Lösungen zu den jeweils spezifisch auftretenden Problemen vorschlagen können. Intelligent sind diese Lösungen, insofern sie von einem menschlichen Experten auf diesem Gebiet ebenso vorgeschlagen werden könnten. Deswegen hat sich der Begriff 'Expertensystem' (*) rasch durchgesetzt.

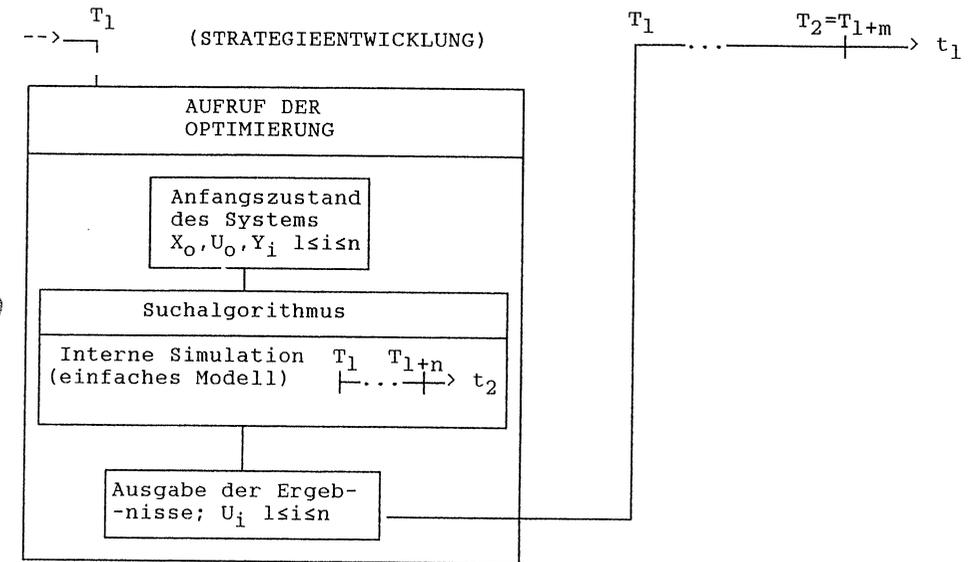
II.2) Struktur eines Expertensystems (Böhringer;1988), (Neumann G.;1988), (Savory;1988)

Die Struktur eines Expertensystems (Fig. 11) beruht prinzipiell auf der Dichotomie zwischen zwei Arten von Wissen, die für die Suche nach der geeigneten Lösung erforderlich sind:

- Auf der einen Seite ein allgemeines Wissen, das maschinell den menschlichen Inferenzprozeß (*) simulieren kann (general induction knowledge).
- Auf der anderen Seite ein spezielles Wissen, das die technischen Kenntnisse eines jeweiligen Experten enthält.

Deshalb werden solche Computersysteme von den Spezialisten 'wissensbasierte Systeme' (*) genannt. Diese Bezeichnung scheint gerechtfertigter als die Bezeichnung 'Expertensystem', die sich in der Öffentlichkeit durchgesetzt hat. Der letztere Begriff wirkt insofern unglücklich, da eine

Fig 9: Möglicher Ablauf der Optimierung einer Steuerstrategie in einer gekoppelten Version (z.B Optimierung+ Hydrodynamischem Modell).

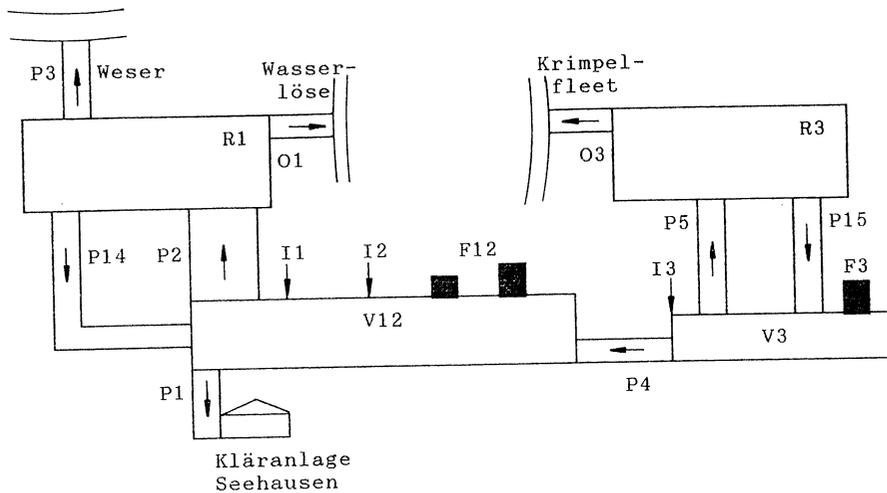


t_1 : erste Zeitachse; Ebene des (genauen) Simulationsmodells
 T_1, T_2 : Zeitpunkt der Steuerentscheidungen auf der Achse t_1
 m : Entscheidungsintervall.

t_2 : zweite Zeitachse; Ebene der internen Simulation
 T_1 : Anfang der internen Simulation
 $T_1 + n$: Ende der internen Simulation
 n : Optimierungshorizont

X_i : Zustand des Netzes
 Y_i : Störvariablen (Niederschlagsvorhersage über den Horizont)
 U_i : Sollwerte der Steuerorgane

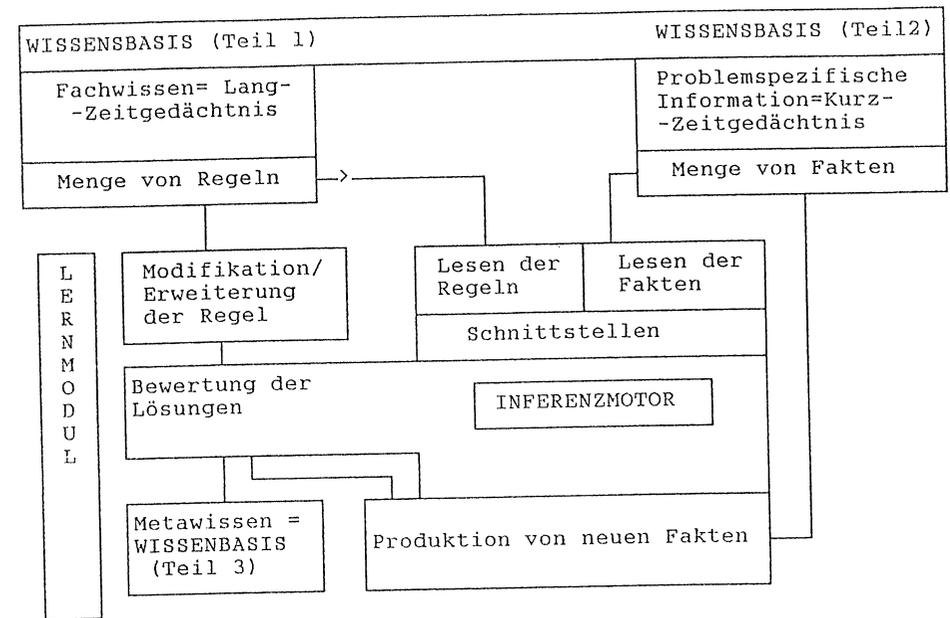
Fig. 10: Vereinfachte Darstellung des Bremer Einzugsgebietes aus Sicht der Optimierung (nach Petersen)



- t : Anzahl der Zeitschritte innerhalb des Optimierungshorizontes
- R1 : gespeicherte Wassermenge im Rückhaltebecken HPWL
- R3 : gespeicherte Wassermenge im Rückhaltebecken Krimpel
- P1 : Förderleistung zur Kläranlage Seehausen
- P2 : Befüllung des Rückhaltebeckens HPWL
- P3 : Entlastung in die Weser
- P4 : Förderleistung Krimpel --> HPWL
- P5 : Befüllung des Rückhaltebeckens Krimpel
- P14 : Entleerung des Rückhaltebeckens HPWL
- P15 : Entleerung des Rückhaltebeckens Krimpel
- V12 : HPWL - in-line gespeicherte Wassermenge
- V3 : Krimpel - in-line gespeicherte Wassermenge
- O1 : Entlastung in die Wasserlöse
- O3 : Entlastung in das Krimpelfleet
- F12 : Überstaumenge im HPWL
- F3 : Überstaumenge in Krimpel
- I1, I2: HPWL - Zuflußwelle
- I3 : Krimpel - Zuflußwelle

- alle Variablen sind abhängig von t

Fig. 11: Funktionale Struktur eines Expertensystems (mit einem Lernmodul)



zuverlässige Verhaltenweise des Systems per definitio angenommen wird. In Wirklichkeit ist die Zuverlässigkeit der vom System vorgeschlagenen Lösungen nur gewährleistet, wenn das Fachwissen lückenlos und konsistent übertragen worden ist. (Was aus theoretischer sowie praktischer Sicht schwer zu erfüllen und beweisen ist !).

Der Inferenzprozeß (*) ist ein Begriff aus der Logik. Er bezieht sich auf jenen Vorgang, durch den aus der Kenntnis von bestimmten Fakten (dem initialen Zustand des Arbeitsgedächtnisses oder Working Memory) (*) und den spezifischen Zusammenhängen zwischen diesen Fakten (dem spezifischen Fachwissen) auf 'neues' Wissen Rückschluß gezogen wird. Der (Inferenz-) Prozeß ist iterativ. So lange es möglich ist, werden neue Fakten (*) zugeführt, bis die Lösung des eigentlichen Problems gefunden ist. Wenn der Iterationsprozeß abgeschlossen ist, bevor eine Antwort auf das Problem gefunden wird (d.h. es können keine neuen Fakten 'produziert' werden), bedeutet dies, daß das Problem keine Lösung hat.

Aus der Sicht der informatischen Strukturierung sind die Beziehungen zwischen allgemeinem Inferenzwissen und spezifischem Fachwissen asymmetrisch. Inferenzwissen ist als eine Menge von Programmen zu verstehen, die die sogenannte Expertensystem-Schale (Shell) (*) bilden. Fachwissen ist als eine Menge von Dateien zu verstehen, die die sogenannte Wissensbasis (Knowledge Base) (*) bilden.

Die Schale besteht aus drei Hauptkomponenten:

- dem Inferenzmotor (Inference Engine) (*)
- der Erklärungskomponente (Explanation Component) (*)
- der Wissenserwerbskomponente (*).

Der Grad der Sophistikation der Schale hängt von der Kompliziertheit der einzelnen Komponenten und ihren Zwischenbeziehungen ab.

Computersprachen wurden speziell für den Entwurf von Shells entwickelt. Diese Entwicklung hat zur Entstehung und Bestimmung der meisten Begriffe und Konzepte, die heutzutage in dem Bereich angewandt werden, erheblich beigetragen. Ein berühmtes Beispiel ist die Sprache 'Prolog' ('Programming in Logic') (*), deren theoretische Grundlagen von Kowalski (London) festgelegt wurden und deren erste Realisierung von Kolmerauer (Marseille) vorgenommen wurde. Wie ihre Bezeichnung es besagt, entstand Prolog aus dem Versuch, eine Computersprache zu entwickeln, in der logische Zusammenhänge unmittelbar festgeschrieben werden können. Die Syntax einer solchen ('logischen') Sprache wird als 'deklarativ' (*) qualifiziert, im Gegensatz zu den klassischen Sprachen (Fortran, Pascal, C,...), die 'algorithmisch' sind. Weitere Informationen über Prolog und ihre Eigenschaften sind (Clocksin; 1987), (Bratko; 1988), (Schnupp; 1987) zu entnehmen.

Die Darstellung des Wissens (Wissensrepräsentation, Knowledge Repräsentation) (Rahmstorf) ist von der Art der Wissensverarbeitung geprägt. Praktisch ausgedrückt, muß die Schale die Wissensbasis 'lesen' und 'verstehen' können. Am häufigsten wird die Wissensbasis als Menge von Regeln ausgedrückt. In dem Fall spricht man von einem regelbasierten System. Diese Regeln werden oft als 'Produktionen' (*) bezeichnet, weil sie scheinbar aus dem vorhandenen Wissen (Fakten + Fachwissen) ein neues Wissen (die Lösung(en) des Problems) produzieren.

Im Bereich der Medizin und der Biologie wurden einige 'wissensbasierte Systeme' erfolgreich zur Diagnose eingesetzt (MYCIN,...). Weitere Informationen über Expertensysteme in der betrieblichen Anwendung sind (Bullinger, Fähnrich; 1988) zu entnehmen.

II.3) Schwerpunkte bei dem Aufbau eines wissensbasierten Systems

Aus der strukturellen Dualität (Inferenzmotor/Wissensbasis) geht hervor, daß bei dem Aufbau eines wissensbasierten Systems unterschiedliche Aufgaben miteinander abgestimmt und bewältigt werden müssen.

Einerseits arbeiten Mathematiker und Informatiker an der Herstellung der Schale, wobei die allgemeinen Ergebnisse im Bereich der Logik und Mathematik umgesetzt werden müssen. Als Schwerpunkte der Arbeit seien hier folgende Punkte erwähnt:

- 1) Die Eigenschaft der Inferenz. Im Falle einer Produktionsbasis wird unterschieden zwischen einem vorwärtsverkettenden (*) und einem rückwärtsverkettenden (*) Inferenzprozeß.
- 2) Die Beweisbarkeit der theoretischen Konsistenz (*) und Vollständigkeit (*) des Wissens (zumindest teilweise).
Eine Wissensbasis ist konsistent, wenn sie in sich keinen Widerspruch enthält. Sie ist vollständig, wenn sie genug Wissen enthält, um für alle möglichen Probleme innerhalb des Bereiches eine Lösung bieten zu können.
- 3) Die Definition einer Erklärung (Wie kann man eine Wie-Frage und eine Warum-Frage beantworten?)
- 4) Der Erwerb des Wissens
Soll nur das Wissen aus erster Hand in die Basis hineingeschrieben werden? Kann man einen automatischen Lernprozeß einführen? Wenn ja, wie soll er aussehen?...

Andererseits wird die Wissensbasis aufgebaut.

- 1) Dafür muß zunächst das Fachwissen zugänglich sein.
 - 2) Es muß danach umstrukturiert und der verfügbaren Schale angepaßt werden. Dieser Teil der Arbeit wird manchmal an einen Spezialisten, dem 'Knowledge Engineer', der in vielfachen Gesprächen mit dem Gutachter die notwendige Basis entwirft, delegiert.
- Entgegen dem, was auf dem ersten Blick vermutet werden kann, sind die Schwierigkeiten bei dem Aufbau der Wissensbasis das Haupthindernis bei der Verbreitung von Expertensystemen in vielen praktischen Bereichen. Gründe dafür sind unter anderem der Mangel an Gutachtern, der Mangel an Bereitschaft seitens der Gutachter und Schwierigkeiten bei der Formulierung des Wissens.

II.4) Entwicklung von Steuerstrategien: Optimierung oder Expertensystem?

II.4.1) Die Wahl

In Kapitel I wurden die Ziele und Randbedingungen der on-line Steuerung in Bremen erläutert. Mit dem Aufbau des neuen Netzüberwachungssystems und der daraus resultierenden Erweiterung der on-line Kenntnisse über den Netzzustand hat sich der Schwerpunkt auf die Suche nach der passenden Steuerstrategie verlagert. Ein automatisches Modul wird realisiert, das dem Operator on-line Steuerempfehlungen liefert. Es ist zu betonen, daß zumindest in der ersten Phase der Operator die volle Verantwortung für die Steuerentscheidungen übernehmen wird. Dabei wird der Computer ihn nur unterstützen.

Eine Optimierung sowie ein wissensbasiertes System sind für die Bestimmung einer Steuerstrategie gleichermaßen denkbar. Beide haben in dieser Hinsicht Vor- und Nachteile. Beide bedürfen einer sorgfältigen Kritik der Ergebnisse.

Bei der Entscheidung wurden die folgenden weiteren Punkte beachtet:

- 1) Der Speicherplatzbedarf des Moduls muß so klein wie möglich gehalten werden, damit alle anderen Programme des Datenerfassungssystems laufen können.
- 2) Die Verarbeitungszeit bis zur Empfehlung der Strategie soll sehr kurz sein, damit der on-line Betrieb nicht beeinträchtigt wird.
- 3) Die on-line Eingabedaten werden fast ausschließlich aus dem Meßdatenerfassungssystem erworben. Das heißt, Vorhersagen insbesondere Niederschlagsvorhersagen oder Zuflußvorhersagen dürfen keine wesentliche Rolle bei der Entwicklung von Strategien haben.
- 4) Das Modul muß in der Lage sein, sinnvolle Empfehlungen zu liefern, auch wenn ein Teil der Meßdaten fehlt (Meßgeräteausfall) oder einige Steuerorgane ausfallen.
- 5) Der Entscheidungsprozeß (der Mechanismus) soll für einen normalen Operator so weit wie möglich nachvollziehbar sein. Wenn dem Operator diese Möglichkeit (zumindest theoretisch) nicht gewährt wird, wird die Integration des automatischen Systems viel schwieriger.
- 6) Änderungen des Entscheidungsmoduls, die durch zukünftige Änderungen im Netz verursacht werden, müssen mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden können. Insbesondere muß gewährleistet sein, daß ein Fachmann, auch wenn er keine Sonderkenntnisse in Informatik oder Mathematik besitzt, die notwendigen Änderungen vornehmen kann.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde entschieden, in Rahmen dieses Projektes ein wissensbasiertes System zu entwickeln. Dies bedeutet jedoch nicht, daß die Anwendung von Optimierungsmethoden in Bremen in zukünftigen Untersuchungen völlig verworfen ist (siehe Kapitel VI).

II.4.2) Etappen der Bearbeitung :

Die wichtigsten Etappen der Bearbeitung werden im folgenden aufgelistet:

Etappe 1; Entwicklung einer Shell in der FORTRAN Computersprache (Fuchs, Müller, Neumann A.;1987), (Kheil;1989), (Neumann A.;1985):

Bedingt durch die Eigenschaften des in Bremen operierenden Rechners (PDP 11) und der Konfiguration des Datenerfassungssystems ist es notwendig, eine Schale in der Computersprache FORTRAN zu entwickeln. Damit wird gewährleistet, daß die Schnittstelle zu den in FORTRAN geschriebenen Programmen des Datenerfassungssystems problemlos abläuft und somit der Datenaustausch ohne grossen Aufwand realisiert wird.

Etappe 2; Entwicklung eines erweiterten Simulationsmodells –das Modell 'Steuer'–:

Die durch Echtzeitbetrieb in Bremen gewonnene Erfahrung allein reicht nicht aus, um ein implementiertes Expertensystem zuverlässig bewerten zu können. Zwei Hauptgründe sind dafür ausschlaggebend :

- 1) Aussagekräftige Niederschläge ereignen sich nur wenige Male pro Jahr.
- 2) Die Zusammenarbeit mit dem Betriebspersonal zur Bewertung des neuen implementierten Steuerungssystems ist ein langfristiger Prozeß.

Die neuen Möglichkeiten, durch Rechner die Vorgänge on-line zu erfassen und zu beeinflussen, setzen tiefgreifende Veränderungen in der Arbeitsweise voraus. Dementsprechend ist nicht zu erwarten, daß binnen weniger Monate eine umfassende Beurteilung mit entsprechenden Verbesserungsvorschlägen seitens des Personals vorliegt.

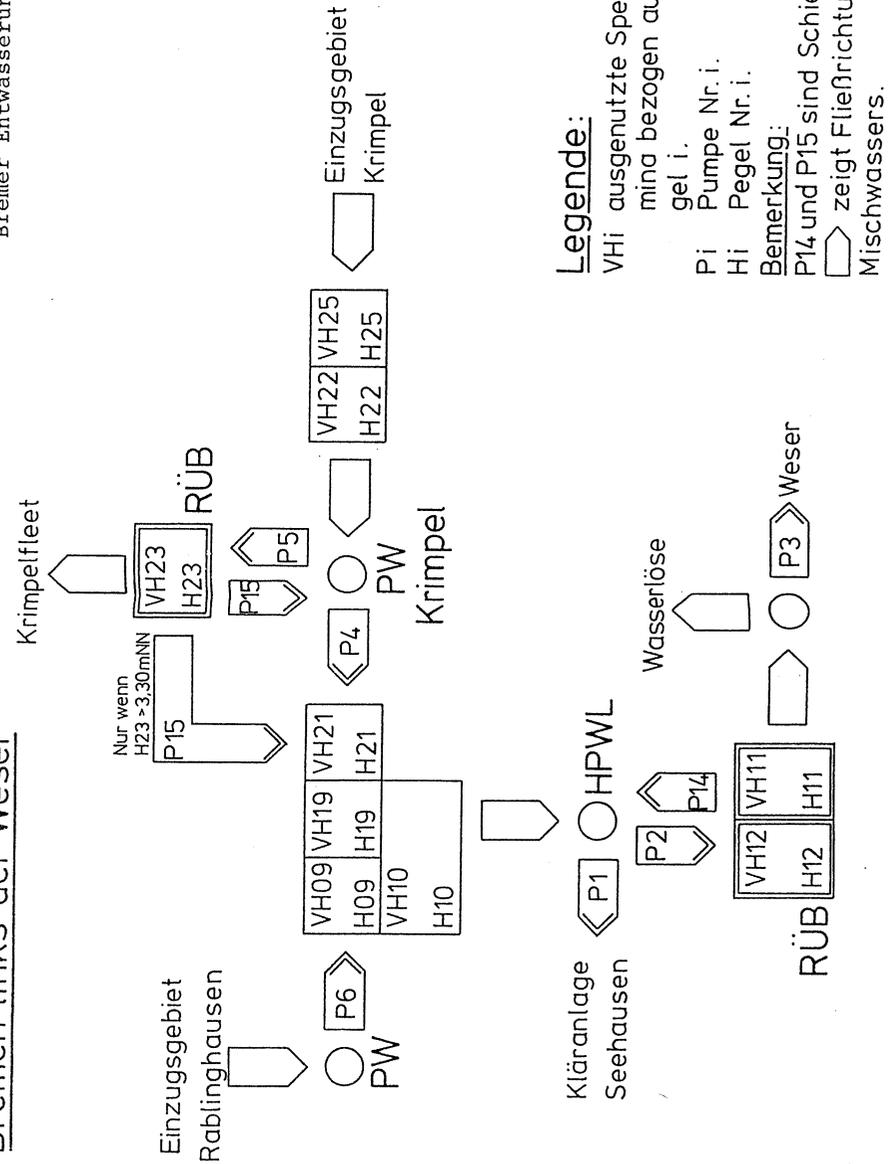
Einige sehr ermutigende Initiative wurde dennoch vom Personal selbst ergriffen. Ein sogenannter Simulator wurde entwickelt, damit die Reaktionen des Expertensystems auf fiktive Netzzustände erforscht werden können. Die vom System vorgeschlagenen Entscheidungen sollen daraufhin diskutiert und kritisiert werden. Hauptschwierigkeit dieses Verfahrens besteht darin, daß die so erzeugten Zustände und ihre Dynamik sehr wahrscheinlich nicht den realistischen Verhältnissen im Netz entsprechen. Niederschlagshöhe und Wasserstandshöhe werden per Hand 'gesteuert', um einen initialen Zustand zu charakterisieren. Der umgekehrte Einfluß der Entscheidungen auf den Netzzustand wird jedoch leider nicht erfaßt. Dafür wäre ein erweitertes Simulationspaket erforderlich, in dem das hydrodynamische Modell mit dem Expertensystem gekoppelt ist. In Kapitel V wird das Simulationsmodell 'Steuer' beschrieben.

Etappe 3; Analyse der Simulationsergebnisse zur Entwicklung einer verbesserten Produktionsbasis

Eine Untersuchung der Dokumente, die den Operatoren in Bremen zur Verfügung stehen (siehe Anlage 11), sowie Simulationen mit dem Modell Hystem-Extran haben zu der Erstellung einer Standardstrategie geführt. In Fig. 12 werden die Zustandsvariablen dargestellt, aufgrund derer die Steuerungsentscheidungen getroffen werden. Diese relativ einfache Strategie beschreibt, soweit möglich, die Strategie, nach der in Bremen gehandelt wird. (Für weitere Informationen siehe Anlage 8 bzw. Kapitel II und Anlage 16 bzw. Kapitel V). Nicht nur zur Bewertung der vorhandenen Steuerstrategie fällt der numerischen Simulation mit dem Modell 'Steuer' eine zentrale Bedeutung zu, sondern auch zu ihrer Verbesserung.

Steuerung des Kanalnetzes
Bremen links der Weser

Fig.: 12
Skizze der Steuerung des
Bremer Entwässerungnetzes



Legende:

- VHi ausgenutzte Speichervolumina bezogen auf den Pegel i.
- Pi Pumpe Nr. i.
- Hi Pegel Nr. i.
- Bemerkung: P14 und P15 sind Schieber. P15 zeigt Fließrichtung des Mischwassers.

I) ABLAUF DER VERARBEITUNG EINER STRATEGIE IM ON-LINE BETRIEB (FIG. 13)

Vorwort:

Der letzte Zwischenbericht (Kheili; April 1989) war ausschließlich der Implementierung der on-line Version des Expertensystems gewidmet. Das System (Programme und Dateien) wurde ausführlich beschrieben. Diese Beschreibung ist im wesentlichen immer noch aktuell.

Wie schon in den vorherigen Kapiteln angedeutet, ist die on-line Entwicklung von Steuerstrategien im gesamten Datenerfassungssystem eingebettet. Messungen des Netzzustands werden jede 15 Sekunden an den Zentralrechner (die PDP 11 im HPWL) zur weiteren Aufbereitung (Aktualisierung der Ringspeicher, Statistische Verarbeitung,...) übermittelt. Insbesondere wird ein Teil dieser Meßwerte (gemittelt über 5 Minuten) in eine Datei (die sogenannte 'Zustandsdatei') hineingeschrieben, auf die das wissensbasierte System jederzeit Zugriff hat. Tatsächlich wird die Zustandsdatei nur gelesen, wenn eine Strategie bestimmt werden muß, d.h., wenn das Expertensystem aufgerufen wird.

Etappe 1: Einlesen der Fakten

Nach dem Lesen und Überprüfen wird jede einzelne Information aus der Zustandsdatei kodiert und in einem Feld (dem **Arbeitsgedächtnis = Working Memory**) als Faktum gespeichert.

Auf der anderen Seite werden die vorhandenen Steuerregeln beim 'Starten' des Expertensystems gelesen, überprüft, kodiert und in einem Feld (dem **Produktionsgedächtnis = Production Memory**) gespeichert.

Etappe 2: der Inferenzprozeß

Zu jedem Entscheidungszeitschritt greift der Interpretier auf das Produktions- und das Arbeitsgedächtnis zurück. Der eigentliche Entscheidungsprozeß beruht auf der **Mustererkennung (Pattern Matching)**(*). Diese Mustererkennung wird auf die Bedingungssteile der Regeln bezogen und nach dem Prinzip der Vorwärtsverkettung durchgeführt. Alle im Produktionsgedächtnis vorhandenen Regeln werden untersucht. Überprüft wird, ob ihre Bedingungssteile erfüllt sind. Falls ja, gilt jede entsprechende Schlußfolgerung als 'bewiesen' und wird als neues Faktum in das Arbeitsgedächtnis eingetragen. Nachdem alle zulässigen Schlußfolgerungen gezogen worden sind, ist der Inferenzprozeß zu Ende.

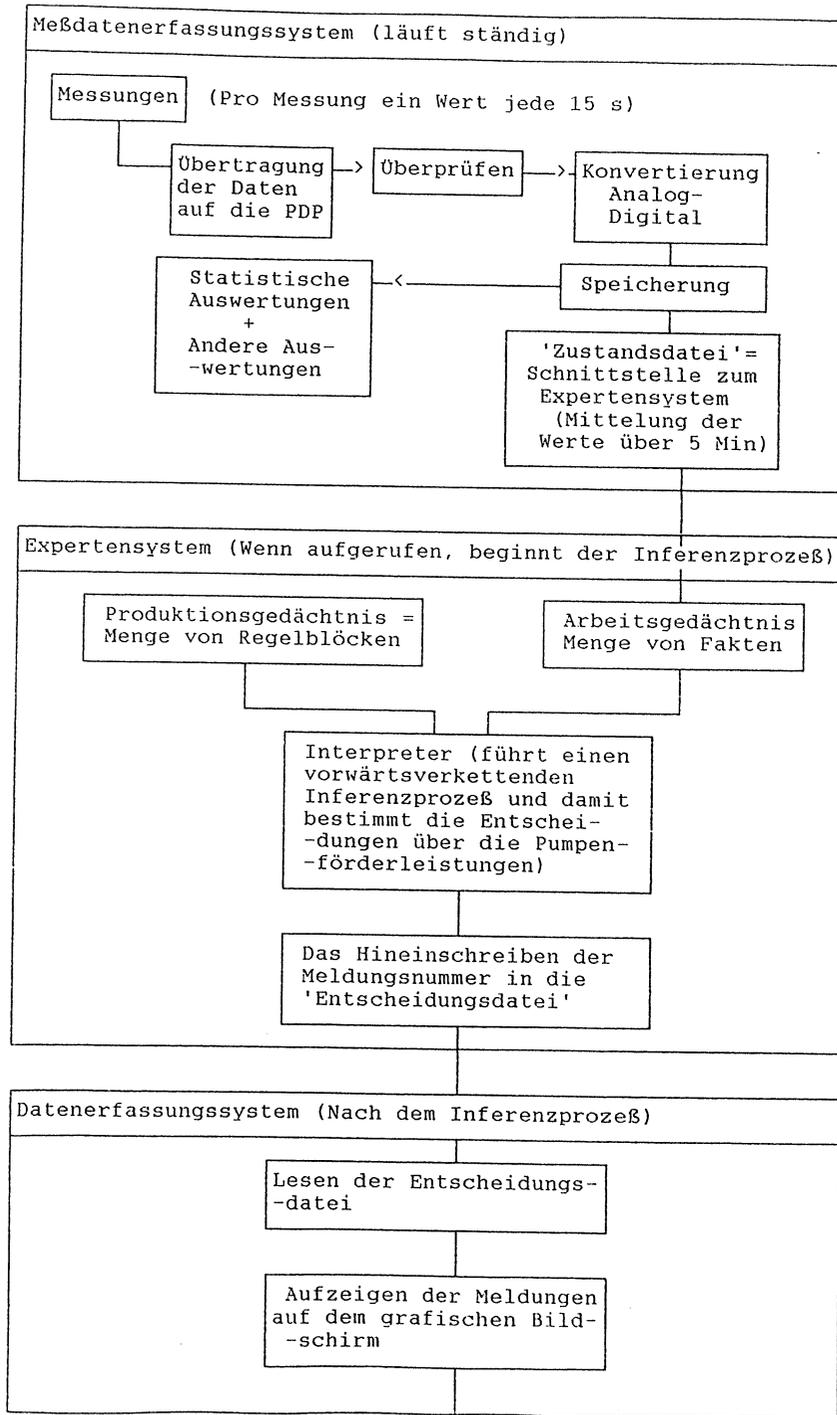
Etappe 3: die Übergabe der Meldungsnummer

Jede Steuerentscheidung bezüglich einer Pumpe wird im Laufe des Inferenzprozesses mit einer bestimmten Meldung in Verbindung gesetzt. Nach Ende der Verarbeitung stehen im Arbeitsgedächtnis die Nummern aller Meldungen, die angezeigt werden müssen. Diese Nummern werden gelesen und in einer Datei ('Entscheidungsdatei') im binären Format gespeichert.

TEIL IV

IMPLEMENTIERUNG EINES EXPERTENSYSTEMS IM ON-LINE BETRIEB.

Fig 13: Informationsfluß im on-line Betrieb.



Etappe 4: Das Aufzeigen der Meldungen

Das Datenerfassungssystem liest dann diese 'Entscheidungsdatei' und zeigt die entsprechenden Meldungen (Steuerempfehlungen) auf einem Grafikbildschirm an. Diese Empfehlungen werden neben grafischen Darstellungen des Netzes eingeblendet. (Für weitere Informationen über das Grafiksystem und die Bilder siehe Broll, Winter).

II) STEUERKONZEPT

Vorbemerkungen:

- 1) Ziele und Randbedingungen der Steuerung wurden in den Teilen I und III ausführlich behandelt. Sie kennzeichnen die sogenannte Steuerungsproblematik. Bei der Herstellung eines regelbasierten Systems zur Bestimmung der Lösung werden Grundgedanken (Denkmuster) in Betracht gezogen, deren Zusammensetzung das 'Steuerkonzept' umreißt.
- 2) Im Teil I (Einführung) wurden verschiedene Wege zur Behebung der Schwierigkeiten, die im Laufe der Zeit in einem Entwässerungssystem auftreten, beschrieben. Die 'Lösungs-Konzepte' weichen zum Teil stark voneinander ab. Dies ist mit der Tatsache verbunden, daß sich die jeweils zugrundegelegten 'Prioritäten' zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems unterscheiden.

Bei einer on-line Steuerung wird versucht, das vorhandene Potential im Netz so weit wie möglich auszunutzen. Die Leistungsfähigkeit eines Netzes ist dementsprechend so definiert, daß der erste überstauende Schacht sie begrenzt. Die Bewirtschaftung hieße optimal, wenn alle Schächte zur gleichen Zeit überstauten. Zum Zeitpunkt des Versagens, wäre der gesamte Speicherraum buchstäblich ausgeschöpft.

Ein solcher Fall tritt in der Realität nie auf, weil die Kontrollmöglichkeiten innerhalb des Netzes eingeschränkt sind. Beispielsweise sind die Förderleistungen der Pumpen und Transportkapazitäten durch die Rohre begrenzt. Dementsprechend können (insbesondere oberhalb des Netzes) Überlastungen durchaus festgestellt werden, die nicht durch Steuerung sondern durch konstruktive Maßnahmen (z.B Erweiterung von Rohrdurchmessern) behoben werden können. Bei solchen Überlastungen handelt es sich aber in der Regel um kurzfristiges Versagen, kleine Wassermengen betreffend, es sei denn, es sind grundlegende Fehler beim Entwurf des Netzes begangen worden.

Grundsätzlich wird also angestrebt, trotz der unterschiedlichen Überregnung und trotz der unterschiedlichen Kapazitäten, überall und zu jeder Zeit eine nahezu gleiche Auslastung zu erzielen. Bei Regenwetter werden zuerst die in-line Kapazitäten die zusätzliche Last tragen müssen. Bevor diese ganz ausgeschöpft sind, soll die Befüllung der Becken beginnen. Das geschieht nur, um eventuellen Einschränkungen beim Transport in der Kanalisation Rechnung zu tragen, die, wenn unberücksichtigt, zu unerwünschtem Überstau führen können. Daraus wiederum resultiert, daß in bestimmten Situationen die Sicherheitsanforderungen zu unnötigen Befüllungen führen. Ein Kompromiß muß gefunden werden.

Was die Entlastungen anbelangt, ist der Spielraum der Steuerung im Falle 'Bremen Links der Weser' zur Zeit relativ eingegrenzt. Zwei Gründe sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- 1) Es ist bei der jetzigen Netzkonfiguration nur möglich, Entlastungen vorzunehmen, wenn die Rückhaltebecken voll sind.
- 2) Die Steuerstrategie beruht zur Zeit nur auf Mengenparametern.

Es wäre theoretisch möglich, durch Betätigung der dafür vorgesehenen Schieber Entlastungen vor Vollfüllung der Becken zu bewirken. Die Schieber müssten hierfür ... rdings an das

Datenerfassungssystem angeschlossen sein, um on-line steuerbar zu werden. In Wirklichkeit aber stellt der Mangel an on-line Kenntnissen über Güteparameter eine wesentliche Einschränkung dar. Entlastung bevor Ausschöpfung der im Netz vorhandenen Kapazitäten ist nur aus der Sicht der Gesamtemission vertretbar. In diesem Fall wird eine Frachtbilanz durchgeführt, in der die Reinigungsleistung der Kläranlage ins Kalkül gezogen wird. Unter Umständen lohnt es sich, Entlastungen von verdünntem Mischwasser absichtlich zu produzieren, um einer hydraulischen Überlastung der Kläranlage (und somit einer Abnahme der Reinigungsleistung) entgegenzutreten.

III) BESCHREIBUNG DER IMPLEMENTIERTEN WISSENSBASIS

III.1) Die zwei Gedächtnisse.

Entsprechend der in Kapitel III dargestellten Struktur beinhaltet die Wissensbasis zwei Teile:

- das Arbeitsgedächtnis : Menge aller Fakten, die den Netzzustand zu einem gewissen Zeitpunkt beschreiben.
- das Produktionsgedächtnis : Menge aller Steuerregeln, die abhängig von der Situation angewandt werden können, um zur Entscheidung zu gelangen.

Das Arbeitgedächtnis wird während der ersten Etappe (siehe I) des Entscheidungsprozesses eingetragen. Jedes Faktum wird nach dem Muster F geschrieben. F: [(Variable)(Operator)(Prädikat)]. Beispielsweise besagt das Faktum [(H10) (=R) (110)], daß der Wasserspiegel beim Pegel-H10 110 cm über Sohlhöhe zeigt. Im folgenden werden die drei 'grammatischen' Einheiten (Variable, Operator und Prädikat) erläutert.

III.2) Struktur einer Steuerregel (Produktion)

Das Muster einer Regel entspricht entweder R1 oder R2.

R1:(Bedingungsteil= Menge von Fakten) '→' (Aktionsteil= Menge von neuen Fakten)

R2:(Bedingungsteil= Menge von Fakten) '→→' (Aktionsteil= Menge von neuen Fakten)

Sinngemäß lauten die Regeln; 'Wenn der Bedingungsteil erfüllt ist, gilt der Aktionsteil'.

Anlage 13 ist ein Ausdruck der Kodierungsdatei CODDAT. In ihrem ersten Teil werden alle Elemente, die beim Aufbau einer Steuerregel benutzt werden dürfen, sowie ihre jeweilige Kodierung aufgezeigt. Diese Kodierung spielt nur eine Rolle bei den Algorithmen zur Simulation des Inferenzprozesses. Morphologie und Syntax der beim Regelaufbau verwendeten 'Sprache' (im Sinne einer logischen kontextfreien Sprache) (Harrison) werden durch die Unterscheidung von drei Elementkategorien (Variable, Operatoren und Prädikate) festgelegt.

Der zweite Teil der Datei CODDAT beinhaltet Kommentarzeilen zur Erläuterung der Bedeutungen jeder einzelnen Variable.

Die Variablen:

Es wird bei den Variablen zwischen Zustandsvariablen und Entscheidungsvariablen unterschieden.

a) Die Entscheidungsvariablen des Expertensystems sind:

- **Pumpe P1** : HPWL; Beschickung der Kläranlage.
- **Pumpe P2** : HPWL; Befüllung der Rückhaltebecken.

- **Pumpe P3** : HPWL; Entlastung in die Weser.
- **Schieber P14** : HPWL; Entleerung der Becken
- **Pumpe P4** : Krimpel; Förderung in Richtung HPWL.
- **Pumpe P5** : Krimpel; Befüllung der Becken.
- **Schieber P15** : Krimpel; Entleerung der Becken.

Bemerkungen:

Für weitere Informationen über die reale Pumpenkonfiguration siehe Teil I und für weitere Informationen über die Modellbeschreibung siehe Teil II.

b) Die wichtigen Zustandsvariablen.

Fig. 7 zeigt eine Netzdarstellung, die die Steuerungsproblematik verdeutlicht. Das untersuchte Entwässerungssystem wird hier als eine Reihe von Speichern, die nebeneinander liegen oder durch Pumpen verbunden sind, dargestellt.

Die Speicherräumauslastung jedes einzelnen Speichers wird durch einen zugeordneten Wasserstandspegel beobachtet (siehe Kapitel II). Im Einzelnen sind es folgende Wasserstände:

- H25 (Krimpel Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H22 (Krimpel Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H23 (Krimpel Einzugsgebiet; Rückhaltebecken)
- H21 (HPWL Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H19 (HPWL Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H09 (HPWL Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H10 (HPWL Einzugsgebiet; in-line Speicherraum)
- H11 (HPWL Einzugsgebiet; erstes Rückhaltebecken)
- H12 (HPWL Einzugsgebiet; zweites Rückhaltebecken)

Bemerkungen:

- Eine getrennte Steuerung der verschiedenen Einzelteile des in-line Speicherraums in Krimpel sowie im HPWL ist nicht möglich, da es zwischen ihnen keine 'hydraulische' Trennung (Pumpe, Schieber) gibt.
- Die Befüllung der beiden Rückhaltebecken im HPWL erfolgt nicht getrennt, obwohl diese Möglichkeit theoretisch besteht.

Die Operatoren:

Die zulässigen Operatoren sind in der Kodierungsdatei eingetragen. Diese Operatoren sind ausnahmslos Vergleichsoperatoren. Jede einzelne Bedingung ist als Bestimmung eines Gültigkeitsbereichs zu verstehen. Als Beispiel einer Bedingung sei erwähnt [H10 >R 100] bedeutet 'Wenn die Zustandsvariable H10 größer als 100 (cm) ist'.

Es gibt vier Kategorien von Vergleichen und dementsprechend vier Operatorenmengen:

- 1) direkter Vergleich zwischen einer numerischen Variablen und einem numerischen Wert (<R, =<R, =R, >R, >R).
- 2) direkter Vergleich zwischen einer nicht-numerischen Variablen und einem Prädikat (siehe unten) (<, =<, =, >=, >).
- 3) indirekter Vergleich zwischen zwei numerischen Variablen (<C, =<C, =C, >=C, >C)
- 4) indirekter Vergleich zwischen zwei nicht-numerischen Variablen (<V, =<V, =V, >=V, >V).

Zwei Operatoren sind auf Programmebene kodiert und treten deshalb in der Kodierungsdatei nicht auf. Es sind die Operatoren '->' und '-->'. Sie markieren die Trennung zwischen dem Bedingungsteil und dem Aktionsteil einer Regel. Der Unterschied zwischen den beiden Operatoren liegt darin, daß bei '-->' (im Gegensatz zu '->') die entsprechenden Bedingungen aus dem Arbeitsgedächtnis (aus der Menge der Fakten) gelöscht werden.

Die Prädikate:

Es gibt zwei Kategorien von Prädikaten;

- a) die numerischen Prädikate
- b) die nicht-numerischen Prädikate. Nicht numerische Prädikate werden auch logische Prädikate genannt.

Numerische Prädikaten sind einfach numerische Werte.

Logische Prädikate sind nicht-numerische 'Werte', die eine Variable annehmen kann. Als Beispiele seien genannt 'HIGH', 'LOW', 'TRUE'.

Der Typ einer Variable entspricht dem ihres zugewiesenen Prädikats und wird, wie oben angedeutet, durch die Wahl des Operators bestimmt.

Dieselbe Variable kann abhängig von der Betrachtungsweise entweder als numerisch oder als logisch gelten. Beispielsweise können im Arbeitsgedächtnis folgende Fakten gespeichert sein; F1: [H10 =R 200] und F2: [H10 = HIGH].

Das Faktum F1 besagt, daß der Wasserstand über Sohle am Pegel H10 gleich 200 cm ist. Das Faktum F2 besagt, daß der Wasserstand am Pegel H10 'Hoch' (High) ist.

Die Operatoren (=) und (=R) haben die gleiche Bedeutung (nämlich 'gleich'), jedoch charakterisiert der erste einen numerischen, der zweite einen logischen Wert.

III.3) Organisation der Produktionsbasis.

In Anlage 14 wird die Produktionsdatei aufgezeigt. Diese Datei wird nicht direkt vom Inferenzmotor verarbeitet. Sie wird zuvor von einem Vorprogramm gelesen, syntaktisch überprüft und in der kodierten Form in eine 'Zwischendatei' eingetragen. Diese Zwischendatei stellt beim Starten des Expertensystems die eigentliche Eingabedatei dar, von der aus das Produktionsgedächtnis (Feld PRD MEM) ohne zusätzliche Bearbeitung eingelesen wird.

Die Produktionsbasis im on-line Betrieb enthält in Bremen zur Zeit 358 Regeln, in 39 einzelnen Blöcken zusammengefaßt.

Jeder Block wird durch eine Zeichenkette ('8888' oder '7777') von den anderen abgegrenzt und entspricht einem Teilproblem, zu dessen Lösung ein unabhängiger Inferenzprozeß durchgeführt wird. Zum Beispiel ist zur Bestimmung einer Entscheidung über eine gewisse Pumpe (mindestens) ein Block reserviert.

Der Inferenzprozeß ist vorwärtsverkettend, das heißt, bei der Suche nach einer passenden Regel innerhalb eines Blockes wird erst der Bedingungsteil untersucht. Zudem kann nur eine Regel pro Block angewendet werden. Falls der Bedingungsteil mehrerer Regeln gleichzeitig erfüllt sein sollte, werden bestimmte Regelparameter herangezogen (z.B. Alter der Regel, ihr Ursprung, ihre Anwendungshäufigkeit,...), damit eine Wahl getroffen werden kann.

Unter den vorhandenen Produktionen können nur eine Minderheit als eigentliche Regeln-zur-Entwicklung-einer-Strategie betrachtet werden. Im Zuge des Entscheidungsprozesses sollen andere Teilaufgaben gelöst werden, die nicht direkt mit einer Steuerentscheidung zu tun haben. Es sind:

- 1) Analyse des Netzzustandes,
- 2) Berücksichtigung von Ausfällen,
- 3) Auswahl der auszugebenden Meldungen.

Analyse des Netzzustandes:

Das Datenerfassungssystem liefert Informationen über den Zustand jeder Schnecke und jeder einzelnen Pumpe. Die bei den tatsächlichen Entscheidungsregeln zu berücksichtigenden Pumpeneinheiten setzen sich meistens aus mehreren einzelnen Schnecken oder Pumpen zusammen. Von daher ist eine Verarbeitung notwendig, die ebenfalls durch Anwendung von Regeln ausgeführt wird. Die Bearbeitung der Regeninformation gehört ebenfalls zur Analyse des Zustandes.

Berücksichtigung der Ausfällen:

Fällt eine Zustandsvariable aus, übergibt das Datenerfassungssystem dem Expertensystem eine entsprechende Meldung (Der Wert der Variable wird auf -9999 gesetzt).

Der Ausfall von Meßdaten wird bis zu einem gewissen Grad kompensiert, indem die Zustandsinformationen teilweise redundant ist. Ersatzregeln werden in diesem Falle berücksichtigt.

Der Ausfall von Steuerorganen wird dadurch berücksichtigt, daß das Expertensystem nie das Einschalten einer ausgefallenen Pumpe empfehlen darf und kann.

Auswahl der anzuzeigenden Meldungen:

Auf dem Kontrollbildschirm werden für die Meldungen vom Expertensystem (die sogenannten Steuerempfehlungen) nur drei Zeilen reserviert. Der Beschluß basiert darauf, den Operator in einer kritischen Situation nicht vom Umfang der Information zu überfordern. Dementsprechend sollen in jeder Situation die wichtigen Steuerentscheidungen prägnant zusammengefaßt werden. Diese Aufgabe wird durch die sogenannten Meldungsproduktionen übernommen.

Aus der Liste der möglichen Meldungen (in einer sogenannten Meldungsdatei aufgelistet) wählen sie die passenden und schreiben deren Nummer in eine Ausgabedatei hinein.

Bemerkung:

In Anlage 15 werden die Produktionsmeldungen ausführlich erläutert und die entsprechende Meldungsdatei wird aufgezeigt.

IV) ERFAHRUNG MIT DEM ON-LINE BETRIEB

Seit Februar 1990 ist das oben beschriebene Expertensystem auf der PDP der Zentralstation in 'Bremen links der Weser' installiert. Es liefert Steuerempfehlungen. Im normalen Fall wird die Steuerstrategie jede 5 Minute überprüft, in kritischer Situation geschieht es jede Minute.

Die implementierten Steuerregel basieren auf dem im II) erläuterten Steuerkonzept. Sie wurden aus der Analyse folgender Quellen entwickelt:

- a) Simulationen mit Extran (zur Interpretation der damit erhaltenen Ergebnisse siehe Teil II),
- b) geltender Betriebsanweisungen, die als Standardstrategie bezeichnet werden.

Im Teil III wurde schon geschildert, wie schwierig es ist, aus den ersten Erfahrungen des Betriebspersonals eine zuverlässige Aussage herzuleiten. Es muß sich an eine neue Arbeitsweise gewöhnen. Das Erlernen des sinnvollen Umgangs mit dem Datenerfassungssystem bedarf viel Zeit. Zudem sind in der ersten Monaten des Jahres 1990 keine bedeutende Regenerereignisse aufgetreten, die es erlaubt hätten, eine Analyse der Empfehlungen sowie der Reaktion des Personals zu machen. Dementsprechend wurde Ende 1989 entschlossen, das Hauptgewicht auf die Simulation zu verlegen. Anfang 1988 wurde parallel zur Implementierung des Systems in Bremen mit der Entwicklung eines erweiterten Simulationsmodells begonnen. Methodik und Ergebnisse werden im Teil V erläutert.

I) DAS ERWEITERTE MODELL 'STEUER'

I.1) Struktur des Modells 'Steuer'.

Im Teil II wurden die Randbedingungen einer Modellierung der Vorgänge im Gebiet 'Bremen Links der Weser' diskutiert. Die Notwendigkeit einer hydrodynamischen Modellierung zur Berechnung der Wasserstandsganglinien wurde erörtert, die zur Wahl des Transportmodells 'Extran' geführt hat. Die ersten Simulationsergebnisse haben die 'theoretische' Richtigkeit des Modells bestätigt, gleichzeitig aber einen kritischen Schwachpunkt erkennen lassen, was die Bestimmung der Pumpenförderleistungen betrifft.

Damit regelbasiertes Wissen zur Bestimmung der Steuerstrategie analysiert, bewertet und modifiziert werden kann, muß das unzureichende Entscheidungsmodul von Extran durch ein gekoppeltes Expertensystem ersetzt werden. Dieser Grundgedanke lieferte die Basis zur Entwicklung eines erweiterten Simulationsmodells, des Modells 'Steuer'. In der neuen Konfiguration verlaufen die Etappen der Verarbeitung bei der Simulation und im on-line Betrieb ganz parallel (Fig 14 bzw. Fig 13).

I.2) Die Standardproduktionsbasis.

Die in Bremen herausgegebenen Anweisungen zum Betrieb der Pumpen (siehe Anlage 11) bilden eine wichtige Basis für jede weitere Analyse und Entwicklung. Schon im Teil II (Simulationsversuche mit Extran) sowie im Teil III (Erläuterung einer Methodik zum Aufbau eines Expertensystems) wurde auf ihre zentrale Rolle hingewiesen.

In Anlage 12 ist die Standardproduktionsbasis aufgezeigt. Sie ist eine Umschreibung der Betriebsanweisungen (die sogenannte Standardstrategie) in für das Expertensystem lesbare Regeln.

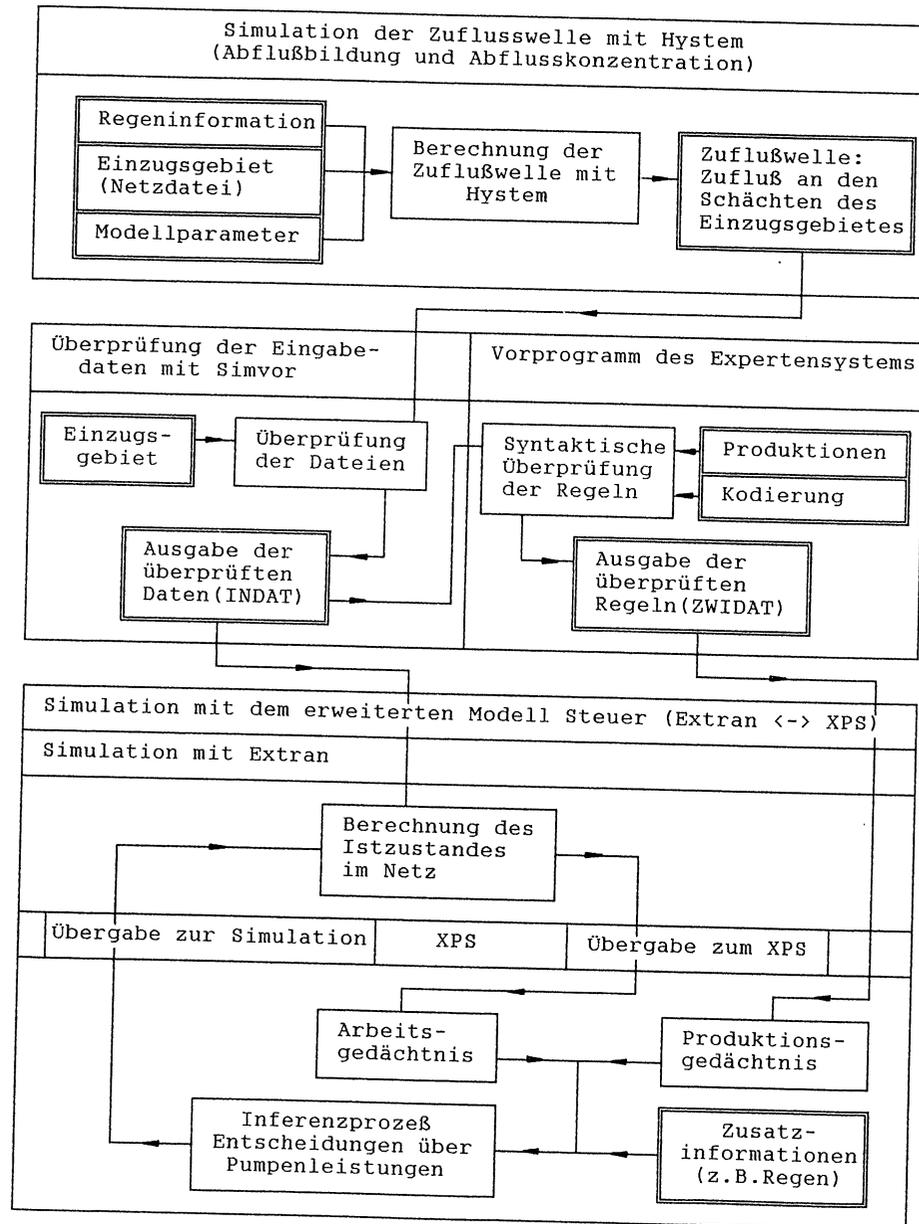
In Anlage 16 sind erste Simulationsergebnisse zum Testen der Standardstrategie dargestellt. Das Ereignis [27-28 August 1989] wird simuliert. Der Vergleich mit den gemessenen Ganglinien bestätigt die schon im Teil II gewonnenen Erkenntnisse. (Zur Wahl des Ereignisses und Vergleich mit früheren Simulationsergebnissen siehe Teil II.).

Wesentliche Verbesserung im Gegensatz zu den früheren Simulationen ist die Fähigkeit, das Entleeren der Becken zu simulieren. Es bestehen jedoch weiterhin Unterschiede zwischen gemessenen und simulierten Ganglinien. Sie sind hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß die 'Standardstrategie' nicht deckungsgleich mit der tatsächlich angewandten Steuerstrategie ist.

TEIL V

ENTWICKLUNG EINES ERWEITERTEN SIMULATIONSMODELLS.

FIG. 14: INFORMATIONSFLUSS IM LAUFE DER SIMULATION MIT DEM ERWEITERTEN SIMULATIONSMODELL 'STEUER'



Es gibt zwei Gründe für die Abweichungen:

- 1) die festgelegten Standardproduktionen weichen von den Betriebsanweisungen ab.
- 2) die Betriebsanweisungen werden nicht immer buchstäblich in die Tat umgesetzt.

Abweichungen bei Pumpe P1

Bei Pumpe P1 hängt die Pumpenförderleistung in Wirklichkeit entscheidend von der gesamten Förderleistung der Pumpwerke HPW1 und HPW2 (Hauptpumpwerke am rechten Ufer der Weser) in die Kläranlage ab. Diese Information über Vorgänge aus dem Gebiet des rechten Weserufers kann in der Simulation nicht berücksichtigt werden. Es wird stattdessen angenommen, daß die Pumpe P1 bis zu $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Kläranlage Seehausen schicken kann, ohne daß es zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Reinigungsgrades oder sogar zu Entlastungen kommt.

Abweichungen bei den Pumpen P2, P4, P5.

Die Förderleistungsgrenzen zur Befüllung der Becken in HPWL sowie in Krimpel liegen in der Realität höher liegen als die in der Produktionsbasis angenommenen.

Zudem wurde festgestellt, daß insbesondere im Pumpwerk Krimpel erhebliche Abweichungen zwischen den auf dem Papier festgelegten Anweisungen und den in die Tat umgesetzten Entscheidungen bestehen.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, daß der Begriff 'Standardstrategie' gewissen Einschränkungen unterliegt. Bei jedem Ereignis werden Eigentümlichkeiten bei der Steuerung festgestellt, die von vielen Faktoren abhängen und sich deswegen nicht eindeutig erklären lassen.

Ziel der Untersuchung ist aber nicht für ein bestimmtes Einzelereignis die bestmögliche Anpassung zu erreichen, deren allgemeine Gültigkeit sowieso nicht gewährleistet werden kann, sondern die Entwicklung einer für alle Ereignisse gut angepassten Steuerstrategie. In diesem Zusammenhang bildet die Standardstrategie, weil sie aus den einzigen verbindlichen Dokumenten ausgearbeitet worden ist, eine hervorragende Basis zur Analyse und Verbesserung der Steuerung.

II) AUSWAHL DER BELASTUNGSFÄLLE (Schneider, 1990).

Zur Analyse der Steuerung werden zwei Typen von Simulationen durchgeführt:

- 1) Langzeitsimulation (bzw. Seriensimulation).
- 2) Simulation bestimmter ausgewählter Einzelereignisse,

Die Langzeitsimulation ermöglicht eine globale Bewertung der Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems und damit der Gewinne durch die Steuerung.

Einzelereignisse dienen zur Detailuntersuchung einer Strategie. Es ist möglich, die Reaktionen des Systems Schritt für Schritt zu verfolgen und dementsprechend die Ursachen auftretender Unzulänglichkeiten herauszufinden.

Eine Langzeitsimulation im engeren Sinne ist aus zweierlei Gründen nicht möglich. Einerseits ist eine Modellierung der Vorgänge während des Trockenwetters im gewählten Modell nicht vorhanden. Andererseits erlaubt die begrenzte Kapazität der heutigen Rechner keine kontinuierliche Simulation mit einem hydrodynamischen Modell über mehrere Jahrzehnte. Stattdessen wird eine Langzeitseriensimulation gemacht, d.h. eine gewisse Anzahl von Einzelereignissen werden nacheinander für sich simuliert.

Die in Frage kommenden Niederschlagsdaten stammen aus dem Regenschreiber [2833 Bremen Bayernstraße]. Sie umfassen den Zeitraum 1955–1985. (Zur statistischen Auswertung siehe Anlage 18).

Als Einzelereignis wird jeder Niederschlag definiert, dem eine Trockenwetterperiode von mindestens 5 Stunden vorausgeht sowie nachfolgt. Damit wird der Anfangszustand der Abflußbildungsparameter klar definiert. Eventuelle Vorregen, die Mulden- und Benetzungsverluste beeinflussen, werden als dem Hauptregen zugehörig betrachtet.

Bemerkung:

Trockenwetter herrscht, wenn die Niederschlagshöhe weniger als 0,05 mm in 5 Minuten beträgt.

Interessant für diese Untersuchung sind jedoch nur Ereignisse, die eine bedeutende Belastung für das Netz bilden. Damit werden zusätzliche Bedingungen, was die gesamte Niederschlagshöhe sowie die Niederschlagsdauer betrifft, gestellt.

Als Grenzwert gilt die Niederschlagshöhe, die ein Abflußvolumen erzeugt, das dem Speichervolumen des Kanalnetzes (in-line + on-line) gleicht. Eine überschlägige Berechnung unter Betrachtung der Verluste ergibt einen Wert von 10 mm. Als Kriterium bei der Auswahl wird der Wert von 8 mm festgelegt. 569 Ereignisse weisen eine Höhe grösser als 8 mm auf.

Nicht die Niederschlagshöhe ist bei der Steuerung der kritische Parameter, sondern die Intensität. Ein Niederschlag, der sich über Tage hinzieht, erzeugt möglicherweise ein großes Abflußvolumen,

ohne deswegen Schaden anzurichten. Kritisch sind Starkregen von kurzer Dauer. In erster Linie sind hier Gewittergüsse zu nennen.

Eine genauere Untersuchung bezüglich der Intensität zeigt, daß von den Regenereignissen auf den ersten 50 Plätzen allein 47 mit einer Dauer von weniger als 4 Stunden aufgenommen wurden. Die 40 Ereignisse mit der größten Regenmenge, die länger als 4 Stunden dauern, erreichen bei der mittleren Intensität, bis auf 6 Ausnahmen, nur eine Platzierung von Nr. 80 aufwärts.

Dementsprechend werden nur Niederschläge betrachtet, deren Dauer weniger als 4 Stunden beträgt. Die Anzahl der Einzelereignisse reduziert sich auf 88 über 30 Jahre.

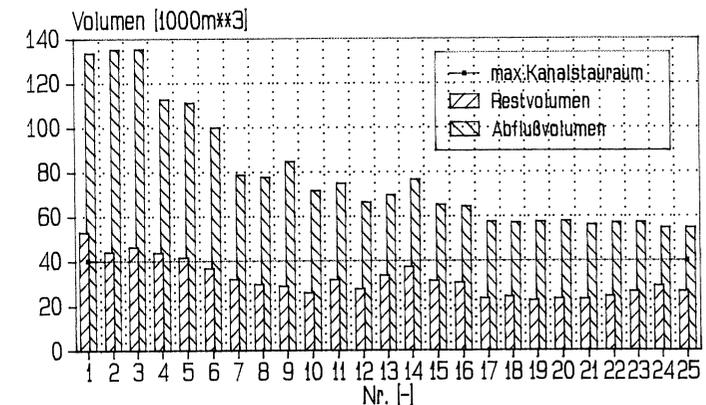
Der Auswahl der Einzelereignisse zur Detailuntersuchung kommt besondere Aufmerksamkeit zu, da sich die Entwicklung der Strategie nach ihrem Abflußverhalten als 'Lastfall' richtet.

Bei extremen Ereignissen treten Engpässe einzelner Sammlerabschnitte in den Vordergrund. Die Überlastungen sind aber der Bemessung der Sammler zuzurechnen. Dementsprechend kann ihnen mit einer Steuerung nur schlecht entgegengewirkt werden. Die geeignetsten Ereignisse unter den 88 ausgewählten sind diejenigen, bei denen das Netz an der Grenze der Überlastung befindet.

Zur Abschätzung dieser Grenze werden die Volumenverhältnisse im Kanalnetz betrachtet. In Fig. 15 sind für die 25 Ereignisse mit den größten Niederschlagshöhen die Volumenverhältnisse 12 Stunden nach Ende des Regens gezeigt (Seriensimulation mit der Standardstrategie).

Vergleich von Abfluß- und Restvolumen

Fig.:15



dargestellt: die 25 Ereignisse mit der größten Niederschlagshöhe
Zeitpunkt: 12h nach Ereignisende

Als Einzelereignisse wurden ausgewählt:

Tabelle 1:

Nr [-]	Dauer [min]	Niederschlag [mm]	Intensität [l/s/ha]
005	120	24,7	34,3
006	180	22,0	20,4
011	120	18,1	25,1
015	75	16,4	36,4

Tabelle 2 der entsprechenden Volumenverhältnisse

Nr	Abflußvol. [m ³]	Restvol. [m ³]	Gesamtvol. [m ³]
005	111 000	41 000	152 000
006	100 000	36 000	136 000
011	75 000	31 000	106 000
015	65 000	31 000	96 000

Zur Beurteilung werden folgende Größe herangezogen:

Netto-Kapazität des Netzes	50 000 m ³
Leistung der Kläranlage	50 000 m ³

Die Netto-Kapazität des Netzes entspricht dem Stauraum (Becken + Kanalisation), der für das Niederschlagswasser zur Verfügung steht.

Die Leistung der Kläranlage entspricht dem Mischwasservolumen, das in 13 Stunden ohne Beeinträchtigung des Wirkungsgrades von der Kläranlage verarbeitet werden kann.

Die Ereignisse 011 und 015 sind gut geeignet zur Entwicklung einer Steuerungsstrategie; die entsprechenden Abflußvolumina (ungefähr 100 000 m³ über 13 Stunden) sollten schadlos der Kläranlage zugeführt werden.

Bei den Ereignissen 005 und 006 dagegen tritt eine deutliche Überlastung auf. An Ihnen soll untersucht werden, ob eine flexible Steuerung den Schaden verringern kann.

In den Fig. 16a bis 17b werden die Intensitätsdistributionen bei den 4 Ereignissen dargestellt. Aus der Niederschlagsstatistik (Anlage 18) sind folgende Wiederkehrhäufigkeiten zu entnehmen.

Tabelle 3:

Nr [-]	D [h:mn]	N [mm]	R [l/s/ha]	T [a]
005	2:00	24,7	34,3	4,1
006	3:00	22,0	20,4	1,5
006*	1:30	20,8	38,5	3,1
011	2:00	18,1	25,1	1,2
015	1:15	16,2	36,4	1,4

* Ereignis 006 ohne Nachregen (vgl Fig 17).

D : Dauer;

N : Niederschlagshöhe;

R : Regenspende;

T : Wiederkehrhäufigkeit.

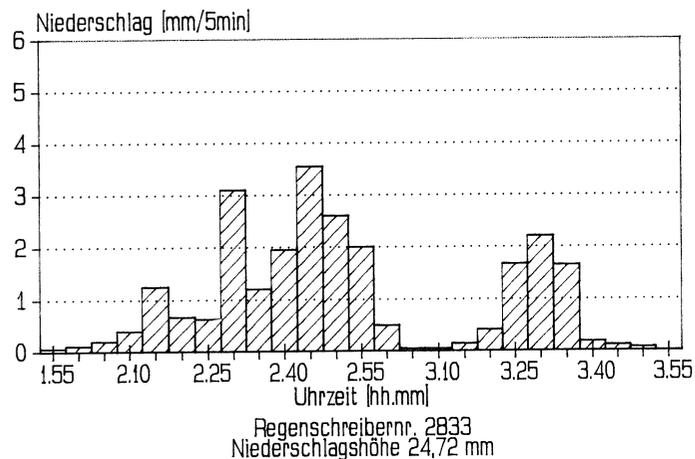
Bemerkung:

Die Wiederkehrhäufigkeit eines Ereignisses darf nicht als Wiederkehrhäufigkeit der von ihm verursachten Überlastungen im Netz interpretiert werden. Aufgrund der komplizierten Niederschlag-Abfluß-Beziehungen besteht keine einfache Beziehung zwischen den Niederschlags- und Abfluß-Wiederkehrhäufigkeiten.

Darstellung der Niederschlagsverteilung

Ereignis Nr: 005
Datum 07.06.1985

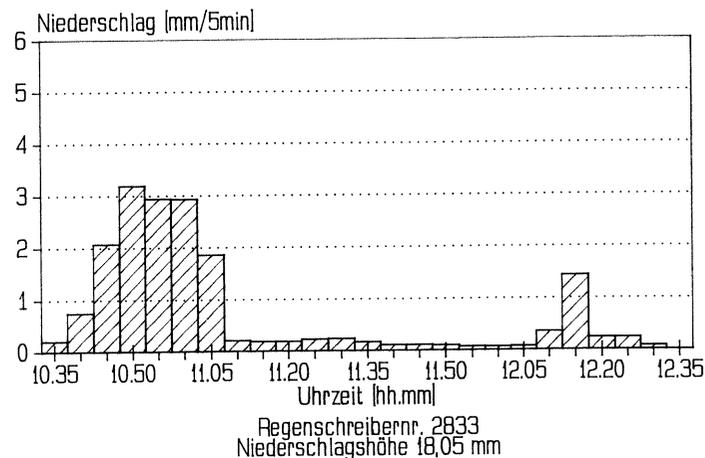
Fig.:16a



Darstellung der Niederschlagsverteilung

Ereignis Nr: 011
Datum 24.05.1960

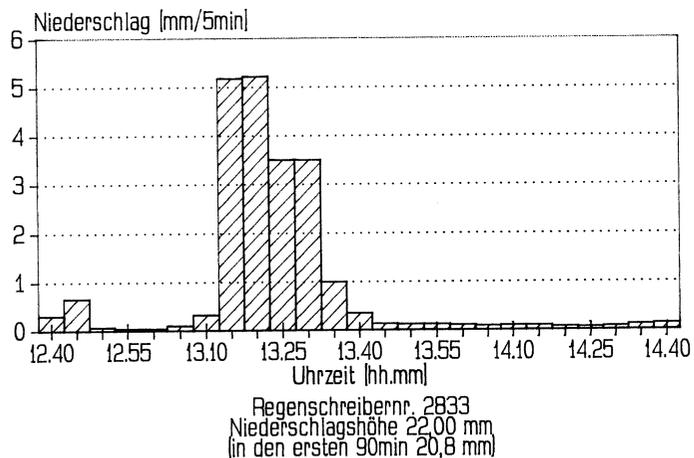
Fig.:17a



Darstellung der Niederschlagsverteilung

Ereignis Nr: 006
Datum 27.06.1985

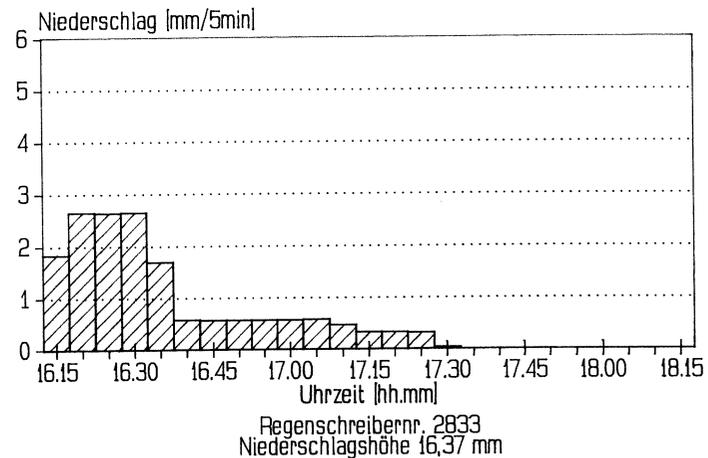
Fig.:16b



Darstellung der Niederschlagsverteilung

Ereignis Nr: 015
Datum 09.08.1960

Fig.:17b



III) ANALYSE DER STANDARDREGELBASIS (Kheili; 1989), (Schneider; 1990).

Im folgenden werden für jede in die Steuerung einbezogene Pumpe die wichtigsten Züge der Standardstrategie erläutert. (In Anlage 12 ist die entsprechende Regelbasis aufgezeigt.)

Anschließend werden die wesentlichen Aspekte dieses Steuerungskonzeptes (vgl Teil IV Kap II) zusammengefaßt, um die Grundlagen der Modifizierung zu verdeutlichen.

Pumpe P1 : Beschickung der Kläranlage

Die Entscheidung hängt vom Wasserstand im Pumpensumpf (H10) und von der Aufnahmekapazität der Kläranlage ab. Maximal kann eine Mischwassermenge von $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ verarbeitet werden. Dieser Grenzwert gilt aber für das gesamte Einzugsgebiet Bremen, dessen größter Teil auf dem rechten Weserufer (Pumpwerke HPW1 und HPW2) liegt. Es wird bei der Simulation angenommen, daß bis zu $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ aus HPWL problemlos verarbeitet werden können. Falls aber Pumpe P1 mit voller Kapazität fördert ($1,8 \text{ m}^3/\text{s}$), wird das übrige Mischwasser an einer Entlastungsstelle vor der Kläranlage in die Weser abgeschlagen. Der Schaltpunkt H10 = 4,60m über Sohle (2,15 mNN) ist sehr niedrig angesetzt, eine Überlastung der Kläranlage Seehausen tritt schon ein obwohl noch Reserven im Netz bestehen.

Pumpe P2 : Befüllung der Becken

Entscheidungsvariablen außer H10 sind H11 (Wasserstand im Becken) und +H10 (Steigerung des Wasserstands im Pumpensumpf).

Durch die Schaltvorgänge der Pumpen kann der Wasserstand im Pumpensumpf in Schwingungen geraten, die im ungünstigsten Falle von der Steuerung verstärkt werden, wenn +H10 ein großes Gewicht bekommt. Sinnvoller wäre eine globale Steigerungstendenz (zeitlich und räumlich relevant) zu betrachten.

Obwohl Pumpe P2 durch Kombination mehrerer Schnecken bis $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$ fördern kann, wird mit einer maximalen Leistung von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ gesteuert. Dies hat zweierlei Gründe.

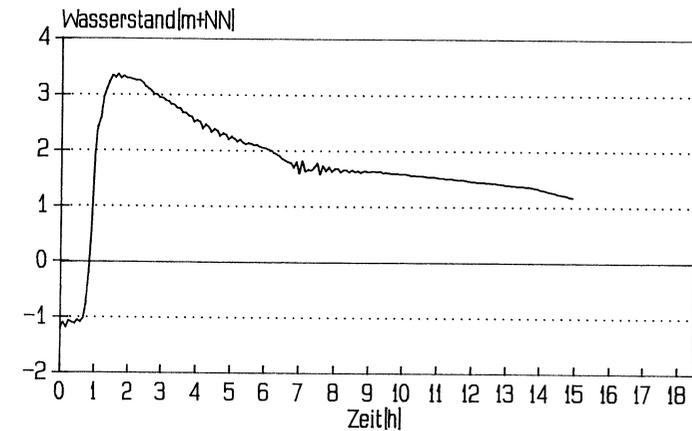
Auf der einen Seite soll verhindert werden, daß bei Vollerfüllung der Becken in den kleinen Vorfluter 'Wasserlöse' entlastet wird. In die Weser (erste Entlastungsstelle) kann wegen ungünstiger hydraulischer Verhältnisse nur bis zu $2 \text{ m}^3/\text{s}$ gedrückt werden. Die Möglichkeit darüberhinaus gehende Mengen in die Wasserlöse zu entlasten, wird aus Umweltschutzgründen von vornherein ausgeschlossen.

Auf der anderen Seite wird versucht, die Energiekosten so niedrig wie möglich zu halten. Das wird erreicht, indem Spitzen des Energieverbrauchs vermieden werden.

Eine solche Beschränkung der Förderleistung läßt aber die Becken zu langsam volllaufen (1h 20min Befüllungszeit). Bei kurzen Starkregen wird das Becken noch befüllt, obwohl der Abflußpeak das Netz schon passiert ist. Am Beispiel des Regens 006 (Fig 18, Fig 19) wird es verdeutlicht.

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H10

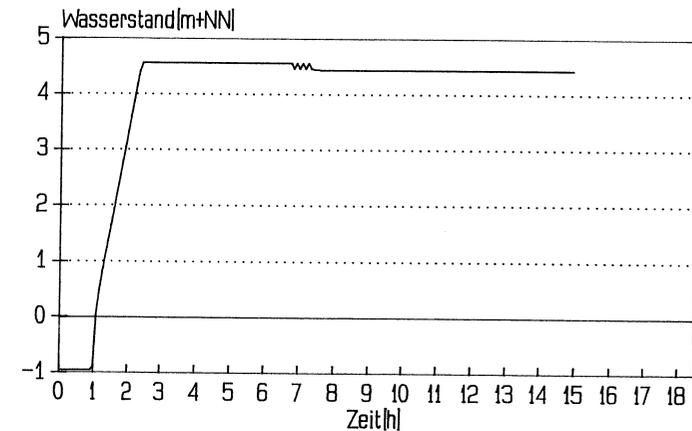
Fig.:18



Ereignis Nr. 006 vom 27.06.1985
0.0 Std. entspr.: 12:40 Uhr

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H11

Fig.:19



Ereignis Nr. 006 vom 27.06.1985
0.0 Std. entspr.: 12:40 Uhr

Pumpe P3 : Entlastung in die Weser

Wichtige Zustandsvariablen sind H27 (Wasserstand im Umlaufgerinne HPWL) und ZP3 (Leistung von P3).

Bei allen 4 Ereignissen wurde erstaunlicherweise festgestellt, daß eine Entlastung in die Wasserlöse stattgefunden hat (ca. 420 m³). Aus erster Sicht scheint es unmöglich, da die Förderleistung der Pumpe P2 diejenige der Pumpe P3 nicht übersteigen kann.

Die Fehlerursache liegt aber in dem Steuerungsintervall (5 Minuten), in Kombination mit dem Speichervolumen des Umlaufgerinnes von 1290 m³ auf Wehrschwellehöhe, begründet. Im ungünstigsten Fall wird das System mehrere Minuten brauchen, bis es den kritischen Zustand im Umlaufgerinne erkennt und die Entlastung in die Weser einleitet.

Pumpe P4 : Förderung vom Tiefpunkt des Einzugsgebiets Krimpel in den Hauptsammler zum HPWL.

Wichtige Zustandsvariablen sind H22 (Wasserstand im Pumpensumpf Krimpel) und ZP15 (Leistung der Pumpe P15 zur Entleerung des Beckens in Krimpel).

Die Förderleistung der Pumpe P4 ist entscheidend vom Beckenentleerungsvorgang in Krimpel abhängig.

Die maximale Förderleistung (815 l/s) wird nur zugelassen, wenn Pumpe P5 gleichzeitig das Becken mit $Q = 420$ l/s leerpumpt. Da aber die Beckenentleerung nur nach dem Niederschlagsereignis eingeleitet wird, ist der Mischwasserzufluß annähernd auf den Trockenwetterwert (80 l/s) zurückgegangen. Der Gesamtzufluß ist zu gering ($420 + 80 = 500 < 815$) und der Pumpensumpf fällt immer wieder trocken (siehe Fig. 20, Fig. 21).

Auf der anderen Seite fördert das PW Krimpel bei hohen Wasserständen nur mit halber Leistung ($Q = 465$ l/s), unabhängig davon, ob im Einzugsgebiet HPWL noch Reserven vorhanden sind oder nicht.

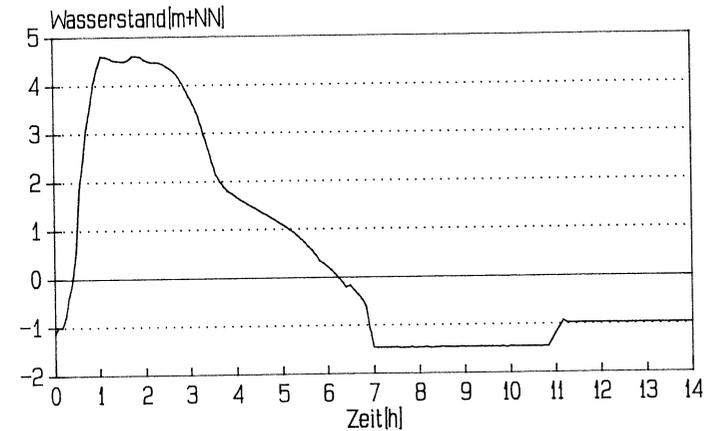
Pumpe P5 : Befüllung des Beckens im PW Krimpel

Die Befüllung verläuft noch ungünstiger als im HPWL. Aufgrund der zu niedrig festgehaltenen Leistungsstufen dauert sie ca 5,5 Stunden (!). Dementsprechend können am Scheitelwert der Abflußganglinie die Stauraumreserven des Beckens kaum ausgenutzt werden. Entsprechend den Vorgängen im HPWL wird das Becken aber noch befüllt, auch wenn der Wasserstand auf ein vertretbares Maß zurückgegangen ist (siehe Fig. 20, Fig. 21).

Der Wirkungsgrad der Becken im Zusammenspiel mit der Kanalstauraubewirtschaftung ist unzureichend.

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H22

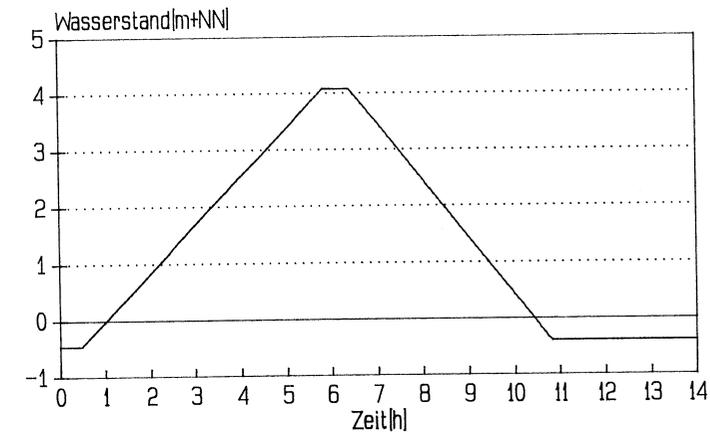
Fig.: 20



Ereignis Nr. 011 vom 24.05.1960
0,0 Std. entspr.: 10:35 Uhr

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H23

Fig.: 21



Ereignis Nr. 011 vom 24.05.1960
0,0 Std. entspr.: 10:35 Uhr

Pumpe P6 : Förderung aus dem Gebiet 'Rablinghausen' zum HPWL.

Die Entscheidungsvariable ist H04 (Wasserstand im Pumpensumpf Rablinghausen).

In Fig. 22 und Fig. 23 wird die Unzulänglichkeit der Steuerung in Rablinghausen verdeutlicht. Starke Schwingungen des Wasserstandes treten im Sumpf auf, die nicht abgedämpft werden. Der Pumpensumpf fällt ständig trocken. Dieses ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß die Leistungsstufen der Pumpe P6 ungünstig festgelegt sind.

Tabelle der Förderstufe der Pumpe P6

Stufe Nr	0	1	2	3
Leistung (l/s)	0	8	60	91

Zum Vergleich ist der Trockenwetterzufluß 8 l/s.

Die Entleerung der Becken

Pumpe P14 steuert die Entleerung im HPWL und **Pumpe P15** steuert die Entleerung im PW Krimpel.

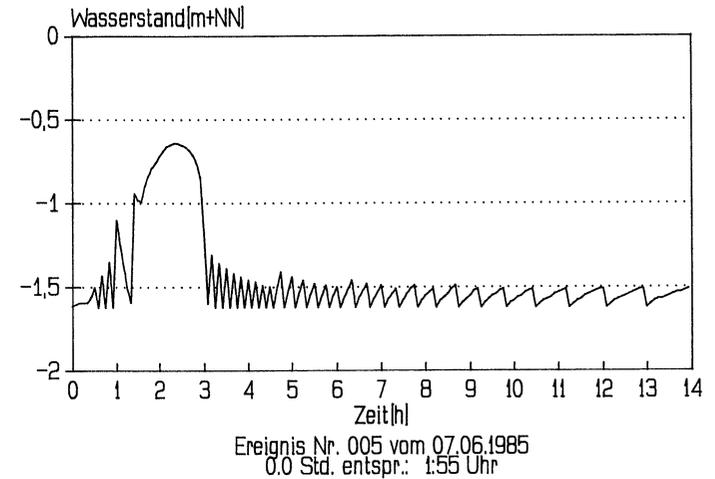
Um die Steuerung des Abflußvorgangs flexibel zu halten, muß angestrebt werden, die Becken nur für kurze Zeiträume gefüllt zu belassen. Die Entleerung der Becken ist bei der Standardsteuerung abhängig vom Wasserstand in dem jeweiligen Pumpensumpf. Die Schaltpunkte sind so tief angesetzt, daß das Leerlaufen der Becken sehr spät beginnt.

Aus dieser detaillierten Untersuchung der Standardstrategie werden die 2 folgenden Merkmale ersichtlich.

- 1) Es wird versucht, den Wasserstand in der Kanalisation so niedrig wie möglich zu halten. Das aber kann dazu führen, daß eine Befüllung des Beckens fortgesetzt wird, obwohl der Spitzenzufluß längst vorbei ist. Es führt auch dazu, daß die Entleerung der Becken spät eingeleitet wird.
- 2) Die Pumpenförderleistungen zur Befüllung der Becken sind in der Regel zu niedrig eingesetzt.

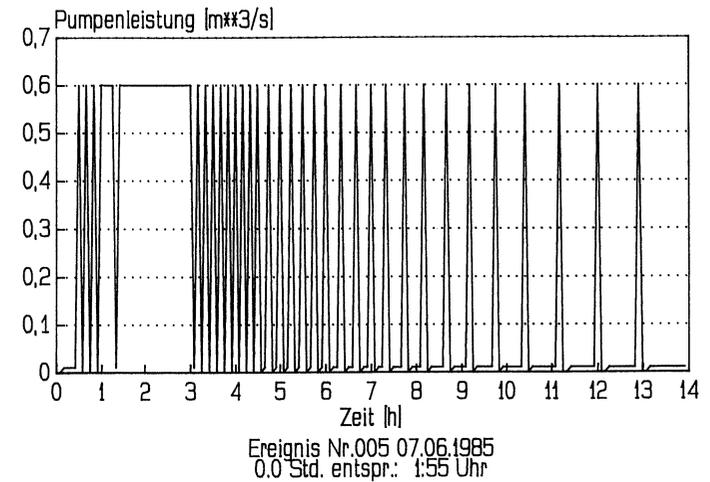
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H04

Fig.:22



Darstellung der Pumpenleistung
Pumpe Nr.: P6

Fig.:23



IV) ENTWICKLUNG EINER 'VERBESSERTEN' REGELBASIS (Schneider 1990)

IV.1) Die Grundlagen (siehe Teil IV Kapitel II).

Es wird angenommen, daß bis zu einem Füllungsgrad von 2/3 des jeweiligen Kanalstauraums die Abfluvvorgänge als normal anzusehen sind. Ein Reservevolumen entsprechend 1/3 des Kanalstauraumvolumens wird als ausreichend erachtet, die auflaufende Zuflüßwelle abzufangen, bis die vorgenommenen Aktionen im gesamten Einzugsgebiet Wirkung zeigen. Dies ist wiederum nur darin begründet, daß die Fließgeschwindigkeiten im Netz aufgrund der Gefälleverhältnisse niedrig sind.

Durch eine Verbundsteuerung muß versucht werden, alle Schächte zum gleichen Zeitpunkt überstauen zu lassen. Ist dieses Ziel erreicht, wird der Kanalstauraum mit 100% Wirkungsgrad bewirtschaftet. Dieser Ansatz hat jedoch aufgrund von Einschränkungen der Steuerungsmöglichkeit innerhalb der Kanalisation sowie unterschiedlicher Randbedingungen in den Schächten (Geländehöhe, Gefälle, ...) nur theoretische Bedeutung.

Bei der praktischen Umsetzung wird versucht, in den beiden 'oben'–liegenden Teilnetzen das ihnen zufließende Regenwasser solange zurückzuhalten, bis die Sicherheitsmarke überschritten ist, oder aber, falls die Sammlerkapazität nicht ausgenutzt wird, bis im zentralen Teil am HPWL die zum Weitertransport nötigen Reserven frei sind. Durch das Zurückhalten der Abflüßwelle soll versucht werden, die Spitzenwasserstände am HPWL von dem maximalen Zuflüß aus den obenliegenden Gebieten zeitlich zu entkoppeln.

IV.2) Beschreibung der modifizierten Steuerung (Schneider; 1990).

Bemerkung:

In Anlage 19 ist die modifizierte Produktionsbasis aufgezeigt.

Steuerungsintervall:

Im Normalfall beträgt das Steuerintervall 5 Minuten. Sobald im Einzugsgebiet HPWL oder Krimpel bedrohliche Wasserstände auftreten und Regengefahr besteht, wird das Steuerintervall auf eine Minute gesetzt. Die Regengefahr wird in den meisten Fällen vernachlässigbar, wenn in den letzten zwei Stunden Trockenwetter bestand. Das Kanalnetz befindet sich dann in der Leerlaufphase.

Pumpe P1 (HPWL, Beschickung der Kläranlage).

Die Entscheidungsvariablen bleiben gleich. Die Schaltpunkte sind jedoch geändert.

Aus den Kanalnetzdaten ist zu entnehmen, daß die untersten 55 cm des Speicherschachtes HPIT-H10 den eigentlichen Pumpensumpf ausmachen. Der einmündende Hauptsammler erreicht den Schacht 55 cm über dessen Sohle. Sinkt der Wasserstand unter diesen Wert setzt das Expertensystem die Leistung der Pumpe P1 auf Null.

Die weitere Einteilung in Bereiche gleicher Fördermenge richtet sich nach der Wasserstands–Volumen–Beziehung für das Einzugsgebiet HPWL (siehe Anlage 2, Anlage 6, Anlage 17).

Bereits ab einer Pegelmessung (H10) von 2,00 m über Sohle (0,45 mNN) fördert P1 mit der maximal vertretbaren Leistung von 1,1 m³/s. Es wird angenommen, daß die Kläranlage Seehausen diesen Wert in Addition mit den Mischwasserströmen vom rechten Weserufer verarbeiten kann, ohne daß der Wirkungsgrad beeinträchtigt wird. Mit diesem niedrigen Schaltwasserstand bei weniger als 10% der Kanalraumauslastung soll verhindert werden, daß ein langer schwächerer Vorregen das Netz allmählich füllt. Regenabschnitte mit hoher Intensität könnten sonst ein fast gefülltes Netz überlasten.

Pumpe P2 (HPWL, Befüllung der Becken).

Übersteigt der Gesamtzuflüß 1,1 m³/s, steigt der Wasserspiegel bis 2,75 mNN an. Oberhalb dieser Marke wird der Zustand vom Expertensystem als bedrohlich für die Betriebssicherheit erkannt. Zu diesem Zeitpunkt sind ca. 2/3 der Stauraumreserven im Einzugsgebiet HPWL (incl. Becken) verbraucht. Die Vermeidung von Überstau hat jetzt Vorrang vor z.B. Umweltschutzaspekten. Die Beschickung der Kläranlage wird auf 1,8 m³/s heraufgesetzt, wenn Regengefahr besteht (= in den letzten 2 Stunden sind mehr als 5 mm Niederschlag gefallen). Sonst bleibt die Leistung auf 1,1 m³/s beschränkt. Ein eventuell noch kurzfristiges Ansteigen des Wasserstandes kann allein mit dem vorhandenen Beckenvolumen von 10000 m³ abgefangen werden.

Die Befüllung der Becken am HPWL wird erst bei einem Pegelstand von 2,95mNN aktiviert. Das sind 35 cm unter der niedrigsten im Einzugsgebiet vorkommenden Geländehöhe bzw. 100cm unter der Geländehöhe am HPWL. Zögert man die Befüllung der Becken soweit hinaus, muß die Reaktion auf einen drohenden Überstau deutlich ausfallen. Pumpe P2 wird daher vom Expertensystem mit der maximalen Leistung von 5 m³/s eingesetzt. Die Becken sind in 33 Minuten gefüllt. Dieser Vorgang wird in Steuerintervallen von 60 Sekunden überwacht.

Bei der modifizierten Strategie wird, wie auch bei der Standardstrategie, versucht, den Vorfluter Wasserlöse von Mischwasserentlastungen frei zu halten. Sobald die Becken im HPWL gefüllt sind, schaltet die Regelbasis die Pumpe P2 auf 2 m³/s zurück – diejenige Menge, die jederzeit in die Weser gedrückt werden kann.

Pumpe P3 (HPWL, Entlastung in die Weser).

Eine Entlastung in die Weser, bei vollen Becken (H11 >= 533) kann nur bei einem Wasserstand über 2,95 mNN am Pegel H10 eingeschaltet werden. Die Entlastung wird aber nur gestoppt, wenn der Wasserstand am Pegel H10 unter 2,90 mNN heruntergefallen ist. Diese Überlappung soll steuerbedingte Schwingungen im Pumpensumpf so niedrig wie möglich halten. Sie muß aber gering bleiben (5 cm), um unnötige Entlastungen bei sinkendem Wasserstand zu vermeiden. Ob solch geringe Toleranzen praktikabel sind, – 5cm liegen in der Bandbreite des Wellenschlags im Pumpensumpf–, müssen Erfahrungen vor Ort zeigen. Konstruktive Verbesserungen an den Pegeln könnten solche

Größenordnungen sinnvoll machen.

Die Schaltwasserstände und das Steuerintervall sind gegenüber der Standardstrategie so verändert worden, daß ein Überlaufen des Umlaufgerinnes am HPWL und ein Abschlag in die Wasserlöse nicht möglich ist. Die Wasserlöse bleibt durch diese Kombination von einem Schwall (ca. 420 m³) Mischwasser verschont.

Pumpe P4 (Krimpel, Förderung in das Gebiet HPWL).

Als oberstes Ziel für das Einzugsgebiet des PW Krimpel muß nach der Verhinderung von Überstau die Vermeidung einer Entlastung in das Krimpelfleet angesehen werden. Sollten die Oberflächenabflüsse die Kapazität der Speicherräume übersteigen, wird sobald wie möglich Wasser in den Hauptteil des Netzes gefördert, um einen Teil der Überlastung in die Weser umleiten zu lassen.

Da die Pumpe P4 mit einer Leistung von 815 l/s relativ leistungsschwach ausgelegt ist, muß der auflaufenden Abflußwelle eines Starkereignisses mit einem entsprechendem zeitlichen Vorlauf begegnet werden.

Um den Pumpensumpf (Pegel H22) nicht trocken fallen zu lassen, wird bei einem Wasserstand kleiner als 80 cm über Sohle (-1,06 mNN) nicht mehr gepumpt. Im Bereich von -1,06mNN bis -0,77mNN arbeitet das Pumpwerk im Trockenwetterbetrieb. Letztere Höhe entspricht dem tiefsten ankommenden Sammler. Im Trockenwetterfall tritt also kein Rückstau in den Sammlern auf. Das Schmutzwasser kann, nur in der Geschwindigkeit begrenzt durch das Haltungsgefälle, dem Pumpensumpf zufließen.

Bei Niederschlägen (= Niederschlagshöhe in den letzten 10 Minuten ungleich null) bricht das Expertensystem den Trockenwetterbetrieb ab, das Wasser staut ein und wird jetzt mit der erhöhten Leistung von 350 l/s (Stufe 2) in den Transportsammler zum HPWL gehoben.

Übersteigt der Zufluß die Pumpenleistung, schaltet die Regelbasis bei ca. 15 % Kanalstauraumauslastung im Gebiet Krimpel in die nächsthöhere Stufe 3 mit 465 l/s.

Diese Förderstufe bleibt bestehen, solange der Kanalstauraum HPWL einen Wasserstand unter 2,50 mNN (H10 <=R 495) aufweist, was einer Auslastung von ca. 75% entspricht. Sind die Kanalreserven im Hauptnetz kleiner als 25% wird die Beschickung durch das Pumpwerk Krimpel abgebrochen, um nicht unnötige Entlastungen in die Weser zu provozieren.

Die Unterbrechung dauert an, bis die Netzbelastung im Gebiet Krimpel so gestiegen ist, daß eine Oberstaugefahr besteht. Diese Notsituation tritt auf, wenn der Wasserstand im Pumpensumpf (H22) mehr als 4,20 m über Sohle beträgt. Der Stauraum ist dann zu ca. 85% ausgelastet.

Im Einzugsgebiet Krimpel kann ein höherer Füllungsgrad als im Hauptnetz (2/3) zugelassen werden, da großzügig dimensionierte Becken zur Verfügung stehen. –Beckenvolumen = 8 000 m³; Stauraum = 6200 m³–.

Bei Maximalwasserständen (> 2,34 mNN) fördert die Pumpe P4 mit fast doppelter Leistung (815 l/s) im Vergleich zum normalen Regenwetterbetrieb.

Sobald der Kanalstauraum HPWL eine Reserve von 25 % aufweist, beginnt das Leerpumpen im PW Krimpel. Die Pumpe P1 kann mit ihrer Förderleistung zur Kläranlage von maximal 1,1 m³/s diese zusätzliche Belastung des Hauptnetzes nach Ende des Oberflächenabflusses vollständig kompensieren. Der Wasserstand im Hauptnetz bleibt nahezu konstant, während das Einzugsgebiet Krimpel leergepumpt wird. Dieses Vorgehen entspricht der Forderung, das Entlasten in das Krimpelfleet zu vermeiden.

Obwohl das Hauptnetz noch eine hohe Auslastung zeigt, sind im Einzugsgebiet des Pumpwerks Krimpel große Einstaureserven geschaffen worden, mit denen einem eventuell folgenden 2. Ereignis begegnet werden kann. Eine Überlastung des Hauptnetzes kann mit geringerem Schaden durch ein Abpumpen in die Weser jederzeit verhindert/vermindert werden.

Hat das Einzugsgebiet HPWL noch keine Reserven vorzuweisen, wird normalerweise die Befüllung aus dem Stadtgebiet Krimpel unterbrochen. Nach einer Regenpause von mehr als 10 Minuten wird dennoch zumindest die Trockenwetterförderung im Pumpwerk Krimpel wiederaufgenommen. Ein Leerlaufen des Hauptnetzes, durch die Reinigungsleistung der Kläranlage begrenzt, kann sich über 5 und mehr Stunden hinziehen, bis die Pegelmeldungen ein Abpumpen der Wassermenge in Krimpel zulassen würden. Um den Wasserspiegel nicht unnötig ansteigen zu lassen –5 Stunden entsprechen ca. 1500 m³ Schmutzwasser oder 1/4 des Kanalstaurums in Krimpel– wird zumindest mit Trockenwetterleistung gefördert.

Pumpe P5 (Krimpel Befüllung der Becken)

Die oben genannte Grenze der Maximalwasserstände (2,34 mNN im Pumpensumpf H22) löst nicht nur eine Verdoppelung der Förderleistung, sondern leitet auch die Befüllung der Becken ein.

Um die Leistungssprünge in der Summe gering zu halten und so Schwingungen im Sumpf zu dämpfen, wird das Becken in der untersten Stufe der Pumpe P5 nur mit 600 l/s gefüllt. Ab einem Wasserstand am Pegel H22 von 2,94 mNN schaltet das Expertensystem in die höchste Leistungsstufe mit 2980 l/s –Alle Schnecken werden eingeschaltet–. Ist das Becken gefüllt, wird die Leistung auf 1530 l/s zurückgenommen, um bei der nun einsetzenden Entlastung das Krimpelfleet nicht hydraulisch zu schädigen. Bei maximaler Förderrate dauert die Beckenbefüllung ca. 45 Minuten.

Die beiden unteren Pumpenstufen haben die Aufgabe, Starkereignisse ohne extreme Abfluß- (bzw. Wasserstands-) Spitzen durch eine langsame Befüllung der Becken abzufangen. Dafür ist nur ein Becken oder im Grobnetz die halbe Beckenkapazität vorgesehen (H23 <=R 263). Die Becken werden nur bis maximal 2 Stunden nach Ereignisende befüllt. Dabei wird angenommen, daß die Oberflächenabflußwelle bereits zurückgegangen ist und die Beschickung ins Hauptnetz ausreicht.

Pumpe P6 (PW Rablinghausen)

Es wird zwischen einem Trockenwetterbetrieb und einem Trockenwetterbetrieb mit gesteigerter Pumpenleistung unterschieden. Der zweite Fall tritt während eines Ereignisses ein, wenn die Niederschlagshöhe in den letzten 10 Minuten kleiner als 5 mm ist. Diese Aufteilung soll eine getrennte Behandlung von unterkritischen Dauerregen und Starkregen möglich machen. Mäßige Dauerregen passieren das Pumpwerk ohne Rückstau, Starkregen werden zwischengespeichert. Beginnt der Sammler oberhalb des Pumpensumpfes (Pegel H04) trotz Pumpenstufe 2 einzustauen, wird die Förderung unterbrochen, bis die Intensität auf 0,5 mm in 2 Stunden zurückgegangen ist (Regenende). Erst dann beginnt das Abpumpen des Wassers.

Die Sicherheitsmarke liegt in Rablinghausen bei einem Wasserstand im Pumpensumpf von 1,08 mNN. Dieser Wert entspricht mit ca. 90% einer ähnlich hohen Auslastung des Kanalstauraums wie am Pumpwerk Krimpel. Obwohl am Pumpwerk Rablinghausen keine Speicherbecken vorhanden sind, ist diese Höhe dennoch vertretbar. Das Einzugsgebiet weist mit dem Quotienten aus undurchlässiger Fläche zu Kanalstauraum das weitaus günstigste Verhältnis im gesamten Netz auf (ca. 275 m³/ha). Mit der maximalen Pumpenleistung können zudem alle Abflußspitzen, sofern sie nicht vollständig durch den Kanalstauraum abgefangen werden, ausreichend schnell ins Hauptnetz gedrückt werden. Die eingestauten Sammler werden nach Regenende leergepumpt, falls entsprechend den Regeln am Pumpwerk Krimpel Reserven im Hauptnetz frei werden. Die Zeit des Maximalstaus wird (wie in Krimpel) überbrückt, indem zumindest der Schmutzwasseranfall weitergefördert wird.

Pumpen P14 (Entleerung der Becken in HPWL)

Das Ablassen des Beckens am HPWL erfolgt in zwei Stufen. Die erste Hälfte des Beckenvolumens wird bei einem Wasserstand von 2,05mNN abgepumpt, der Rest folgt sobald die Pegelmessung um einen weiteren Meter auf 1,00mNN gefallen ist. Diese Strategie soll zum einen Reserven schaffen, um eine eventuell noch folgende Stoßbelastung rasch abfangen zu können (5 000 m³ freies Volumen), zum anderen soll der Wasserstand im Netz so früh wie möglich gesenkt werden –und nicht erst, nachdem die Becken vollständig leer sind–. Lokale Engpässe im Netz bei Einstau einzelner Sammlerabschnitte werden so beseitigt.

Pumpe P15 (Krimpel, Entleerung der Becken)

Am Pumpwerk Krimpel wird nur in Abhängigkeit vom Wasserstand im Pumpensumpf (H22) entleert. Die mittlere Leistung bei der Beckenentleerung von 420l/s entspricht ungefähr der Beschickung ins Hauptnetz durch die Pumpe P4 (485 l/s) einschließlich des Schmutzwasseraufkommens. Das Wasser aus den Becken verläßt also den Kanalstauraum Krimpel, eine Zwischenspeicherung findet nicht statt. Bei plötzlich wiederansteigendem Wasserstand besteht so nicht die Gefahr, daß der Beckeninhalte zum zweitenmal in das Becken gelangt.

V) BEWERTUNG UND VERGLEICH DER REGELBASIS

V.1) Untersuchung von Einzelereignissen

Entsprechend der in Kapitel II gegebenen Grundlagen beruht die Bewertung einer Strategie einerseits auf einer detaillierten Untersuchung von ausgewählten Einzelereignissen sowie andererseits auf Ergebnissen der Langzeitsimulation.

Um die Übersichtlichkeit zu wahren, werden aus den 4 ausgewählten Ereignissen zur Detailuntersuchung nur zwei herangezogen. Es sind Regen Nr. 005 (als das stärkste) und Regen Nr. 015 (als das schwächste) –zur Beschreibung der Niederschläge siehe Kapitel II–.

V.1.1) Verhalten der modifizierten Steuerung bei Überlastung des Kanalstauraums

Regen Nr. 005 (Fig. 16) überlastet das Mischnetz. Es stellt sich die Frage, ob durch eine geeignete Steuerung eine Schadensverminderung möglich ist. Die Untersuchung bezieht sich hauptsächlich auf die drei Pumpwerke.

Fig. 24 und Fig. 25 verdeutlichen die Situation im Pumpwerk HPWL.

Die Beckenbefüllung bei der modifizierten Strategie tritt 25 Minuten später auf. Die erhöhte Förderleistung läßt trotzdem den Beckenwasserstand die Entlastungshöhe ca. 10 Minuten eher erreichen als bei der Standardstrategie. Durch den Eingriff kann der maximale Wasserstand im Pumpensumpf H10 um ca. 30 bis 40 cm gesenkt werden. Der Wasserstandsscheitel, wie er bei der alten Regelbasis auftritt, wird gekappt. Kurzzeitig fällt der Wasserstand, um anschließend zu einem kleinen Maximum aufzulaufen, als das Expertensystem die Beckenbefüllung bei beginnender Entlastung auf 2 m³/s drosselt.

Sobald der Wasserstand auf ein vertretbares Maß zurückgegangen ist, wird die Entlastung gestoppt. Die Entlastungsdauer reduziert sich von vorher 6 auf jetzt 2 Stunden. Nachdem die Extremphase des Niederschlag–Abfluß–Ereignisses verarbeitet wurde, laufen die Wasserstände im Pumpensumpf deutlich auseinander. Die bei den oben liegenden Netzteilen Krimpel und Rablinghausen einsetzende Entleerungsphase läßt den Wasserstand im Hauptnetz nur langsam fallen. Die Beschickung der Kläranlage drosselt das Leerlaufen am HPWL.

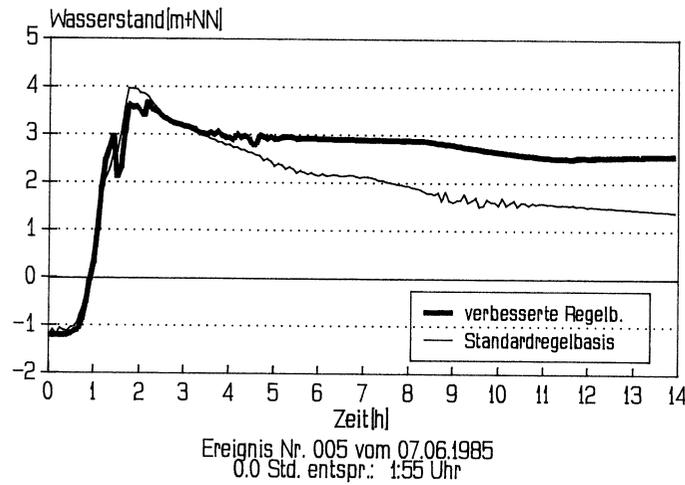
Fig. 26 und Fig. 27 verdeutlichen die Situation in Krimpel.

Bei der Standardstrategie werden die vorhandenen Kapazitäten zeitlich falsch eingesetzt. Die zu niedrige Förderleistung zur Befüllung der Becken (350 l/s) erlaubt es nicht rechtzeitig, die Belastung auf den Stauraum zu vermindern. Dies führt zu einem Überstau von etwa 4 500 m³.

Dadurch, daß die volle Leistung der Pumpen synchron mit den hohen Wasserständen eintritt, bleibt der Überstau erspart. Das Einstaumaximum bleibt sogar 50 cm unter der Geländeoberfläche. Als

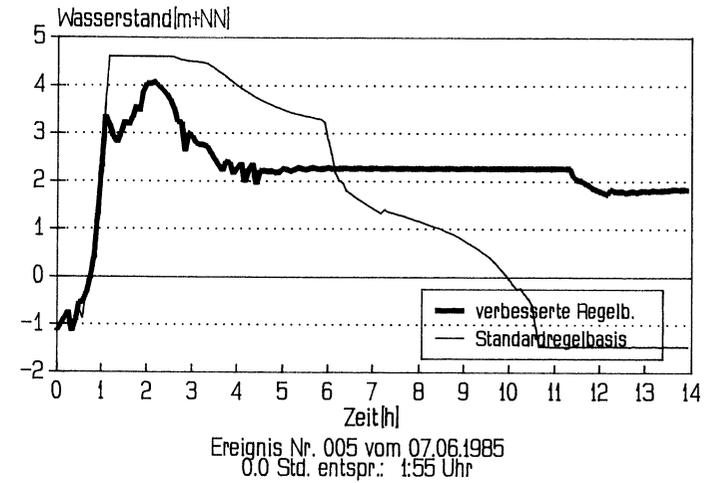
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H10

Fig.:24



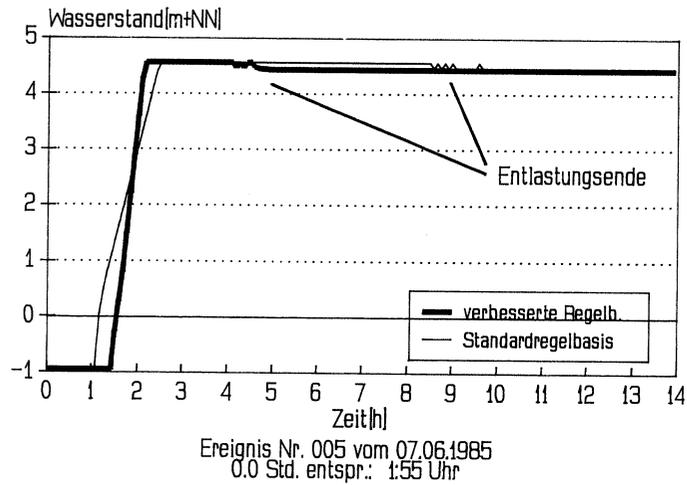
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H22

Fig.:26



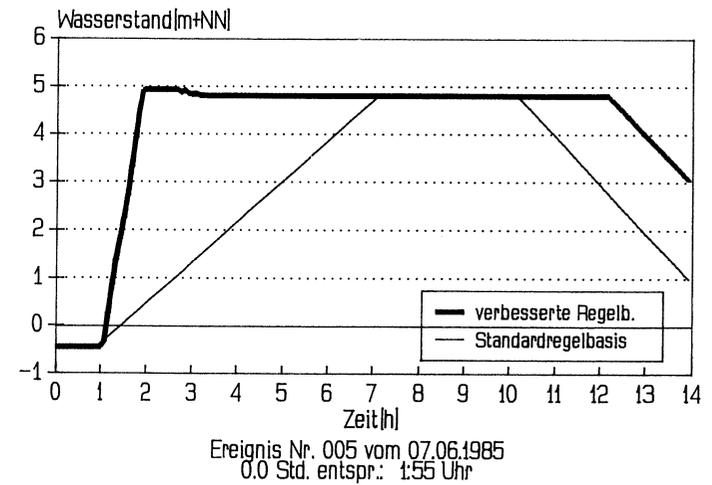
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H11

Fig.:25



Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H23

Fig.:27



Preis für das Vermeiden des Überstaus, mußte die entsprechende Wassermenge entlastet werden. Der Abfluß in das Krimpelfleed beträgt ca $5\,500\text{ m}^3$. Die Differenz von 1000 m^3 resultiert aus dem um 0,5 verringerten Einstau und der damit verbundenen, nicht vollkommenen Ausnutzung des Kanalstauraums.

Fig. 28 und Fig. 29 verdeutlichen die Situation in Rablinghausen.

Bei der Standardstrategie findet ein Rückstau nur statt, als der Zufluß für die Dauer von 1,5 Stunden die maximale Förderleistung übersteigt.

Bei der modifizierten Strategie wird die Förderung ins Hauptnetz am Anfang des Ereignisses unterbrochen. Übersteigt die Einstauhöhe die Sicherheitsgrenze, wird die überschüssige Wassermenge weitergeleitet. Dies kann so weit hinausgezögert werden, bis am HPWL der Wasserstand wieder fallend ist. An diesem Beispiel wird die zeitliche Entkoppelung des Einstaupeaks in Rablinghausen und HPWL deutlich. Kann der Wasserstand am Pegel H04 unter dem Sicherheitsniveau gehalten werden, verringert das Expertensystem den Abfluß auf die Größe des Trockenwetterbetriebs, bis im Hauptteil des Netzes 25% Reservestauraum freigeworden ist.

In Fig. 30 bis Fig. 33 werden die während des Ereignisses Nr. 005 einstauenden (bzw. überstauenden) Schächte nach beiden Strategien in einer graphischen Darstellung des Netzes aufgezeigt. Weitere Simulationsergebnisse sind der [Anlage 20](#) zu entnehmen.

V.1.2) Verhalten der Steuerung bei Auslastung des Kanalstauraums

Regen Nr 015 (Fig. 17b) erzeugt eine Zuflußwassermenge, die das Netz nahezu auslasten, aber nicht überlasten kann.

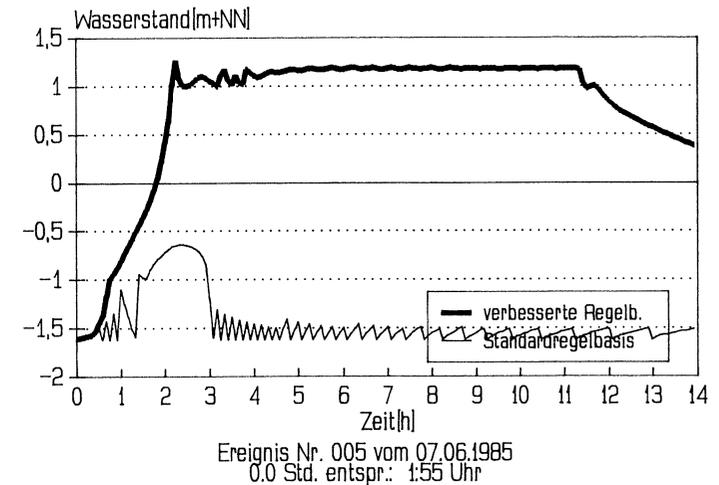
Fig. 34 und Fig. 35 verdeutlichen die Situation am Pumpwerk HPWL. Schacht H10 zeigt bei der modifizierten Strategie eine höhere Auslastung des Stauraums. Nach der Anstiegsphase nimmt der Wasserstand nahezu mit konstantem Gradienten ab. Die gleichbleibende Beschickung der Kläranlage mit $Q=1,1\text{ m}^3/\text{s}$ läßt das Netz langsam leerlaufen.

Das Speicherbecken wird nicht mehr befüllt. Die Entlastung von 11500 m^3 Mischwasser in die Weser wird erspart. Die kurzfristige Überlastung der Kläranlage ($QP1=1,8\text{ m}^3/\text{s}$) läßt sich um 200 m^3 auf $5\,200\text{ m}^3$ verringern.

Im PW Krimpel (Fig. 36 und Fig. 37) entsteht am Pumpensumpf ein kurzzeitiger Überstau von 140 m^3 , wenn nach der alten Strategie gesteuert wird. Die modifizierte Strategie glättet die Wasserstandsganglinie. Der kurze, steile Peak des Regenabflusses wird zu einem länger andauernden, gleichmäßig hohen Wasserstand. Wenn bei der Standardstrategie nach 6,5 Stunden Trockenwetterwasserstand herrscht, beträgt die Zeitspanne bei der geänderten Version 14 Stunden.

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H04

Fig.: 28



Darstellung der Pumpenleistung
Pumpe Nr.: P6

Fig.: 29

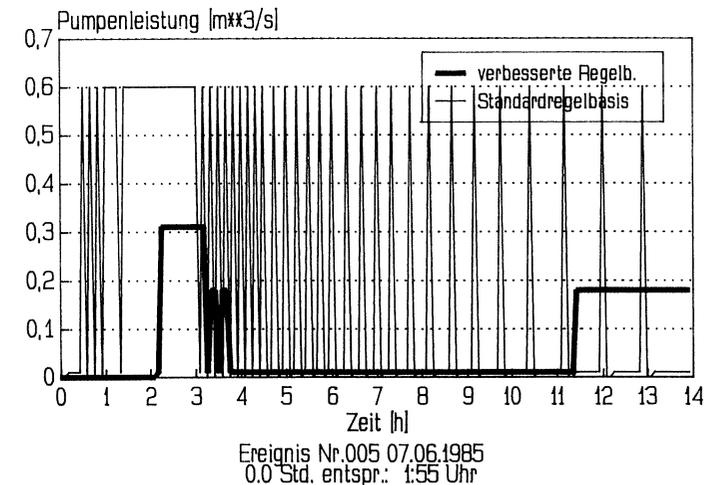
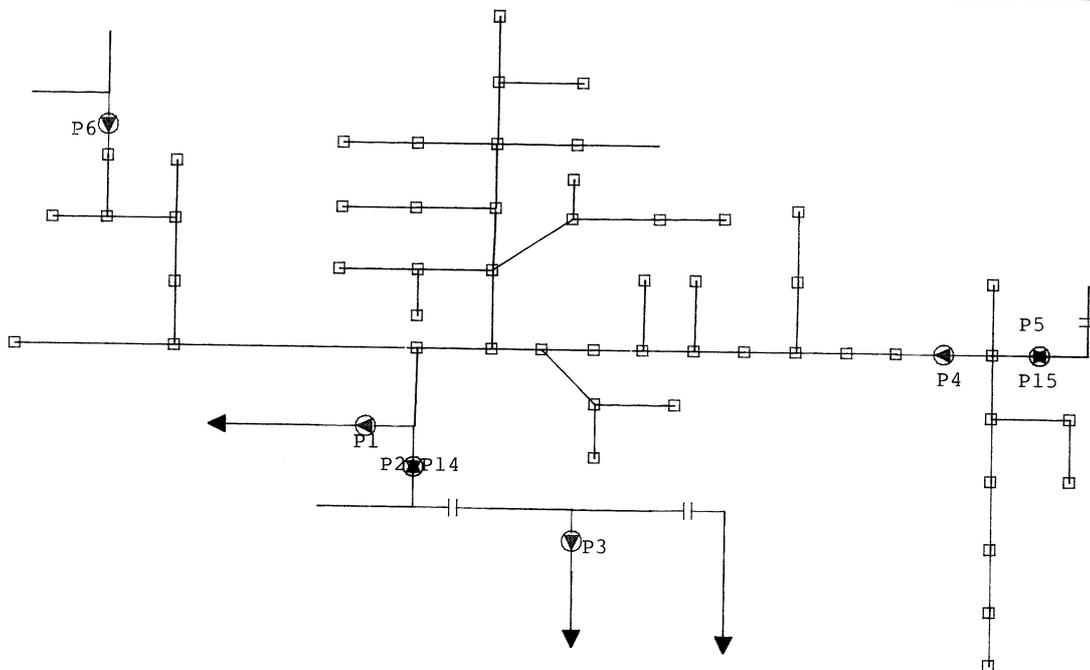
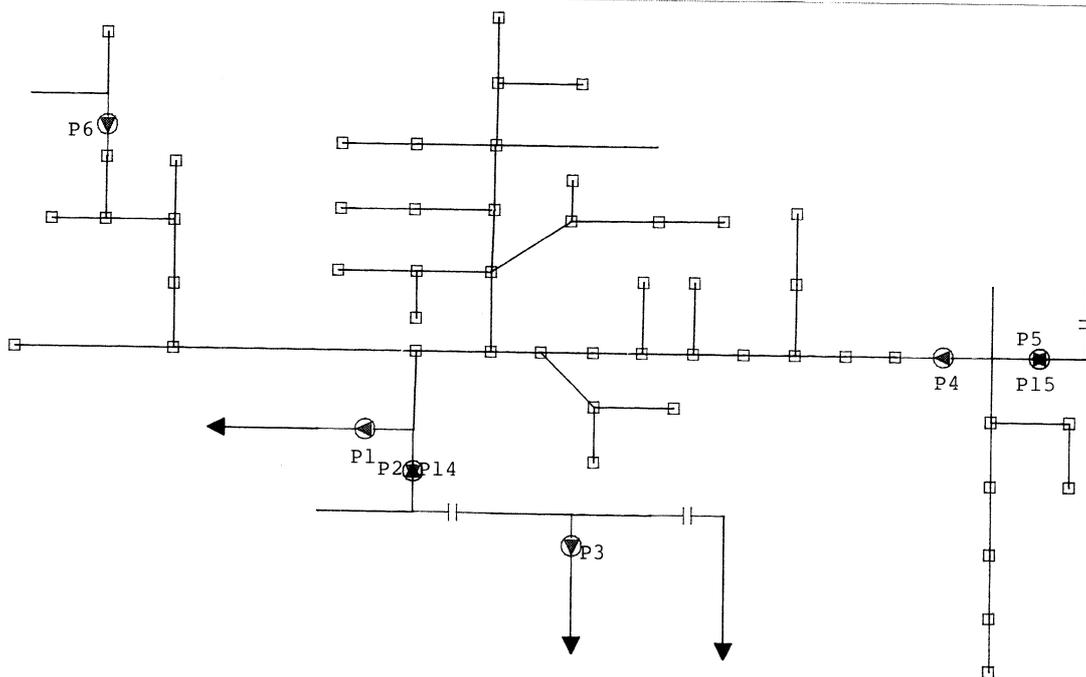


Fig. 30
Darstellung der einstauenden Schächte



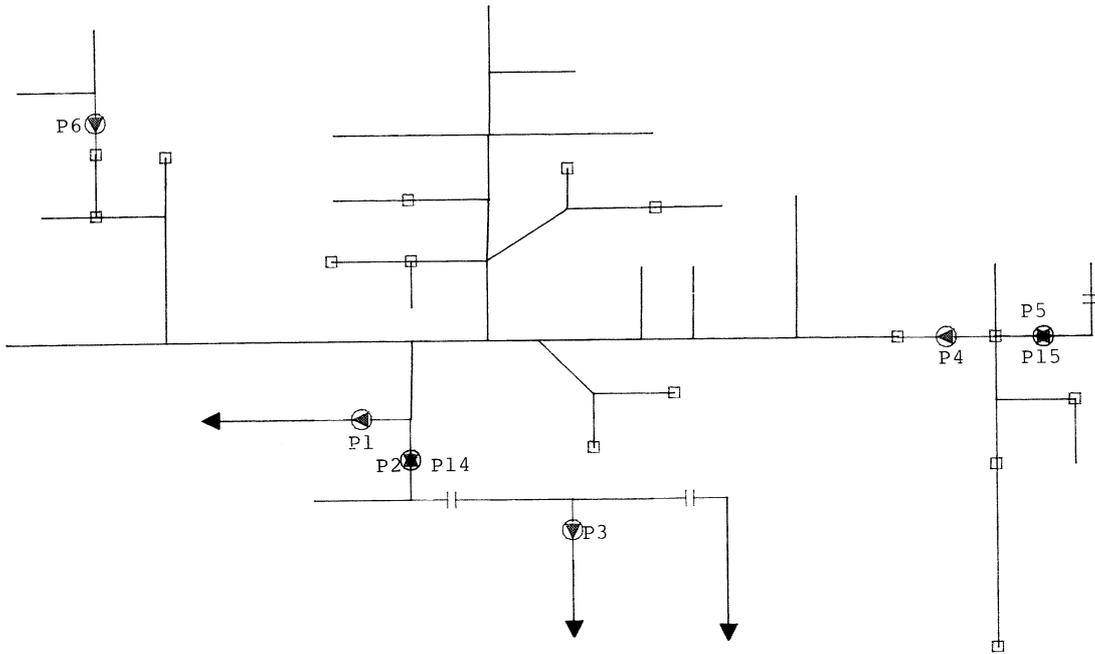
Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (Standardstrategie)
Ereignis Nr. 005 vom 07.06.1985

Fig. 31
Darstellung der einstauenden Schächte



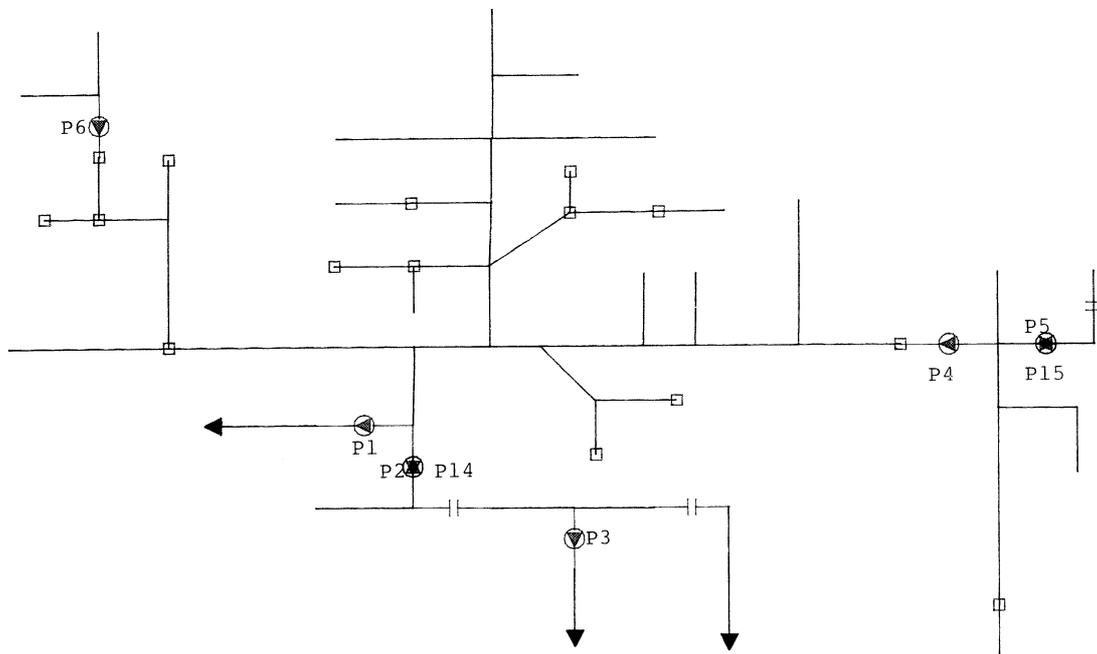
Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (modifizierte Strategie)
Ereignis Nr. 005 vom 07.06.1985

Fig. 32
Darstellung der überstauenden Schächte



Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (Standardstrategie)
Ereignis Nr. 005 vom 07.06.1985

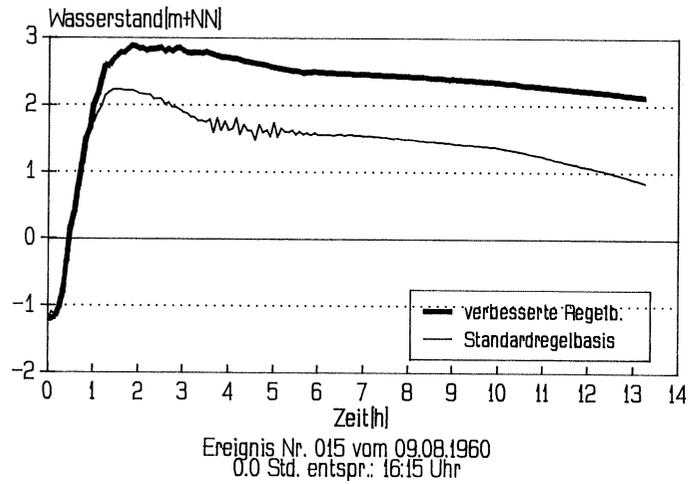
Fig. 33
Darstellung der überstauenden Schächte



Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (modifizierte Strategie)
Ereignis Nr. 005 vom 07.06.1985

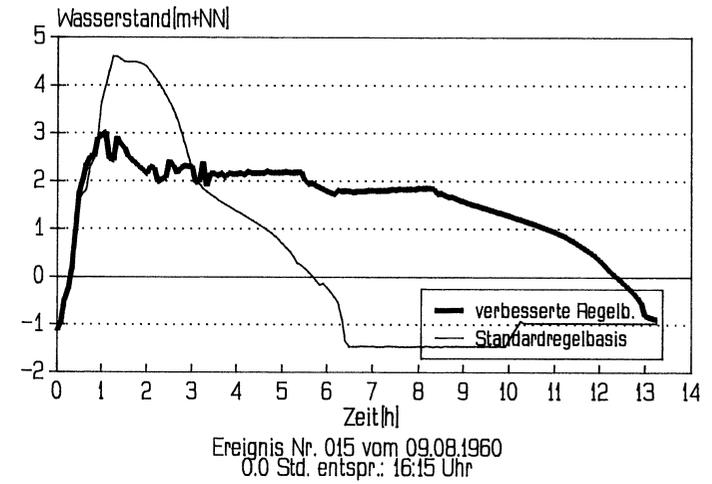
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H10

Fig.:34



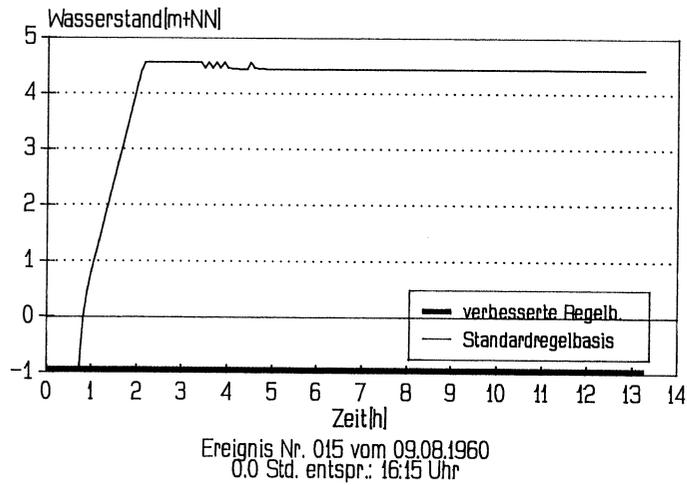
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H22

Fig.:36



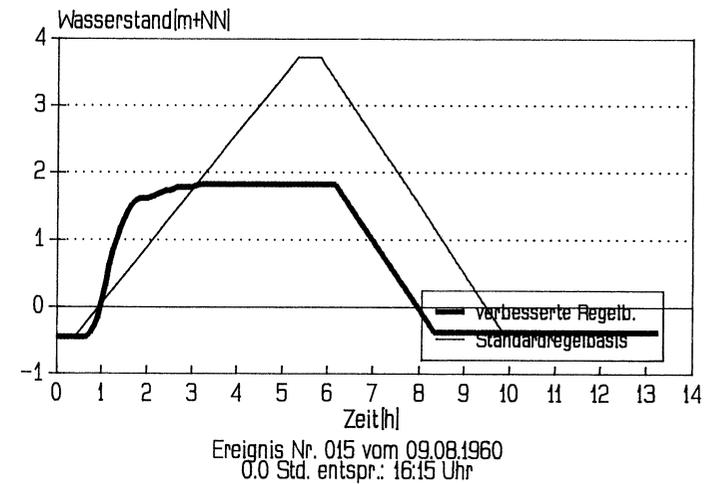
Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H11

Fig.:35



Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H23

Fig.:37



Des weiteren reduziert sich die Füllmenge der Becken bei der modifizierten Strategie von 6200 m^3 auf 3400 m^3 um fast 50 %. Daher werden Energiekosten gespart und die volle Entleerung geschieht ca. 1,5 Stunden früher. Es stehen also früher Reserven zum Abfangen von weiteren Stoßbelastungen zur Verfügung.

In Rablinghausen werden von der modifizierten Strategie die Zuflüsse aus dem Niederschlagsereignis vollständig bei 45 % Auslastung zwischengespeichert, so daß über die gesamte Dauer des Ereignisses das Einzugsgebiet Rablinghausen vom Rest des Netzes abgekoppelt wird. Erst 4 Stunden nach Ereignisende, wenn im Hauptnetz Reserven frei geworden sind, beginnt das Expertensystem damit, dieses Teilnetz geordnet leerzupumpen.

In Fig. 38 bis Fig. 41 werden die während des Ereignisses Nr. 015 einstauenden (bzw. überstauenden) Schächte nach beiden Steuerungsstrategien in einer Darstellung des Netzes aufgezeigt. Weitere Simulationsergebnisse sind der Anlage 20 zu entnehmen.

Durch die Veränderung der Strategie wird mehr Mischwasser in der Kläranlage verarbeitet und dementsprechend verlängern sich die Verweilzeiten der Mischströme im Netz. Die Leistung der Kläranlage wirkt als Drossелеlement beim Leerlaufen des Kanalnetzes. –Das Speichervolumen des Mischnetzes kann in ca. 13 Stunden verarbeitet werden, wobei bereits ein stark erhöhter Zufluß von $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen wird–.

Das Trockenwetterniveau im Pumpensumpf HPWL wird mit einer Verzögerung eintreten, die ungefähr dem Mehrvolumen an rückgestautem Mischwasser dividiert durch die Pumpenleistung zur Kläranlage entspricht.

Dies wird anhand der folgenden Tabellen für die 4 ausgewählten Ereignisse (Nr 005, Nr 006, Nr. 011, Nr. 015) verdeutlicht.

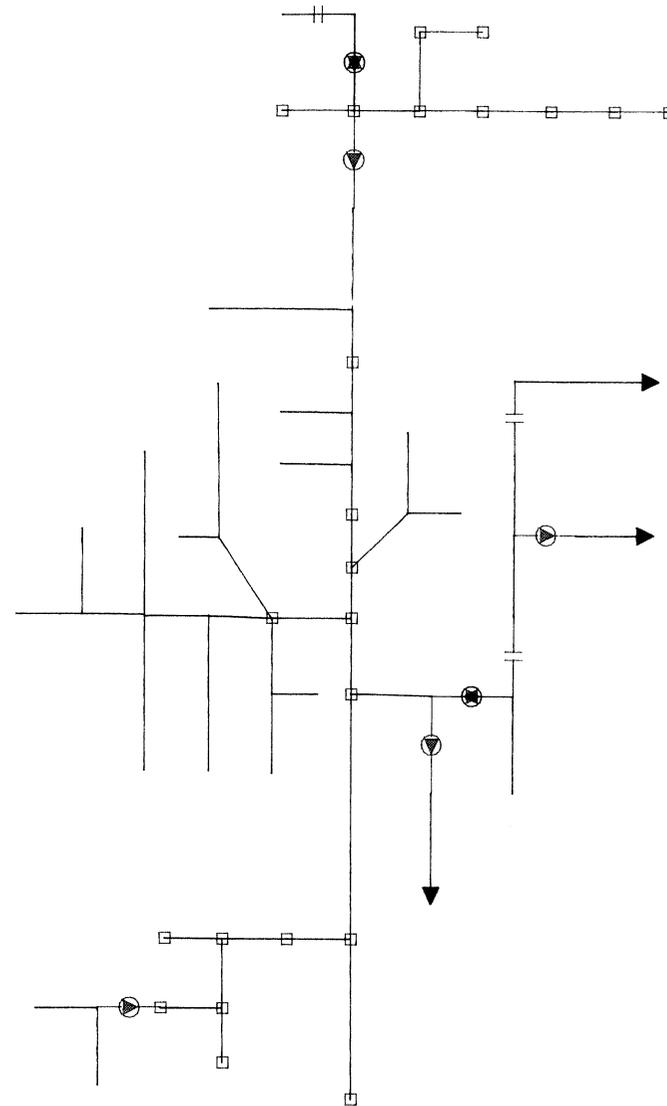
Bemerkung:

Die Zeitangaben in Stunden entsprechen dem Zeitraum seit Ereignisbeginn.

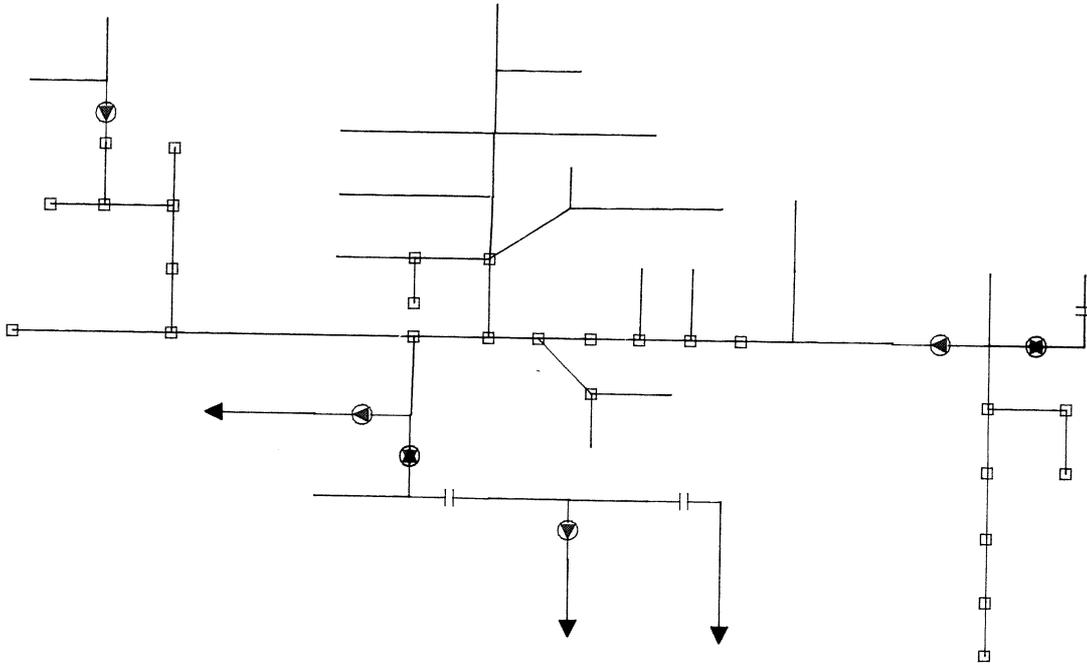
Strategie [1] bezieht sich auf die Standardstrategie.

Strategie [2] bezieht sich auf die modifizierte Strategie.

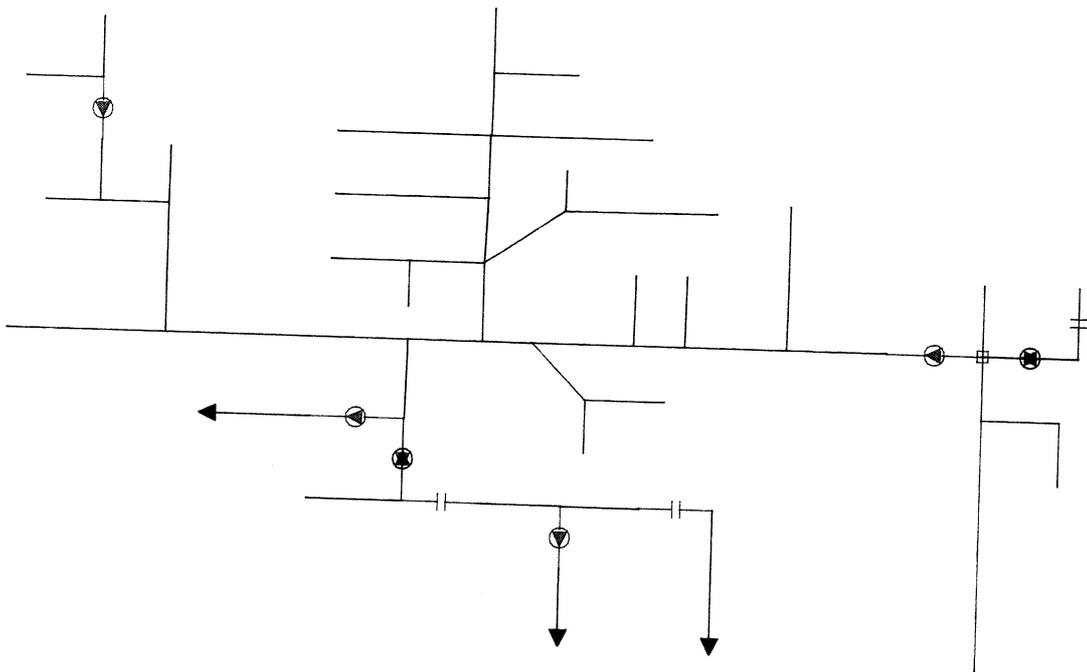
DARSTELLUNG DER EINSTAUENDEN SCHÄCHTE



KANALNETZ : BREMEN LINKS DER WESER
SIMULATION MIT 'STEUER' (STANDARDSTRATEGIE) EREIGNIS 09.08.1960



KANALNETZ : BREMEN LINKS DER WESER
 SIMULATION MIT 'STEUER' (MODIFIZIERTE STRATEGIE) EREIGNIS 09.08.1960



KANALNETZ : BREMEN LINKS DER WESER
 SIMULATION MIT 'STEUER' (STANDARDSTRATEGIE) EREIGNIS 09.08.1960

ANM.: KEINE UEBERSTAUENDEN SCHAECHTE BEI DER SIMULATION
 MIT DER MODIFIZIERTEN STRATEGIE

Tabelle 4 : Einstaudauer, bis der Wasserstand auf Trockenwetterniveau zurückgefallen ist.

E. Nr	Pumpensumpf HPWL		Pumpensumpf Krimpel	
	Strategien		Strategien	
	[1]	[2]	[1]	[2]
005	31 h	36 h	11 h	22,5 h
006	29 h	38 h	9 h	19 h
011	26 h	31 h	7 h	14 h
015	26 h	29 h	7 h	13 h

Tabelle 5 : Die Beckenfüllzeiten im HPWL (in Stunden seit Ereignisbeginn) .

E. Nr	005		006		011		015	
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]
Strategie								
Beginn d. Befüllung	1	1,5	1	1	1	1,5	1	-
Ende der Befüllung	2,5	2,0	2,5	2	2	3,5	2	-
Beginn d. Entleer.	22,5	25	21,5	20	18	15	18	-
Ende der Entleer.	29	35,5	28	30,5	24,5	25	24	-

Tabelle 6 : Befüllungszeiten in Krimpel (in Stunden seit Ereignisbeginn)

E. Nr	005		006		011		015	
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]
Strategie								
Beginn d. Befüllung	1	1	1	1	1	1	1	1
Ende der Befüllung	7	2	7	2	6	2	5	3
Beginn d. Entleer.	10	12	8	9,5	7	6,5	7	6
Ende der Entleer.	15	18	13,5	14,5	11	9	10	8,5

V.2) Untersuchung der Langzeitsimulation.

Durch die Langzeitsimulation erfolgt eine globale Bewertung der Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems. Statistische Aussagen werden getroffen, die sich nicht auf einen bestimmten Lastfall beziehen.

V.2.1) Aussage zur Betriebssicherheit.

Der Begriff 'Betriebssicherheit' kann sich auf viele unterschiedliche Punkte beziehen. In dieser Untersuchung ist hauptsächlich die Fähigkeit des Netzes, den Niederschlag ohne Überstau weiterzuleiten, gemeint. Durch den erhöhten Rückstau der Mischwasserströme ergibt sich ein erhöhtes Risiko, daß die Überstauhäufigkeit des Netzes nicht negativ beeinflussen darf.

Andere Aspekte (z.B. Steuerungsreaktionen auf eventuelle Entscheidungen der Steuerorgane oder der Meßgeräte) werden hier nicht berücksichtigt.

In Fig. 42 werden die Einstau-Häufigkeiten (bzw. Überstau-Häufigkeiten) gegenüber dem entsprechenden prozentualen Anteil der Schächte dargestellt.

In Fig. 43 bis Fig. 46 werden die Einstau-Häufigkeiten (bzw. Überstau-Häufigkeiten) der Schächte in einer graphischen Darstellung des Netzes aufgezeigt.

Bei der modifizierten Strategie wird deutlich, daß die Schächte statistisch betrachtet häufiger einstauen. Zum Beispiel beträgt die Einstauhäufigkeit bei 25% der Schächte bei der Standardstrategie mehr als 0,5 [1/a], bei der modifizierten Strategie mehr als 0,8 [1/a]. Die maximalen registrierten Einstauhäufigkeiten (1,58 [1/a] gegenüber 1,48 [1/a]) sowie der Anteil der Schächte, in denen Einstauereignisse vorkommen (78% gegenüber 76%), sind aber unwesentlich erhöht.

Trotz der größeren Ausnutzung des Stauraums wird bei der modifizierten Strategie keine Verschlechterung der Überstauverhältnisse festgestellt.

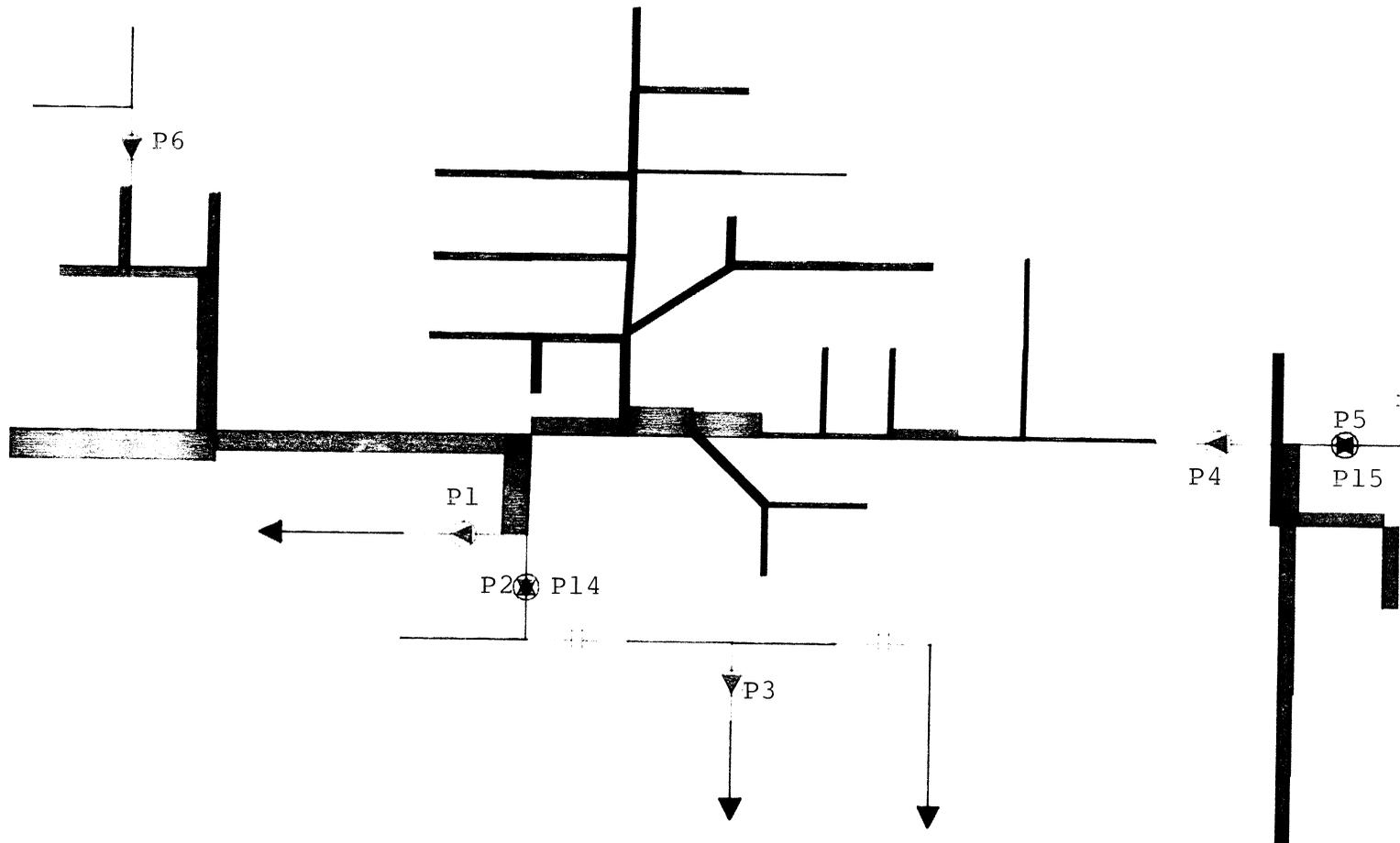
Eine leichte Verbesserung ist sogar bei der maximalen Überstauhäufigkeit erreicht. Die Anzahl der Schächte, in denen Überstau auftritt, wird aber leicht vergrößert. Also läßt sich tendenziell feststellen, daß mehr Schächte überstauen, dieses aber mit größeren zeitlichen Abständen.

Durch die Einteilung der Ein- und Überstauereignisse in Zeitklassen wird eine deutlichere Aussage über die Wirkungen der jeweiligen Steuerungsstrategien erreicht.

In Fig. 47 (bzw. Fig. 48) werden die Einstauzeitklassen (bzw. Überstauzeitklassen) dargestellt.

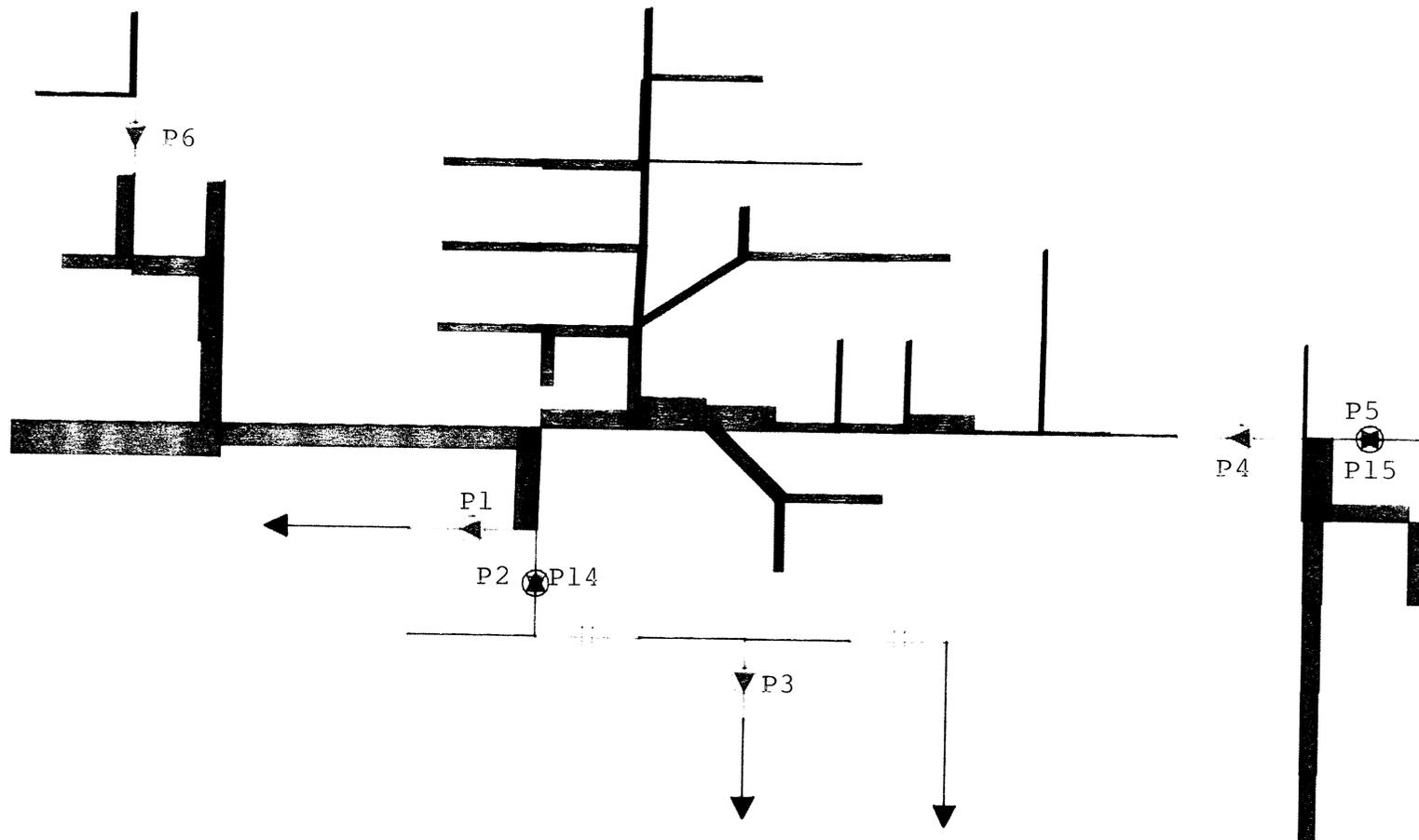
Nach der modifizierten Strategie werden insgesamt 789 Einstaufälle gegenüber 655 bei der Standardstrategie während der simulierten 88 Einzelergebnisse registriert (eine Zunahme von 20%).

Fig.:43



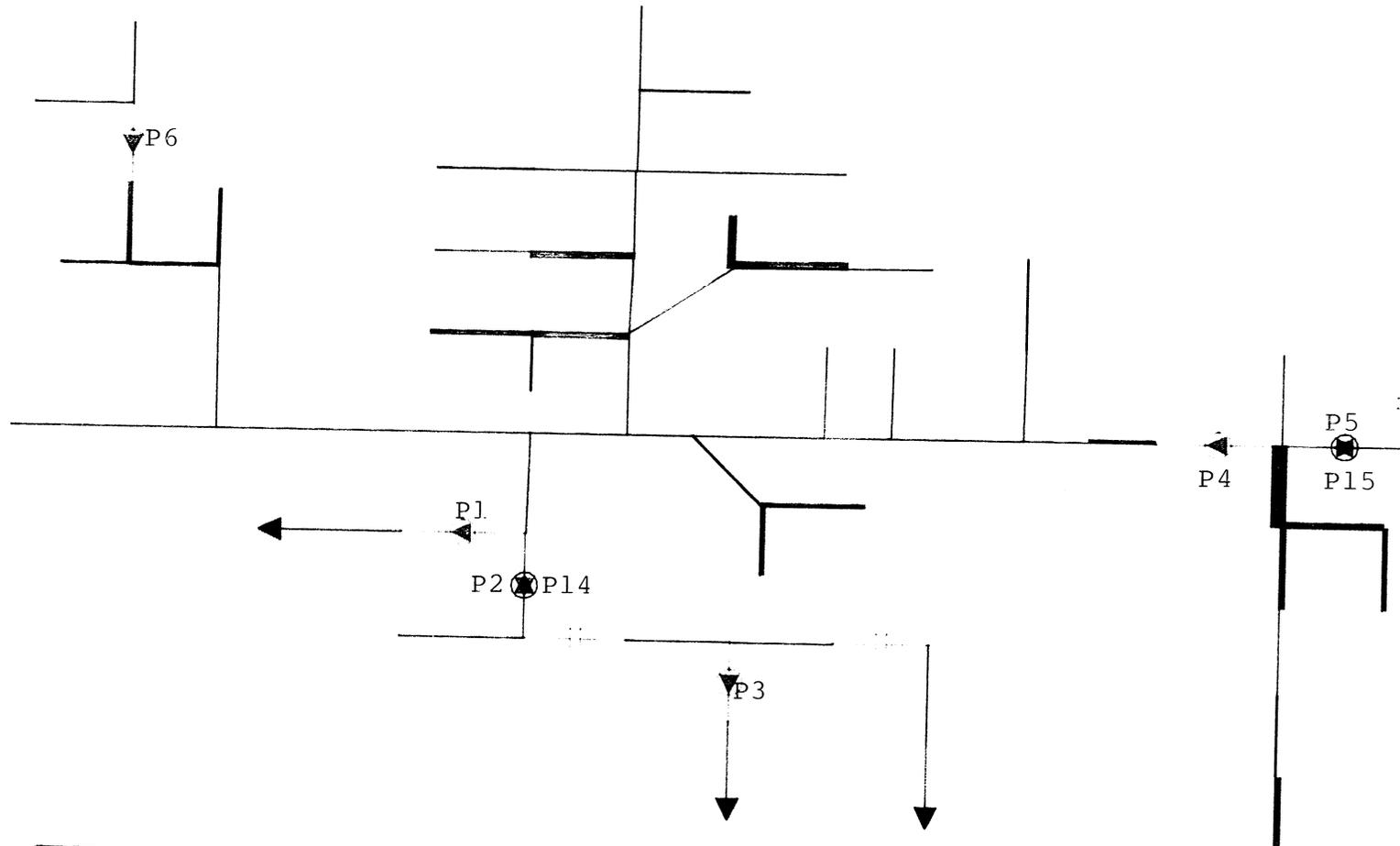
- | | | |
|--|------------------------|---|
| | $n > 1/1 \text{Jahr}$ | Einstauhaueufigkeit |
| | $n > 1/2 \text{Jahre}$ | Seriensimulation mit STEUER (Standardstrategie) |
| | $n < 1/2 \text{Jahre}$ | Kanalnetz : Bremen links der Weser |

Fig.:44



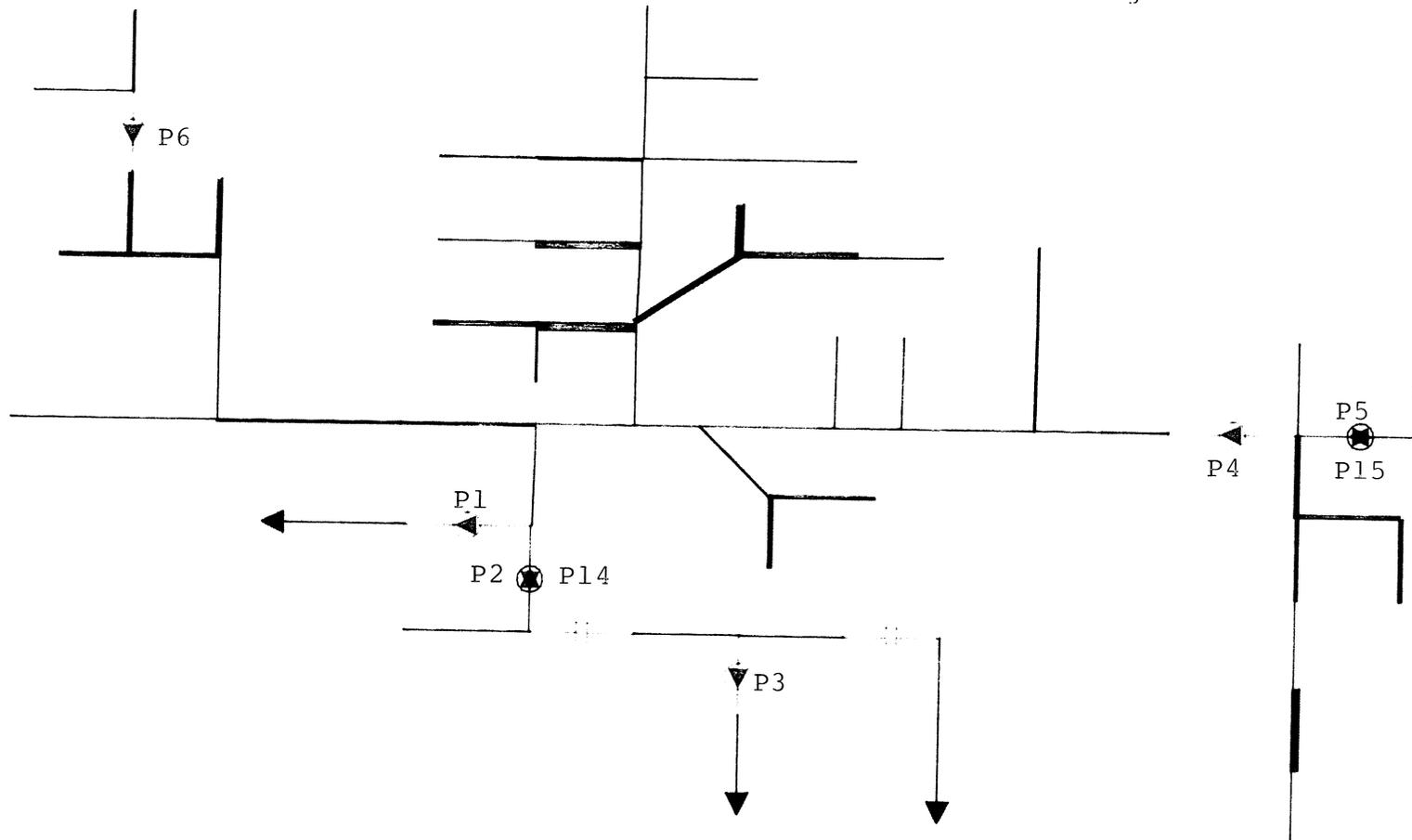
- | | | |
|---|------------------------|--|
|  | $n > 1/1 \text{Jahr}$ | Einstauhaueufigkeit (Ereignisse von 30 Jahre) |
|  | $n > 1/2 \text{Jahre}$ | Seriensimulation mit STEUER (modifiziertstrategie) |
|  | $n < 1/2 \text{Jahre}$ | Kanalnetz : Bremen links der Weser |

Fig. 45



	$n > 1/1 \text{ Jahr}$	Ueberstauhauefigkeit (Ereignisse von 30 Jahre)
	$n > 1/2 \text{ Jahre}$	Seriensimulation mit STEUER (Standardstrategie)
	$n < 1/2 \text{ Jahre}$	Kanalnetz : Bremen links der Weser

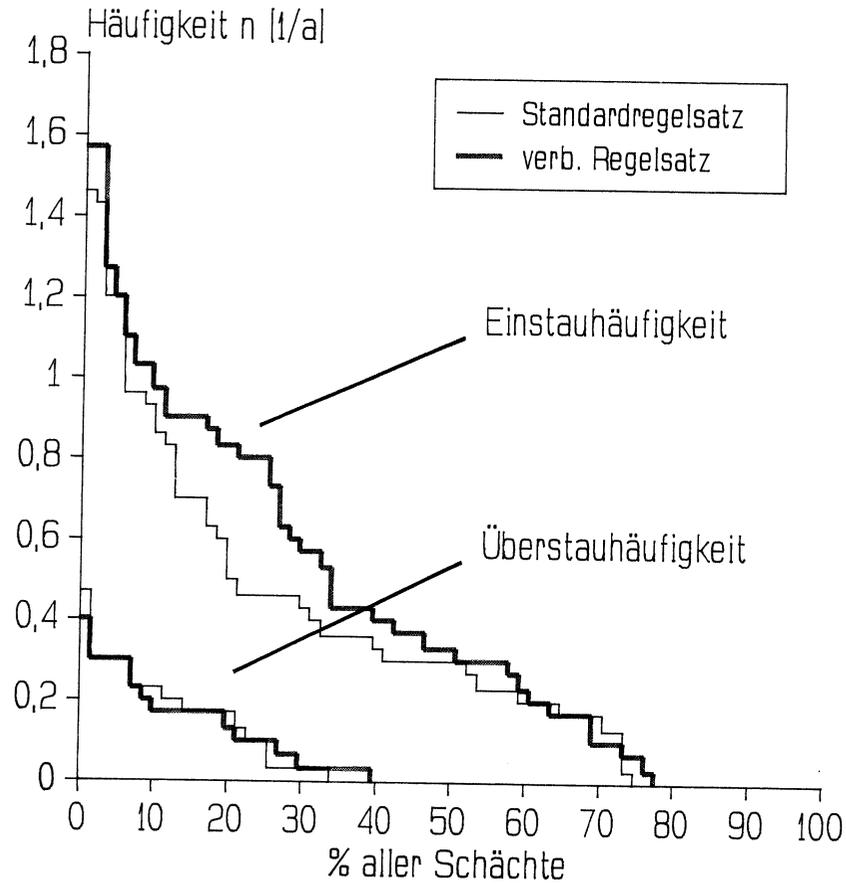
Fig.:46



- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> $n > 1/1 \text{Jahr}$ $n > 1/2 \text{Jahre}$ $n < 1/2 \text{Jahre}$ | <ul style="list-style-type: none"> Ueberstauhauefigkeit (Ereignisse von 30 Jahre) Seriensimulation mit STEUER (modifiziertstrategie) Kanalnetz : Bremen links der Weser |
|--|--|

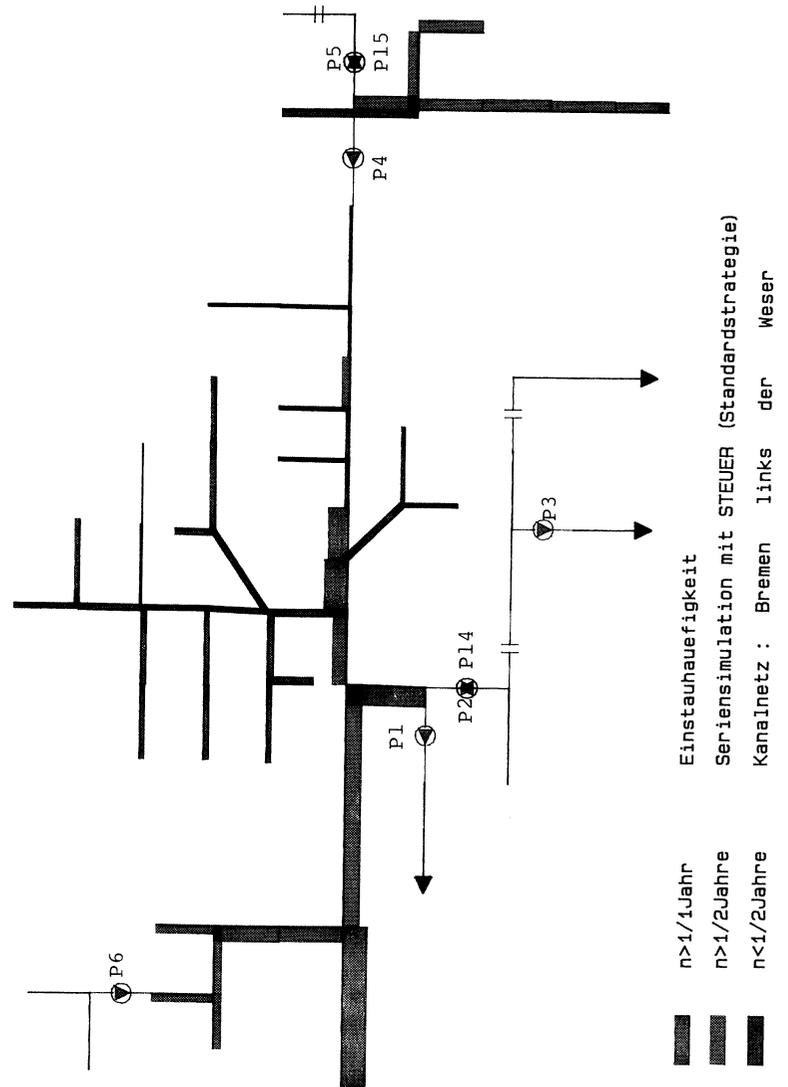
Überlastungshäufigkeit Mischnetz 'Bremen linkes Weserufer'

Fig.:42



Ergebnis einer Langzeitseriensimulation
mit 88 Naturereignissen aus dem
Zeitraum 1955 bis 1985

Fig.:43



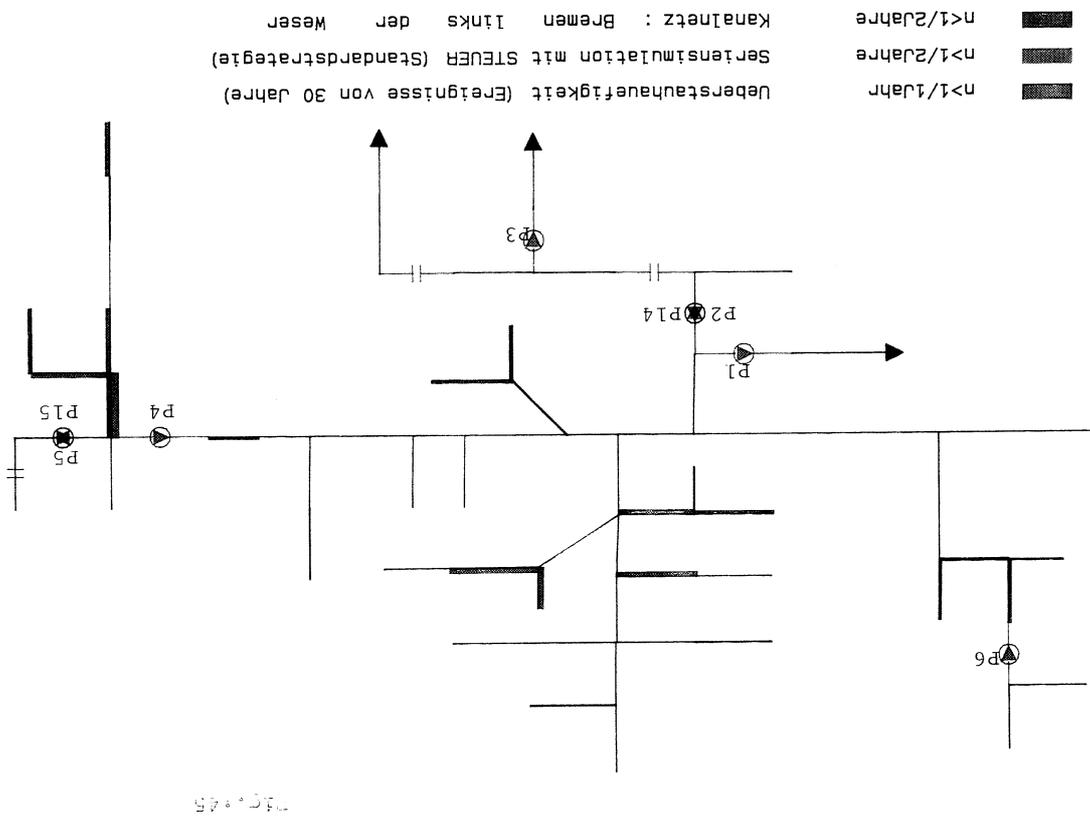
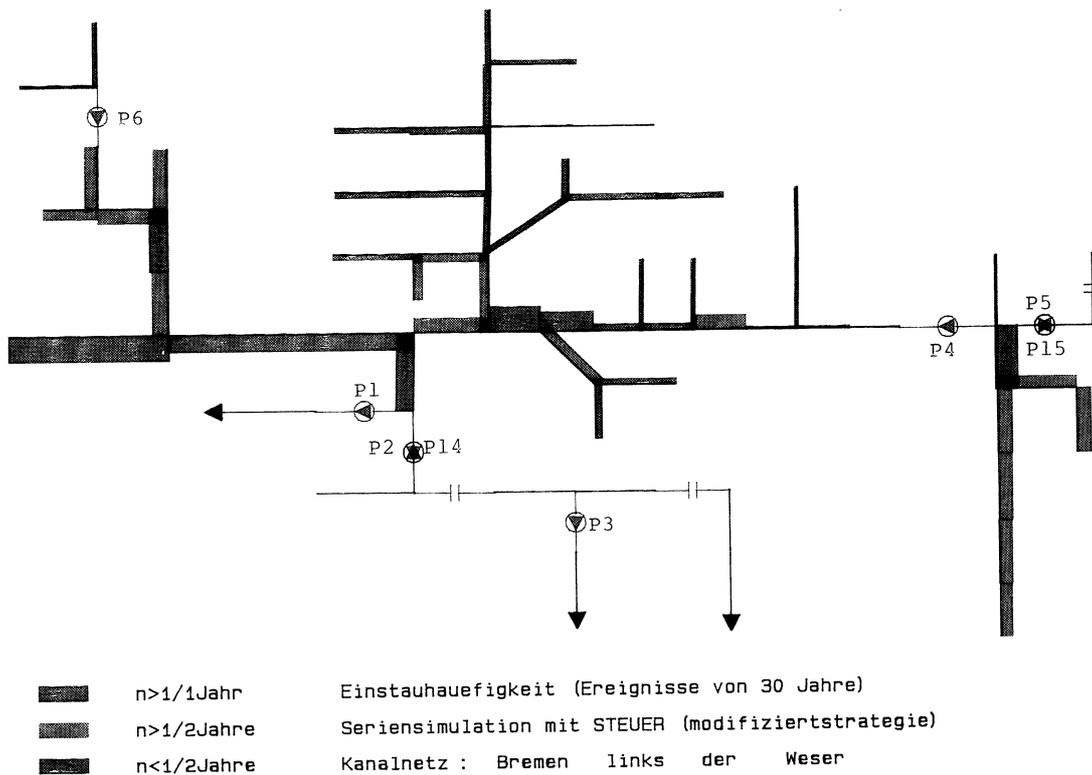
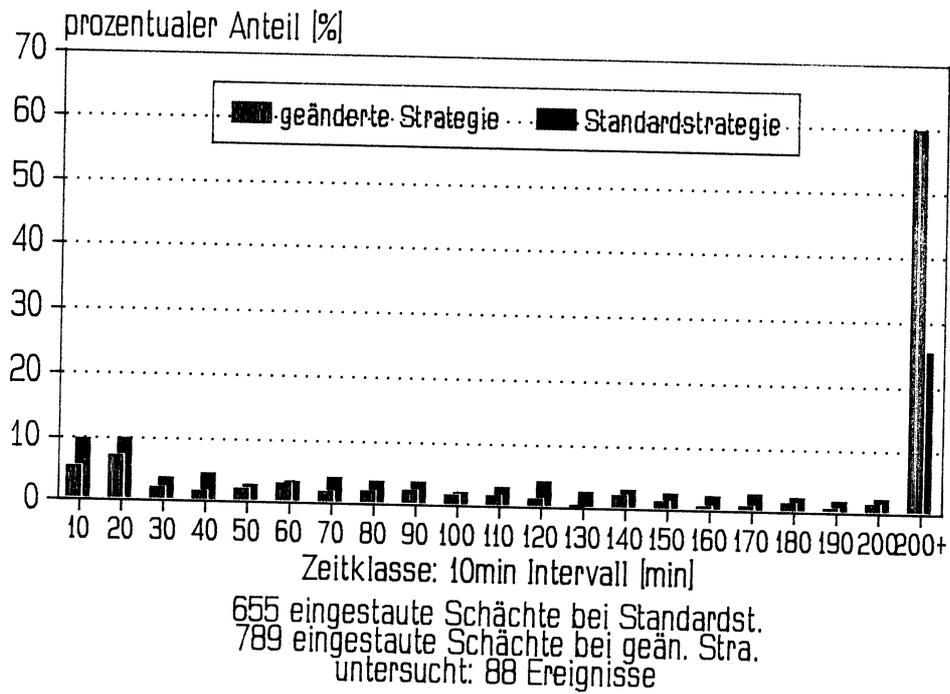


Fig.:44



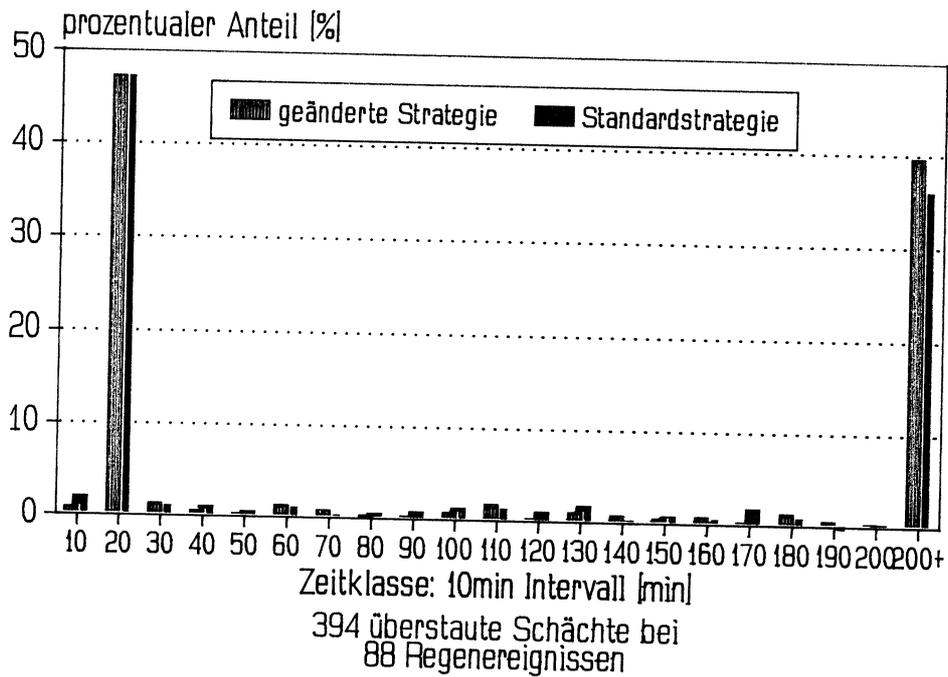
Häufigkeit der Einstauzeiten je Zeitklasse

Fig.:47



Häufigkeit der Überstauzeiten je Zeitklasse

Fig.:48



■ ■ ■
 ■ ■ ■
 ■ ■ ■
 n > 1/1Jahr
 n > 1/2Jahre
 n < 1/2Jahre
 Ueberstauhauertigkeit (Ereignisse von 30 Jahre)
 Seriensimulation mit STEUER (modifizierterstrategie)
 Kanalnetz : Bremen links der Weser

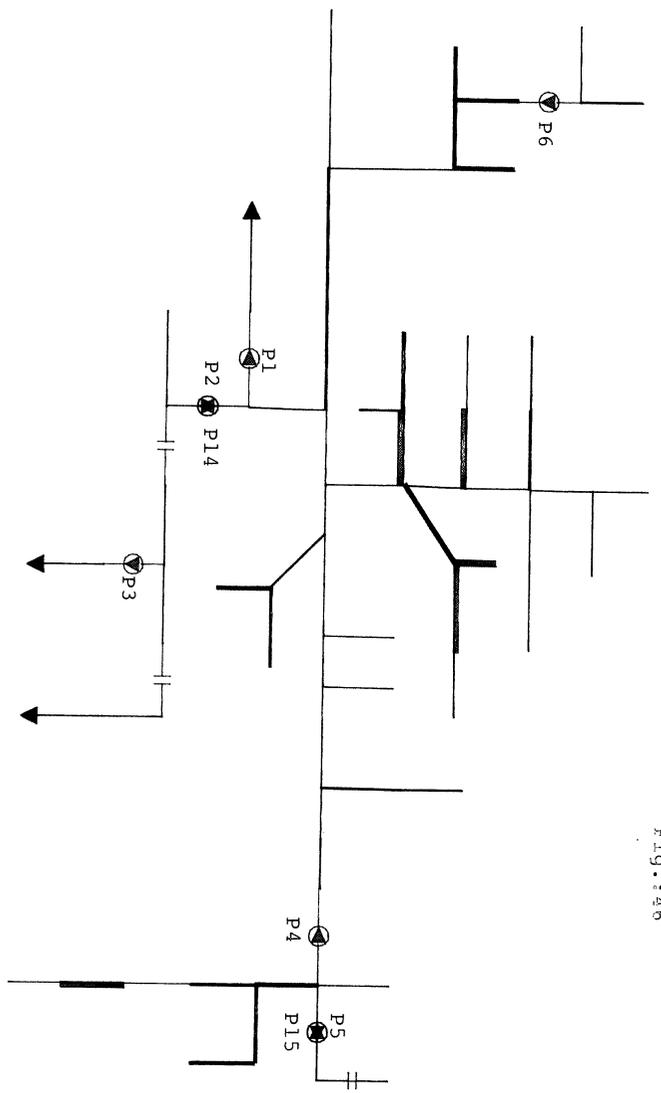
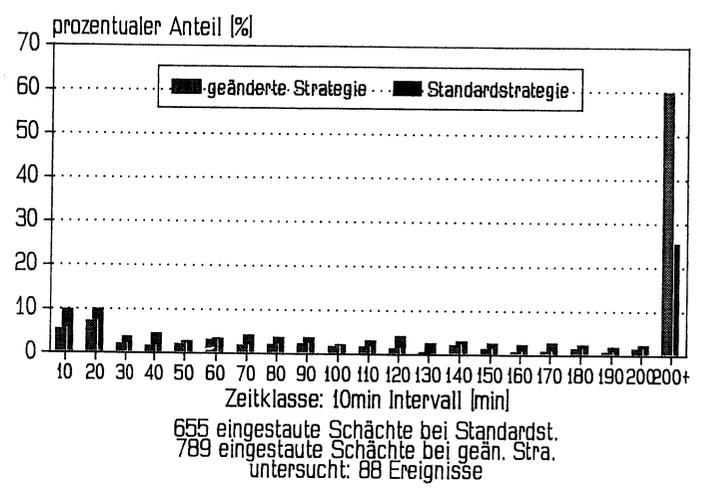


Fig.:46

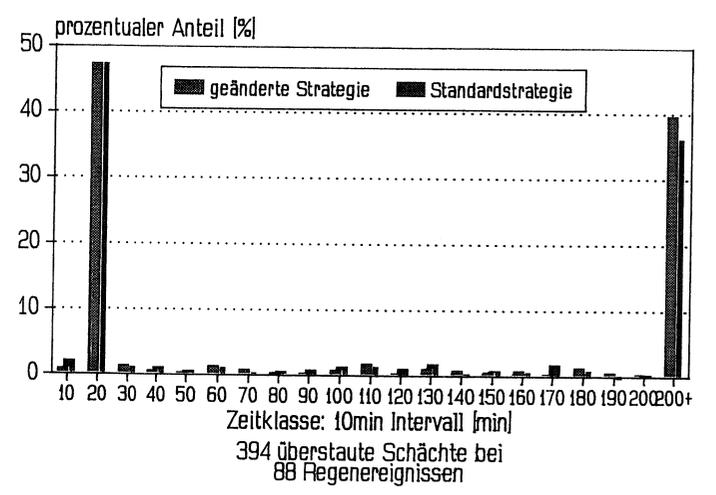
Häufigkeit der Einstauzeiten je Zeitklasse

Fig.:47



Häufigkeit der Überstauzeiten je Zeitklasse

Fig.:48



Wie zu erwarten ergibt sich bei der modifizierten Strategie eine deutliche Verlängerung der Einstauzeiten. Bei der Standardstrategie dauern 25% der Einstaufälle mehr als 200 Minuten, bei der modifizierten Strategie sind es 60 %, die länger als 200 Minuten einstauen. Die Drosselwirkung der Kläranlage macht sich bemerkbar !.

Bei den Überstaufällen sind zwei Überstautypen deutlich erkennbar. Kurzfristige Überstau (Dauer zwischen 10 und 20 Minuten) sind eher durch lokale Transportengpässe innerhalb der Kanalisation verursacht. –Die charakteristische Überstauemenge beträgt in diesem Falle weniger als 100 m³. – Dementsprechend hat in diesem Falle die Steuerung kaum Einfluß.

Die leichte Verschlechterung bei den langfristigen Überstauen (Dauer länger als 200 Minuten) entsteht dagegen, insofern aus der Steuerung, als hohe Wasserstände Mischwasser besonders an Schächten mit tiefliegender Geländeoberfläche austreten lassen. Der Vorgang ist aber eher auf ungenügende Stauraumreserven oder auf eine generelle Überlastungen des Netzes zurückzuführen. Dafür spricht die Tatsache, daß der Anteil an Überstauen bei der modifizierten Strategie nur geringfügig über dem bisherigen ist.

Fig. 49 und Fig. 50 bestätigen die vorher gemachten Aussagen. Hier wird gegenüber der Einstaudauer für jeden Schacht des Grobnetzes die Überstauemenge dargestellt.

Die meisten Schächte mit signifikanter Überstauemenge in beiden Strategien liegen in 'Geländemulden', soweit die Vereinfachung des Grobnetzes eine solche Beschreibung zuläßt.

Die Schächte – HN10, HN14, HN16 – liegen im Einzugsgebiet HPWL. Schacht HN14 besitzt mit 3,29 mNN die niedrigste Geländehöhe im gesamten Netz und wirkt von daher limitierend auf die Stauraumauslastung. Der in der modifizierten Regelbasis festgelegte Grenzwasserstand, bei dem eine bedrohliche Situation erkannt wird, beträgt 2,95 mNN am Pegel H10.

In Tabelle 7 sind die Daten für diese 3 Schächte eingegeben.

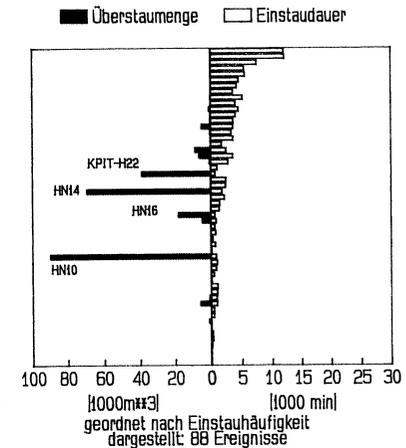
Schacht	Überstauvolumen [m ³]		Überstauhäufigkeit [-]	
	[1]	[2]	[1]	[2]
HN10	90000	83000	9	9
HN14	69000	64500	9	12
HN16	18000	17000	9	9

* Strategie [1] bezieht sich auf die Standardstrategie.

Strategie [2] bezieht sich auf die modifizierte Strategie.

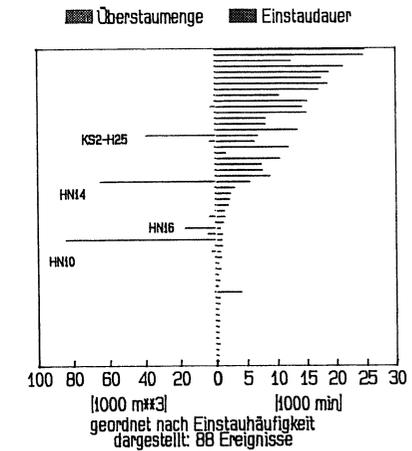
Gegenüberstellung von Einstaudauer und Überstauemenge Standardstrategie

Fig.: 49



Gegenüberstellung von Einstaudauer und Überstauemenge geänderte Steuerstrategie

Fig.: 50



Im Einzugsgebiet Krimpel liegt nach der Standardstrategie der Schwachpunkt im Pumpensumpf KPIT-H22 (Überstaumenge 39000m³ mit einer Häufigkeit von n=14). Die Ursache dafür liegt in der ungünstigen Steuerung der Pumpen P4 und P5 (siehe Kapitel III und IV). In der modifizierten Strategie wurde dieses Problem gelöst. Es bildet sich aber ein neuer Schwachpunkt im Schacht KS2-H25 (ca. 40000m³ Überstaumenge). Er liegt –wie bei den Schächten HN10, HN14 und HN16– an einer lokalen Absenkung der Geländehöhe. Diese Absenkung wirkt gleichermaßen limitierend auf die Ausnutzung der Speicherkapazität im Einzugsgebiet Krimpel.

Tabelle 8 : Vergleich der Geländehöhe zwischen Schacht KS2-H25 und den benachbarten.

Schacht	Geländehöhe [mNN]
KS1	5,20
KS2-H25	4,57
KS3	4,64
KS4	4,96

Zum Vergleich toleriert das Expertensystem Wasserstände im Pumpensumpf (KPIT-H22) bis zu 2,34mNN, bevor es eine Entlastung des Stauraums in die Becken vornimmt.

V.2.2) Aussagen zum Entlastungsverhalten des Netzes

Das Entlastungsverhalten des Netzes günstig zu beeinflussen, ist eine wesentliche Aufgabe der Steuerung. Erstes Ziel ist dabei eine Verminderung der Entlastungsmenge. Zweites Ziel ist, die unvermeidlichen Entlastungsmengen vorrangig in die Weser einzuleiten, weil sich ihr negativer Einfluß auf die Biozönose in der Weser nicht so stark wie in den anderen Vorflutern (Krimpefflet, Wasserlöse) auswirkt.

In Fig. 51 werden die entlasteten Menge dargestellt.

Die gesamte Entlastungsmenge hat sich drastisch vermindert.

In HPWL wird die entlastete Menge in die Weser von 480000 m³ auf 133000m³ reduziert – 70% Reduktion–.

In Krimpel erscheint es so, als ob eine Verschlechterung eingetreten ist (1220m³ versus 33000m³). Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Überstaumengen am Pumpensumpf Krimpel von 39000m³ auf weniger als 1000m³ zurückgegangen sind. Also werden bei der geänderten Strategie die Ziele in die richtige Priorität zugeordnet.

Obwohl bei der geänderten Strategie die entlastete Menge sehr stark zugenommen hat, ist die Entlastungshäufigkeit nur leicht gestiegen (7 gegenüber 6). Inwieweit die Entlastung in das Krimpefflet die Biozönose schädigen kann, bleibt aber den Ergebnissen einer genauen Untersuchung vorbehalten.

V.2.3) Statistische Aussage über die Leistungsstufe der Pumpen.

Der Energieverbrauch stellt kein Ziel der Steuerung im engeren Sinne dar, eher eine wichtige Randbedingung. Verträge zwischen der Stadt Bremen und dem Energieversorgungsunternehmen, in denen die Berechnung der Energiekosten festgeschrieben sind, standen zur Verfügung. Die exakten Ansätze sind aber relativ unübersichtlich und wurden darüberhinaus in den letzten Jahren mehrmals revidiert. Aus diesem Grunde wird keine Kostenabschätzung gemacht.

Prinzipiell geht jedoch aus den oben angesprochenen Dokumenten hervor, daß die Abrechnung von dem gesamten Energieverbrauch sowie auch von dessen Spitzenintensitäten abhängt.

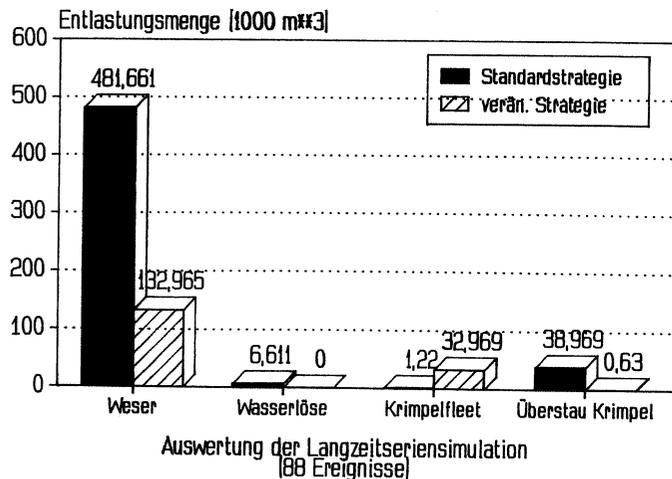
Eine genaue Untersuchung der Laufzeiten der Pumpen in den einzelnen Leistungsstufen liefert dementsprechend die nötige Information, um bei einer zukünftigen Festlegung der Vertragsbedingungen günstigere Voraussetzungen zu schaffen.

Bemerkung:

Die dargestellten Werte sind Ergebnisse von Simulationen, die den Zustand bis 12 Stunden nach Ereignisende erfassen. Bei den stärksten Ereignissen wird jedoch zu diesem Zeitpunkt –insbesondere bei der modifizierten Strategie– der Trockenwetterzustand noch nicht erreicht.

Vergleich der Entlastungsmenge in die verschiedenen Vorfluter

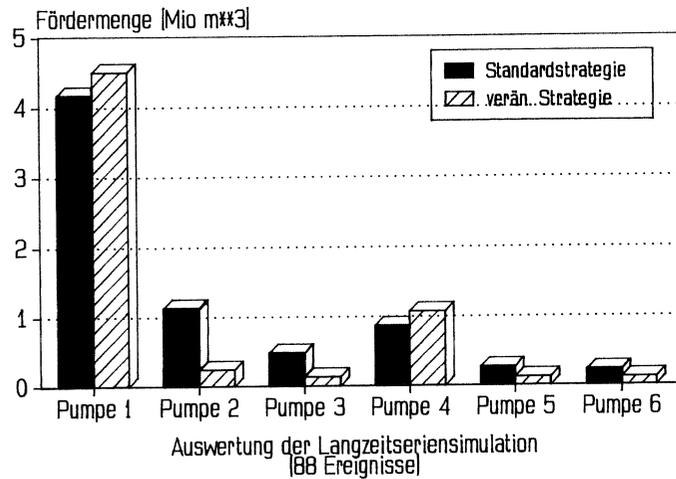
Fig.:51



In Fig 52. werden die gesamten Fördermengen jeder Pumpe aufgetragen.

Gegenüberstellung der Gesamtfördermengen der Pumpen

Fig.:52



In Fig. 53 bis Fig. 64 sind für jede Pumpe die Laufzeiten der verschiedenen Leistungsstufen aufgezeigt.

Bei Pumpe P1 wurden die Laufzeiten der höchsten Leistungsstufe reduziert. Da aber die von P1 geförderten Mengen größer sind, sind die Laufzeiten der mittleren Schaltstufen bei der modifizierten Strategie zwangsläufig deutlich gestiegen.

Aus der mengenmässigen Betrachtungsweise ist es ein Gewinn. Es bleibt aber zu untersuchen, inwieweit eine über längere Zeit durchschnittlich erhöhte Beschickung ($1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ statt $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$) den Wirkungsgrad der Kläranlage so beeinträchtigen kann, daß die Reduzierung der Gesamtemission geringer als erwartet sein kann.

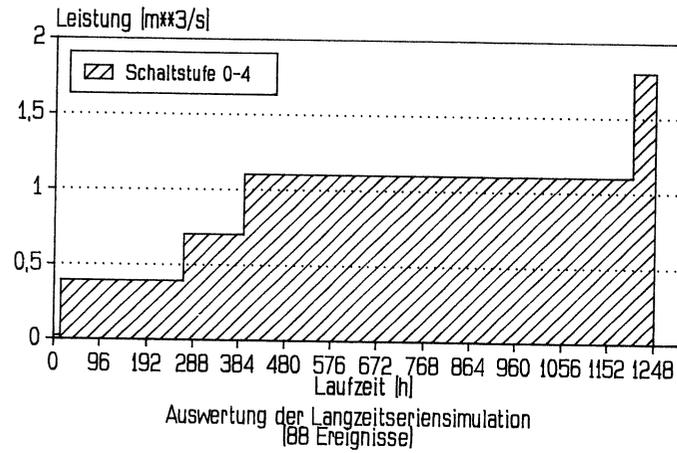
Bei der Befüllung der Becken (P2, P5) wird weniger, aber um so kräftiger gefördert. Die Notwendigkeit höherer Leistungsstufen zur besseren Ausnutzung des Stauraums wurde ausführlich diskutiert (siehe Kapitel II und IV). Was die Abrechnung der Energiekosten anbelangt, wird aber wahrscheinlich

die negative Auswirkung einer durchschnittlich höheren Leistungsintensität die durch die Reduzierung der geförderten Menge erreichten Gewinne ausgleichen.

Die Darstellung der Leistungsstufen am Pumpwerk Rablinghausen (P6) bestätigen die früheren Analysen (siehe Kapitel III und IV). Bei der Standardstrategie sind die Leistungsstufen der Pumpe ungünstig gewählt. Die modifizierte Strategie kommt mit geringeren Stufen zurecht.

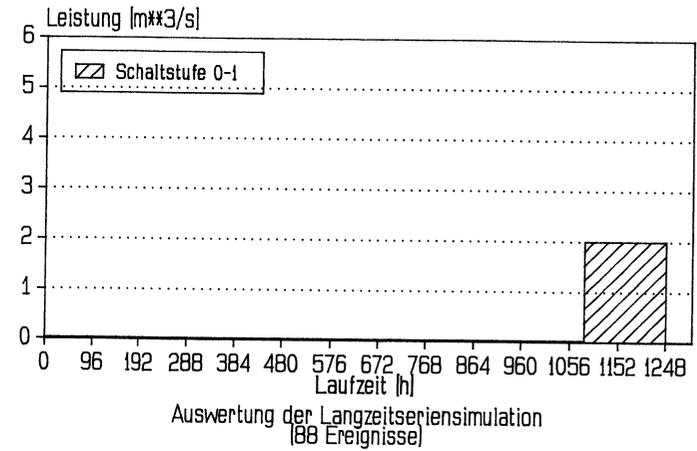
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 1
Standardstrategie

Fig.:53



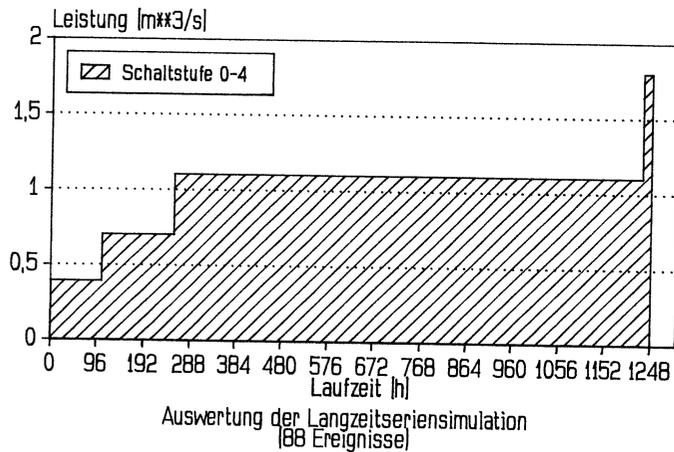
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 2
Standardstrategie

Fig.:55



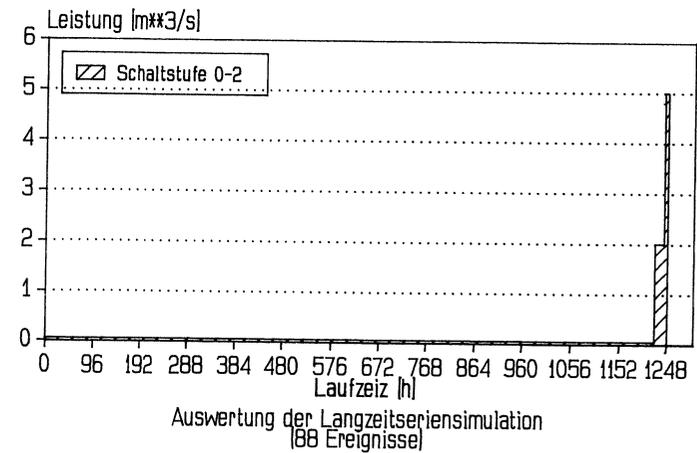
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 1
geänderte Steuerstrategie

Fig.:54



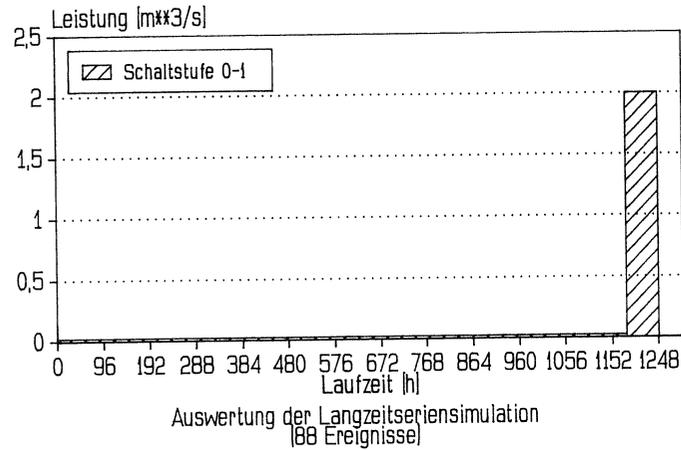
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 2
geänderte Steuerstrategie

Fig.:56



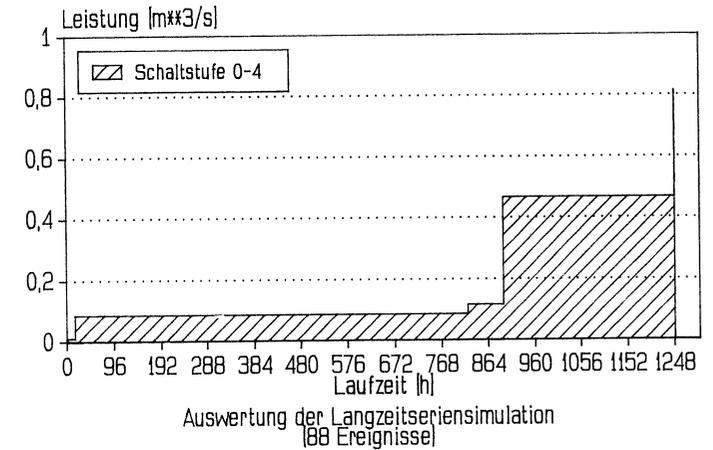
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 3
Standardstrategie

Fig.:57



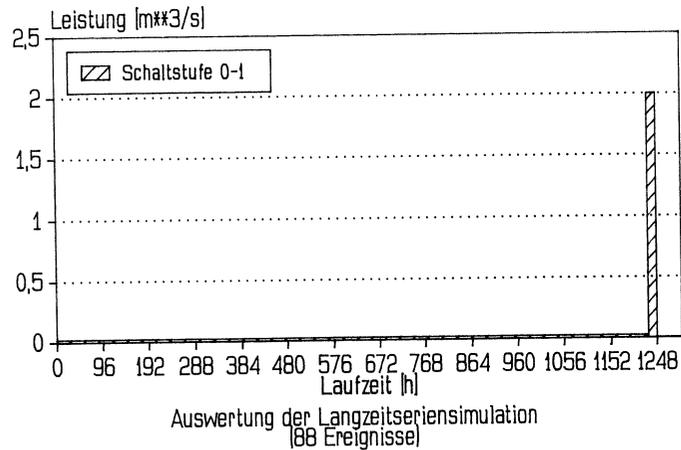
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 4
Standardstrategie

Fig.:59



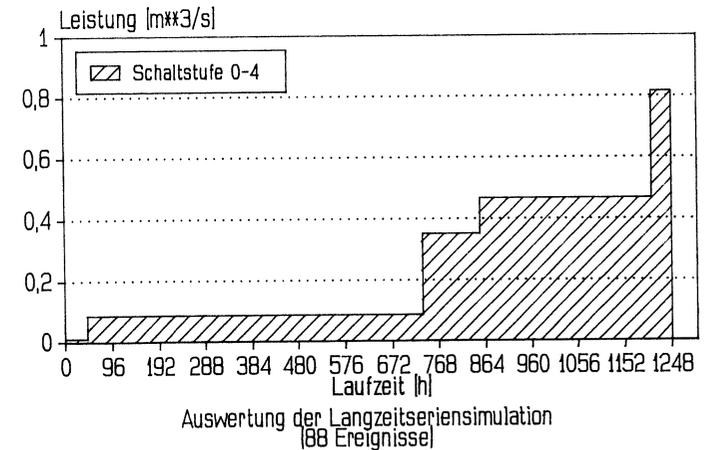
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 3
geänderte Steuerstrategie

Fig.:58



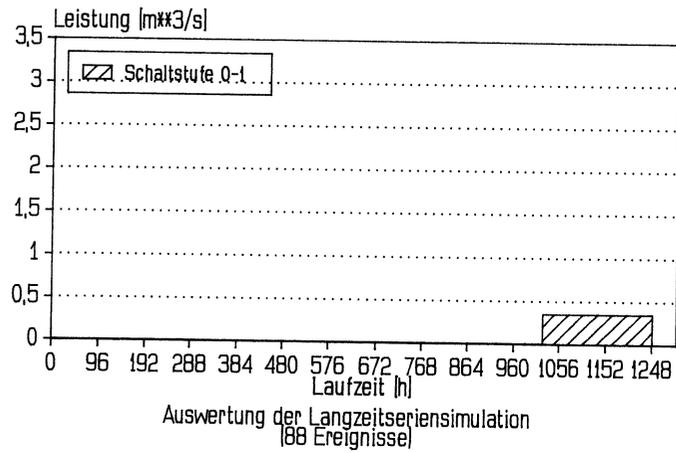
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 4
geänderte Steuerstrategie

Fig.:60



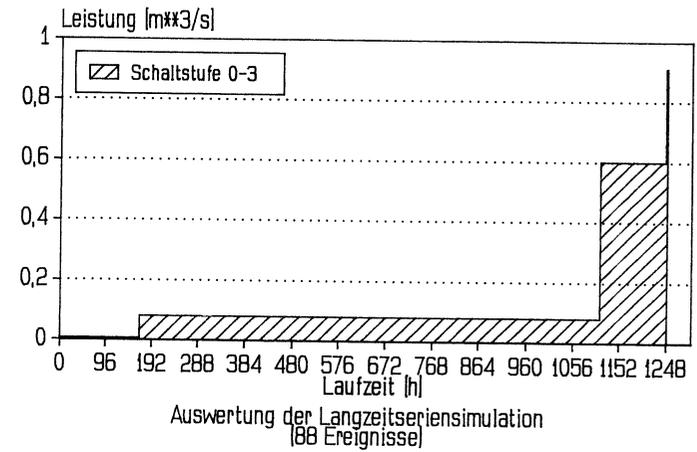
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 5
Standardstrategie

Fig.:61



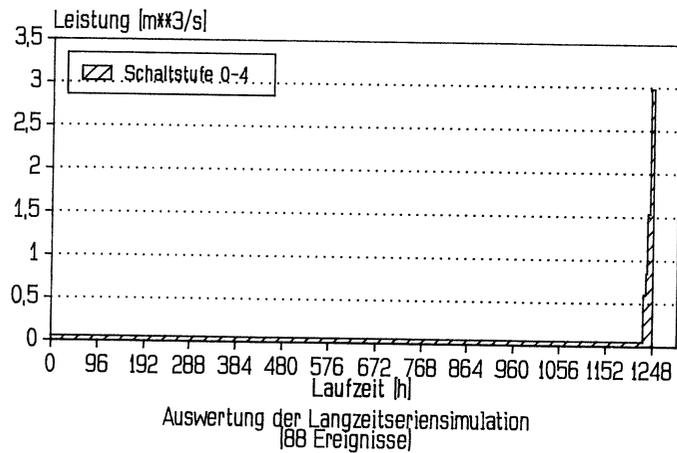
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 6
Standardstrategie

Fig.:63



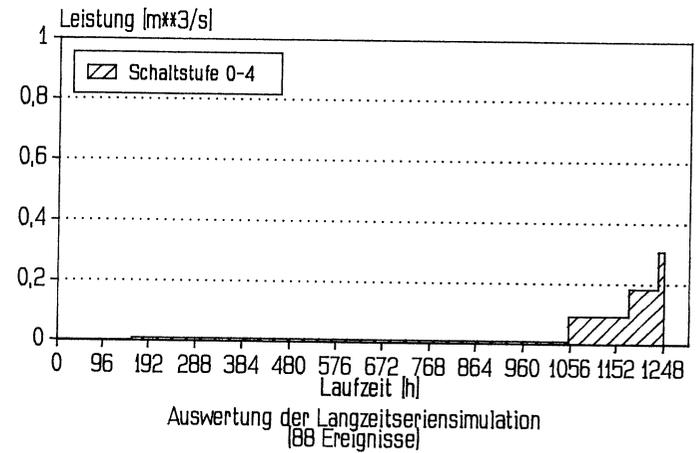
Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 5
geänderte Steuerstrategie

Fig.:62



Darstellung Pumpenlaufzeiten
für Pumpe 6
geänderte Steuerstrategie

Fig.:64



VI) SPEZIELLE UNTERSUCHUNGEN (Schneider; 1990).

VI.1) Lastfall 'Doppelereignis'.

Dieser Abschnitt ist ein weiterer Beitrag zur detaillierten Untersuchung der Auswirkungen jeder Steuerungsstrategie. Trotz der Ergebnisse der Einzeluntersuchungen (Regen Nr. 005 und Regen Nr. 015) und trotz der Ergebnisse der Langzeitsimulation besteht der Verdacht, daß die höhere Auslastung des Netzes bei der modifizierten Strategie in Einzelfällen zur Katastrophe führen könnte. In diesem Zusammenhang bildet das Doppelereignis eine aufschlußreiche Lastkonfiguration.

Als Doppelereignis ist hier kein zweigipfliges Ereignis zu verstehen. Regen Nr. 005 ist z.B. als zweigipfliger Regen zu werten. Die beiden Intensitätspitzen liegen bei Regen Nr. 005 etwa eine Stunde auseinander. Durch das Filter-Wirken der verschiedenen Vorgänge (Abflußbildungskonzentration, Abflußtransport, Netzspeicherung) sind aber die Intensitätspitzen bei den Pegelaufzeichnungen nicht mehr zu identifizieren.

Bei einem sogenannten Doppelereignis soll die Regenpause länger sein, damit der Verlauf der Regenintensitäten deutlich im Netzzustand erkennbar wird. Eine Regenpause von ungefähr 6 Stunden ist angebracht. Darüberhinaus soll gewährleistet sein, daß jedes der beiden Teilereignisse, das Netz auslastet, ohne es zu überlasten.

Ein solcher Lastfall ist äußerst selten. Keine sinnvolle statistische Aussage über seine Wiederkehrhäufigkeit wird möglich.

Aus diesem Grunde (und aus Bequemlichkeitsgründen) wurde entschieden, auf eine detaillierte Untersuchung der Niederschlagsreihe zu verzichten. Stattdessen wird das Doppelereignis als reiner theoretischer Fall betrachtet und aufgebaut.

Der Regen Nr. 015 (Wiederkehrhäufigkeit ca. 1 Jahr) ist ein Ereignis, das das Netz gerade an die Grenze der Überlastung führt (siehe Kapitel II), V.1). Das hier untersuchte Doppelereignis besteht aus 2 Regen 015 getrennt durch eine Regenpause von 6 Stunden.

Fig. 65 und Fig. 66 stellen die Situation am HPWL dar.

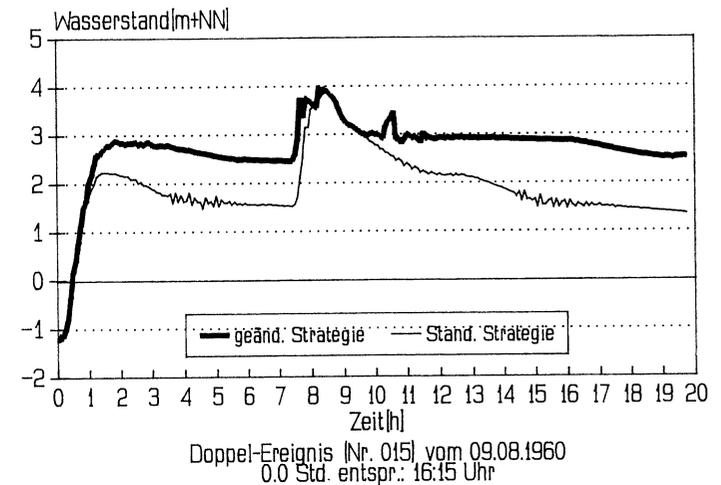
Bei der modifizierten Strategie liegt der Wasserstand zu Beginn des zweiten Teilereignisses am Pegel H10 1m höher als bei der Standardstrategie. –Die zu diesem Zeitpunkt vorhandene in-line Speicherkapazität ist dementsprechend um ungefähr 9000 m^3 geringer.–

Trotzdem steigt der maximale Wasserstand nach Ende des zweiten Intensitätsgipfels nicht über den Wert der Standardstrategie. Die zweite Stoßbelastung wird durch das leere Becken abgefangen.– Bei der Standardstrategie sind die Becken schon während der ersten Stoßbelastung befüllt gewesen.–

In beiden Fälle ist das Netz überlastet. Mischwasser wird in die Weser geleitet. Bei der modifizierten Strategie ist aber die abgeschlagene Menge deutlich geringer (Standardstrategie : 62000 m^3 ; modifizierte Strategie : 18000 m^3).

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H10

Fig.:65



Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H11

Fig.:66

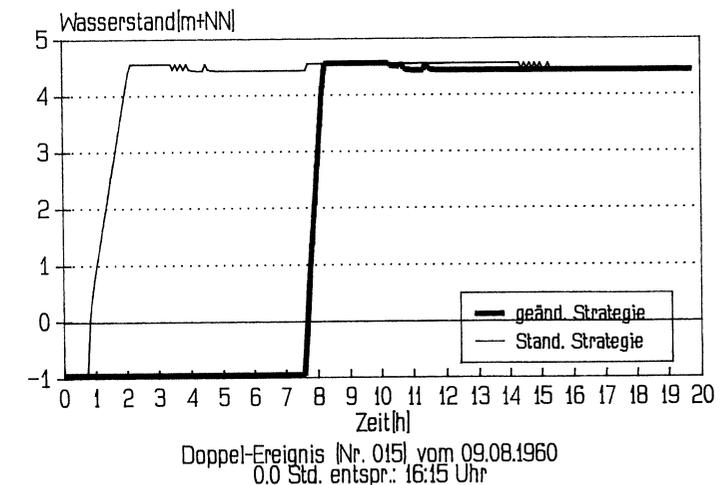


Fig. 67 und Fig. 68 verdeutlichen die Situation am PW Krimpel.

Bei Beginn des zweiten Teilereignisses herrscht im Pumpensumpf bei der Standardstrategie Trockenwasserstand. Die Becken sind noch zur Hälfte gefüllt. Nach Beginn des zweiten Teilereignisses steigt der Wasserstand sehr schnell. Die Befüllung der Becken erfolgt zu langsam. 1400 m³ überstauen. Da die Kapazität der Becken nicht ausreicht, werden nach Vollerfüllung weitere 300m³ Mischwasser in das Krimpelfleet entlastet.

Bei der modifizierten Strategie liegt bei Beginn des zweiten Teilereignisses der Wasserstand noch sehr hoch. –70% der in-line Speicherkapazität ist ausgelastet. – Die Becken aber sind fast vollständig entleert. Dank der viel höheren Pumpenförderleistungen bei der Befüllung der Becken, kommt es in diesem Fall zu keinem Überstau im PW Krimpel. Es müssen aber 4500m³ Mischwasser in das Krimpelfleet entlastet werden (!).

In Rablinghausen werden bei der modifizierten Strategie die beiden Abflußwellen fast vollständig im Stauraum zwischengespeichert. Nur ca. 320 m³ Wasser müssen während des 2. Regens weitergeleitet werden.

Bedingt durch die Extrembelastung treten Einstau (bzw. Überstau) an den kritischen Stellen des Netzes. Fig.69. bis Fig. 72 werden die einstauenden (bzw. überstauenden) Schächte nach beiden Steuerungen dargestellt.

Diese Überstau sind in erster Linie auf Transportengpässe innerhalb des Netzes sowie auf lokale ungünstige Geländetopographie zurückzuführen. Als Beweis dafür ist die Tatsache, daß die modifizierte Strategie keinen Überstau an neuen Schächten verursacht. Die insgesamt höheren Wasserstände werden dennoch diese ungünstige Situation leicht verschärfen. –Die durchschnittliche Überstauemenge ist durchschnittlich um ca. 30 % gegenüber der Standardstrategie gestiegen.–

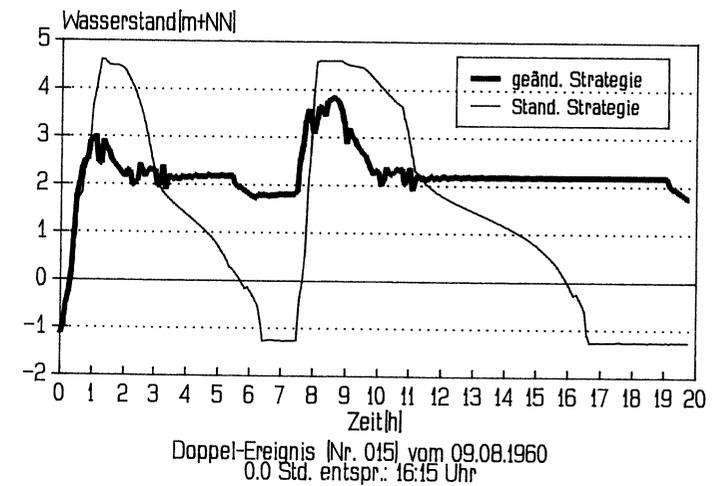
VI.2) Die ungleichmäßige Überregnung.

Langzeitsimulation und Untersuchung der Ereignisse Nr. 005 und Nr. 011 sind unter der Annahme gleichmäßiger Überregnung durchgeführt. Das kann natürlich für eine Fläche von ca. 1 000Ha nur eine Vereinfachung sein.

Die Problematik der ungleichmäßigen Überregnung in Zusammenhang mit der Steuerung ist ein vielseitiges Thema. Obwohl eine schon relativ umfangreiche Literatur darüber existiert –insbesondere aus der Untersuchung der Radarinformation–, bleibt noch Vieles zu untersuchen. Ein BMFT Projekt läuft zur Zeit im Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover, das speziell die Problematik Radarinformation und Steuerung behandelt (siehe Verworn, Semke; BMFT Zwischenbericht 1989).

Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H22

Fig.:67



Darstellung des Wasserstandes
Schacht: H23

Fig.:68

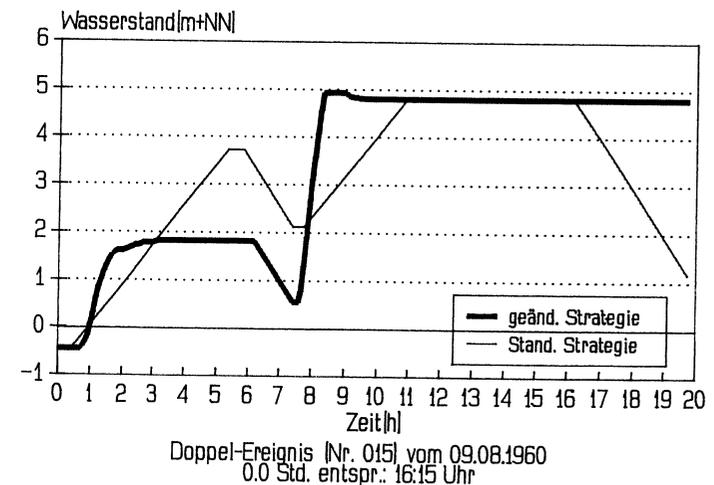
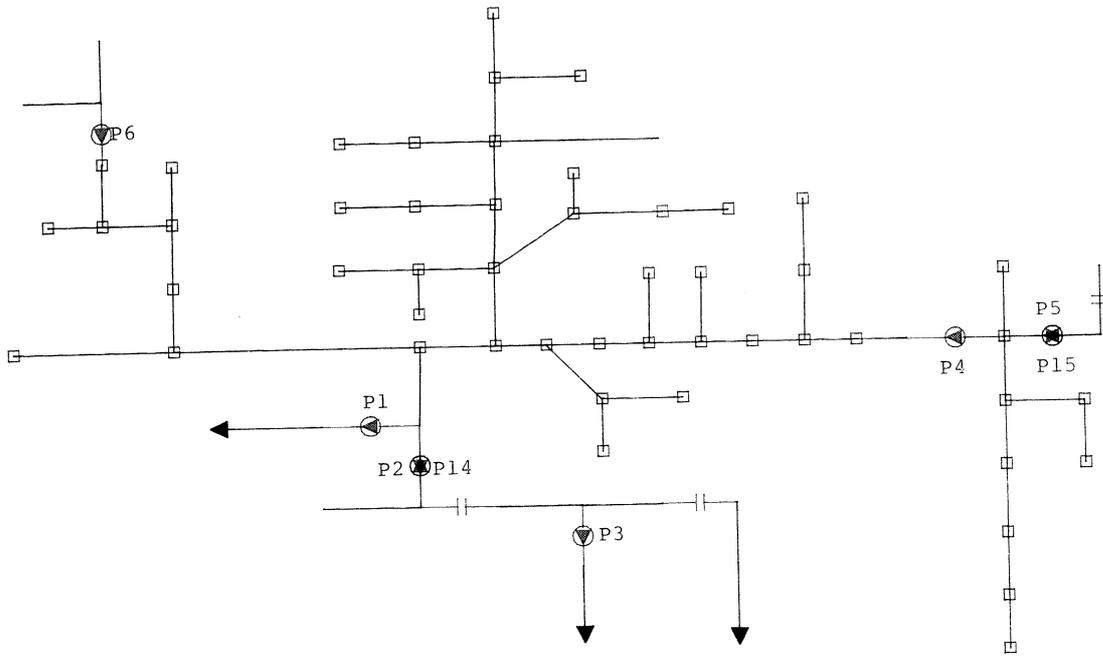
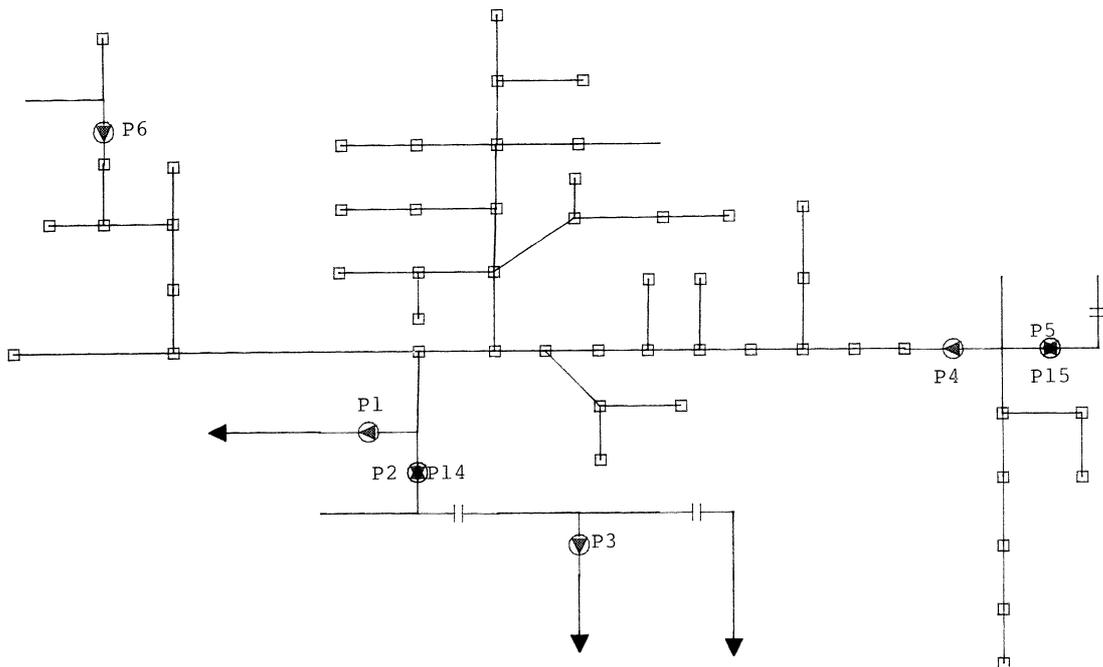


Fig. 69
Darstellung der einstauenden Schächte



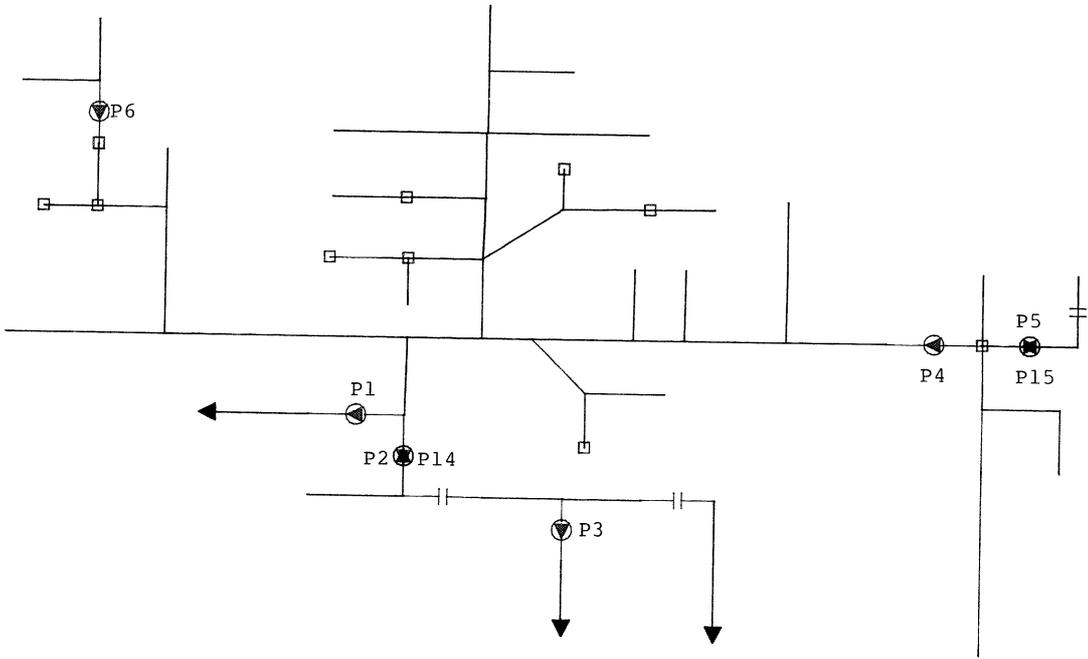
Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (Standardstrategie)
Ereignis Nr. 015 vom 09.08.1960

Fig. 70
Darstellung der einstauenden Schächte



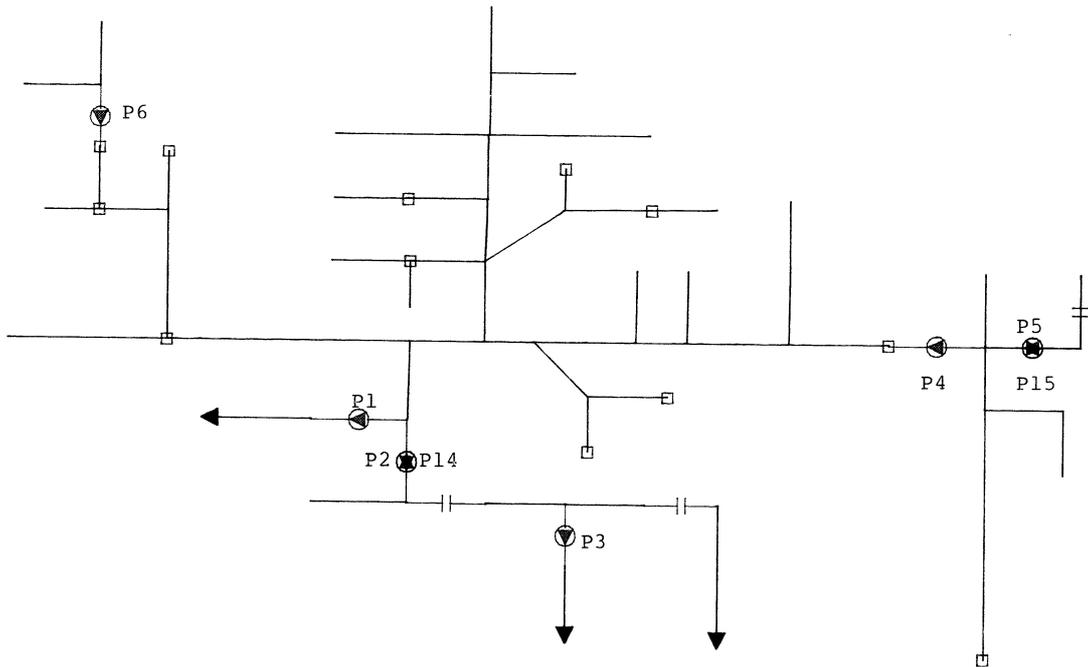
Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (modifizierte Strategie)
Ereignis Nr. 015 vom 09.08.1960

Fig. 71
Darstellung der überstauenden Schächte



Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (Standardstrategie)
Ereignis Nr. 015 vom 09.08.1960

Fig. 72
Darstellung der überstauenden Schächte



Kanalnetz: Bremen Links der Weser
Simulation mit 'STEUER' (modifizierte Strategie)
Ereignis Nr. 015 vom 09.08.1960

Im Hinblick auf unsere Untersuchung sind 3 Teilprobleme zu unterscheiden.

- 1) Die 'objektive' Bedeutung der räumlich ungleichmässigen Verteilung des Niederschlags im Bremer Gebiet.
- 2) Der Einfluß der ungleichmässigen Überregnung auf die Berechnung des Netzzustandes.
- 3) Die Relevanz einer genauen Kenntnis der Zuflußwellen zur Entwicklung der Steuerungsentscheidungen.

Die Verfügbarkeit von Radarinformationen wäre ideal. Der Radar bietet die einzige Möglichkeit, die räumliche Verteilung der Intensitäten (bzw. der Reflektivität) zu erfassen. Leider gibt es im Einzugsgebiet 'Links der Weser' nur 3 Regenschreiber –einer in jedem der wichtigen Pumpwerke–. Damit ist im Prinzip eine genaue Untersuchung der räumlichen Verteilung unmöglich.

Beispielweise wurden jedoch die aufgenommenen Niederschlagsdaten aus dem Jahr 1981 untersucht. Für jedes Ereignis wurden die gesamten Niederschlagshöhen an jedem Regenschreiber berechnet und untereinander verglichen.

Es stellte sich heraus, daß in vielen Fällen die an den 3 Regenschreibern aufgenommenen Niederschlagshöhen nur minimale Abweichungen von einander aufweisen. Dies ist insbesondere im 1. Quartal des Jahres der Fall gewesen (Winterregen). Auch während der Sommerperiode sind in den meisten Fällen die Abweichungen relativ gering (siehe Anlage 8 Darstellung der Regenintensitäten). Es gibt aber auch einige wenige Ausnahmen (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Beispiele von Ereignissen mit unterschiedlichen Überregnung.

Datum	Dauer [min]	N1 [mm]	N2 [mm]	N3 [mm]
25.06.1981	295	10,82	5,48	7,97
29.06.1981	490	30,69	24,04	9,57
07.08.1981	210	12,32	16,60	40,46
10.10.1981	165	6,10	8,16	2,44

N1 : Niederschlagshöhe auf Regenschreiber Nr.1 (Rablinghausen).

N2 : Niederschlagshöhe auf Regenschreiber Nr.2 (HPWL).

N3 : Niederschlagshöhe auf Regenschreiber Nr.3 (Krimpel).

In diesen Beispielen liegt der 'Schwerpunkt' des Niederschlags deutlich in einem der Teileinzugsgebiete. In der Simulation wird dementsprechend jeder Haltung ein Regenschreiber zugewiesen, dessen Niederschlagsinformation als charakteristisch der lokalen Verhältnisse betrachtet wird. Die Zuweisung erfolgt nach dem Abstand Haltung-Regenschreiber. In Ermangelung an genauere

Meßkenntnisse ist diese einfache Vorgehensweise berechtigt. – Sie wurde z. B bei der Kalibrierung und Verifizierung des Grobnetzes eingesetzt (Anlage 8, Anlage 16).–

In Fig. 73 bis Fig. 75 sind für 3 Ereignisse (Nr.2:25.06.1981; Nr.3:10.10.1981; Nr.4:07.08.1981) die Ergebnisse jeweils zweier Simulationen dargestellt.

Im ersten Fall wird die Information aus den 3 Regenschreibern benutzt (nach der oben beschriebenen Methode).

Im zweiten Fall wird eine mittlere Niederschlagsintensität über das ganze Gebiet errechnet (Gewichtung durch die 'Einflußzone' der jeweiligen Regenschreiber).

Bemerkung über die Simulationen:

Damit die berechneten Zuflußmengen denjenigen eines mittleren Ereignisses entsprechen, wurde die Intensitäten bei den Ereignissen Nr.2 und Nr.3 mit den Faktor 2 multipliziert, während die Intensitäten des Ereignisses Nr.004 mit dem Faktor 0,5 multipliziert wurden.

Durch die unterschiedliche Berechnung der Niederschlagshöhe entstehen schon bei mittleren Ereignissen –unter Umständen– beachtliche Unterschiede bei der berechneten Wasserstandsganglinie am Pegel H10. Mit zunehmenden mittleren Intensitäten verstärken sich die Diskrepanzen. Der Verlauf der Steuerungsaktionen wird möglicherweise beeinflusst. Die in der Langzeitsimulation errechneten absoluten Überstaumengen und Entlastungsmengen sind deswegen mit zusätzlicher Unsicherheit behaftet.

Diese Unsicherheit führt aber zu keiner wesentlichen Einschränkung der in Kapitel IV und V gewonnenen Erkenntnisse. Dieses ist auf zwei verschiedenen Arten begründbar.

Einerseits basiert die stufenweise Modifizierung der Strategie auf dem relativen Vergleich der Ergebnisse, dessen Gültigkeit weiterhin bestehend bleibt.

Andererseits werden Steuerentscheidungen im wesentlichen anhand von simulierten Wasserständen und groben Niederschlagsinformationen (es regnet; es regnet nicht) gefallen. Dies entspricht den zur Zeit existierenden örtlichen Verhältnissen in Bremen, für die eine Kenntnis der Zuflußwellen im Entscheidungsprozeß keine Rolle spielt. Wichtig ist nur, daß die Wasserstände und die Wechselwirkungen zwischen Transportvorgängen und Pumpenförderleistungen mit ausreichender Genauigkeit erfaßt werden.

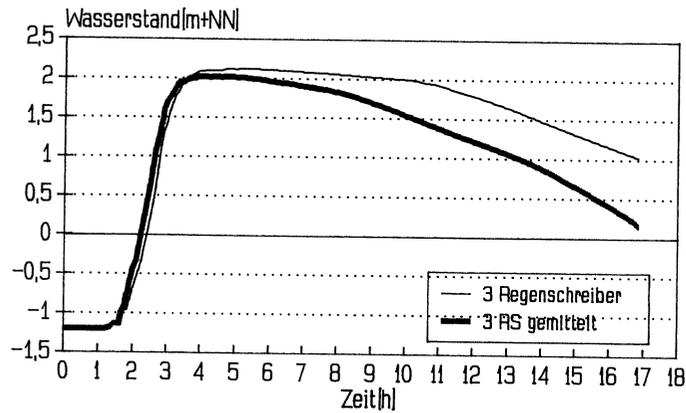
Diese Erwägungen verlieren ihre Gültigkeit, sobald die Zuflußwellen eine nicht zu vernachlässigende Rolle im Entscheidungsprozeß spielen.

Dieses ist möglich in einem Entscheidungsprozeß, der auf einer Optimierung beruht. Dieses ist im allgemeinen der Fall bei jedem Ansatz, der implizit oder explizit auf einer Vorhersage des Zustands beruht. Die Qualität der kurzfristigen Vorhersage hängt stark von der Qualität der Niederschlagsinformation ab.

Darstellung des Wasserstandes

Schacht: H10
Vergleich 3 RS / Mittelung

Fig.:73

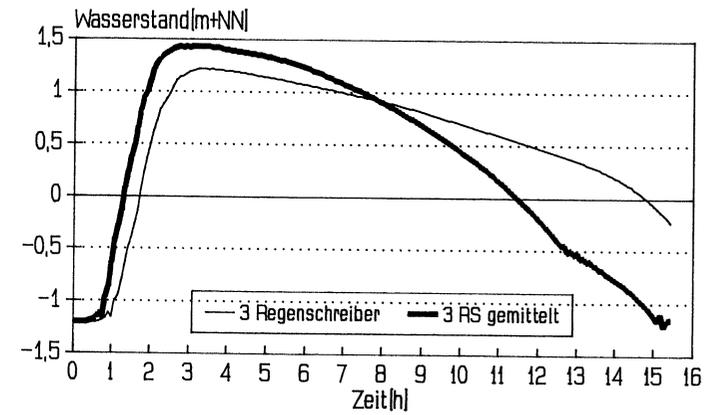


Ereignis Nr. 002 vom 25.06.1981
0.0 Std. entspr.: 17:14 Uhr

Darstellung des Wasserstandes

Schacht: H10
Vergleich 3 RS / 3 RS Mittelung

Fig.:75

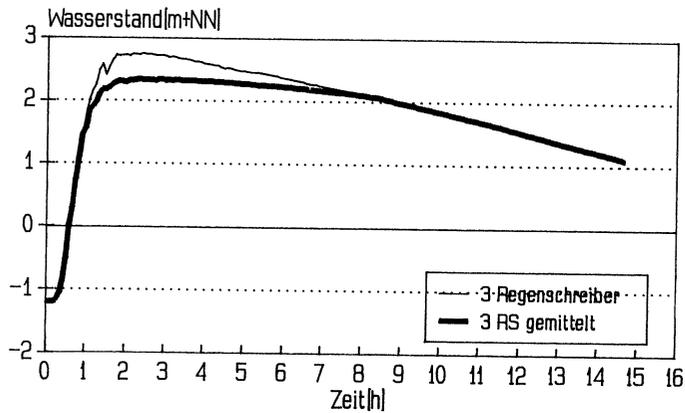


Ereignis Nr. 004 vom 07.08.1981
0.0 Std. entspr.: 22:11 Uhr

Darstellung des Wasserstandes

Schacht: H10
Vergleich 3 RS / 3 RS Mittelung

Fig.:74



Ereignis Nr. 003 vom 10.10.1981
0.0 Std. entspr.: 13:27 Uhr

VI.3) Untersuchung der Wirksamkeit einer baulichen Maßnahme.

Je mehr Steuerorgane im Netz vorhanden sind, desto umfangreicher sind die Eingriffsmöglichkeiten auf die Vorgänge und desto flexibler ist die Steuerung.

Das Grobnetz ist durch 3 Kontrollstellen in 3 Teileinzugsgebieten unterteilt; Krimpel, HPWL, Rablinghausen. 80% des gesamten Stauraums im Netz liegt im Teilgebiet HPWL. Damit liegt die Überlegung nahe, dieses Teilgebiet in zwei Abschnitten zu bewirtschaften. Als Trennpunkt empfiehlt sich die Haltung HN19, in der sich die zwei Hauptmischwasserströme (der eine aus dem zentralen Stadtgebiet bezeichnet durch die Haltungen HNi und der andere aus dem PW-Krimpel) zusammentreffen (siehe Anlage 4).

Da an der Mündungsstelle (HZ13–H17) ein Sohl sprung von mehr als 2 m (von 0,33 mNN auf –1,79 mNN) besteht, wird im höherliegenden Gebiet (Haltungen HNi $i=1,19$) der Stauraum erst aktiviert, wenn der Wasserstand im Pumpensumpf HPWL ca. 2,78 m über Sohle beträgt (Niveau = 0,33 mNN).

Um diesen Staumraum getrennt steuern zu können, wird vorgeschlagen ein Schieberwerk in Haltung HN19 zu bauen. Durch das Schließen des Schiebers kann die Abflußmenge aus den Gebieten HNi (siehe Anlage 4) schon am Beginn des Ereignisses zwischengespeichert werden. Wichtig bei der Steuerung ist es, folgende Punkte zu berücksichtigen:

- 1) Existenz von Überstaugefahr im Teilgebiet,
- 2) Vergleich der Wasserstände oberhalb und unterhalb des Schiebers,
- 3) Tendenz des Wasserstands im unteren Gebiet.

Das Simulationsmodul kann nicht direkt einen Schieber simulieren. Stattdessen wird eine Pumpe nach der gleichen Konfiguration wie in Krimpel eingesetzt.

Die getrennte Steuerung des Stauraums oberhalb von HN19 hat keine wesentliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Netzes bewirkt. Grund dafür sind die ungünstigen Verhältnisse zwischen den angeschlossenen Gebietsflächen und dem entsprechenden Stauraum. In dem untersuchten hochgelegenen Teilgebiet konzentriert sich 46% der undurchlässige Fläche des Gesamteinzugsgebiets bei nur 18 % des Gesamtspeichervolumens.

Eine getrennte Bewirtschaftung hätte nur einen Sinn, wenn die Speicherkapazität des oberen Gebiets –durch Aufbau eines Rückhaltbeckens– erhöht würde.

Tabelle 10 : Verhältnis zwischen der angeschlossenen undurchlässigen Gebietsfläche und dem entsprechenden Stauraum

Einzugsgebiet	Verhältnis [m ³ /ha]
HPWL (ohne Becken)	200
HPWL (mit Becken)	260
HNi Gebiet (abgek.)	50
Krimpel (ohne Becken)	60
Krimpel (mit Becken)	155
Rablinghausen	270

TEIL VI
ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN.

I) METHODEN ZUR AUTOMATISCHEN ENTWICKLUNG VON STRATEGIEN.

I.1) Implementierung von Lernalgorithmen.

In den ersten Teilen (I–V) wurden Gründe, Ziele und Wege zu einer optimierten on–line Steuerung des Entwässerungsnetzes im Einzugsgebiet 'Bremen Links der Weser' ausführlich dargestellt. Im jetzigen Teil werden Möglichkeiten zur Fortsetzung dieser Untersuchungen kurz geschildert. Diese im Folgenden erwähnten Forschungsthemen sind miteinander eng verbunden. Es besteht aber zwischen ihnen keine interne Hierarchie der Untersuchung. Die Forschungsprioritäten werden sich letztendlich aus der Praxis herauskristallisieren .

Der Suche nach einer Strategie kommt in dieser Thematik die zentrale Bedeutung zu. Durch Analysen des Netzverhaltens sowie Simulationen zur Verifizierung ihrer Gültigkeit konnte eine modifizierte Strategie vorgeschlagen werden, die in mehreren Hinsichten eine bessere Ausnutzung der Netzkapazitäten ermöglicht. Wichtig dabei ist nicht nur das im Laufe der Untersuchung neue Kenntnisse über dieses Kanalnetz gewonnen wurden, sondern daß sich eine Methodik entwickelte, mit deren Hilfe wissenschaftlich fundierte Aussagen über Möglichkeiten und Grenzen der Steuerung getroffen werden können. Die wichtigen Etappen der Bewertung und Modifizierung der Steuerstrategie wurden vom Fachmann bestimmt und erläutert.

Durch die Implementierung eines Lernmoduls sollte es möglich sein, Analyse und Bewertung teilweise zu automatisieren. Ein Lernalgorithmus wurde vor einigen Jahren entwickelt (Neumann, 1987). Er lieferte einige ermutigende Ergebnisse, war aber speziell auf die Situation in Bremen zugeschnitten. Von daher ist eine sichere Beurteilung nicht möglich. Spönnemann (1988) versuchte mit dem gleichen Algorithmus, allgemein formuliertes Wissens zu verarbeiten. Die Ergebnisse waren aber eher enttäuschend; es fehlte an Erfahrung über die Analyse des Steuerungsgeschehens.

Jetzt verfügt man über ein nicht–automatisches Lernbeispiel –die Entwicklung der modifizierten Strategie aus der Standardstrategie–.

Es sollte versucht werden, diesen Vorgang durch Lernalgorithmen nachzuvollziehen. Der schon erwähnte Algorithmus (Neumann–Müller) könnte mit einigen Modifizierungen herangezogen werden. Neue Algorithmen sollten darüberhinaus untersucht werden (z.B. Quinlan–Algorithmus).

I.2) Anwendung von Optimierungsmodellen.

Ein anderer Weg zur automatischen Entwicklung von verbesserten Strategien besteht darin, ein Optimierungsmodul zur Entwicklung von Steuerungsregeln anzuwenden.

In der Literatur sind mehrere Optimierungsalgorithmen untersucht und vorgeschlagen worden. – eigene Optimierungsalgorithmen wurden im Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover

entwickelt und schon bei der Simulation der Steuerung in Bremen angewandt (Rohlfing; 1990)–. Optimierungsalgorithmen haben bestimmte Grenzen, so daß ihre Anwendung sehr sorgfältig überprüft werden soll. (Die Problematik wurde schon in Teil III erläutert).

Nach der Etappe der Kalibrierung würde man ein (oder mehrere halbwegs kalibrierte) Optimierungsmodul(e) bei einer größeren Anzahl von Ereignissen (Langzeitsimulation) laufen lassen. Die erhaltenen Ergebnisse sollten danach durch bestimmte Algorithmen analysiert werden, um daraus Steuerungsregeln zu erzeugen.

II) ERFASSUNG VON ZUSÄTZLICHEN ZUSTANDSVARIABLEN.

II.1) Erweiterung der mengenmässigen Zustandsbetrachtung.

Das Zufügen von zusätzlichen Zustandsvariablen in den Steuerungsprozeß kann aus zwei Gründen sinnvoll sein. Zusätzliche Variablen können in manchen Fällen eine Information enthalten, die bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht zu erfassen war. Bei einem solchen Fall handelt es sich um einen qualitativen Sprung, der eventuell neue Steuerungsmöglichkeiten eröffnet.

In anderen Fällen stellen zusätzliche Variablen keine grundsätzlich neue Information dar. Sie beschreiben aber den Zustand in einer –für das Betriebspersonal und für den Fachmann– prägnanteren und verständlicheren Form.

Als Beispiel des ersten Typs kann man das Einbeziehen der Zuflußwellen-Information in den Entscheidungsprozeß nennen, aufgrund dessen eine kurzfristige (10–15 Min) Vorhersage der wichtigsten Zustandsvariablen mit ausreichender Genauigkeit erfolgen könnte. Das Restrisiko der Strategie könnte möglicherweise weiter eingeschränkt werden.

Als Beispiel des zweiten Typs kann man die Einführung von Stauraumauslastungs-Variablen als explizite Entscheidungsvariablen nennen. Kurven der Stauraumauslastung –in Abhängigkeit von den entsprechenden Wasserständen an verschiedenen Stellen des Netzes – wurden in Anlage 2 (Realität) und in Anlage 6 (Modell) aufgezeigt. In Anlage 17 werden die Abhängigkeiten zwischen Wasserstand und Stauraumauslastung mathematisch durch die Herstellung einer Approximations-Funktion zusammengefaßt. Dadurch ist die wesentliche Bedingung zur Berechnung der Variablen in der Simulation und zu ihrer expliziten Berücksichtigung in der Produktionsbasis erfüllt.

II.2) Berücksichtigung von Güteparametern.

II.2.1) Messung des Güteparameters BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf).

In Anbetracht des Gewässerschutzes, kommt es nicht nur darauf an, das entlastete Mischwasservolumen, sondern die gesamte (Netz + Kläranlage) entlastete Schmutzfracht zu drosseln. Unter bestimmten Umständen (z.B. Überlastung der Kläranlage + geringe Frachtkonzentration des Mischwassers) kann es vorteilhaft sein, das Mischwasser ohne Behandlung in einer Kläranlage direkt in den Vorfluter abzuleiten. In diesem Zusammenhang bildet die Erweiterung der Zustandsbeschreibung auf Güteparameter einen wesentlichen Fortschritt zur Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten.

Zur Zeit ist aber die Berücksichtigung des qualitativen Aspektes aus zweierlei Gründen erschwert.

- 1) Es gibt zur Zeit keine ausgereifte Methode für eine kontinuierliche on-line Messung von repräsentativen Güteparametern.
- 2) Es gibt zur Zeit nur wenig ausgereifte Modelle, die einen Schmutzfracht-Transport mit hinreichender Genauigkeit simulieren.

Als wichtigen Güteparameter betrachtet man unter anderen (z.B. CSB, P, NH_4) den Biochemischen Sauerstoff-Bedarf (BSB). Standardmäßig wird der BSB-5 gemessen. –5 steht hier für 5 Tage, entsprechend dem biochemischen Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen–.

Ein Meßgerät zur kontinuierlichen Bestimmung des BSB-M3 wurde angeschafft. –M3 steht hier für 3 Minuten, weil die tatsächliche Messung 3 Minuten nach der Probenentnahme erfolgt–.

Erste Erfahrung mit dem Gerät wurden in den Jahren 1988–1989 gesammelt, als es in der Kläranlage installiert wurde. Die Kalibrierung und Verifizierung der Meßergebnisse wurde vorgenommen (zur weiteren Information siehe Anlage 21).

Nach dieser erfolgreichen Phase wurde das Gerät im Pumpensumpf des Hauptpumpwerks installiert und an das Datenerfassungssystem angeschlossen. Im Pumpensumpf herrschen jedoch sehr widrige Meßbedingungen. Durch die von den Pumpen erzeugten Verwirbelungen und die daraus resultierende Beschleunigung der Schwebpartikel wurde das Gerät ständig 'verstopft'. Aus diesem Grunde konnten bis jetzt (Zustand Herbst 1990) keine aussagekräftigen on-line BSB-M3-Messungen im Pumpensumpf aufgenommen werden.

Konstruktive Änderungen im Pumpensumpf werden zur Zeit realisiert, um das Gerät vor den Verwirbelungen zu schützen. Erste brauchbare Meßergebnisse werden zu Beginn des Jahres 1991 erwartet. Durch die Untersuchung der Konzentrationsverläufe während einer repräsentativen Anzahl von Ereignissen sollte es möglich sein, die Relevanz einer getrennten qualitativen Betrachtung abzuschätzen.

II.2.2) Methodik zur Entwicklung einer gütebasierten Strategie.

Möglicherweise werden die Meßergebnisse die Notwendigkeit einer Erfassung der Güteprozesse im Verlauf des Ereignisses bestätigen. Die Entwicklung einer angepassten Steuerung setzt aber die Möglichkeit der Simulation voraus.

Vereinfachte Modellierungen existieren. Ein Schmutzfrachtsimulationsmodell (KOSIM) wurde z.B. am Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover entwickelt und implementiert. Anhand von solchen Modellen kann man sinnvolle Aussagen über das Schmutzfracht-Entlastungs-Verhalten während einer längeren Periode treffen (Langzeitsimulation).

Zur detaillierten Erfassung des Zustands während eines bestimmten Ereignisses, damit eine Steuerung simuliert werden kann, sind sie jedoch in den meisten Fällen ungeeignet. Phänomenen wie Schmutzfracht-Ablagerung und –Abtrag, die möglicherweise in rückstaubehafteten Kanalnetzen

eine große Rolle spielen, können von hydrologischen Modellen theoretisch nicht erfasst werden, weil dies eine detaillierte Kenntnis der Dynamik in der Kanalisation voraussetzt.

Dementsprechend sollte ein ausgereiftes hydrodynamisches Modell um einen Ansatz zur Simulation des Schmutzfrachttransports erweitert und an den Meßdaten kalibriert und verifiziert werden. Aus den (geprüften) Simulationsergebnissen könnten –nach der gleichen Methodik wie bei der mengenmässigen Simulation– modifizierte Strategien entwickelt und bewertet werden.

III) KONSISTENZ-ANALYSE DER ON-LINE MEßDATEN UND IHRE REKONSTRUKTION FALLS SIE AUSFALLEN.

Bei einer on-line Steuerung muß sichergestellt werden, daß in allen Situationen die Entscheidungsinstanz über eine ausreichende Beschreibung des Systemzustands verfügt. Dies ist umso mehr der Fall, wenn eine optimierte Steuerung angestrebt wird, wobei ein bestimmtes kalkuliertes Risiko immer besteht.

In qualitativer Hinsicht setzt die Forderung nach sicherer Information eine Konsistenz-Analyse der ankommenden Meßdaten voraus. Damit wird das on-line Computersystem in die Lage versetzt, Unstimmigkeiten der Meßdaten, die auf das mögliche Ausfallen eines Gerätes hinweisen, zu erkennen.

In quantitativer Hinsicht ergibt sich die Notwendigkeit einer gewissen Redundanz der Meßinformation, damit ausgefallene Meßdaten, die bei der Steuerung eine wesentliche Rolle spielen, aus anderen mit genügender Genauigkeit rekonstruiert werden können.

Mathematisch lassen sich beide Teilprobleme weitgehend als ein einziges Problem analysieren.–Man muß sich eine gute Vorstellung über die ankommenden Meßwerte verschaffen, um ihre Richtigkeit prüfen zu können.–

Im Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover wurden Ansätze zur Rekonstruktion und Konsistenzanalyse von Meßdaten (Schütze; 1990) entwickelt und implementiert.

Aus der Untersuchung von Tausenden von gemessenen (bzw. simulierten) Netzsituationen wird ein lineares System zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen den Variablen hergestellt.

Die Methoden wurden auf die Rekonstruktion der Wasserstandsinformation an einem gegebenen Pegel aus der Wasserstandsinformation an den anderen angewandt. Die ersten erhaltenen Ergebnisse sind in einigen bestimmten Fällen gut. Sie sind aber in vielen Fällen aufgrund der schwierigen Situation in Bremen (u.a. Gefälle, Rückstau, Sohlspünge) nur teilweise zufriedenstellend. Weitere Untersuchungen sind notwendig, damit die Gültigkeit der entwickelten Ansätze auf einer fundierten Basis bewertet werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

ATV; Arbeitsblatt A 117, 'Richtlinien für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Regenrückhaltebecken'; 1977.

ATV; Arbeitsblatt A 128, 'Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen'; 1977.

ATV; Arbeitsblatt A 138, 'Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser'; 1990.

Bellman; 'Introduction to the Mathematical Theory of Control Processes Vol I'; Academic Press, Series Mathematics in Science and Engineering Vol 40-I; New York, London; 1967

Bernauer M; 'Benefit of Real Time Control of a very small Drainage System'; 5. Conference on Urban Storm Drainage, Osaka; Proceedings p 1225-1230; July 1990.

Bertsekas; 'Dynamic Programming and Stochastic Control'; Academic Press, Series Mathematics in Science and Engineering Vol 125; New York, London; 1976

Böhringer B, Chiopris C, Futo i; 'Wissensbasierte Systeme mit Prolog'; Addison Wesley Publishing Company; 1988.

Bratko I.; 'Prolog Programming for Artificial Intelligence'; Addison Wesley Publishing Company; 1988.

Bremen Der Senat; 'Sanierung des Mischwasserkanalnetzes bis 1990'; Brochüre; Programm Arbeit und Umwelt.

Broll J; 'Kanalnetzsteuerung in Bremen'; Technische Akademie Wuppertal; Seminar Nr 211360050 über 'Abflußsteuerung in Abwasserkanälen'; Hamburg; März 1990.

Broll J, Winter J; Zwischenbericht des Teilprojektes A; Forschungsprojekt 02-WA8648; 1989.

Bullinger H-J, Fähnrich K-P; 'Expertensysteme; Wissensbasierte Systeme in er betrieblichen Anwendung'; Expert Verlag 1988.

Casti J; 'Dynamical Systems and their Applications: Linear Theory'; Academic Press, Series Mathematics in Science and Engineering Vol 135; New York, London; 1977.

Chen C.T.; 'Introduction to Linear System Theory'; Holt, Rinehart and Winston Series in Electrical Engineering, Electronics and Systems; 1970.

Clocksini W, Mellisch C.; 'Programming in Prolog'; Springer Verlag; 1987.

Durchschlag A; 'Bemessung von Mischwasserspeichern im Nachweisverfahren'; Schriftreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz; 1989; SUG Verlag.

Dyck, Peschke; 'Grundlage der Hydrologie'; Verlag für Bauwesen, Berlin; 1989.

Engeln-Müllges G, Reutter F; 'Numerische Mathematik für Ingenieure'; Wissenschaftsverlag; Mannheim, Wien, Zürich, 1987.

Fuchs L.; 'Hydrologische Leistungsfähigkeit städtischer Kanalnetze'; Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover; Mitteilungen Heft 63; 1987.

Fuchs L, Müller, Neumann A; 'Learning Production System for the Control of Urban Sewer Systems'; Proceedings of the 1st IAWPRC International Symposium on Systems Analysis in Water Quality Management; London; 1987.

Fuchs L, Scheffer C; 'Mikrocomputer in der Stadtentwässerung, Hystem-Extran Kurzdokumentation'; 1988.

Fuchs L, Verworn H-R; 'Mikrocomputer in der Stadtentwässerung, Hystem-Extran Modellbeschreibung'; Institut für Wasserwirtschaft, Universität Hannover; 1988.

Grotehusmann D, Uhl M; 'Versickerung des Regenwassers statt Ableitung'; Niedersächsischer Städtetag; Dezember 1988.

Harrison M-A; 'Introduction to Formal Language Theory'; Addison Wesley; 1978.

Henneberg C; 'Modifikation eines hydrodynamischen Modells zur Simulation von Abflußtransportvorgängen unter Einfluß von Steuerungs- und Regelungsorganen'; Institut für Wasserwirtschaft Universität Hannover; Diplomarbeit 1989; unveröffentlicht.

Jacobs O.L.R; 'Introduction to Control Theory'; Clarendon Press; Oxford; 1974.

Kheil A; 'Steuerung des Kanalnetzes in Bremen links der Weser mit einem Expertensystem'; Zwischenbericht; April 1989.

Kheil A, Grottker M, Semke M; 'Adaptation of an Expert System for the Real Time Control of a Sewerage Network: Case of Bremen Left Side of the Weser'; Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Storm Drainage'; Osaka; July 1990.

Kheil A; 'Experience with Real Time Control of a Urban Drainage System'; Proceedings of the First European Junior Scientist Workshop on Application of Operation Research to Real Time Control of Water Resources Systems'; Luzern (Switzerland); 15-18 March 1990.

Kheil, Grotehusmann, Uhl; 'Untersuchung der Wirksamkeit von Abkoppelungsmaßnahmen, Beispiel Schüngelbergsiedlung Gelsenkirchen'; SUG Number 12; p 33-107; August 1990.
Metzing D; Proceedings of the 13th German Workshop on Artificial Intelligence; Eringerfeld (Germany); Springer Verlag; September 1989.

Koch A.; 'Reduzierung des Mischwasserabflusses durch dezentrale Versickerung - Nachweis der Wirksamkeit durch hydrodynamische Kanalnetzrechnung'; Institut für Wasserwirtschaft; Universität Hannover; Diplomarbeit 1989; unveröffentlicht.

Kollatsch D-Th, Schilling W. (1989); 'Reduction of Combined Sewerage Overflow Pollution Loads by Detention of Sanitary Sewage'; Proceedings of the 2nd Wageningen Conference; 1989.

Metzing D; Proceedings of the 'GWAI-89 13th German Workshop on Artificial Intelligence'; Eringerfeld, September 1989; Springer-Verlag.

Naupold L; 'Betriebserfahrung mit der Abflußsteuerung in Bremen'; Technische Akademie Wuppertal; Seminar Nr:21 1360050 über Abflußsteuerung in Abwasserkanälen'; Hamburg; März 1990.

Nelen F; 'Control Strategies based on Water Quality Aspects'; 5. Conference on Urban Storm Drainage, Osaka; July 1990.

Neugebauer K; 'Steuerung von Entwässerungssystemen'; Diplomarbeit am Institut für Operations Research der ETH Zürich; 1990.

Neumann A; 'Entwicklung eines lernenden Produktionssystems zur on-line Steuerung eines städtischen Kanalnetzes'; Diplomarbeit Institut für Informatik, Universität Hannover; Dezember 1985; unveröffentlicht.

Neumann G; 'Meta-Programmierung und Prolog'; Addison-Wesley Publishing company; 1988.

Paulsen O.; 'Kontinuierliche Simulation von Abflüssen und Stofffrachten in der Trennentwässerung'; Mitteilung des Institutes für Wasserwirtschaft der Universität Hannover Heft 62; 1987.

Petersen Steen O; 'Real Time Control of Urban Drainage System'; department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark; August 1987; Diplomarbeit unveröffentlicht.

Rahmstorf G; 'Wissensrepräsentation in Expertensystemen'; Proceedings of the Workshop Herrenberg; März 1987; Springer Verlag.

Retti J; 'Artificial Intelligence: Eine Einführung'; Teubner Stuttgart; 1986.

Rohlfing R; 'Optimierte Steuerung eines Speichersystems'; SUG Heft 6; 1989.

Rohlfing R; 'Connection between an Optimization Model and an Hydrodynamic Model to simulate the Control of a Urban Drainage System', First European Junior Scientist Workshop on 'Applications of Operations Research to Real Time Control of Water Resources Systems', Kastanienbaum/Luzern, Schweiz, 1990.

Savory S; 'Künstliche Intelligenz und Expertensysteme'; Forschungsbericht der Nixdorf Computer AG; Oldenbourg Verlag; München, Wien; 1985.

Savory S; 'Grundlagen von Expertensystemen'; Lehrbuch der Nixdorf Computer AG; Oldenbourg Verlag; München, Wien; 1988.

Scheffer C; 'Lösung des Saint-Venant'schen Differentialgleichungssystems', Institut für Wasserwirtschaft, Universität Hannover; 1987; Diplomarbeit unveröffentlicht.

Schilling W; 'Application of Real Time Control in Combined Sewer Systems'; Department of Civil Engineering, Colorado State University; December 1984; Report not published.

Schilling W; 'Grundlage der Abflußsteuerung'; SUG Heft 2, Teile 11.1, 11.2, 11.6; Feb 1988.

Schilling W; 'Operationelle Stadtentwässerung'; Mitteilung des Institutes für Wasserwirtschaft, Universität Hannover; Heft 64; 1988.

Schilling W. and Associates; 'Real Time Control of Urban Drainage Systems; the State of the Art'; IAWPRC Task Group; Pergamon Press; April 1989.

Schneider S.; 'Bewertung und Verbesserung einer Produktionsbasis für die Findung von Steuerstrategien am Beispiel des Netzes 'Bremen Links der Weser'; Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover; Diplomarbeit 1990; unveröffentlicht.

Schnupp P, 'Prolog Einführung in die Programmierpraxis'; Carl Hanser Verlag; Münschen, Wien 1987

Schütze M.; 'Anwendung von Extrapolationsmethoden zur Rekonstruktion ausgefallener Meßwerte in städtischen Kanalnetzen'; Institut für Mathematik / Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover; Diplomarbeit 1990; unveröffentlicht.

Semke M; 'Mathematische Simulation einer zentralen Abflußregelung – Entwicklung von Strategien und Algorithmen'; Institut für Wasserwirtschaft / Institut für Mathematik der Universität Hannover; Diplomarbeit 1984; unveröffentlicht.

Sieker F.; 'Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten – Wasserwirtschaftliche Auswirkungen –'; Wasser+Boden, Heft 5; 1986.

Sieker F.; 'Abflußbildung'; SUG Heft 1, Teil 4.3; Nov. 1987.

Sieker F.; 'Abflußkonzentration'; SUG Heft 6, Teil 4.4; Feb. 1989.

Sieker F.; 'Einfluß des Regenwassers auf Kläranlagen'; Entsorgungs-Praxis Heft 7/8; Juli/August 1990.

Spönemann P; 'Ein adaptatives regelbasiertes System zur Abflußsteuerung'; Institut für Informatik/ Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover; Diplomarbeit 1988; unveröffentlicht.

Thibault S; 'Elements pour une Phénoménologie en Hydrologie Urbaine'; Thèse de Docteur-Ingénieur, INSA Lyon N° I D.1 1.7908; 1979.

Verworn H.-R, Harms R.; 'Die Standardeinheitsganglinie – eine gebietsübergreifende Systemfunktion'; Wasserwirtschaft 70 Heft (7+8); 1980.

Verworn , Semke , Breuer , Kreuels , Kammer; 'Steuerung von Rückhaltebecken und Pumpwerken zum Zwecke der Abflußregulierung und des Gewässerschutzes mittels Nahbereichs-Radarmessung der Niederschläge'; BMFT-Forschungsvorhaben 02-WA 8825; 5. Zwischenbericht; April 1990.

Voigt D; 'Planmäßige Stauraumbewirtschaftung in Kanalnetzen – Stand der Technik?'; 2. Internationaler Kongress Leitungsbau in Hamburg; Oktober 1989.

Winston P; 'Künstliche Intelligenz'; Addison Wesley Publishing Company; 1987.

Winter J; 'Gewässerverschmutzung aus städtischen Entwässerungssystem (Bremen)';
Internationaler Kongress Leitungsbau; Hamburg; 23-26 Oktober 1989; veröffentlicht von Congress
Centrum Hamburg.

Yagi S; 'An Application of fuzzy set Theory to the Computer aided Control of Pumps in combined
Sewer Systems'; 5. Conference on Urban Storm Drainage, Osaka; Proceedings p 1269-1274; July
1990.

Bundesministerium für Forschung und Technologie

Forschungsbericht

Forschungsvorhaben 02-WA86470

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie
und landwirtschaftlichen Wasserbau

Prof. Dr.-Ing. B. Hoffmann
o. Prof. Dr. sc. techn. K. Lecher
Prof. Dr.-Ing. R. Mull
Prof. Dr.-Ing. F. Sieker

Universität Hannover
D-3000 Hannover 1
Appelstraße 9A
☎ 05 11/762-2237
Telex: 09-23 868 unihn d
Telefax: 05 11/762-3456

'Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der
Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten
-Wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerungskonzepten-'

von
Dr.-Ing. Amar Khelil

Universität Hannover
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie
und landw. Wasserbau

Projektleiter:
Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker

'Steuerung eines Mischsystems zur Verbesserung der
Gewässergüte und zur Verminderung der Betriebskosten
-Wissenschaftliche Erarbeitung von Steuerungskonzepten-'

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker

Sachbearbeiter und Berichtler:

Dr.-Ing. Amar Khelil

Folgende Personen sind an diesem Projekt beteiligt:

Dr.-Ing. Lothar Fuchs
(Sachbearbeiter bis April 1988)
Andreas Heinemann
Volker Huhn
Zheng Yue Jin
Andreas Neumann
Stefan Schneider
Manfred Schütze
Marko Siekmann

November 1990

ANLAGEN

- ANLAGE 1 : Wasserstands- und Abflußmessungs-Parameter im Datenerfassungssystem.
- ANLAGE 2 : gemessene Kennlinien der Speicherraumauslastung oberhalb eines Pegels in Abhängigkeit von seinem Wasserstand.
- ANLAGE 3 : Kalibration der Abflußbildung, der Abflußkonzentration und des Abflußtransports.
- ANLAGE 4 : Modellbeschreibung des Mischsystems für die Simulation mit dem hydrodynamischen Modell (HYSTEM-EXTRAN).
- ANLAGE 5 : Erläuterungen zur Modellbeschreibung der beiden Pumpwerke HPWL und Krimpel PW.
- ANLAGE 6 : Vergleich der gemessenen Kennlinien der Speicherraumauslastung mit der berechneten aus der Modellbeschreibung.
- ANLAGE 7 : Analyse des Trockenwetterzustandes im Mischsystem.
- ANLAGE 8 : Erste Simulationsergebnisse; Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Wasserstandsganglinien.
- ANLAGE 9 : Einige Charakteristika des Niederschlags in Bremen über die Periode 1988-1989.
- ANLAGE 10 : Glossar der wichtigsten Begriffe bei der Beschreibung eines Expertensystems.
- ANLAGE 11 : Anweisungen zum Betrieb der Pumpen in Bremen bzw. Standardstrategie (Stand im Juni 1990).
- ANLAGE 12 : Produktionsbasis zur Beschreibung der Standardstrategie (Simulation mit dem Modell 'Steuer').

- ANLAGE 13 : Koddierungsdatei (on-line Version).
- ANLAGE 14 : Produktionsbasis (on-line Version).
- ANLAGE 15 : Erläuterungen über die Meldungsproduktionen (on-line Version).
- ANLAGE 16 : Vergleich zwischen Meßdaten und Simulationsergebnissen mit dem Simulationsmodell 'Steuer'.
- ANLAGE 17 : Funktionale Abhängigkeit zwischen den Wasserständen im Kanalnetz und der Speicherraumauslastung.
- ANLAGE 18 : Statistische Auswertung der Daten vom Regenschreiber 2833 Bremen Bayernstr. HPW1 (30 Jahre Aufnahme).
- ANLAGE 19 : modifizierte Produktionsbasis (Simulation mit 'Steuer').
- ANLAGE 20 : Simulation der Ergebnisse Nr. 005 und Nr. 015 mit 'Steuer'; Vergleich der Steuerungsstrategien [1] und [2].
- ANLAGE 21 : Erste Erfahrungen mit dem BSB_{M3}-Meßgerät

ANLAGE 1: Parameter der Wasserstands- und Durchfluß-Meßstellen

I) Wasserstandsmeßstellen:

I.1) Tabelle der Pegel:

Pegel im Kanal	H09, H15, H17, H19, H21, H25, H27
Pegel in den Pumpensämpfen	H04, H10, H22, H40
Pegel in den Becken:	H11, H12, H23
Pegel an den Überlaufstellen	H32, H28, H29.
Pegel an der Weser:	H35

I.2) Tabelle der Parameter:

	Sonden- Null (mNN)	Meß- Bereich (m)	Kanal- Sohle (mNN)	Kanal- Scheitel (mNN)	Ober- kante (mNN)	Breite der Oberkante (m)
H04	-1,11	4,00	-1,47		3,88	
H09	0,43	3,00	0,08	2,10	5,20	
H10	-1,91	6,00	-2,45		3,96	
H11	-0,67	6,00	-0,95		4,43	
H12	-0,67	6,00	-0,95		4,43	
H15	1,87	3,00	1,63		3,05	
H17	0,68	3,00	0,35	2,15	4,61	
H19	-0,58	4,00	-0,85	2,40	5,13	
H21	1,43	2,00	1,28	2,68	4,50	
H22	-1,61	6,00	-1,86		4,60	
H23	-0,10	6,00	-0,45		4,80	
H25	1,14	2,00	0,90	2,10	4,61	
H27	0,14	6,00	0,0		4,13	6,40
H28	4,43	0,40			4,45	14,20
H29	4,43	0,40			4,45	14,20
H32	4,80	0,30			4,80	22,74
H35	-0,73	7,00	-0,99			
H40	-2,75	3,00	-3,60			

HPWL-Pumpe P2; Befüllung der Becken:

Schnecke 1	P2.1	2,00
Schnecke 2	P2.2	3,00
Schnecke 3	P2.3	3,20

Zusätzliche Annahmen:

Aufgrund von Messungen wird bei der Entlastung in die Weser ein konstanter Abfluß von $2\text{m}^3/\text{s}$ angenommen, unabhängig davon, ob das Mischwasser von Pumpe P3 gefördert wird oder im freien Gefälle fließt.

II) Abflußrate; Förderleistungen der Schnecken (m^3/s)

Krimpel-Pumpe P4; Krimpel-HPWL:

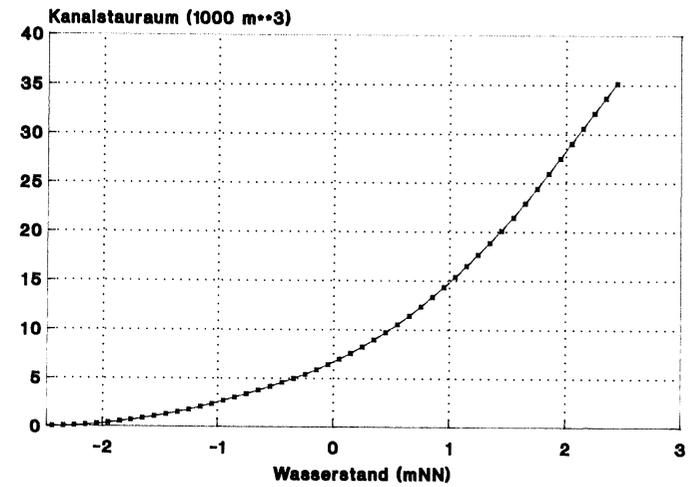
Schnecke 1	P4.1	0,115
Schnecke 2	P4.2	0,35
Schnecke 3	P4.3	0,35

Krimpel-Pumpe P5; Befüllung der Becken:

Schnecke 4	P5.1	0,60
Schnecke 5	P5.2	0,85
Schnecke 6	P5.3	1,53

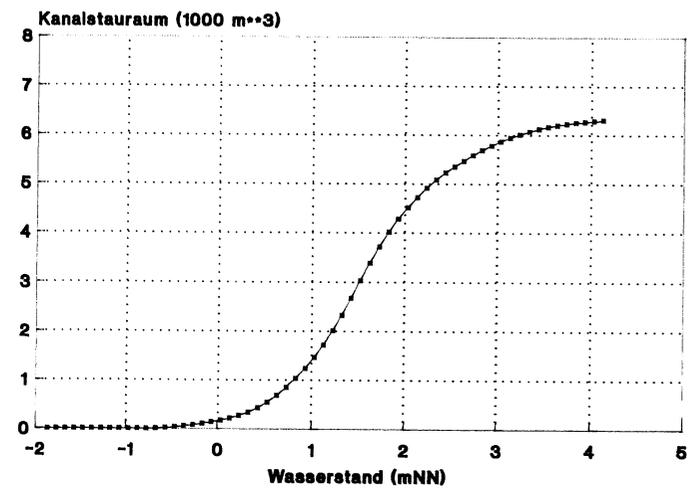
ANLAGE Gemessene Kennlinien der Speicherraumauslastung oberhalb eines Pegels in Abhängigkeit von seinem Wasserstand

Speicherkennlinie für Pegel H10



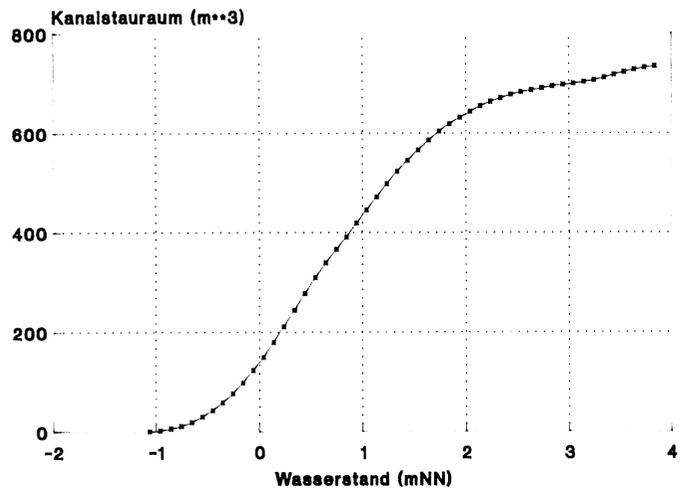
Sohlhöhe : -2.48 mNN

Speicherkennlinie für Pegel H22

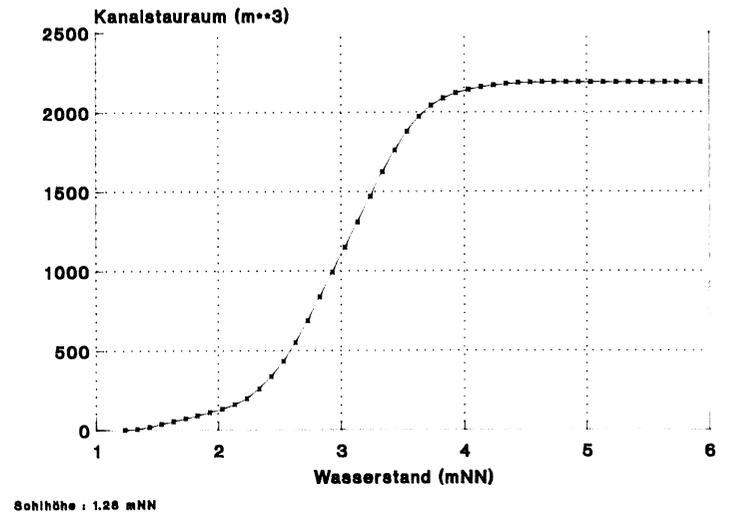


Sohlhöhe : -1.00 mNN

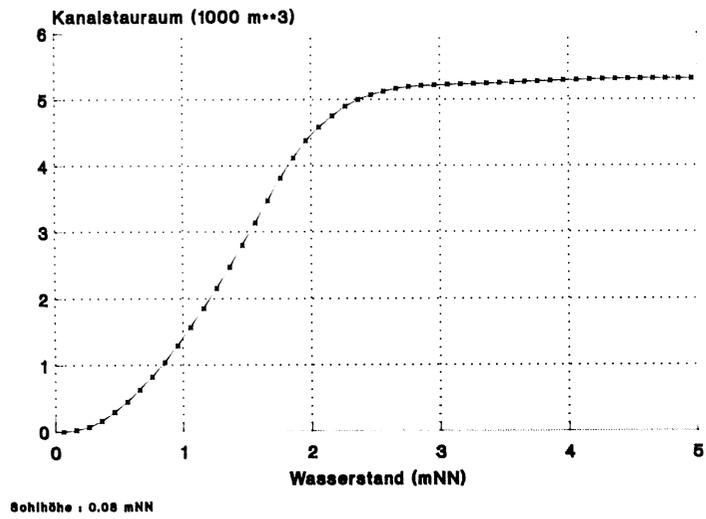
Speicherkenlinie für Pegel H04



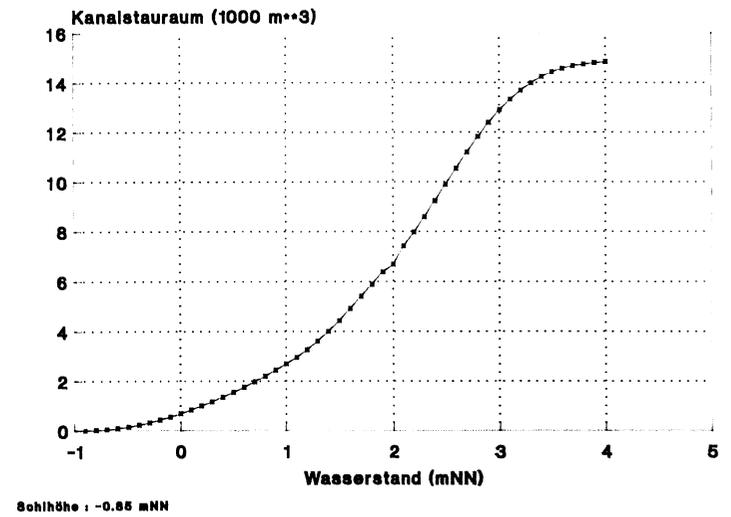
Speicherkenlinie für Pegel H21



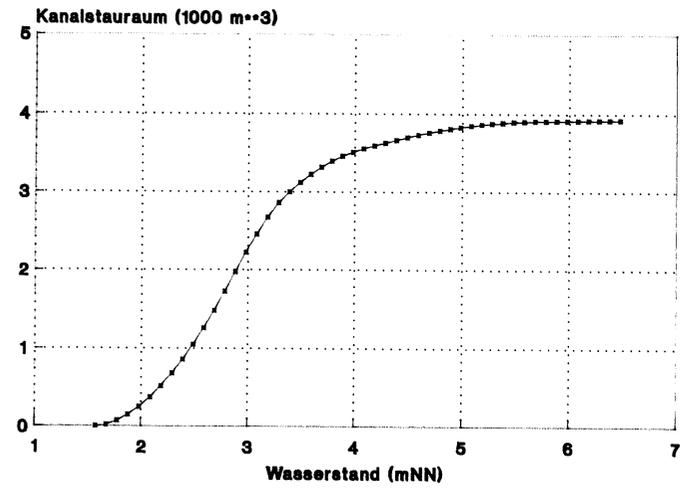
Speicherkenlinie für Pegel H09



Speicherkenlinie für Pegel H19

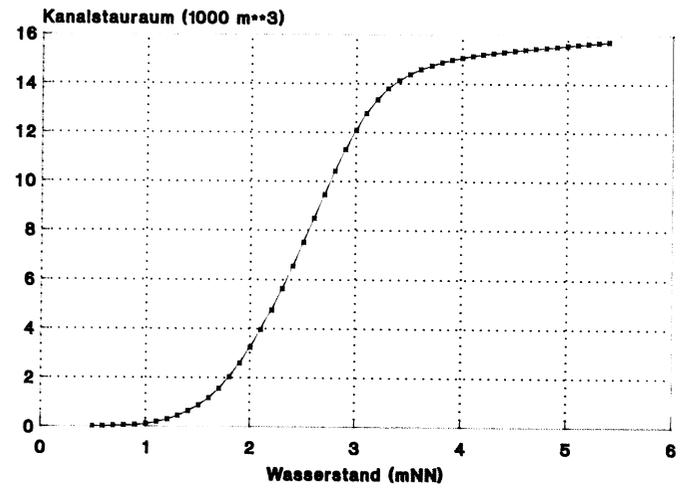


Speicherkenlinie für Pegel H15



Sohlhöhe : 1.83 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H17



Sohlhöhe : 0.35 mNN

ANLAGE 3 : HERSTELLUNG UND KALIBRIERUNG EINER VEREINFACHTEN DARSTELLUNG DES NETZES .

I) Vereinfachte Darstellung.

Das wirkliche Entwässerungssystem im Gebiete 'Bremen Links des Weserufers' enthält mehr als 30000 Haltungen. Eine genaue Beschreibung des Netzes (das sogenannte Feinnetz) wurde auf Diskette aufgenommen. Mit diesem Feinnetz wurden Simulationen durchgeführt. Es ist jedoch sehr schwierig, mit dem Feinnetz Simulationen durchzuführen und zu bewerten. Einerseits ist die Konsistenz der Eingabedaten (Aufhebung aller falschen Schachtverknüpfungen, Korrektur der Tippfehler bei der Angabe der Haltungsinformationen,...) bei einer derartigen Menge von Haltungen schwer zu sichern. Andererseits bedarf die Simulation eines einzelnen Ereignisses soviel Rechenzeit, daß eine Analyse des Verhaltens des Entwässerungssystems unter diesen Umständen nicht mehr vertretbar ist.

Die Herstellung einer groben Darstellung des Systems ist demzufolge unumgänglich. Dieses ist um so sinnvoller, als Meßdaten vorliegen, anhand derer eine direkte Verifizierung möglich ist (siehe Teil III).

Bei dem Aufbau des Grobnetzes wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- 1) die wichtigsten Entwässerungswege werden dargestellt;
- 2) die in-line Speicherkapazitäten werden gut angenähert.

Da bei der Abschätzung der Speicherauslastung innerhalb der Kanalisation die Wasserstandsmeßstellen eine wesentliche Rolle spielen, wird besonders darauf geachtet, daß zwischen den realen Pegeln und den im Modell entsprechenden Schächten die bestmögliche Übereinstimmung bezüglich der Ganglinie erreicht wird.

II) Kalibrierung der Simulation mit dem Modell Hystem-Extran. (siehe Zin 1990).

Die Kalibrierung besteht darin, Simulationen von Ereignissen durchzuführen und die Ergebnisse mit den Meßdaten zu vergleichen. Wenn sie als unzureichend beurteilt werden, werden bestimmte Parameter des Modells geändert und neue Simulationen durchgeführt. Der

Vorgang wird so lange iteriert, bis entweder die Ergebnisse akzeptabel sind oder das Modell als ungeeignet abgewiesen wird.

Die Simulation wird in vier Bearbeitungsstufen unterteilt:

- 1) Lesen der Niederschlagsdaten,
- 2) Berechnung der Verluste,
- 3) Berechnung der Zuflußwelle,
- 4) Berechnung des Transports.

Bei jeder Stufe treten Fehler auf. Sie werden durch Modifizierung entsprechender Parameterwerte vermindert. Im Folgenden werden für jede Stufe die zu berücksichtigenden Parameter aufgelistet.

1) Lesen des Niederschlags.

Da es auf dem gesamten Gebiet drei Regenschreiber gibt, wird bei der Berechnung der Zuflußwelle einer jeweiligen Haltung ein bestimmter Regenschreiber zugeordnet. Es soll überprüft werden, ob die gewählte Zuordnung sinnvoll vorgenommen worden ist.

2) Berechnung der Verluste

Eine Volumenbilanz, bei der die gesamte Zuflußwelle der gesamten Abflußwelle gegenübergestellt wird, wird während der Simulation vorgenommen. Falls eine zu grosse Diskrepanz auftritt, werden die Parameter der Regenverluste geändert.

Da das Zuflußvolumen aus durchlässigen Flächen bei durchschnittlichen Ereignissen klein bleibt, werden die folgenden Parameter zur Berechnung der Verluste in undurchlässigen Flächen vorrangig modifiziert.

- a) Muldenverluste (Mv),
- b) Anteil der abflußwirksamen Flächen zu Beginn der Muldenauffüllphase in % (Ao),
- c) Anteil der abflußwirksamen Flächen am Ende der Muldenauffüllphase in %. (Ae).

3) Simulation der Abflußkonzentration

Wenn die Form der Ganglinie (bei korrekter Volumenbilanz) nicht stimmt, muß die Übertragungsfunktion modifiziert werden. In Hystem beruht der Aufbau dieser Funktion auf dem Einsatz der Einheitsganglinie (Verworn;1980). Es werden folgende Annahmen vorausgesetzt:

- lineare Steigung der Einheitswelle bis zum Scheitel,
- exponentielle Absenkung der Funktion.

Dementsprechend gibt es drei Parameter:

- der Abflußscheitelwert (Q_{ps}),
- die Schwerpunktlaufzeit (t_{ps}),
- die Speicherkonstante (K_s).

Beziehungen zwischen den Standardparametern und den auf das Gebiet bezogenen Parametern wurden durch statistische Analysen und eine Kontinuitätsbedingung erstellt:

$$Q_p = (Q_{ps} * A) / (0.006 * t_L),$$

$$t_p = t_{ps} * t_L,$$

$$k = (A / (0.006 * Q_p) - t_p / 2) / 0.99.$$

A: entsprechende (undurchlässige) Haltungsfläche
 t_L : Schwerpunktlaufzeit

Für undurchlässige Flächen gilt die Gleichung:

$$t_L = \alpha_u + 0.87 * \ln A - 3 * L / l_f$$

L: Haltungslänge

l_f : Länge des Oberflächenabflußwegs

Der Parameter t_L hängt stark ab von α_u . Nimmt der Wert von α_u zu, wird die entsprechende Abflußwelle verzögert und der Scheitelabfluß vermindert.

Für durchlässige Flächen gilt die Gleichung:

$$t_L = \alpha_d + 0.4 * (l_f^{0.593} / i_{eff}^{0.388} * S_0^{0.38} * kst^{0.605})$$

i_{eff} : Effektivniederschlag (in mm/min); dieses ist die maximale Effektivniederschlagsintensität über 10 min innerhalb des Ereignisses,

So: durchschnittliches Gebietsgefälle in der Haltung,

kst : Rauigkeitsbeiwert der Oberfläche nach Manning-Strickler.

Die oben genannten Parameter werden für alle Haltungen in der Eingabedatei HYSPEAR (Hystem-parameter) einheitlich festgesetzt. In der Kanalnetzdatei kann man darüberhinaus haltungsweise spezifische Werte eingeben.

4) Berechnung des Transports

Der Transport wird von Extran simuliert. Als Zustandsgrößen gelten:

- die Wasserstände in jedem Schacht,
- der Durchfluß in jeder Haltung.

Dabei wird die Kontinuitätsgleichung zur Berechnung der Wasserstände und die Bewegungsgleichung zur Berechnung der Durchflüsse herangezogen.

Bei der Simulation der Transportvorgänge tritt eine zusätzliche Schwierigkeit betreffend der Stabilität des Algorithmus zur Lösung der Differentialgleichung auf. Als erstes muß die Courant-Bedingung erfüllt sein (siehe Scheffer 1987), damit die explizite Differenzenmethode konvergieren kann. Wenn aber Einstau oder Überstau auftreten, wird darüberhinaus der Algorithmus relativ instabil. Als Ergebnis dieser Instabilitäten können erhebliche Fehler bei der Volumenbilanz auftreten.

Das Stabilitätsproblem und die Netzbeschreibung sind nicht ganz voneinander zu trennen, da bei Extran eine Haltungsstrecke als infinitesimaler Kanalabschnitt betrachtet wird. Das heißt, durch eine geschickte Netzdarstellung kann man Instabilitäten auf einem niedrigen Niveau halten. Insbesondere muß vermieden werden, daß die Längen von aufeinander folgenden Haltungen deutlich unterschiedlich sind. Unter der Voraussetzung, daß die

Haltungsinformationen den Gegebenheiten im Netz entsprechen, kann eine verbleibende Diskrepanz aus dem Folgendem resultieren.

- a) Ungenauigkeit bei der Abschätzung des Kanalnetzstauraums:
Aufgrund der Netzvereinfachung, werden viele Rohre nicht betrachtet. Dies kann zu einer Unterschätzung der in-line Speicherkapazität führen. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, wird versucht, virtuelle Speicherkapazitäten den dargestellten Schächten und Röhren zuzuordnen. In der ersten Konfiguration werden entsprechende Schachtoberflächen erhöht oder bestimmte Speicherschächte eingesetzt (siehe Modellbeschreibung Teil II). Programmtechnisch entstehen Probleme daraus, daß relativ komplizierte Speicherauslastungskurven nicht gut reproduziert werden können. In der zweiten Konfiguration werden Durchmesser von Rohren dementsprechend vergrößert. Die Speicherauslastungskurven werden dann in den meisten Fällen gut reproduziert. Die Fließvorgänge aber, bedingt durch die geänderte Rohrgeometrie, werden möglicherweise entstellt.
- b) Die richtige Abschätzung der Energieverluste durch die Reibung:
Je grösser die Reibungsverluste angenommen werden, desto 'ruhiger' verlaufen die Ganglinien. Die rechnerisch bedingte Instabilitätsgefahr nimmt ab. Die Einstau- bzw Überstaugefahr nimmt jedoch zu.

III) Reihenfolge der Kalibrierung, Zusammenfassung

- 1) Volumenfehler überprüfen
 - 1.a) die Wahl der Regenschreiber überprüfen,
 - 1.b) die Verlustparameter überprüfen.
- 2) die Form der Oberflächenabflußganglinien überprüfen
 - 2.a) bei den undurchlässigen Flächen α_u modifizieren,
 - 2.b) bei den durchlässigen Flächen α_d und k_{st} modifizieren.
- 3) die Form der Transportwelle überprüfen
 - 3.a) die Speicherraumauslastungskurven überprüfen,
 - 3.b) die Reibungsverluste modifizieren.

Anlage 4 :BESCHREIBUNG DES NETZES IM MODELL

I) Statistische Angaben zum Kanalnetz :

Anzahl Haltungen	:	62	
Anzahl Schächte	:	71	
Anzahl Speicherschächte	:	6	
Anzahl Pumpen	:	8	
Anzahl Wehre	:	3	
Anzahl Freie Auslässe	:	3	
Gesamtlänge des Kanalnetzes	:	35391	(m)
Einzugsgebiet Gesamt	:	920.62	(Ha)
Undurchlässig	:	447.81	(Ha)
Durchlässig	:	472.81	(Ha)
Trockenwetterabfluss Gesamt	:	390.	(l/s)
Konstant	:	390.	(l/s)

II) Bestandsdaten des Kanalnetzes (Teil I):

Nr	Haltung	Schacht Oben	Schacht Unten	Geländehöhe		Sohlhöhe		Länge (m)	Gefälle (%)	Haltungsfläche	
				Oben (m+NN)	Unten (m+NN)	Oben (m+NN)	Unten (m+NN)			Gesamt (Ha)	Undurchl. (Ha)
1	KS1	KS1	KS2-H25	5.20	4.57	1.28	.91	927.00	.040	56.98	20.25
2	KS2	KS2-H25	KS3	4.57	4.64	.91	.68	300.00	.077	8.32	3.14
3	KS3	KS3	KS4	4.64	4.96	.68	.43	653.00	.038	40.19	14.82
4	KS4	KS4	KS7	4.96	5.04	.43	.17	223.00	.117	7.89	3.58
5	KS5	KS5	KS6	5.31	5.12	1.00	.75	360.00	.069	22.50	4.87
6	KS6	KS6	KS7	5.12	5.04	.75	.17	720.00	.081	43.19	15.68
7	KS7	KS7	KPIT-H22	5.04	4.60	.12	-.77	376.00	.237	4.15	.95
8	KN1	KN1	KPIT-H22	8.67	4.60	3.27	-.62	1050.00	.370	50.86	19.32
9	KRB	KRB-H23	KRB1	5.10	5.10	4.60	4.60	60.00	.000	.00	.00
10	HZ1	HZ1	HZ2-H21	4.50	4.59	2.40	2.14	550.00	.047	4.73	3.64
11	HZ2	HZ2-H21	HZ5	4.59	4.60	2.14	2.04	70.00	.143	.60	.46
12	HZ3	HZ3	HZ4	4.72	4.75	2.69	2.50	510.00	.037	20.31	9.09
13	HZ4	HZ4	HZ5	4.75	4.60	2.50	2.04	420.00	.110	6.18	2.64
14	HZ5	HZ5	HZ6	4.60	4.13	1.48	.09	1220.00	.114	5.67	2.00
15	HZ6	HZ6	HZ8	4.13	4.08	.09	-.49	520.00	.112	2.48	.23

Nr	Haltung	Schacht Oben	Schacht Unten	Geländehöhe		Sohlhöhe		Länge (m)	Gefälle (%)	Haltungsfläche	
				Oben (m+NN)	Unten (m+NN)	Oben (m+NN)	Unten (m+NN)			Gesamt (Ha)	Undurchl. (Ha)
16	HZ7	HZ7	HZ8	4.72	4.08	1.57	1.09	980.00	.049	31.27	10.69
17	HZ8	HZ8	HZ10	4.08	4.35	-.49	-.63	269.00	.052	1.00	.22
18	HZ9	HZ9	HZ10	5.07	4.35	1.55	1.12	560.00	.077	9.94	3.96
19	HZ10	HZ10	HZ11-H19	4.35	4.43	-.63	-.91	300.00	.093	3.46	1.97
20	HZ11	HZ11-H19	HZ12	4.43	4.67	-.91	-1.13	160.00	.137	2.67	1.52
21	HZ12	HZ12	HZ13-H17	4.67	4.67	-1.13	-1.79	600.00	.110	8.00	4.55
22	HS1	HS1	HS3	4.21	4.49	1.94	.80	1260.00	.090	24.36	17.00
23	HS2	HS2	HS3	4.10	4.49	1.69	.80	1320.00	.067	41.14	19.46
24	HS3	HS3	HZ12	4.49	4.67	.80	-1.17	800.00	.246	19.66	8.53
25	HN1	HN1	HN3	5.87	5.78	3.07	1.70	300.00	.457	3.69	3.51
26	HN2	HN2	HN3	6.93	5.78	2.12	1.68	380.00	.116	19.30	17.88
27	HN3	HN3	HN8-H15	5.78	6.10	1.67	1.61	280.00	.021	6.68	5.80
28	HN4	HN4	HN5	7.62	9.66	4.98	3.32	420.00	.395	10.71	6.25
29	HN5	HN5	HN8-H15	9.66	6.10	2.78	1.58	1100.00	.109	27.97	19.35
30	HN6	HN6	HN7	5.53	4.89	2.53	1.88	240.00	.271	4.88	4.59
31	HN7	HN7	HN8-H15	4.89	6.10	1.88	1.61	280.00	.096	1.47	1.31
32	HN8	HN8-H15	HN11	6.10	5.57	1.58	1.42	240.00	.067	1.61	1.04
33	HN9	HN9	HN10	5.14	3.35	2.37	1.78	880.00	.067	31.89	17.77
34	HN10	HN10	HN11	3.35	5.57	1.78	1.51	380.00	.071	6.48	4.58
35	HN11	HN11	HN19	5.57	4.55	1.42	.88	500.00	.108	8.38	6.89
36	HN12	HN12	HN14	3.71	3.29	1.58	1.38	181.00	.110	5.76	2.61
37	HN13	HN13	HN14	4.12	3.29	2.03	1.38	736.00	.088	29.49	19.39
38	HN14	HN14	HN19	3.29	4.55	1.38	.88	400.00	.125	5.93	4.12
39	HN15	HN15	HN16	7.05	4.76	3.10	2.26	380.00	.221	12.19	5.44
40	HN16	HN16	HN18	4.76	5.11	2.26	1.95	800.00	.039	35.44	18.28
41	HN17	HN17	HN18	4.89	5.11	2.39	1.92	520.00	.090	18.74	12.54
42	HN18	HN18	HN19	5.11	4.55	1.92	.79	2250.00	.050	103.00	61.41
43	HN19	HN19	HZ13-H17	4.55	4.67	.61	.33	240.00	.117	2.01	1.34
44	RN1	RN1	RPIT-H4	3.11	4.00	.13	-.74	350.00	.249	15.23	2.10
45	RO1	RO1	RPIT-H4	3.82	4.00	.19	-1.06	3600.00	.035	36.49	5.54
46	RS2	RS2	RS3	4.53	4.40	1.22	.86	360.00	.100	18.75	8.78
47	RS1	RS1	RS3	4.42	4.40	.97	.84	382.00	.034	7.49	2.83
48	RS3	RS3	RS5	4.40	4.68	.84	.18	1380.00	.048	20.37	8.07
49	RS4	RS4	RS5	4.40	4.68	.84	.18	1300.00	.051	48.54	24.74
50	RS5	RS5	RS6-H9	4.68	4.80	.18	.06	280.00	.043	.00	.00
51	RS6	RS6-H9	RS8	4.80	4.31	.06	-.07	300.00	.043	.56	.29
52	RS7	RS7	RS8	5.17	4.31	.34	.23	196.00	.056	10.64	5.53
53	RS8	RS8	HZ14	4.31	4.22	-.07	-.16	266.00	.034	3.54	2.07

Nr	Haltung	Schacht		Geländehöhe		Sohlhöhe		Länge (m)	Gefälle (%)	Haltungsfläche	
		Oben	Unten	Oben (m+NN)	Unten (m+NN)	Oben (m+NN)	Unten (m+NN)			Gesamt (Ha)	Undurchl. (Ha)
54	HZ13	HZ13-H17	HZ14	4.67	4.22	-1.79	-1.85	331.00	.018	5.79	4.35
55	HZ14	HZ14	HPIT-H10	4.22	3.96	-1.85	-1.90	331.00	.015	2.05	.84
56	HRB	HRB-H11	HRB1	4.83	4.83	4.33	4.33	60.00	.000	.00	.00
57	KAl	KAl	AUS1	20.00	20.00	-1.90	-1.90	100.00	.000	.00	.00
58	HP1	HP1	HP2	4.85	4.85	1.10	.00	60.00	1.833	.00	.00
59	WB1	WB1	AUS2-H35	4.85	1.00	.00	-2.95	1200.00	.246	.00	.00
60	HP2	HP2	HP3-H27	4.85	4.85	.00	.00	60.00	.000	.00	.00
61	WA1	WA1	WA2	4.85	4.07	2.00	1.65	76.00	.461	.00	.00
62	WA2	WA2	AUS3	4.07	3.60	1.15	1.10	44.00	.114	.00	.00

III) Bestandsdaten (Teil 2) des Kanalnetzes :

Nr	Haltung	Schacht		Profil			Quer Schnitt (m**2)	Kb (mm)	Q Voll (m**3/s)	V Voll (m/s)	Zuflüsse	
		Oben	Unten	Typ	Höhe (m)	Breite (m)					Gesamt (l/s)	Konstant (l/s)
1	KS1	KS1	KS2-H25	2	1.29	1.29	1.31	1.50	.909	.70	15.40	15.40
2	KS2	KS2-H25	KS3	2	1.29	1.29	1.31	1.50	1.263	.97	1.20	1.20
3	KS3	KS3	KS4	2	1.39	1.39	1.52	1.50	1.083	.71	9.10	9.10
4	KS4	KS4	KS7	2	1.39	1.39	1.52	1.50	1.898	1.25	1.20	1.20
5	KS5	KS5	KS6	2	1.02	1.02	.82	1.50	.648	.79	38.70	38.70
6	KS6	KS6	KS7	2	1.45	1.45	1.65	1.50	1.761	1.07	10.60	10.60
7	KS7	KS7	KPIT-H22	2	1.45	1.45	1.65	10.00	2.329	1.41	.00	.00
8	KN1	KN1	KPIT-H22	2	1.23	1.23	1.19	10.00	1.881	1.58	8.80	8.80
9	KRB	KRB-H23	KRB1	2	.50	.50	.20	1.50	.003	.02	.00	.00
10	HZ1	HZ1	HZ2-H21	2	2.02	2.02	3.20	1.50	3.214	1.00	.90	.90
11	HZ2	HZ2-H21	HZ5	2	2.02	2.02	3.20	1.50	5.603	1.75	.10	.10
12	HZ3	HZ3	HZ4	2	1.17	1.17	1.08	1.50	.679	.63	1.90	1.90
13	HZ4	HZ4	HZ5	2	1.17	1.17	1.08	1.50	1.169	1.09	5.00	5.00
14	HZ5	HZ5	HZ6	2	2.02	2.02	3.20	1.50	5.001	1.56	.00	.00
15	HZ6	HZ6	HZ8	2	2.02	2.02	3.20	1.50	4.948	1.54	.00	.00
16	HZ7	HZ7	HZ8	2	1.80	1.80	2.54	1.50	2.418	.95	13.70	13.70
17	HZ8	HZ8	HZ10	2	2.02	2.02	3.20	1.50	3.373	1.05	.00	.00
18	HZ9	HZ9	HZ10	2	1.80	1.80	2.54	1.50	3.032	1.19	3.70	3.70

Nr	Haltung	Schacht		Profil		Quer Schnitt (m**2)	Kb (mm)	Q Voll (Stationär) (m**3/s)	V Voll (m/s)	Zuflüsse		
		Oben	Unten	Typ	Höhe (m)					Breite (m)	Gesamt (l/s)	Konstant (l/s)
19	HZ10	HZ10	HZ11-H19	2	2.55	2.55	5.11	1.50	8.329	1.63	1.80	1.80
20	HZ11	HZ11-H19	HZ12	2	2.55	2.55	5.11	1.50	10.116	1.98	1.40	1.40
21	HZ12	HZ12	HZ13-H17	2	2.55	2.55	5.11	1.50	9.045	1.77	4.20	4.20
22	HS1	HS1	HS3	2	1.05	1.05	.87	1.50	.799	.92	3.80	3.80
23	HS2	HS2	HS3	2	1.29	1.29	1.31	1.50	1.184	.91	22.70	22.70
24	HS3	HS3	HZ12	2	1.55	1.55	1.89	1.50	3.677	1.95	11.40	11.40
25	HN1	HN1	HN3	2	.85	.85	.57	1.50	1.033	1.82	.70	.70
26	HN2	HN2	HN3	2	1.23	1.23	1.19	1.50	1.371	1.15	85.00	85.00
27	HN3	HN3	HN8-H15	2	1.37	1.37	1.47	1.50	.778	.53	7.40	7.40
28	HN4	HN4	HN5	2	.64	.64	.32	1.50	.455	1.41	1.90	1.90
29	HN5	HN5	HN8-H15	2	1.65	1.65	2.14	1.50	2.879	1.35	19.80	19.80
30	HN6	HN6	HN7	2	1.18	1.18	1.09	1.50	1.885	1.72	.00	.00
31	HN7	HN7	HN8-H15	2	.88	.88	.61	1.50	.518	.85	1.30	1.30
32	HN8	HN8-H15	HN11	2	1.78	1.78	2.49	1.50	2.742	1.10	.00	.00
33	HN9	HN9	HN10	2	1.12	1.12	.99	1.50	.814	.83	6.00	6.00
34	HN10	HN10	HN11	2	1.51	1.51	1.79	1.50	1.839	1.03	.00	.00
35	HN11	HN11	HN19	2	1.49	1.49	1.74	1.50	2.192	1.26	.00	.00
36	HN12	HN12	HN14	2	.92	.92	.66	1.50	.624	.94	1.30	1.30
37	HN13	HN13	HN14	2	1.16	1.16	1.06	1.50	1.026	.97	3.10	3.10
38	HN14	HN14	HN19	2	1.29	1.29	1.31	1.50	1.615	1.24	1.90	1.90
39	HN15	HN15	HN16	2	.91	.91	.65	1.50	.859	1.32	3.70	3.70
40	HN16	HN16	HN18	2	1.33	1.33	1.39	1.50	.971	.70	7.20	7.20
41	HN17	HN17	HN18	2	1.07	1.07	.90	1.50	.839	.93	3.10	3.10
42	HN18	HN18	HN19	2	1.65	1.65	2.14	1.50	1.949	.91	46.50	46.50
43	HN19	HN19	HZ13-H17	2	1.78	1.78	2.49	1.50	3.633	1.46	1.20	1.20
44	RN1	RN1	RPIT-H4	2	.82	.82	.53	1.50	.693	1.31	6.70	6.70
45	RO1	RO1	RPIT-H4	2	1.19	1.19	1.11	1.50	.685	.62	1.30	1.30
46	RS2	RS2	RS3	2	1.29	1.29	1.31	1.50	1.444	1.10	2.30	2.30
47	RS1	RS1	RS3	2	1.29	1.29	1.31	1.50	.839	.64	1.90	1.90
48	RS3	RS3	RS5	2	1.29	1.29	1.31	1.50	.996	.76	7.40	7.40
49	RS4	RS4	RS5	2	1.35	1.35	1.43	1.50	1.157	.81	23.50	23.50
50	RS5	RS5	RS6-H9	2	1.62	1.62	2.06	1.50	1.715	.83	.00	.00
51	RS6	RS6-H9	RS8	2	1.90	1.90	2.84	1.50	2.620	.92	.00	.00
52	RS7	RS7	RS8	2	1.08	1.08	.92	1.50	.676	.74	.60	.60
53	RS8	RS8	HZ14	2	1.99	1.99	3.11	1.50	2.611	.84	.00	.00
54	HZ13	HZ13-H17	HZ14	2	2.95	2.95	6.83	1.50	5.349	.78	.60	.60
55	HZ14	HZ14	HPIT-H10	2	2.95	2.95	6.83	10.00	3.864	.57	.00	.00
56	HRB	HRB-H11	HRB1	2	.50	.50	.20	1.50	.003	.02	.00	.00

Nr	Haltung	Schacht Oben	Schacht Unten	Profil		Quer Schnitt (m**2)	Kb (mm)	Q Voll V Voll (Stationär)		Zuflüsse Gesamt Konstant		
				Typ	Höhe (m)			Breite (m)	(m**3/s)	(m/s)	(l/s)	(l/s)
57	KAl	KAl	AUS1	2	1.50	1.50	1.77	1.50	.061	.03	.00	.00
58	HP1	HP1	HP2	2	3.75	2.80	10.50	1.50	87.622	8.34	.00	.00
59	WE1	WE1	AUS2-H35	2	1.80	1.80	2.54	1.50	5.438	2.14	.00	.00
60	HP2	HP2	HP3-H27	2	4.85	2.80	13.58	1.50	.826	.06	.00	.00
61	WA1	WA1	WA2	2	2.20	2.20	3.80	1.50	12.601	3.31	.00	.00
62	WA2	WA2	AUS3	2	1.70	1.70	2.27	1.50	3.178	1.40	.00	.00

Bemerkung:

Profil Typ 2 = Kreisprofil

IV) SONDERBAUWERKE

IV.1) Pumpen im Kanalnetz :

Nr	Pumpe	Schacht Oben	Schacht Unten	Typ	Pumpenleistung Stufen 1 - 5 (m**3/s)	Schaltpunkte	
						Nach Oben (m)	Nach Unten (m)
63	P1	HPIT-H10	KAl	2	.000	1.300	
					.390	1.650	1.250
					.700	2.000	1.550
					1.100	4.600	1.900
					1.800		4.400
64	P2	HPIT-H10	HRB-H11	2	.000	3.400	
					2.000	4.200	3.300
					3.200	999.990	4.100
					5.000	999.990	999.990
65	P3	HP2	WE1	2	.000	.050	
					2.000	999.990	.010
66	P4	KPIT-H22	HZ1	2	.000	.800	
					.085	.900	.600
					.115	1.100	.800
					.465	999.990	1.000
					.815		999.990
67	P5	KPIT-H22	KRB-H23	2	.000	2.200	
					.350	999.990	1.600
					.600	999.990	999.990
					.950	999.990	999.990

Nr	Pumpe	Schacht Oben	Schacht Unten	Typ	Pumpenleistung Stufen 1 - 5 (m ³ /s)	Schaltpunkte Nach Oben (m)	Schaltpunkte Nach Unten (m)
68	P6	RPIT-H4	RS1	2	.000 .008 .060 .091	.010 .100 1.100 999.990	.000 .050 1.050
69	P14	HRB-H11	HPIT-H10	2	.000 .860	999.990 999.990	999.990
70	P15	KRB-H23	KPIT-H22	2	.000 .420	999.990 999.990	999.990

Bemerkung:

Pumpe Typ 2 = 'on-line' Pumpe, deren Steuerung abhängig vom Wasserstand im Sumpf ist.

IV.2) Wehre im Kanalnetz :

Nr	Wehr	Schacht Oben	Schacht Unten	Typ	Schwellenhöhe		Kammerhoehe Über Sohle (m+NN)	Wehr Länge (m)	Überfall Beiwert (m)	Öffnungs Weite (m)	Konstanter Wasser Spiegel (M+nn)
					Über (m)	Über (m+NN)					
71	WEHR1	HRB-H11	HP1	1	4.43	5.38	4.83	5.78	28.40	.50000	.40
72	WEHR2	HP3-H27	WA1	1	4.13	4.13	4.53	4.53	6.40	.50000	.40
73	WEHR3	KRB-H23		1	4.80	5.25	5.10	5.55	22.74	.50000	.30

Bemerkung :

Wehr Typ 1 = Querwehr

IV.3) Speicherschächte im Kanalnetz :

Ein Speicherschacht ist ein Element des Modells. Er kann unter anderem benutzt, um Rückhaltebecken oder Pumpensumpf darzustellen.

Speicher Schacht	Schacht Sohle (m+NN)	Gelände Höhe (m+NN)	Höhenangabe (m+NN)	Höhe (m)	Oberfläche (m ²)	Volumen (m ³)
RPIT-H4 (Pumpensumpf)	-1.62	4.00	-1.62	.00	12.30	.000
			4.00	5.62	12.30	69.126
KPIT-H22 (Pumpensumpf)	-1.86	4.60	-1.86	.00	100.00	.000
			4.60	6.46	100.00	646.000
KRB-H23 (RÖB Krimpel)	-.45	5.10	-.45	.00	1440.00	.000
			5.10	5.55	1440.00	7992.000
HPIT-H10 (Pumpensumpf)	-2.45	3.96	-2.45	.00	100.00	.000
			3.96	6.41	100.00	641.000
HRB-H11 (RÖB HPWL)	-.95	4.83	-.95	.00	.10	.000
			.92	1.87	2100.00	1963.594
			4.83	5.78	2100.00	10174.590
WA2 (Schacht)	1.15	4.07	1.15	.00	.50	.000
			4.07	2.92	.50	1.460

IV.4) Freie Auslässe im Kanalnetz :

Nr	Schacht Oben	Haltung	Konstanter Wasserspiegel (m+NN)
74	AUS1	FR. AUS. 1	
75	AUS2-H35	FR. AUS. 2	1.00
76	AUS3	FR. AUS. 3	1.54

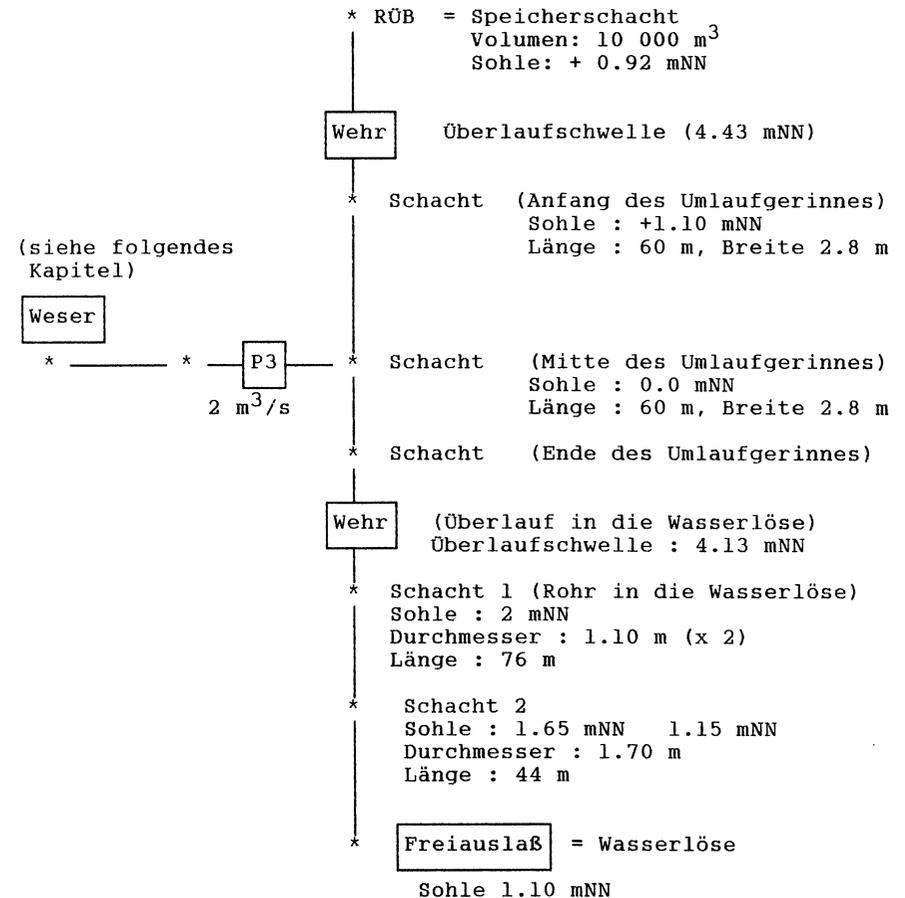
V) Netzverknüpfung des Kanalnetzes :

Nr	Schacht	Angeschlossene Haltungen				
1	KS1	KS1				
2	KS2-H25	KS1	KS2			
3	KS3	KS2	KS3			
4	KS4	KS3	KS4			
5	KS7	KS4	KS6	KS7		
6	KS5	KS5				
7	KS6	KS5	KS6			
8	KPIT-H22	KS7	KN1	P4	P5	P15
9	KN1	KN1				
10	KRB-H23	KRB	P5	P15	WEHR3	
11	KRB1	KRB				
12	HZ1	HZ1	P4			
13	HZ2-H21	HZ1	HZ2			
14	HZ5	HZ2	HZ4	HZ5		
15	HZ3	HZ3				
16	HZ4	HZ3	HZ4			
17	HZ6	HZ5	HZ6			
18	HZ8	HZ6	HZ7	HZ8		
19	HZ7	HZ7				
20	HZ10	HZ8	HZ9	HZ10		
21	HZ9	HZ9				
22	HZ11-H19	HZ10	HZ11			
23	HZ12	HZ11	HZ12	HS3		
24	HZ13-H17	HZ12	HN19	HZ13		
25	HS1	HS1				
26	HS3	HS1	HS2	HS3		
27	HS2	HS2				
28	HN1	HN1				
29	HN3	HN1	HN2	HN3		
30	HN2	HN2				
31	HN8-H15	HN3	HN5	HN7	HN8	
32	HN4	HN4				
33	HN5	HN4	HN5			
34	HN6	HN6				
35	HN7	HN6	HN7			
36	HN11	HN8	HN10	HN11		
37	HN9	HN9				
38	HN10	HN9	HN10			

Nr	Schacht	Angeschlossene Haltungen				
39	HN19	HN11	HN14	HN18	HN19	
40	HN12	HN12				
41	HN14	HN12	HN13	HN14		
42	HN13	HN13				
43	HN15	HN15				
44	HN16	HN15	HN16			
45	HN18	HN16	HN17	HN18		
46	HN17	HN17				
47	RN1	RN1				
48	RPIT-H4	RN1	RO1	P6		
49	RO1	RO1				
50	RS2	RS2				
51	RS3	RS2	RS1	RS3		
52	RS1	RS1	P6			
53	RS5	RS3	RS4	RS5		
54	RS4	RS4				
55	RS6-H9	RS5	RS6			
56	RS8	RS6	RS7	RS8		
57	RS7	RS7				
58	HZ14	RS8	HZ13	HZ14		
59	HPIT-H10	HZ14	P1	P2	P14	
60	HRB-H11	HRB	P2	P14	WEHR1	
61	HRB1	HRB				
62	KAL	KAL	P1			
63	AUS1	KAL	FR. AUS. 1			
64	HP1	HP1	WEHR1			
65	HP2	HP1	HP2	P3		
66	WB1	WB1	P3			
67	AUS2-H35	WB1	FR. AUS. 2			
68	HP3-H27	HP2	WEHR2			
69	WA1	WA1	WEHR2			
70	WA2	WA1	WA2			
71	AUS3	WA2	FR. AUS. 3			

ERLÄUTERUNG ZUR MODELLBESCHREIBUNG DER BEIDEN
PUMPWERKE HPWL UND KRIMPEL

1) PUMPWERK HPWL

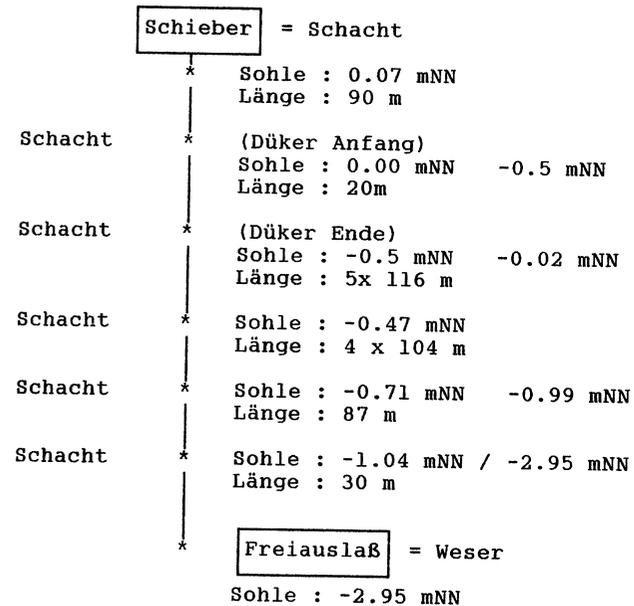


1) Der Wasserspiegel in der Wasserlöse schwankt zwischen 1.10mNN (im Sommer) und 2.60 mNN (im Winter). Der durchschnittliche Wert ist 1.54 mNN.

2) Das Umlaufgerinne hat ein Volumen von 918 m³ und eine Länge von 120 m.

2) DER WEG IN DIE WESER

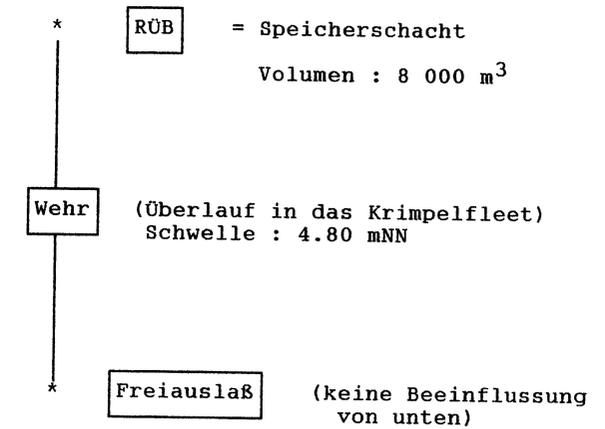
Der Zufluß in die Weser wird im Modell nicht genau reproduziert. Es wird angenommen, daß die gesamte Wassermenge, die in das Umlaufgerinne gelangt, durch die Pumpe P3 in die Weser weitergeleitet wird. Die Förderleistung der Pumpe ist $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Es gibt in der Realität ebenfalls eine Pumpe, doch das Wasser kann auch im freien Gefälle in die Weser fließen, sofern die hydraulischen Bedingungen günstig sind. In diesem Fall fließt das Wasser durch einen Schieber. Der Weg des Wassers wird in der folgenden Skizze schematisch dargestellt.



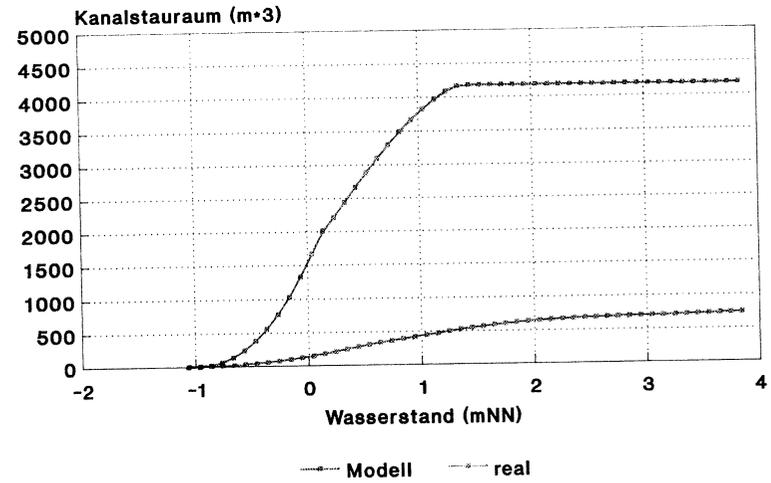
1) Der Durchmesser des Rohres ist konstant über den Weg und beträgt 1.80 m.

2) Der Wasserspiegel der Weser schwankt zwischen -1.20 mNN (bei Tideniedrigwasser) und 2.25 mNN (bei Tidehochwasser).

3) PUMPWERK KRIMPEL

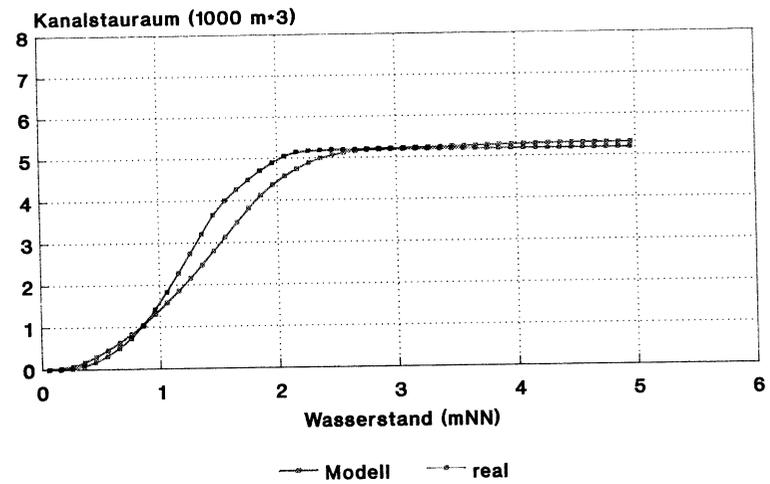


Speicherkenlinie für Pegel H04



Sohlhöhe :
real -1.08 mNN
im Modell -1.62 mNN (Pumpensumpf)

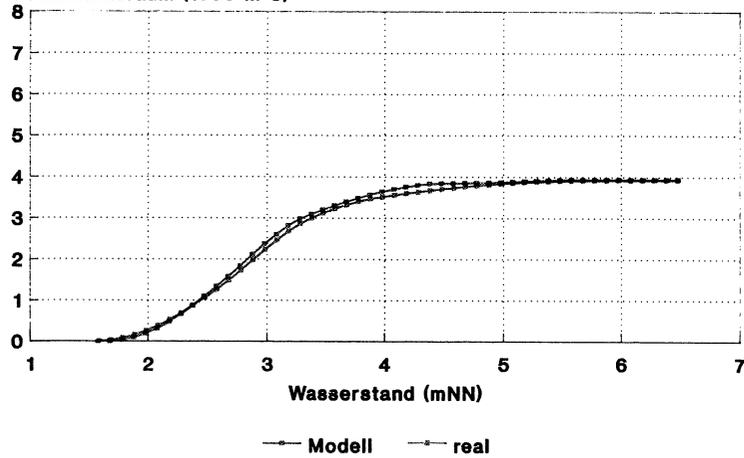
Speicherkenlinie für Pegel H09



Sohlhöhe :
real 0.00 mNN
im Modell 0.08 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H15

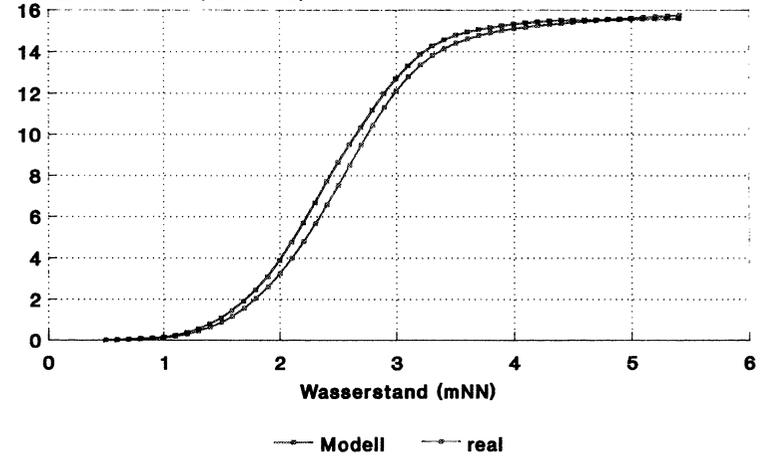
Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
 real 1.81 mNN
 im Modell 1.58 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H17

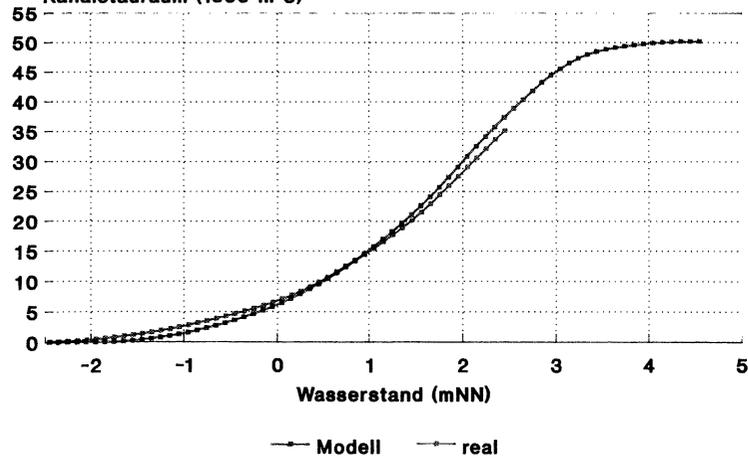
Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
 real 0.35 mNN
 im Modell 0.33 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H10

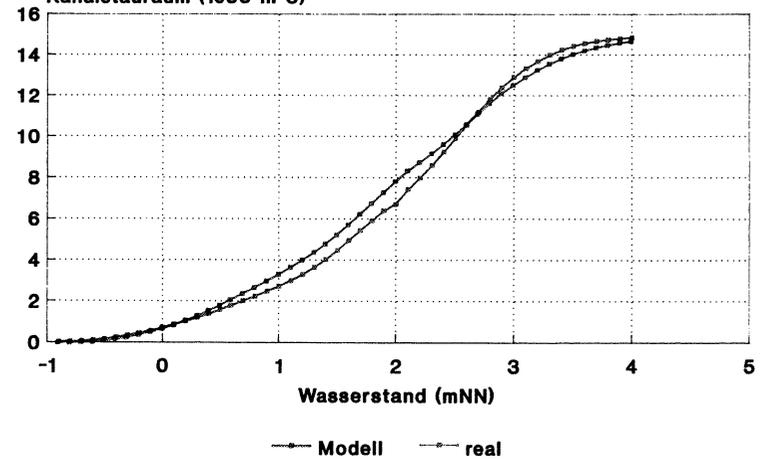
Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
 real -2.45 mNN
 im Modell -2.45 mNN (Pumpenempft)

Speicherkenlinie für Pegel H19

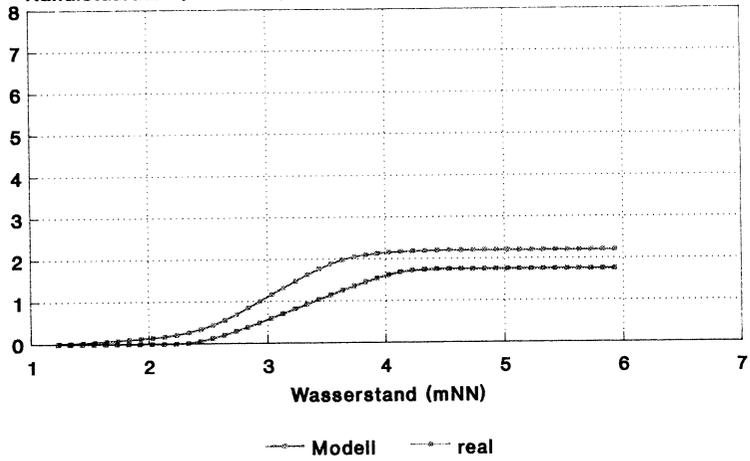
Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
 real -0.85 mNN
 im Modell -0.91 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H21

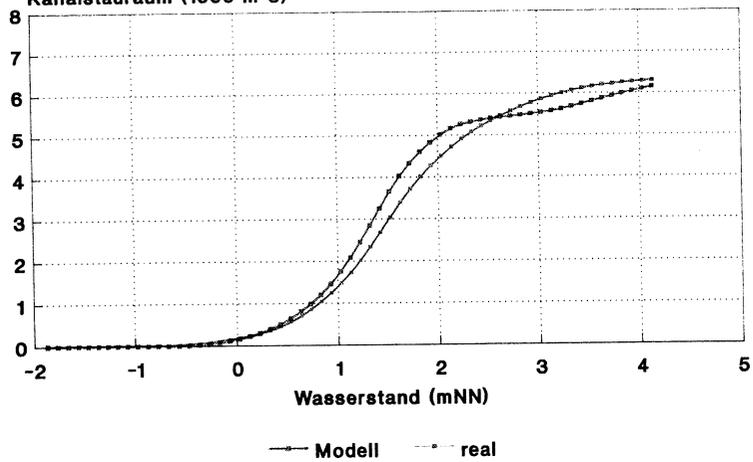
Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
real 1.28 mNN
im Modell 2.14 mNN

Speicherkenlinie für Pegel H22

Kanalstauraum (1000 m³)



Sohlhöhe :
real -1.88 mNN
im Modell -1.88 mNN (Pumpensumpf)

ANLAGE 7: ANALYSE DES
TROCKENWETTERZUSTANDES IM MISCHSYSTEM

1.) TROCKENWETTERDURCHFLÜSSE [L/S]

HALTUNG	DURCHFLUSS [l/s]	HALTUNG	DURCHFLUSS [l/s]
KS1	7.7000	KS2	15.9999
KS3	21.1497	KS4	26.2998
KS5	19.3500	KS6	43.9997
KS7	76.1996	KN1	4.4892
KRB	.0000	HZ1	85.4500
HZ2	85.9500	HZ3	.9500
HZ4	4.4000	HZ5	92.8996
HZ6	92.9003	HZ7	7.4145
HZ8	106.8679	HZ9	1.8500
HZ10	111.2444	HZ11	112.8654
HZ12	153.5963	HS1	1.9000
HS2	11.3499	HS3	32.1997
HN1	.3500	HN2	42.5000
HN3	89.3635	HN4	.9500
HN5	11.7999	HN6	.0000
HN7	2.0656	HN8	116.2006
HN9	3.0000	HN10	6.0907
HN11	122.0583	HN12	.6500
HN13	1.5500	HN14	5.3500
HN15	1.8500	HN16	7.3000
HN17	1.5500	HN18	37.2511
HN19	189.5072	RN1	3.3500
RO1	.4650	RS2	1.1500
RS1	8.9500	RS3	15.8179
RS4	11.7499	RS5	42.8543
RS6	42.8138	RS7	.3000
RS8	43.3667	HZ13	346.1089
HZ14	389.7665	HRB	.0000
KA1	389.9999	HP1	.0000
WE1	-1.0000	HP2	.0000
WA1	.0000	WA2	-.7723
P1	390.0000	P2	.0000
P3	.0000	P4	85.0000
P5	.0000	P6	8.0000
P14	.0000	P15	.0000
WEHR1	.0000	WEHR2	.0000
WEHR3	.0000	FR.AUS1	389.9999
FR.AUS2	-1.0000	FR.AUS3	-.7723

2.) TROCKENWETTERWASSERSTÄNDE

SCHACHT	WASSERSTAND		SCHACHT	WASSERSTAND	
	ü. Sohle [cm]	[mNN]		ü. Sohle [cm]	[mNN]
KS1	6.50	1.35	KS2-H25	7.86	0.99
KS3	12.95	0.81	KS4	9.78	0.53
KS7	16.57	0.29	KS5	7.01	1.07
KS6	15.02	0.90	KPIT-H22	75.41	-1.11
KN1	4.92	3.32	KRB-H23	.00	-0.45
KRB1	.00	4.60	HZ1	35.50	2.76
HZ2-H21	24.16	2.38	HZ5	26.48	1.74
HZ3	2.65	2.96	HZ4	5.17	2.55
HZ6	26.62	0.36	HZ8	34.84	-0.14
HZ7	9.36	1.66	HZ10	40.19	-0.23
HZ9	4.60	1.60	HZ11-H19	35.10	-0.56
HZ12	55.60	-0.57	HZ13-H17	115.38	-0.64
HS1	3.02	1.97	HS3	9.98	0.90
HS2	6.88	1.76	HN1	.53	3.08
HN3	28.41	1.95	HN2	10.96	2.24
HN8-H15	33.72	1.92	HN4	2.20	5.00
HN5	8.01	2.86	HN6	.00	2.53
HN7	3.52	1.92	HN11	22.75	1.65
HN9	4.31	2.41	HN10	6.04	1.84
HN19	33.17	0.94	HN12	1.53	1.60
HN14	5.07	1.43	HN13	2.72	2.06
HN15	2.27	3.12	HN16	6.58	2.33
HN17	2.69	2.42	HN18	18.48	2.10
RN1	3.36	0.16	RPIT-H4	.54	-1.61
RO1	3.11	0.22	RS2	2.21	1.24
RS3	8.81	0.93	RS1	7.24	1.04
RS5	18.52	0.33	RS4	7.84	0.92
RS6-H9	21.64	0.28	RS8	25.28	0.18
RS7	1.96	0.36	HZ14	113.39	-0.72
HPIT-H10	131.00	-1.14	HRB-H11	.00	0.00
HRB1	.00	4.33	KA1	55.00	20.55
AUS1	43.53	-1.47	HP1	.00	1.10
HP2	.00	0.00	WE1	99.66	1.00
AUS2-H35	395.00	1.00	HP3-H27	.00	0.00
WA1	.00	2.00	WA2	38.88	1.54
AUS3	44.00	1.54	-	-	-

3.) Vergleich zwischen gemessenen Trockenwetterwasserständen und simulierten Trockenwetterwasserständen an einigen ausgesuchten Schächten

Wasserstände der Meßstellen sind auf die Kanalsohle bezogen!

Datum	H04 [m]	H09 [m]	H10 [m]	H15 [m]	H17 [m]	H19 [m]	H21 [m]	H22 [m]	H25 [m]
10.5.88	1.05	0.35	1.69	0.33	0.41	0.35	0.25	0.90	0.34
11.5.88	1.04	0.35	1.89	0.33	0.41	0.33	0.25	0.93	0.38
12.5.88	1.05	0.35	1.51	0.27	0.33	0.35	0.25	0.90	0.35
17.5.88	1.04	0.35	1.55	0.34	0.42	0.33	0.25	0.91	0.42
18.5.88	1.04	0.35	1.66	0.32	0.40	0.32	0.24	0.91	0.36
14.6.88		0.35	1.74	0.29	0.42	0.33	0.25	0.91	0.38
02.8.88		0.36	1.66	0.27	0.40	0.33	0.27	0.96	0.24
03.8.88		0.36	1.65	0.26	0.41	0.48	0.48	2.51	0.24
04.8.88		0.36	1.56	0.30	0.41	0.33	0.28	0.91	0.25
09.8.88		0.36	1.74	0.28	0.56	0.35	0.26	0.91	0.25
10.8.88		0.36	1.65	0.28	0.59	0.33	0.25	0.90	0.25
EXTRAN	0.01	0.21	1.31	0.33	1.15	0.35	0.24	0.75	0.07

ANLAGE 8: ERSTE SIMULATIONSERGEBNISSE

Simulation des Netzes in Bremen
Berechnung der Zuflußwelle mit Hysrad

Parameter der Abfußbildung und Abflußkonzentration:

PARAMETER FUER UN DURCHLAESSIGE FLAECHE

GESAMTFLAECHE UN DURCHLAESSIG	:	447.81	HA
BENETZUNGSVERLUST	:	.70	MM
MULDENVERLUST	:	1.80	MM
ABFLUSSWIRKSAMER ANTEIL DER FLAECHE			
ZU BEGINN DER MULDENAUFFUELLPHASE	:	25.00	%
AM ENDE DER MULDENAUFFUELLPHASE	:	85.00	%
FLIESSZEITPARAMETER	:	11.00	

PARAMETER FUER DURCHLAESSIGE FLAECHE

GESAMTFLAECHE DURCHLAESSIG	:	472.81	HA
BODENKLASSE	:	2	
ANFANGSVERLUST	:	5.00	MM
ANFANGSWASSERGEHALT IN DER BODENZONE	:	10.00	MM
RAUHIGKEITSBEIWERT NACH MANNING-STRICKLER	:	4.00	
FLIESSZEITPARAMETER	:	2.30	
ABFLUSSWIRKSAMER ANTEIL DER FLAECHE	:	100.00	%
GESAMTGEBIETS-FLAECHE	:	920.62	HA

SIMULATION VOM 01.06.88:

GEBIETSNIEDERSCHLAG : 13.537890 MM

STATISTISCHE EINORDNUNG DES NIEDERSCHLAGES

(WIEDERKEHRHAUEFIGKEIT) : >2 / 1 JAHR

SUMME DER ABFLUESSE	GESAMT	:	43228.93	M**3
VON UN DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	43228.93	M**3	
VON DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	.00	M**3	

SIMULATION VOM 08.06.88:

GEBIETSNIEDERSCHLAG : 24.227480 MM

STATISTISCHE EINORDNUNG DES NIEDERSCHLAGES

(WIEDERKEHRHAUEFIGKEIT) : 1.5 / 1 JAHR

SUMME DER ABFLUESSE	GESAMT	:	82164.28	M**3
VON UN DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	82164.28	M**3	
VON DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	.00	M**3	

SIMULATION VOM 27.08.-29.08.88:

GEBIETSNIEDERSCHLAG : 54.825940 MM

STATISTISCHE EINORDNUNG DES NIEDERSCHLAGES

(WIEDERKEHRHAUEFIGKEIT) : 1 / 3.5 JAHRE

SUMME DER ABFLUESSE	GESAMT	:	200331.50	M**3
VON UN DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	198027.60	M**3	
VON DURCHLAESSIGEN FLAECHE	:	2303.83	M**3	

Simulation des Netzes in Bremen
Simulation mit Extran

Ereignis vom 01.06.1988:

SIMULATIONSANFANG : 1. 6.1988 0: 0. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 1. 6.1988 23:55. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 1. 6.1988 0: 0. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 360.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 5688.553 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 76747.660 (M**3)
 DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 33633.2200 (M**3)
 DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 43114.440 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 82436.210 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES EIN-/UEBERSTAU (MIN)	
HZ11-H19	.000	.000 (M**3)	7.33
HZ12	.000	.000 (M**3)	51.17
RS7	.000	.000 (M**3)	12.42
AUS1	67885.520	67885.520 (M**3)	.00
AUS2-H35	-2.253	.000 (M**3)	1435.08
AUS3	.070	.096 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 67883.340 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 15342.970 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 83226.310 (M**3)

VOLUMENFEHLER : - .96 %

Ereignis vom 08.06.1988:

SIMULATIONSANFANG : 8. 6.1988 0: 0. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 8. 6.1988 23:55. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 8. 6.1988 0: 0. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 360.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 5688.553 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 115619.300 (M**3)
 DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 33633.2200 (M**3)
 DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 81986.130 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 121307.900 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES EIN-/UEBERSTAU (MIN)	
HZ11-H19	.000	.000 (M**3)	131.17
HZ12	.000	.000 (M**3)	303.25
RS2	.000	.000 (M**3)	4.92
RS3	.000	.000 (M**3)	31.17
RS1	.000	.000 (M**3)	22.33
RS5	.000	.000 (M**3)	61.75
RS4	.000	.000 (M**3)	21.17
RS6-H9	.000	.000 (M**3)	42.00
RS8	.000	.000 (M**3)	30.83
RS7	.000	.000 (M**3)	132.25
HZ14	.000	.000 (M**3)	24.33
AUS1	71581.630	71581.630 (M**3)	.00
AUS2-H35	33323.860	33361.180 (M**3)	1435.08
AUS3	.070	.096 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 104905.600 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 19669.850 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 124575.400 (M**3)

VOLUMENFEHLER : -2.69 %

Ereignis vom 27.08.-29.08.1989:

SIMULATIONSANFANG : 27. 8.1989 0: 0. 0 UHR
 SIMULATIONSENDE : 30. 8.1989 0: 0. 0 UHR
 BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)
 ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 27. 8.1989 0: 0. 0 UHR
 AUSGABEZEITSCHRITT : 360.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

 ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 5688.553 (M**3)
 GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 299381.900 (M**3)
 DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 100821.8000 (M**3)
 DAVON OBERFLAECHEWABFLUSS : 198560.100 (M**3)

 GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 305070.500 (M**3)

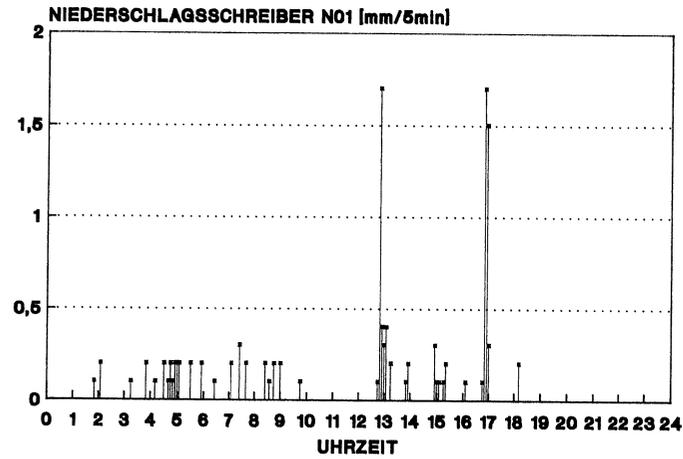
UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN		MAXIMAL	LAENGE DES	
			BIN-/UEBERSTAU	(MIN)
KRB-H23	2129.776	2129.776 (M**3)		.00
HZ6	.000	.000 (M**3)		47.50
HZ11-H19	.000	.000 (M**3)		460.00
HZ12	.000	.000 (M**3)		775.00
HZ13-H17	.000	.000 (M**3)		65.50
HN19	.000	.000 (M**3)		3.75
HN12	.000	.000 (M**3)		1.92
RS3	.000	.000 (M**3)		58.58
RS1	.000	.000 (M**3)		11.17
RS5	.000	.000 (M**3)		240.42
RS4	.000	.000 (M**3)		22.92
RS6-H9	.000	.000 (M**3)		143.00
RS8	.000	.000 (M**3)		137.25
RS7	.000	.000 (M**3)		474.17
HZ14	.000	.000 (M**3)		143.42
AUS1	187286.100	187286.100 (M**3)		.00
AUS2-H35	102457.300	102472.400 (M**3)	4320.08	
AUS3	2475.503	2476.082 (M**3)		.00

 GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 294348.700 (M**3)
 RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 23052.670 (M**3)

 GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 317401.400 (M**3)

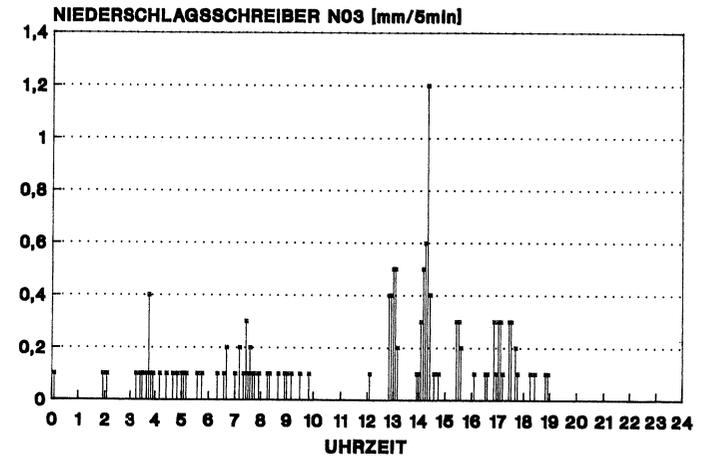
VOLUMENFEHLER : -4.04 %

1.6.1988 NIEDERSCHLAGSDATEN

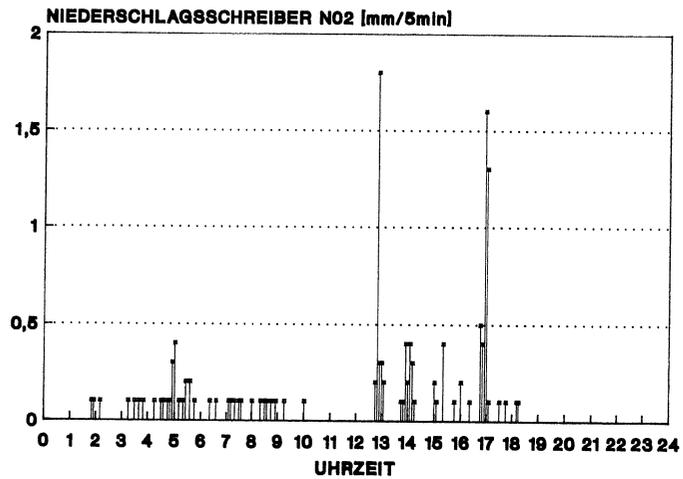


Niederschlagschreiber N01:
Pumpwerk Rablinghausen

1.6.1988 NIEDERSCHLAGSDATEN

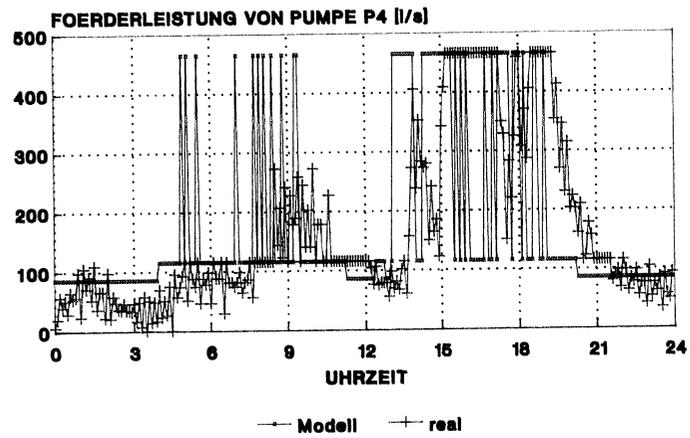


Niederschlagschreiber N03:
Pumpwerk Krimpel



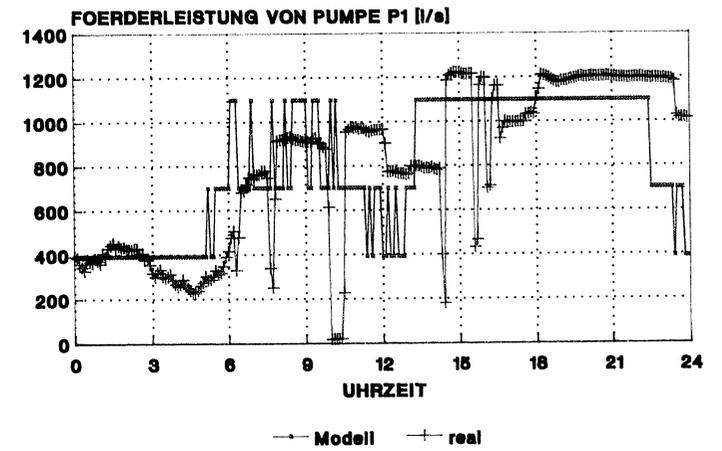
Niederschlagschreiber N02: HPWL

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

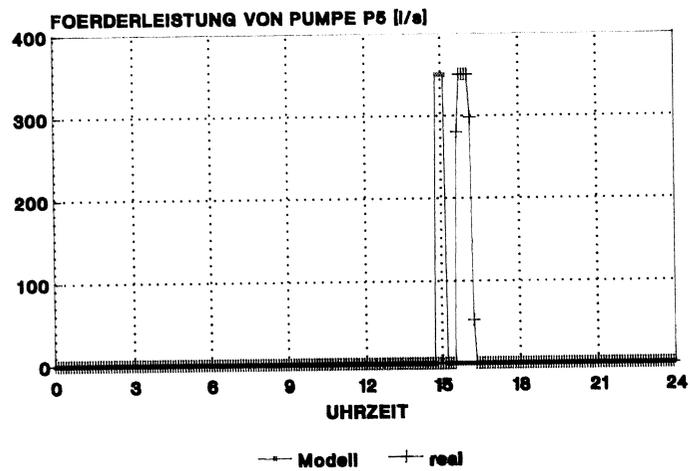


Pumpe P4 : Schmutzwasserpumpe
Krimpel → HPWL

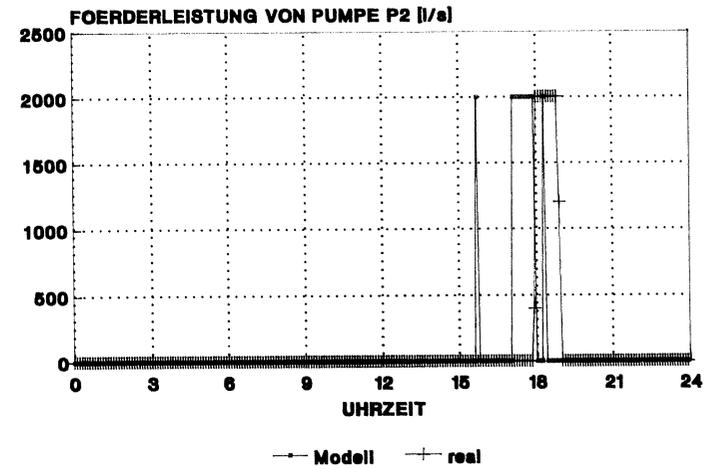
1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Pumpe P1 : Schmutzwasserpumpe HPWL → KA

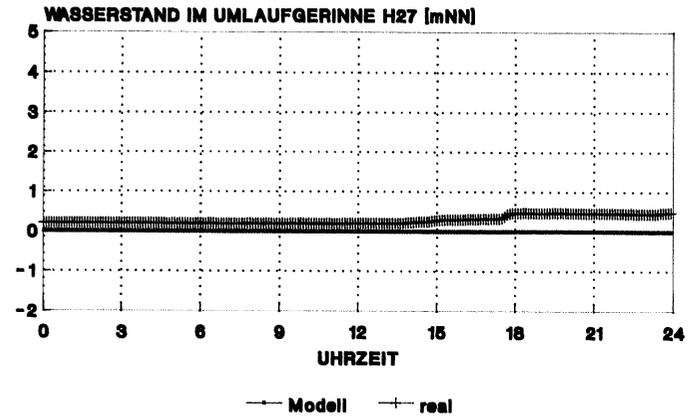


Pumpe P5 : Krimpel-Befüllung der Becken



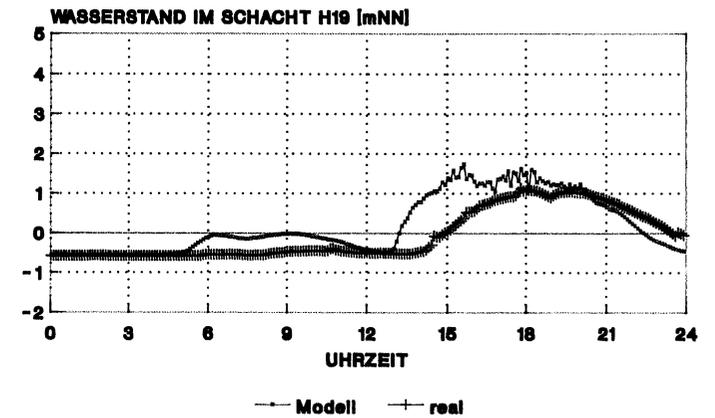
Pumpe P2 : HPWL → Befüllung der Becken

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

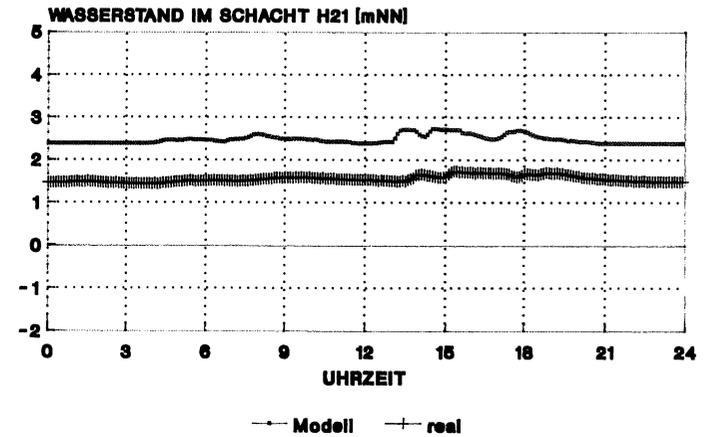


Schichthöhe:
im Modell: 0.00 mNN
real : 0.00 mNN

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

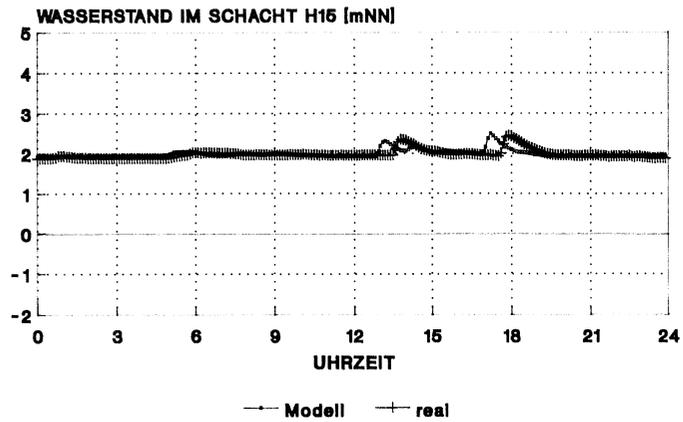


Schichthöhe:
im Modell: -0.51 mNN
real : -0.55 mNN



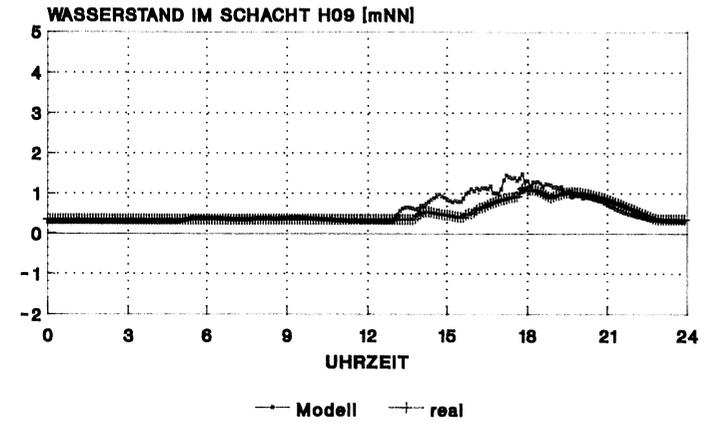
Schichthöhe:
im Modell: 2.14 mNN
real : 1.25 mNN

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



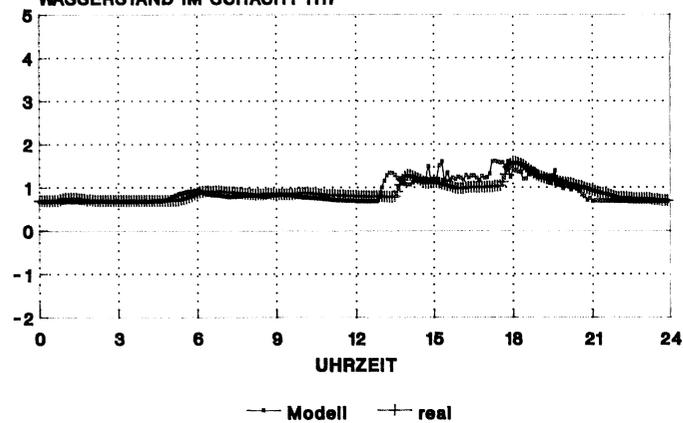
Sohlhöhe:
im Modell: 1.55 mNN
real : 1.55 mNN

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



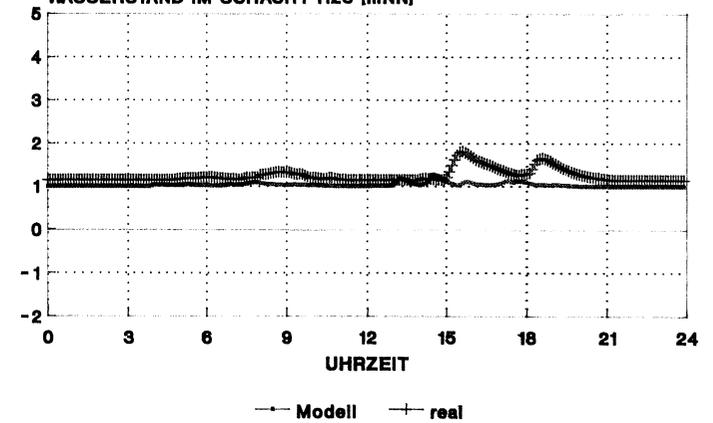
Sohlhöhe:
im Modell: 0.06 mNN
real : 0.06 mNN

WASSERSTAND IM SCHACHT H17



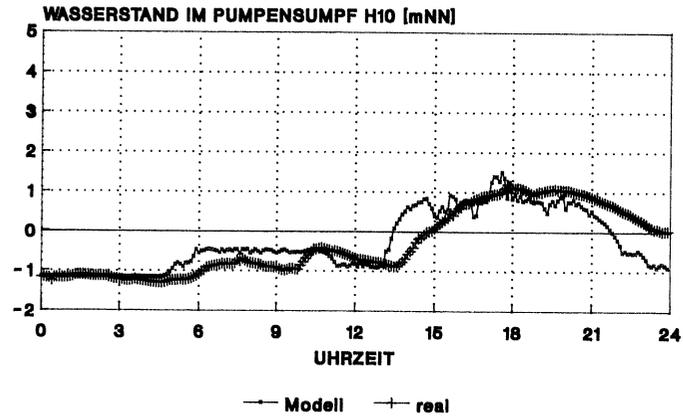
Sohlhöhe:
im Modell: 0.35 mNN
real : 0.35 mNN

WASSERSTAND IM SCHACHT H25 [mNN]



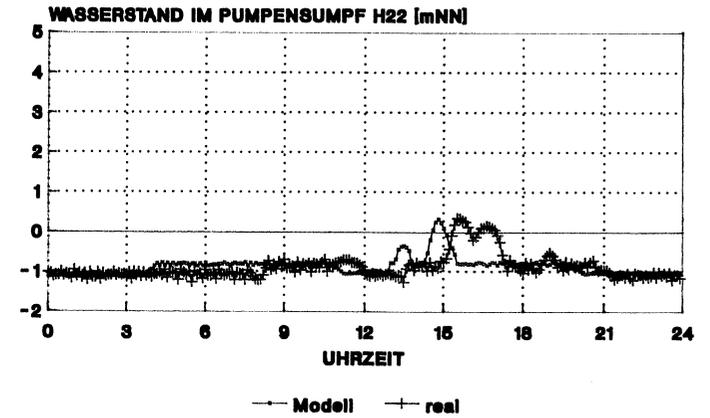
Sohlhöhe:
im Modell: 0.91 mNN
real : 0.90 mNN

1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

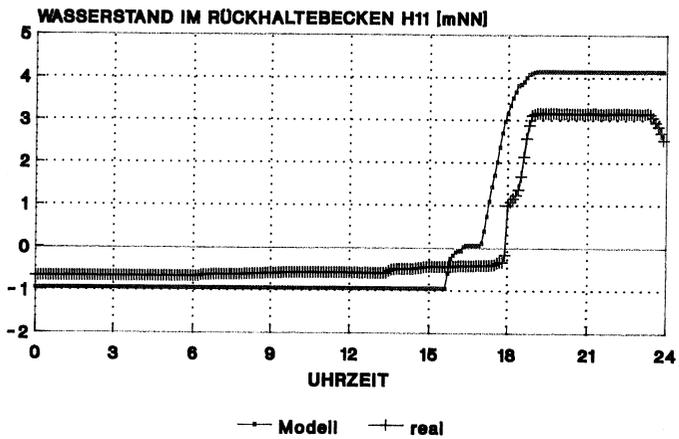


Sohlhöhe:
im Modell: -2.48 mNN
real : -2.48 mNN

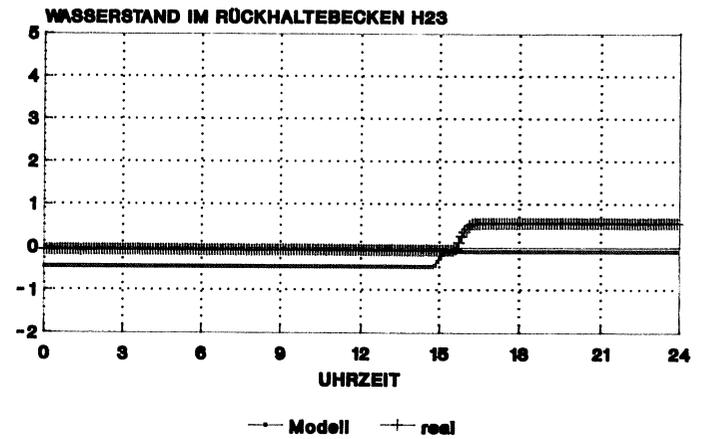
1.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Sohlhöhe:
im Modell: -1.88 mNN
real : -1.88 mNN

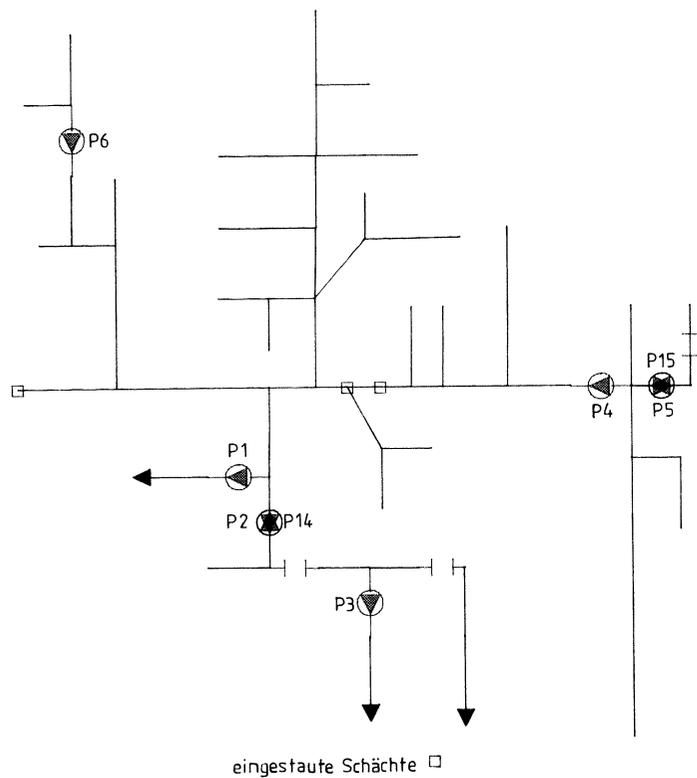


Sohlhöhe:
im Modell: -0.95 mNN
real : -0.95 mNN



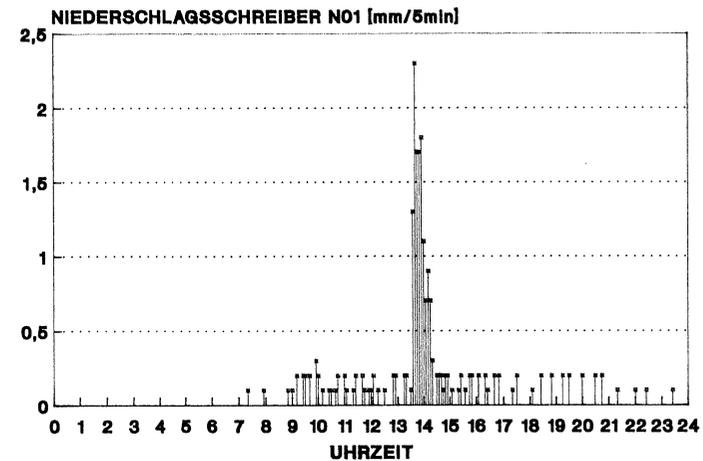
Sohlhöhe:
im Modell: -0.48 mNN
real : -0.48 mNN

DARSTELLUNG DER EINSTAUENDEN SCHÄECHTE

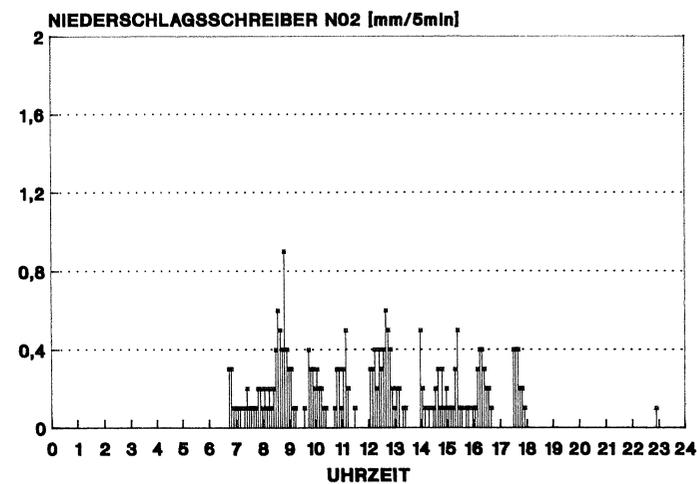


KANALNETZ : 'BREMEN LINKS DER WESER'
 SIMULATION MIT 'EXTRAN' , EREIGNIS 01.06.1988

8.6.1988 NIEDERSCHLAGSDATEN

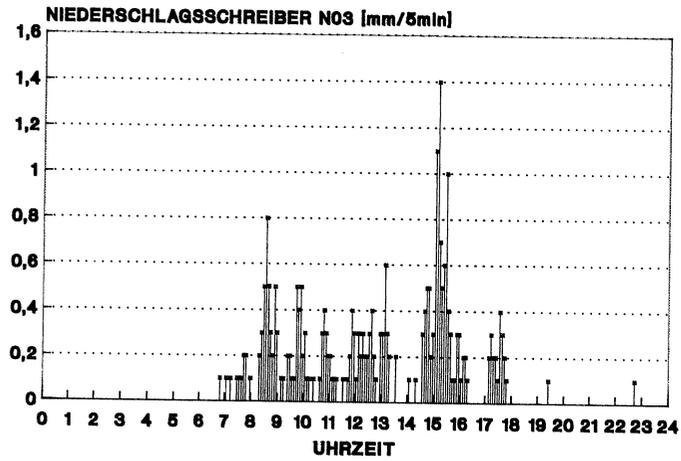


Niederschlagschreiber N01:
 Pumpwerk Rablinghausen



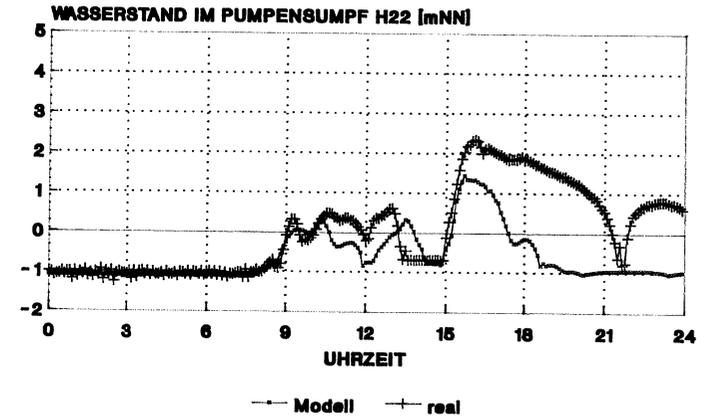
Niederschlagschreiber N02: HPWL

8.6.1988 NIEDERSCHLAGSDATEN

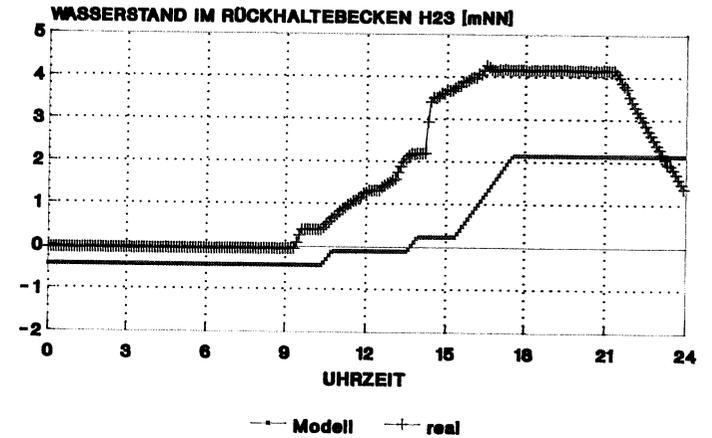


Niederschlagsschreiber N03:
Pumpwerk Krümpel

8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

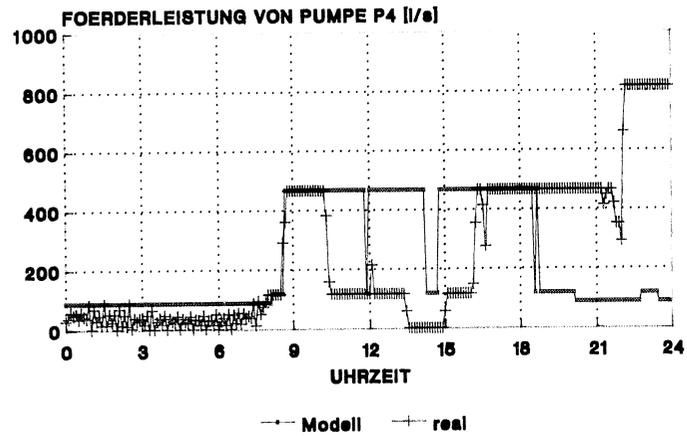


Schichthöhe:
im Modell: -1.00 mNN
real : -1.00 mNN



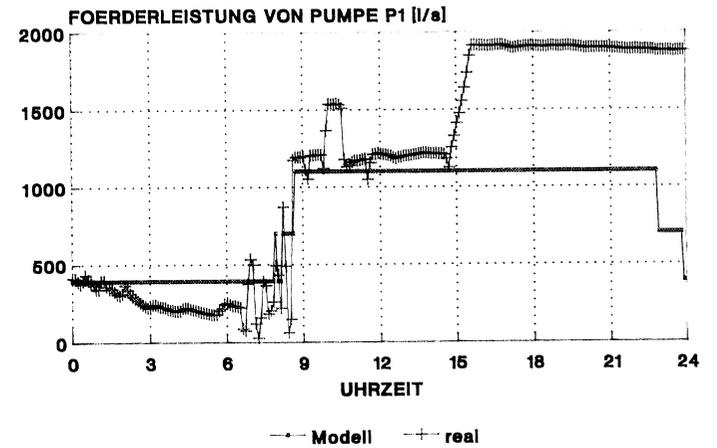
Schichthöhe:
im Modell: -0.45 mNN
real : -0.45 mNN

8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

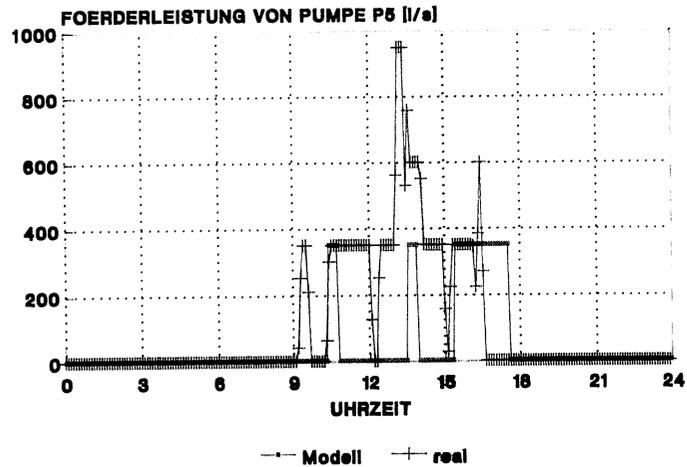


Pumpe P4 : Schmutzwasserpumpe
Krimpel → HPWL

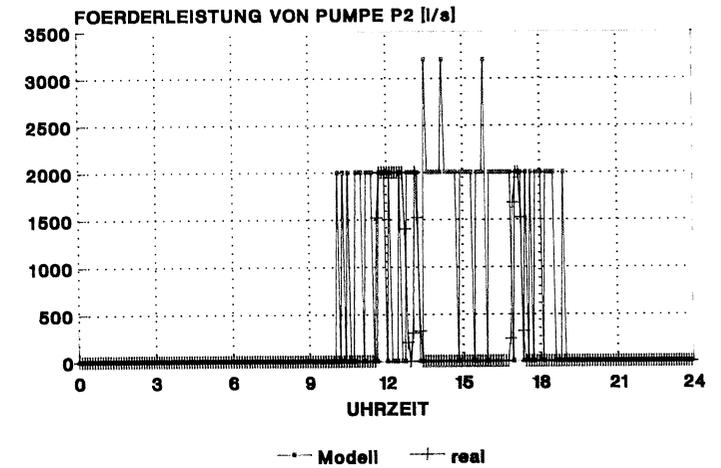
8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Pumpe P1 : Schmutzwasserpumpe HPWL → KA

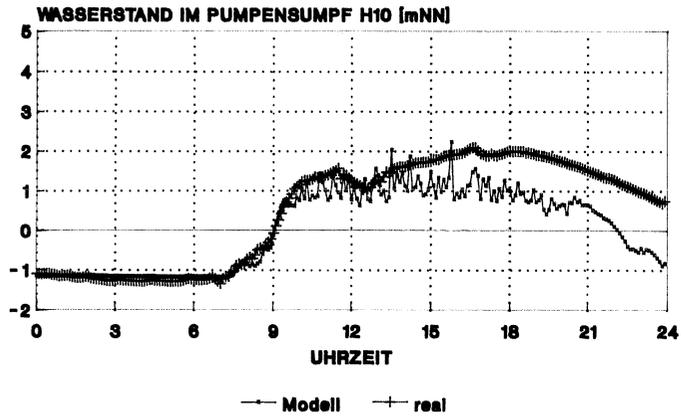


Pumpe P5 : Krimpel → Befüllung der Becken



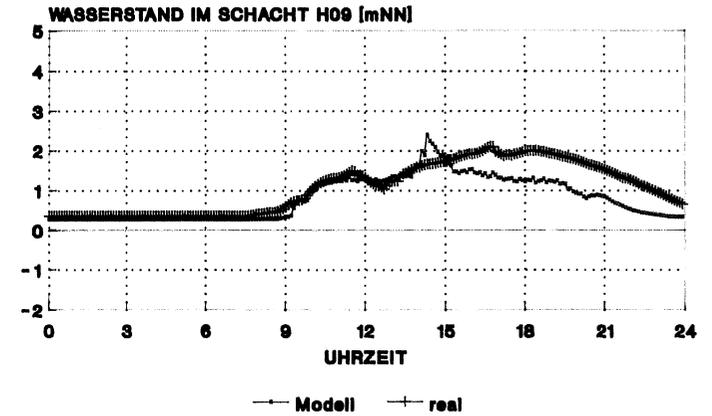
Pumpe P2 : HPWL → Befüllung der Becken

8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

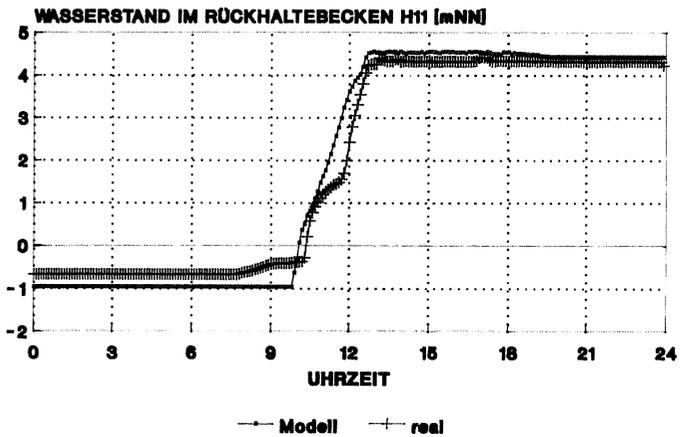


Schichthöhe:
im Modell: -2.45 mNN
real : -2.45 mNN

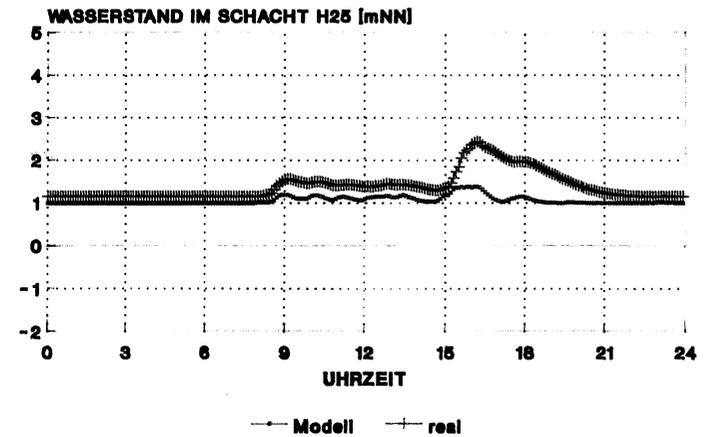
8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Schichthöhe:
im Modell: 0.08 mNN
real : 0.08 mNN

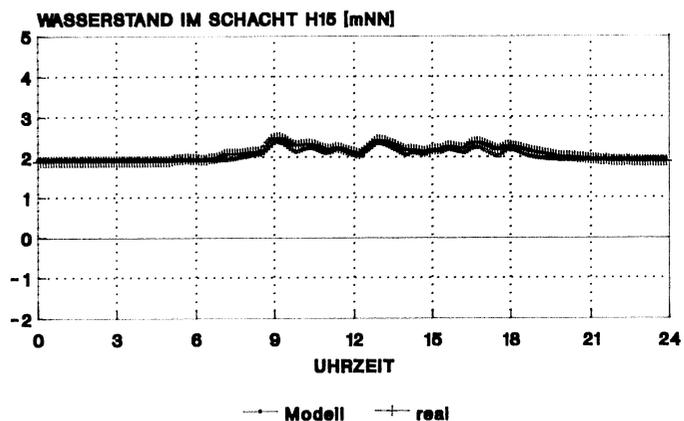


Schichthöhe:
im Modell: -0.95 mNN
real : -0.95 mNN



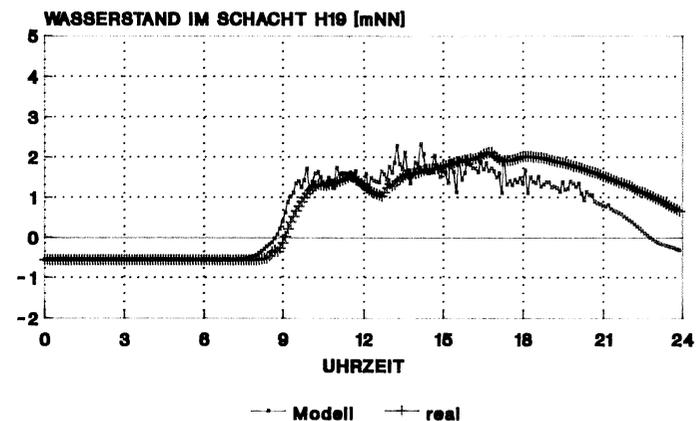
Schichthöhe:
im Modell: 0.91 mNN
real : 0.90 mNN

8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

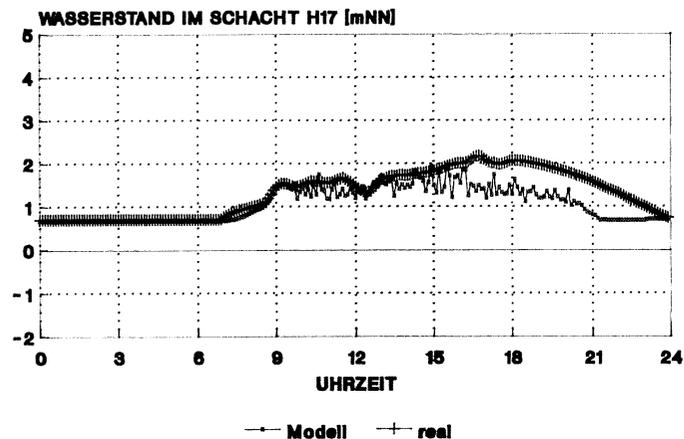


Schichthöhe:
im Modell: 1.58 mNN
real : 1.58 mNN

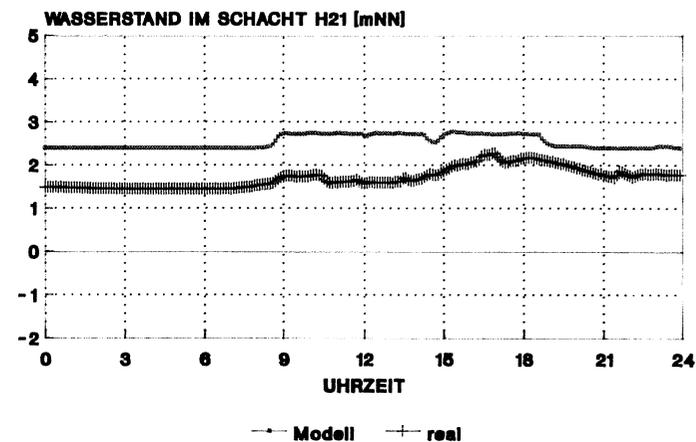
8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Schichthöhe:
im Modell: -0.91 mNN
real : -0.88 mNN

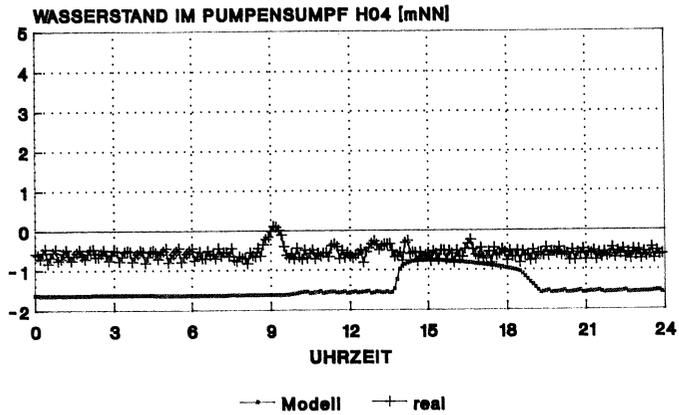


Schichthöhe:
im Modell: 0.88 mNN
real : 0.88 mNN

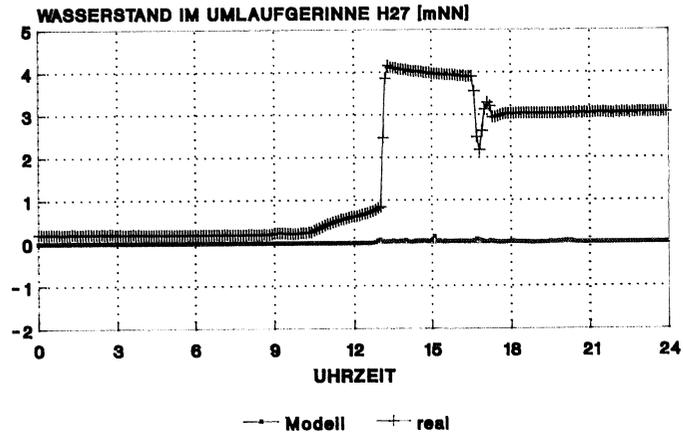


Schichthöhe:
im Modell: 2.14 mNN
real : 1.28 mNN

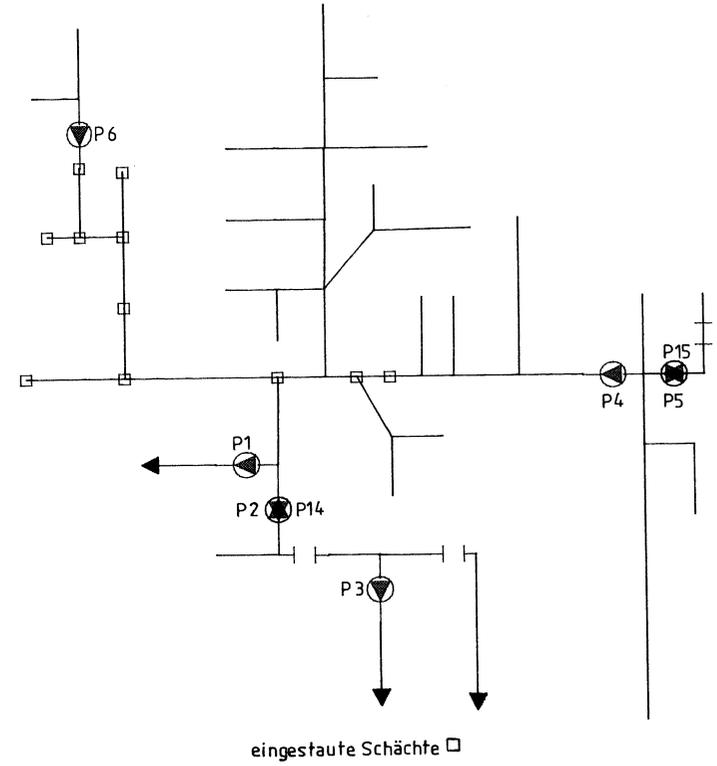
8.6.1988 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Sohlhöhe:
im Modell: -1,62 mNN
real : -1,47 mNN

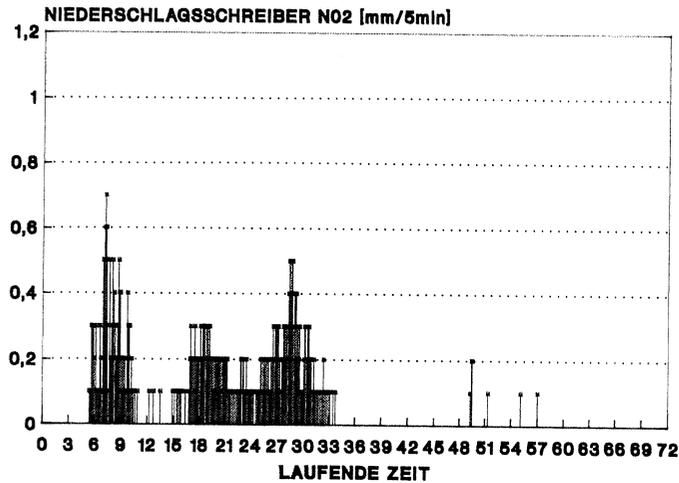


Sohlhöhe:
im Modell: 0,00 mNN
real : 0,00 mNN

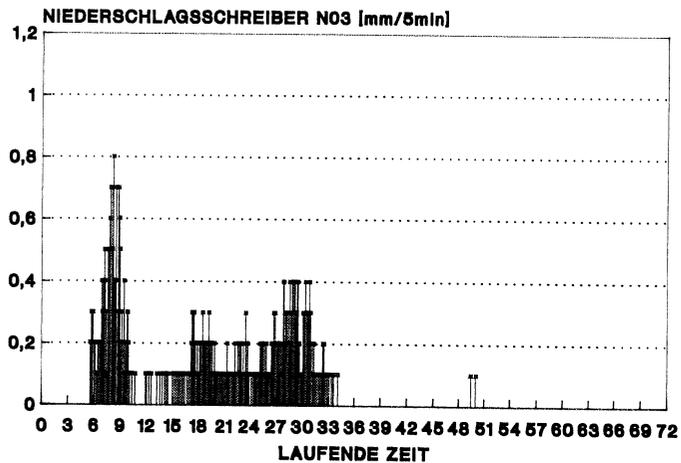


KANALNETZ: 'BREMEN LINKS DER WESER'
SIMULATION MIT 'EXTRAN' , EREIGNIS 08.06.1988

27.8.-29.8.1989 NIEDERSCHLAGSDATEN

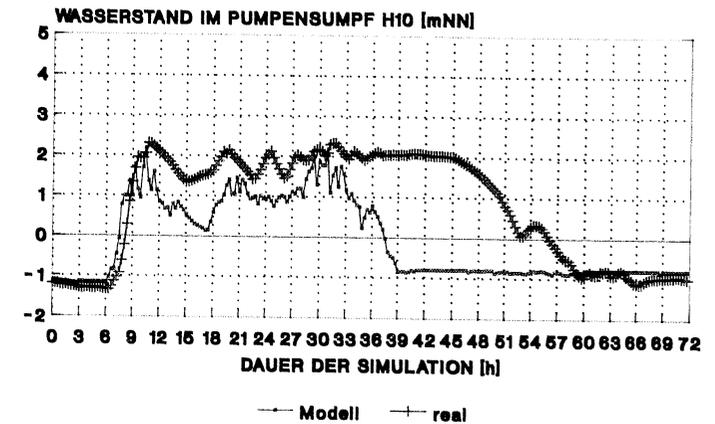


Niederschlagschreiber N02: HPWL

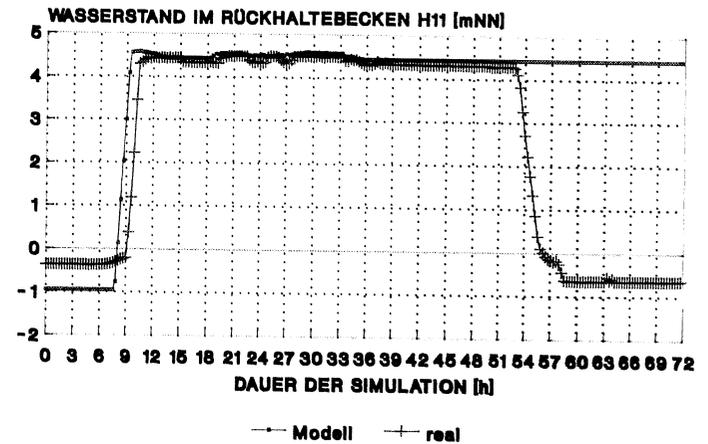


Niederschlagschreiber N03:
Pumpwerk Krimpel

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

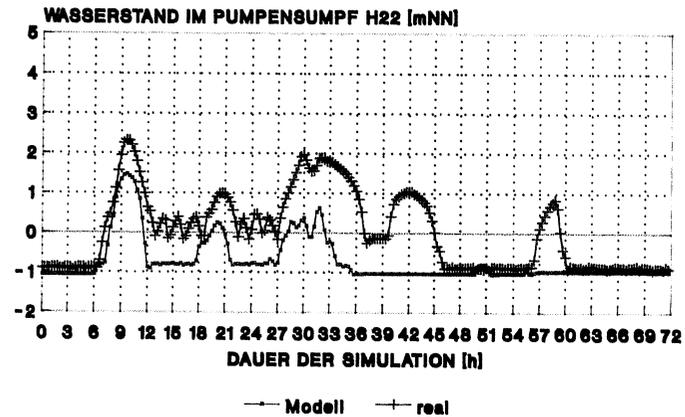


Sohlhöhe:
im Modell: -2.45 mNN
real : -2.45 mNN



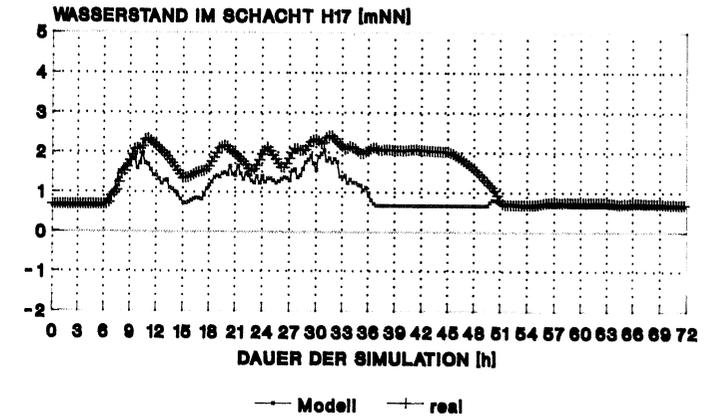
Sohlhöhe:
im Modell: -0.95 mNN
real : -0.95 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

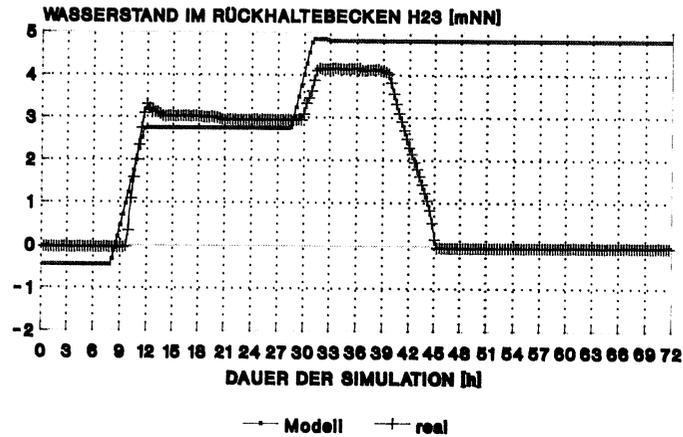


Schichthöhe:
im Modell: -1,00 mNN
real : -1,00 mNN

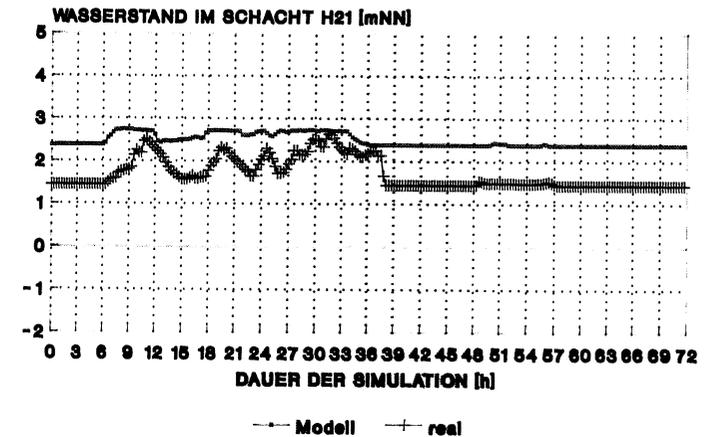
27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Schichthöhe:
im Modell: 0,50 mNN
real : 0,50 mNN

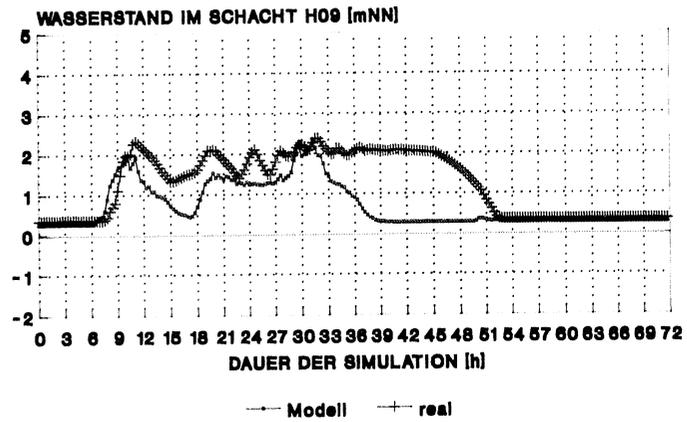


Schichthöhe:
im Modell: -0,45 mNN
real : -0,45 mNN



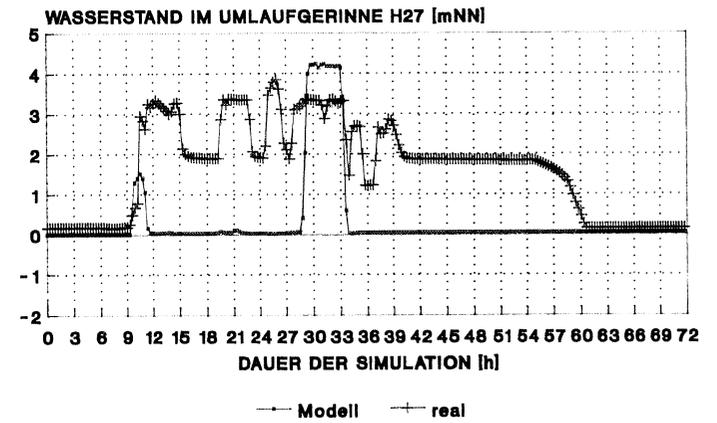
Schichthöhe:
im Modell: 2,14 mNN
real : 1,20 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

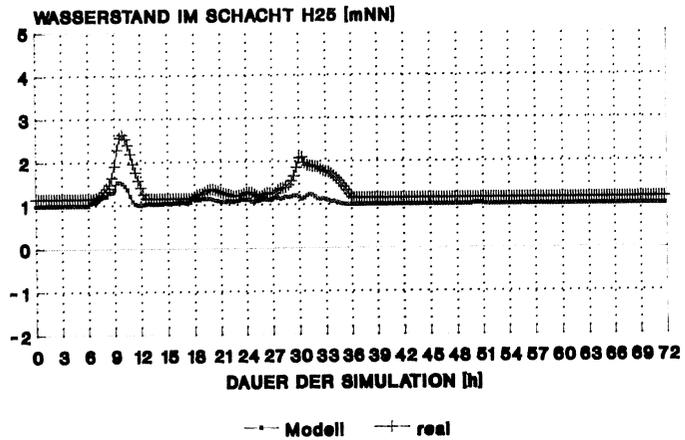


Schichthöhe:
im Modell: 0.08 mNN
real : 0.08 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

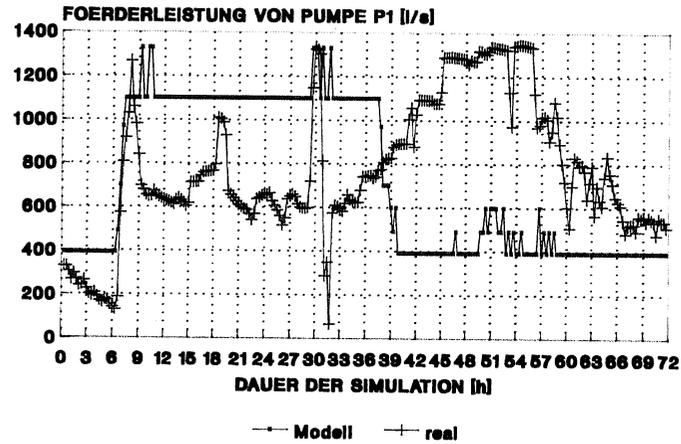


Schichthöhe:
im Modell: 0.00 mNN
real : 0.00 mNN



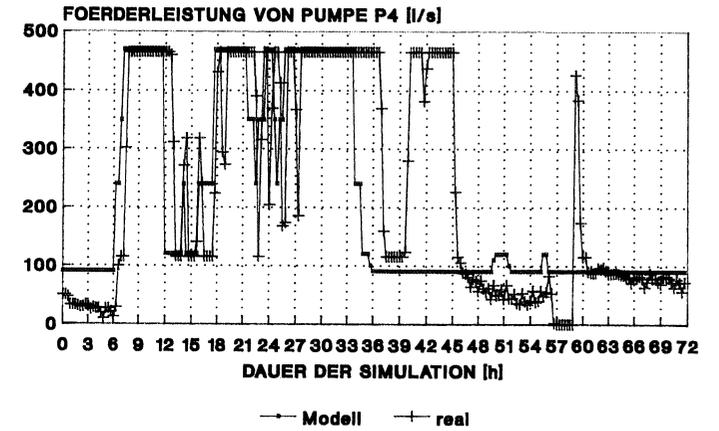
Schichthöhe:
im Modell: 0.91 mNN
real : 0.90 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten

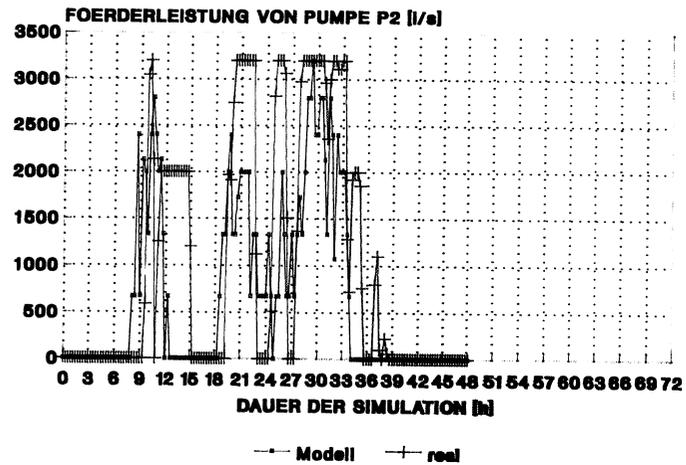


Pumpe P1 : Schmutzwasserpumpe HPWL → KA

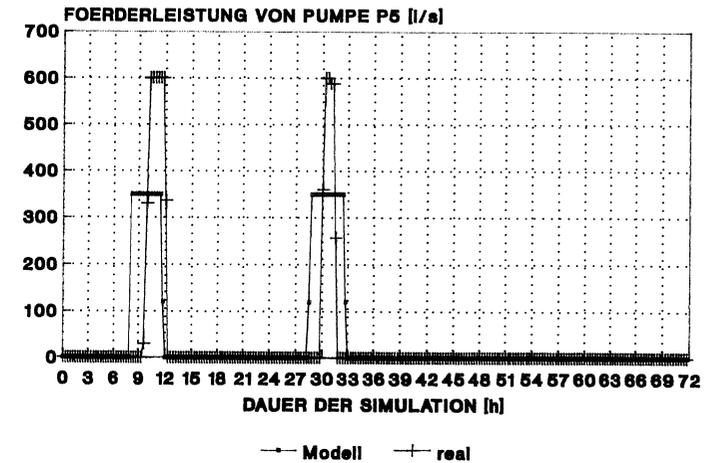
27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT EXTRAN
Vergleich mit den Meßwerten



Pumpe P4 : Schmutzwasserpumpe
Krimpel → HPWL

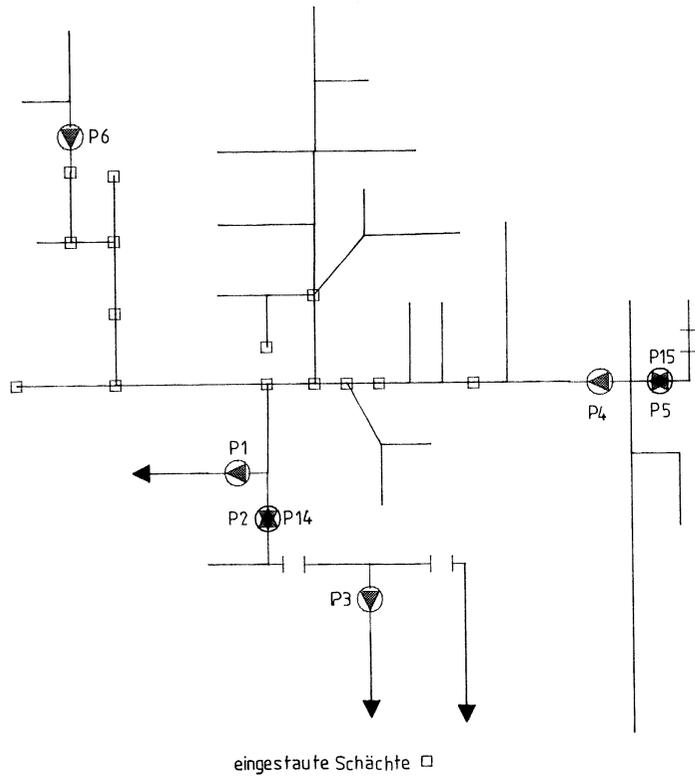


Pumpe P2 : HPWL → Befüllung der Becken



Pumpe P5 : Krimpel→Befüllung der Becken

DARSTELLUNG DER EINSTAUENDEN SCHAECHTE



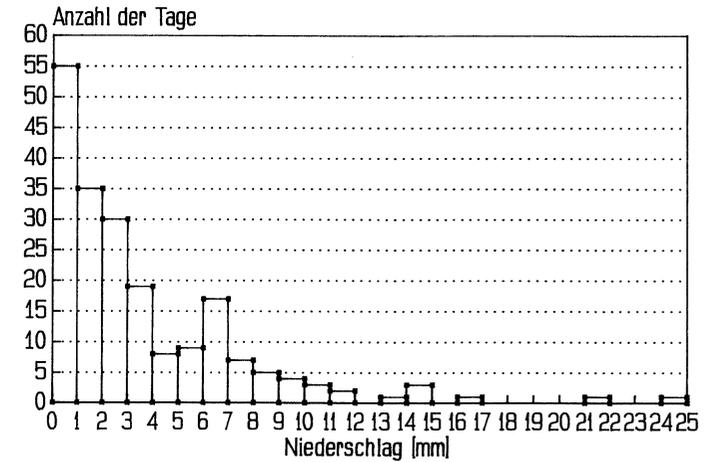
KANALNETZ: 'BREMEN LINKS DER WESER'
SIMULATION MIT 'EXTRAN' , EREIGNIS 27.-29.08.1989

**ANLAGE 9: EINIGE CHARAKTERISTIKA DES
NIEDERSCHLAGS IN BREMEN**

Liste der 10 Tage des Jahres 1988 mit den höchsten Niederschlägen:

Datum	Niederschlag [mm]	Niederschlag	
		Vortag	Folgetag
08.06.	24.1	6.2	0.8
13.09.	21.9	1.3	6.8
15.07.	17.0	4.5	2.4
26.07.	14.9	0.0	0.5
18.12.	14.8	2.8	4.0
19.05.	14.1	0.0	0.6
22.07.	13.4	5.0	0.7
10.01.	11.5	0.3	0.7
01.06.	11.1	0.0	3.5
15.03.	10.6	1.0	7.7

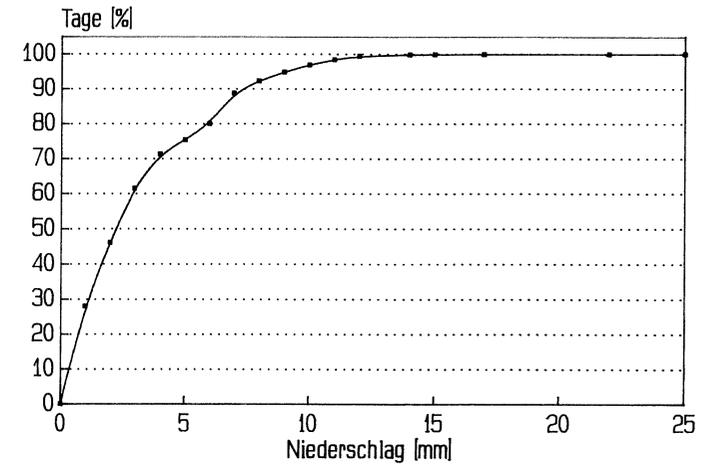
Tägliche Niederschlagshöhen 1988



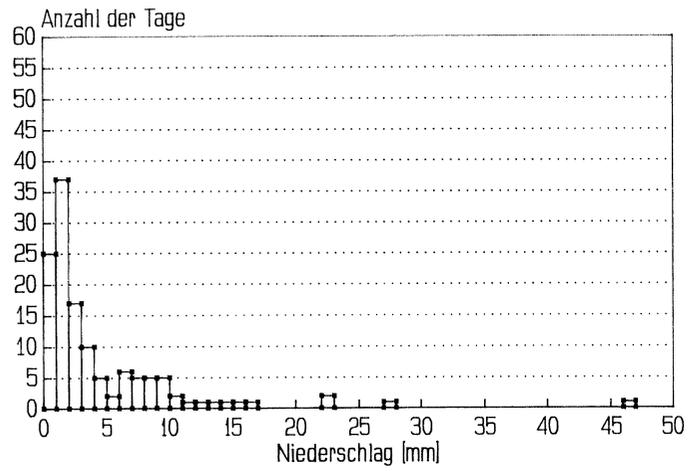
Zusätzlich 165 Trockenwettertage
(weniger als 0.3 mm pro Tag)

Liste der 10 Tage des Jahres 1989 mit den höchsten Niederschlägen:

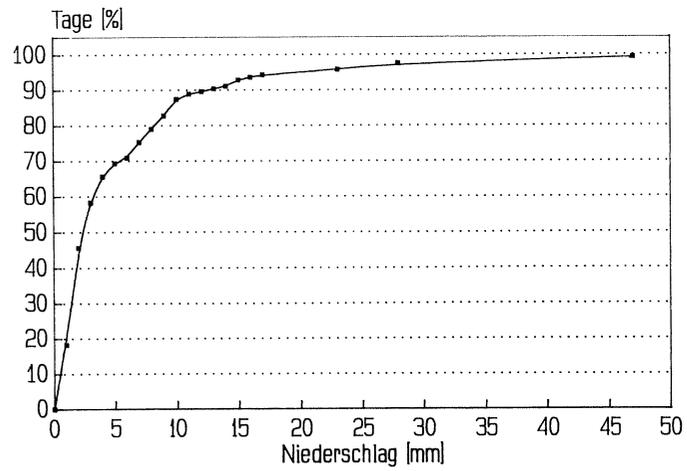
Datum	Niederschlag [mm]	Niederschlag	
		Vortag	Folgetag
27.08.	46.8	13.2	1.4
07.06.	27.3	0.0	5.5
21.06.	22.3	0.0	0.0
30.07.	22.2	0.0	1.4
14.12.	21.2	15.2	0.5
09.07.	19.4	6.5	0.0
26.04.	16.5	15.3	0.0
25.04.	15.3	0.2	16.5
13.12.	15.2	1.8	21.2
01.07.	14.7	0.0	5.0



Tägliche Niederschlagshöhen 1989



Zusätzlich 228 Trockenwettertage
(weniger als 0,3 mm pro Tag)



ANLAGE 10

Glossar der wichtigsten Begriffe bei der
Beschreibung eines Expertensystems

Vorbemerkung :

Im Fall, daß mehrere Begriffe die gleiche Bedeutung besitzen, wird die Erklärung für den am häufigsten benutzten Begriff gegeben, mit einem Verweis zu diesem bei den anderen.

Artificial Intelligence :

Wissenschaft, die Kenntnisse aus der Mathematik, Logik und Informatik benutzt und verknüpft. Das Ziel der Forscher ist Maschinen (Computer Systemen, Computer Sprachen...) zu bauen, die bestimmte Probleme in einer Weise lösen können, die als intelligent gelten würde, wenn von einem Mensch die Rede wäre.

- Abkürzung : AI -

Aktion :

In einem Produktionsbasierten System entspricht eine Aktion der Schlußfolgerung, die sich aus einer geltenden Regel ziehen läßt.

Arbeitsgedächtnis :

(siehe Working Memory)

Backward chaining :

bezieht sich auf die Art und Weise, wie der Inferenzprozeß durchgeführt (bzw programmiert wird). Das Inferenzprozeß ist rückwärtsverkettend oder arbeitet in backward chaining, wenn in dem Produktionsgedächtnis nur bestimmte Regeln auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden, nämlich die, die zu der Schlußfolgerung oder Aktion führen können, deren Wahrheitstatus (Wahr/Falsch) zu untersuchen ist.

Grundsätzlich gibt es nur zwei 'Chaining' : forward oder backward.

Dennoch sind in vielen existierenden Systemen beide 'Chaining' oder Verkettungen parallel implementiert. Abhängig von der Situation entscheidet das System, ob es den Inferenzprozeß forward (vorwärts) oder backward (rückwärts) durchführen will. (weitere Information siehe Forward chainig).

Bedingungsteil :

Der erste Teil einer Produktion (oder Regel). In diesem Teil werden alle Anwendungsbedingungen der Produktion aufgelistet. Während des Pattern-matching-Prozesses wird geprüft, ob diese erfüllt sind. (weitere Information siehe **Aktionsteil**)

Bewertungsproduktion :

In einem Produktionsbasiertem Lernprozeß (wie im Expertensystem für die Steuerung des Netzes), wird eine Bewertung der durch die normalen (Steuer-)Produktionen vorgeschlagenen Aktionen vorgenommen.

Da in diesem System diese Bewertungsregel, die eine Analyse des Steuerungs-Inferenzprozess durchführt selbst nicht vom System analysiert und kritisiert werden kann, wird sie auch als **Metaproduktion** bezeichnet.

Control variable :

(siehe Steuervariable).

Decision Memory :

In einem Lernprozess, in dem die Entscheidungen (Englisch 'Decision') analysiert werden müssen, ist es unentbehrlich, diese Entscheidungen, die zu jedem Steuerungszeitschritt gefällt worden sind, in einem Feld zu speichern, nämlich im Feld 'Decision Memory' .

In dem Steuersystem können zur Zeit bis zu 12 Steuerschritte für die Analyse gespeichert werden.

- Abkürzung DECMEM -

Expertensystem :

bezeichnet jenes Computer-Software, dessen Ziel es ist, bestimmte Probleme in einem Gebiet zu lösen, in dem es das Wissen eines Experten in dem entsprechenden Gebiet enthält und es in einer ähnlichen Form wie beim seinem menschlichen Vorbild bearbeitet.

Da dieser Ausdruck die Eigenschaften eines solchen Programms nur ungenau bezeichnen kann, wird von Spezialisten der Begriff 'wissensbasiertes System' bevorzugt. Der letzte Begriff verweist auf eine Grundeigenschaft der Struktur solcher Softwares nämlich

die Trennung zwischen den zur Lösung des Problems notwendigen Fachkenntnissen (in der Wissensbasis gespeichert) und den allgemeinen Algorithmen, die zur Bearbeitung dieser Kenntnisse (im Inferenzprozess) dienen.

- Abkürzung XPS -

Fakten :

Die Wissensbasis eines wissenbasierten Systems besteht aus zwei Teilen:

- Die Fakten

- Die Regeln oder Produktionen (siehe Regel, Produktion)

Um einen Inferenzprozess durch Anwendung passender Produktionen durchführen zu können, ist es notwendig, über schon existierende Information zu verfügen, die den Bedingungsteil der Regeln bildet. Diese vorhandene Information wird als eine Menge von Fakten bezeichnet.

In dem Steuersystem entsprechen die Fakten der gesamten Kenntnis über den Zustand des Netzes. (z.B ist der Wasserstand an einem bestimmten Pegel ein Fakt). In dem Falle werden alle Fakten in ein bestimmtes Feld (das 'Working Memory') eingetragen.

Die **Aktionen** sind als neu produzierte Fakten zu verstehen, die das Ergebnis des Inferenzprozesses bilden.

Forward chaining :

bezieht sich auf die Art und Weise, in der der Inferenzprozess durchgeführt (bzw programmiert) wird. Der Inferenzprozeß ist vorwärtsverkettend (arbeitet in forward chaining), wenn jede in dem Produktionsgedächtnis vorhandene Regel in der Reihe auf ihre Anwendbarkeit hin getestet wird und der Inferenzprozeß die entsprechenden Schlußfolgerungen gelten läßt, bis eine bestimmte Aktion oder ein bestimmtes Fakt vorkommt.

Der im Expertensystem für die Steuerung des Kanalnetzes implementierte Inferenzprozess arbeitet grundsätzlich vorwärtsverkettend.

Er weist jedoch gegenüber den in den sogenannten 'logischen' Computersprachen implementierten Inferenzprozessen einige Besonderheiten auf. Die wichtigsten sind:

- Die Aufteilung des Produktionsgedächtnisses in Blöcke, in denen jeweils nur eine einzige Regel als gültig betrachtet wird.

(Wenn Konflikte zwischen zwei gleichzeitig geltenden Regeln vorkommen, wird eine 'beste' Regel anhand einiger Parameter (Alter, Anwendungshäufigkeit, Erfolgsrate, Herkunft) ausgewählt.

- Unter bestimmten Umständen kann eine Regel angewendet werden, obwohl sie im strengen Sinne nicht paßt. D.h., ihr Bedingungsteil ist nicht zu 100% erfüllt.

(weitere Information siehe **Backward chaining**).

Inferenzprozess :

charakterisiert den gesamten Vorgang, durch den anhand der Fakten und der Produktionen neue Fakten (bzw. Aktionen) produziert werden (bzw. vorgeschlagen werden). (siehe **Interpreter**).

Interpreter :

Die gesamten Programme, die den Inferenzprozess durchführen. Als wichtigste Teile führen wir auf:

- Zur Kenntnis nehmen der Fakten (Lesen des Arbeitsgedächtnis)
- der Pattern-matching-Prozeß
- das Bestimmen der vorzuschlagenden Aktionen
- Ausgabe dieser Entscheidungen
- Die Verwaltung der Benutzer-Schnittstelle (z.B. Ausgabe der Fakten und der ausgewählten Produktionen)

Knowledge base :

(siehe **Wissensbasis**)

Konklusionsteil :

Der zweite Teil einer Produktion (oder Regel). In dem Konklusionsteil werden die Aktionen aufgelistet. Diese Aktionen werden nur ausgeführt, wenn die Bedingungen erfüllt werden. Sie bilden die zu ziehenden Schlußfolgerungen des Bedingungsteils.

Konsistenzanalyse :

In einem System, wo Fakten und Regel gespeichert und bearbeitet werden, muß (im Idealfall) gesichert sein, daß sich gegenseitig ausschließende Fakten nicht gleichzeitig auftreten. Falls solches geschieht, würde die Wissensbasis inkonsistent und die Ergebnisse des Inferenzprozess fragwürdig.

Die Untersuchung des Konsistenzproblems ist eine sehr schwierige Fragestellung, die einerseits sehr gute Kenntnisse in Logik erfordert und andererseits nur teilweise zu lösen ist, auch wenn man die sogenannten Logischen Sprachen in ihrer jetzigen Entwicklungsstufe benutzen kann.

Beim Steuersystem spricht man von Konsistenzanalyse in einem sehr weiten Sinne: Das System prüft, ob

- sämtliche Variablen, die vom Interpreter angewendet werden, als Zustandsvariablen deklariert und codiert sind.
- ob die Fakten morphologisch korrekt eingegeben worden sind (insbesondere, ob der Operator, der in jedem Ausdruck eines Faktums angewendet wird, korrekt ist).

Künstliche Intelligenz :

deutsche Übersetzung des Begriffes 'Artificial Intelligence'.

- Abkürzung KI -

Lernprozess :

Im einem Produktionsbasierten System bezeichnet 'Lernprozeß' den Vorgang, durch den die Produktionen automatisch modifiziert werden können oder neue erzeugt werden können, falls sich die vorhandenen als unzureichend beweisen.

Logische Computersprachen :

bezeichnet spezielle Programmiersprachen, die entwickelt worden sind, um Interpreter von wissensbasierten Systemen schreiben zu können.

Die bekannteste logische Sprache ist **PROLOG**. Sie wurde erst in den siebsiger Jahren von Calmerauer in Marseille (erste Implementierung) und Kowalski in London (theoretische Erwägungen über die Verknüpfung zwischen der Logik und einer Computersprache) entwickelt.

Matrixsteuerung :

bezeichnet eine Art automatischer Steuerstrategiefindung, in der nach dem Zustand im Netz entschieden wird, welche Aktionen durchzuführen sind.

Prinzipiell funktioniert sie wie ein Expertensystem, in dem durch Regeln der Zustand im Netz analysiert wird und anschlie-

Bestimmte Aktionen vorgeschlagen werden.

Der Unterschied besteht in der Art und Weise, wie die Steuerung programmiert ist.

Während in einer Matrixsteuerung der ganze Vorgang festprogrammiert wird, wird er in einem Expertensystem dank der Trennung von Wissensbasis und Interpreter in einer Datei (der Produktionsdatei) nur die Regeln der Steuerung eingegeben, und nicht wie diese Regel zu bearbeiten sind (das weiß ja schon der Interpreter). Die Lesbarkeit und Flexibilität des System werden dadurch erheblich erhöht.

Darüberhinaus werden durch die Struktur des wissensbasierten System weitere Verarbeitungen ermöglicht (wie z. B ein Lernprozeß). In der Matrixsteuerung müßte das Programm sich selbst modifizieren !.

Metaproduktion :

Im allgemeinen bezeichnet das Meta-Wissen in der KI-üblichen Terminologie das Wissen über das, was nicht explizit in der Wissensbasis enthalten ist, sondern im Interpreter implizit festgelegt wird. (z. B gehört zum Meta-Wissen die Art und Weise, in der der Pattern-Matching-Vorgang durchgeführt wird).

'Meta-' wird in Beziehung zum Lernprozeß verwendet. Die Metaproduktionen sind nämlich die Produktionen, die außerhalb der Reichweite des automatischen Lernens bleiben. Das heißt, diese Produktionen können nicht vom System selbst geändert werden, wie das Metawissen das Wissen bezeichnet, das im System steckt und trotzdem nicht von dessen Bediener geändert werden kann (Es ist nur für den Informatiker zugänglich).

Muster-Erkennung :

(siehe Pattern-matching).

Operatoren :

Im Steuersystem bezeichnet der Begriff 'Operator' Zeichen, die zum Schreiben der Fakten dienen. Es sind die Vergleichoperatoren (<, <=, =, >=, >). Es gibt jedoch vier verschiedene Typen. Der Typ ist von Art des Vergleiches abhängig.

- direkter oder indirekter Vergleich. Das heißt :
Vergleich (Variable-Wert) oder (Variable-Variable)

- numerischer oder nicht numerischer Vergleich. Das heißt :
Wert/Variable gleich eine Integerzahl oder ein Prädikat (z B. 'TRUE', 'ON', ...)

Pattern-matching :

bezeichnet den Vorgang, in dem für die in Frage kommenden Regeln (Produktionen) geprüft wird, ob ihr Bedingungsteil erfüllt ist (d. h ob die Regeln zur augenblicklichen Situation paßt). Falls die Regel paßt, wird ihr Konklusionsteil eingelesen und die dort aufgeführten Aktionen in das Arbeitsgedächtnis eingetragen.

- Abkürzung **PATMAT** -

Prädikat :

Als Fakt im Arbeitsgedächtnis kann eine Variable mit einem bestimmten nichtnumerischen Wert (oder Prädikat) verglichen werden.

Beispiele von Prädikaten sind : 'ON', 'TRUE', 'HIGH' ...

Produktion :

Die Produktionen sind die Regeln, anhand derer durch den Inferenzprozeß entsprechend dem Ausgangszustand des Arbeitsgedächtnisses (Working Memory) neue Fakten (Aktionen, Konklusionen) gewonnen werden können. Da die Erzeugung dieser neuen Fakten als Produktion eines neuen Wissens betrachtet werden können, sind diese Regeln auch Produktionen genannt worden. (siehe Regel).

Produktionsgedächtnis :

(siehe Production Memory).

Production Memory :

Das Production Memory ist ein Feld, in dem die codierten Produktionen gespeichert werden. Ursprünglich sind die Produktionen in einer Datei in einer formatierten und lesbaren Form gespeichert.

- Der Name dieser Datei wird in der Datei 'INPDAT.DAT' eingelesen und wird in der Variable PR1DAT abgespeichert. Der Interpreter kann aber die Datei nicht in dieser Form bearbeiten. Es muß zuerst eine Codierung (diese wird im Vorprogramm

des Expertensystems durchgeführt) und die entsprechende Konsistenzüberprüfung stattfinden. Das Ergebnis des Vorgangs wird in ein Feld eingetragen, das Produktionsgedächtnis oder Production Memory genannt wird.

- Abkürzung PRDMEM -

Prolog :

Name einer sogenannten logischen Programmiersprache. Prolog steht für Programmieren in Logik.

Logische Computersprachen sind spezielle Computersprachen, in denen ein Programm dem Bau einer Wissensbasis (Fakten + Regeln) gleicht. Das heißt, ein eingebauter (built-in) Interpreter steht zur Verfügung. Im Fall von Prolog ist der Interpreter rückwärtsverkettend (siehe backward chaining) und der Such-Algorithmus funktioniert nach dem 'depth-first-strategy-research' Prinzip. Darüberhinaus ist es möglich, mit Prolog selbst seinen eigenen 'auf sein Problem zugeschnittenen' Interpreter zu schreiben. Man spricht in diesem Fall oft von einem Meta-Interpreter und von einer Meta-Programmierung.

Regel :

Die Menge der Regeln ist einer der beiden Teile der Wissensbasis. (Den anderen Teil bildet die Menge der Fakten).

Regel bestehen wiederum aus zwei Teilen :

- Bedingungsteil
- Konklusionsteil oder Aktionsteil

Die Begriffe 'Regel' und 'Produktion' haben dieselbe Bedeutung.

Struktur einer Regel : (Bedingungsteil -> Konklusionsteil)

Das Verbindungszeichen (->) heißt Inferenzzeichen.

Es besagt, daß, wenn die Bedingungen erfüllt sind, dann die Aktionen (Konklusionen) gelten. Das heißt, die letzteren werden als neue Fakten in das Working Memory eingetragen.

State variable :

(siehe Zustandsvariable)

Steuerung :

Bei der Kanalnetzsteuerung werden die Vorgänge innerhalb des Netzes von bestimmten Entscheidungen (Aktionen) an den Steuerelementen (Pumpen, Schieber, Wehre) beeinflusst. Diese Entscheidungen bilden zu jeder Zeit die Steuerung .

Steuerproduktion :

Im Expertensystem für die Steuerung des Kanalnetzes gibt es zwei Arten von Produktionen :

- Die Steuerproduktionen
- Die Bewertungsproduktionen (oder die Metaproduktionen).

Die Steuerungsproduktionen bestimmen welche Steuerentscheidung in einer bestimmten Situation getroffen werden soll.

Steuervariable :

Variable eines Steuerelementes (Element, das gesteuert wird). Da in unserem Falle die Steuerung durch ein Expertensystem erfolgt, sind die Steuervariablen, die Variablen, für die vom Expertensystem eine Entscheidung zu treffen ist.

In der Systemtheorie werden die Steuervariablen oft mit $U(t)$ bezeichnet, wobei t die Zeitvariable ist.

Strategie :

Die Strategie ist die Menge aller Entscheidungen (oder Aktionen), die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne eingesetzt worden sind oder eingesetzt werden.

Wissensbasiertes System :

(siehe Expertensystem)

Wissensbasis :

Einer der zwei Teile eines wissensbasierten Systems. Den anderen Teil bildet der Interpreter.

Die Wissensbasis bildet das fachspezifische Wissen, um das zu lösende Problem zu behandeln.

Sie besteht wiederum aus zwei Teilen :

- die Regel
- die Fakten

Die Regeln sollen die Vorgehensweise des Fachmanns entsprechend

der Situation simulieren.

Die Fakten sollen die Situation so gut, wie es notwendig ist, beschreiben.

Working Memory :

Feld, in dem alle für die Situation relevanten Informationen gespeichert werden.

Die Abkürzung lautet **WRKMEM**.

Zustandsvariable :

Variable, die den Zustand des Gegenstandes charakterisiert. In dem Steuerungssystem ist es jene Variable, die den Zustand des Netzes charakterisiert.

In der Systemtheorie werden die Zustandsvariablen mit $X(t)$ bezeichnet, wobei t die Zeitvariable ist.

ANLAGE 11 : ANWEISUNGEN ZUM BETRIEB DER PUMPEN
IN BREMEN.

PUMPENBETRIEB

Allgemeines

Diese Anweisung soll Hilfsmittel für den Maschinisten sein .
Er soll weitgehend danach verfahren, jedoch von Fall zu
Fall auch Entscheidungen treffen die der jeweiligen Situation
besser Entsprechen.

Der Normalbetrieb ist die

Automatik.

Trockenwetter

Das Kanalnetz soll möglichst lenz gefahren werden. H10=1.20 - 1.40 m
Es erfolgt ein täglicher Wechsel der Pumpen und
Druchrohrleitungen, sodaß sich am Monatsende gleiche
Betriebszeiten ergeben.

Nach Betriebsstörungen oder Regenfällen werden höhere
Wasserstände mit einer Pumpe und zwei Leitungen
abgefahren.

Programm 4 oder 6

Bei aufkommendem Regen oder Gewitter ist ein weiteres
Programm zu schalten, und die dazugehörige Pumpe auf
Automatik zu nehmen.

Es sollte so verfahren werden, daß die leistungsstarke
Pumpe 2 läuft oder zum Einsatz kommt, auch wenn die
Gleichmäßigkeit der Laufzeiten nicht gegeben ist.
Wenn aus dem Trockenwetter die laufende Pumpe in
zwei Leitungen fördert kann die Zuschaltung eines
weiteren Programmes ohne Bedenken erfolgen. Nach der
Zuschaltung der 2. Pumpe ist es sicher zweckmäßiger die
Leitungen zu trennen.

Regenwetter

Es gilt die Grundregel: Max. Betrieb nur mit drei Pumpen.

- a.) 1 Schmutzwasserpumpe mit zwei Leitungen und zwei
Schnecken.
b.) 1 Schmutzwasserpumpe mit zwei Leitungen, 1 Schnecke
und 1 Entlastungspumpe.

Die Befüllung der R-H Becken wird automatisch eingeleitet. H10 = 4.00 m
Zur Befüllung werden alle drei Schnecken abwechselnd ein-
gesetzt.

Die Befüllung wird durch Handabschaltung beendet bei
oder wenn die Becken voll sind und
noch nicht erreicht hat.

H10 = 3.50 m

H10 = 4.20 m

Zum Überlauf der R-H Becken nur mit Schnecke 1 bei
Ende der Förderung durch Handabschaltung bei
Der Überlauf ins Umlaufgerinne bringt den Ablauf
in die Hohentorsleitung, da die Schieber 22-25 im
Normalbetrieb ständig offen sind.

H10 = 4.20 m

H10 = 3.50 m

Betrieb der Entlastungspumpen

Eine Entlastungspumpe ist vorgewählt, beide Pumpen
stehen auf Automatik, der Regelschalter ist eingelegt.
Wenn ein R-H Becken überläuft und
anzeigt, schließt der Druckschieber der nicht angewählten
Pumpe, die gewählte Pumpe läuft an. Die Förderleistung der
Pumpe wird nach dem Wasserstand im Umlaufgerinne geregelt.
Ende der Förderung bei

H27 = 3.60 m

H27 = 1.53 m

Die Empfehlung <Entlastungspumpe einschalten> erfolgt bei H27 = 3.80 m
Es ist bei Regen ein Warnsignal, falls die Pumpen nicht
auf Automatik stehen.

Bei Rückstau durch Flut schließen jetzt beide Druck-
schieber der Entlastungspumpen. Sie öffnen
wieder bei

H27 = 3.60 m

Wenn bei Regen der Wasserstand
übersteigt, hat folgende Eingabe in den Rechner zu erfolgen H10 = 3.90 m
Bei fallendem Wasser wird die Aufzeichnung durch
beendet.

HPE ; ETX

HPA ; ETX

Alle vorgegebenen Höhen gelten auch bei Handbetrieb

Beginn der Befüllung	<u>H10 = 4.00 m</u>
Ende der Befüllung	<u>H10 = 3.50 m</u>
Rechner Eingabe HPE ; ETX	<u>H10 = 3.90 m</u>
Rechner Eingabe HPA ; ETX	<u>H10 = 3.50 m</u>
Schnecke 1 mit Überlauf R-H Becken	<u>H10 = 4.20 m</u>
Schnecke 1 Handabschaltung	<u>H10 = 3.50 m</u>
Druckschieber der ruhenden Entlastungspumpe schließen, Pumpe einschalten	<u>H27 = 3.60 m</u>
Entlastungspumpe ausschalten	<u>H27 = 3.00 m</u>
Schnecke wechseln oder 2. Schnecke zuschalten steigend auf mehr als	<u>H10 = 4.50 m</u>
Gleichzeitig tel. Benachrichtigung an Herrn Naupöld Tel.: 233816 oder Herrn Löbert Tel.: 04206/9196 da jetzt der Nitabschlag zur Wasserlöse erfolgt.	<u>H27 = 4.08 m</u>

Hauptpumpwerk

-Linkes Weserufer-

- 412 -

2800 Bremen, 30. April 1986

Vg

B e t r i e b s a n w e i s u n g-----
Nr. 30.2
-----Pumpenbetrieb bei RegenwetterFüllung der Rückhaltebecken und Betrieb der Notentlastungen

- 1.) Zur Einsparung von Stromenergie gilt die *Regel*, daß höchstens mit drei Pumpen gefahren wird und zwar:
 - 1 Schmutzwasserpumpe in zwei Leitungen und 2 Schnecken,
 - 1 Schmutzwasserpumpe in zwei Leitungen, 1 Förderschnecke,
 - 1 Entlastungspumpe.
- 2.) Die Differenzfördermenge ergibt sich folgendermaßen:

Zulässiger Zufluß zur Kläranlage

./.	Förderleistung Hauptpumpwerk I	3 800 l/s
z.B.		2 000 l/s
./.	Förderleistung Hauptpumpwerk II	800 l/s
z.B.		800 l/s

Differenzfördermenge für das
Hauptpumpwerk -Linkes Weserufer-
(abzulesen am Regenwetter-Mosaikpult).
1 000 l/s

3.) Pumpenbetrieb vor Füllung der Rückhaltebecken

Bei ansteigendem Wasserstand im Kanalnetz infolge Regenwetters kann die Fördermenge bis auf die erlaubte Differenzfördermenge erhöht werden.

Beim Vorliegen der Vollastmeldungen der Hauptpumpwerke I und II ergibt sich gemäß der obigen Rechnung

$$3\ 800\ 1/s - 2\ 200 - 900 = \underline{700\ 1/s}$$

als höchste erlaubte Differenzfördermenge für das Hauptpumpwerk -Linkes Weserufer.

Sofort nach Eintreffen beider Vollastmeldungen darf die Fördermenge zur Kläranlage daher auf keinen Fall mehr als 700 l/s betragen. Diese Fahrweise kann leicht durch Vergleich der entsprechenden Meßanzeigen am Regenwetter-Mosaikpult durchgeführt werden und ist solange wie möglich aufrechtzuerhalten.

4.) Füllung der Rückhaltebecken

Steigt der Wasserstand weiter an, erscheint bei den unten genannten Wasserständen an der Sondenmeßstelle H 10 AM 15 im Einlaufbauwerk und den Messungen des Zentralen Datenerfassungssystems die Empfehlung "Rückhaltebecken HPWL Füllen". Dieser Vorgang ist dann einzuleiten.

Grenzwerte für Empfehlung "RHB HPWL Füllen":

-H 10 AM 15 bei 3,00 m UND - Bedingung

d. h. mit weiteren UND-Bedingungen aus dem ZDS

-H 10 AM 15 bei 3,40 m ODER - Verknüpfung

d. h. alleinige Auslösung bei diesem Höhenstand an H 10 AM 15

Zur Befüllung der Rückhaltebecken werden die Förderschnecken 2 und 3 abwechselnd eingesetzt.

Es wird ebenfalls die Befüllungsempfehlung für die Rückhaltebecken im Unterpumpwerk "KRIMPEL" ausgelöst (siehe hierzu Betriebsanweisung Nr.).

Grenzwerte der Förderschnecken Hauptpumpwerk -Linkes Weserufer- siehe Betriebsanweisung Nr. 30.4 .

Die Beckenbefüllung kann unterbrochen werden, wenn bei einem Wasserstand von über 3,40 m an H 10 AM 15 dieser nicht mehr ansteigt und aufgrund der Wettersituation ein Ansteigen des Wasserstandes auf 4,20 m an H 10 AM 15 nicht mehr zu erwarten ist.

Sind die Rückhaltebecken komplett gefüllt und der Wasserstand im Einlaufbauwerk steigt weiterhin an, beginnt die Notentlastung in den Hohenstorshafen (siehe Punkt 6).

5.) Entleeren der Rückhaltebecken

Der Prozeßrechner löst beim Wasserstand an H 10 AM 15 im Einlaufbauwerk von 2,0 m das Signal "Entleerung Rückhaltebecken" aus. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte mit dem Entleeren begonnen werden durch Betätigung der Empfehlungstaste. Das Entleerungsprogramm läuft automatisch ab.

Steigt während des Entleerungsvorganges der Wasserstand an H 10 AM 15 auf 2,70 m an, unterbricht der Prozeßrechner die Entleerung (Schieber S 68 schließt) und startet ihn wieder bei einem Wasserstand unter 2,70 m (Schieber S 68 öffnet).

Unbedingt erforderlich ist es, die Abwasserstände im Kanalnetz während der Beckenentleerung aufmerksam zu beobachten, damit durch die Beckenentleerung und dadurch in das Einlaufbauwerk zurückfließende Abwassermengen dort keine kritischen Wasserstände entstehen.

Im direkten Anschluß an das Ende des automatischen Entleerungsprogrammen beginnt das automatische Beckenspülungsprogramm.

6.) Notentlastung in den Hohentorshafen

Steigt der Abwasserhöhenstand im Einlaufbauwerk nach Befüllung der Rückhaltebecken auf den Wert von 4,20 m an H 10 AM 15 an, wird der Überlauf zum Hohentorshafen in Betrieb genommen. Hierzu wird die Förderschnecke 1 verwendet.

Betrieb der Entlastungspumpen:

Automatik

Eine Entlastungspumpe ist vorgewählt, beide Pumpen stehen auf Automatik, der Regelschalter ist eingelegt. Wenn ein RH-Becken überläuft und H 27 AM = 3,60 m anzeigt schließt der Druckschieber der nicht angewählten Pumpe, die angewählte Pumpe läuft an. Die Förderleistung der Pumpe wird nach dem Wasserstand im Umlaufgerinne von Hand geregelt. Ende der Förderung bei H 27 AM 33 = 1,53 m.

Handbetrieb

Erforderliche Schieberbetätigung, Einschalten der Pumpe bei H 27 AM 33 = 3,60 m. Bei beiden Betriebsarten erfolgt eine Regelung von Hand.

Die Pumpen werden auch im Handbetrieb bei H 27 AM 33 = 1,60 m abgeschaltet, sie werden dann wieder bei H 27 AM 33 = 3,50 m eingeschaltet. Je nach Tide wird die Schaltfolge unterschiedlich sein, sie kann durch Drosselung des betreffenden Druckschiebers ganz unterbunden werden.

7.) Erhöhte Förderung zur Kläranlage

Steigt trotz der Notentlastung in den Hohentorshafen der Abwasserhöhenstand im Einlaufbauwerk auf über 4,20 m bei H 10 AM 15 an, darf jetzt der Zufluß zur Kläranlage auf über 700 l/s bis zur maximalen Fördermenge von 1 800 l/s erhöht werden.

Bei Gesamtförderung aller drei Hauptpumpwerke kann dadurch die Klärwerkszuflußmenge von 3 800 l/s überschritten werden. Im Klärwerk öffnet dann die Regenabschlagklappe und das Abwasserfließt unter Umgehung der biologischen Reinigungsstufe direkt in die Weser. Dieser Vorgang wird im Klärwerk automatisch registriert und an Aufsichtsbehörden gemeldet!

Bevor die erhöhte Förderung vorgenommen wird, sollte der Alleinmaschinist das Ansteigen des Höhenstandes oberhalb der 4,20 m sich sorgfältig ansehen und bei einem nur langsamen Ansteigen und evtl. absehbaren Regenende oder Nachlassen eines Starkregens von der erhöhten Förderung absehen. Hier hat der Alleinmaschinist mit viel "Fingerspitzengefühl" vorzugehen.

Durch die erhöhte Förderung soll versucht werden, einen Wasserstand von höchstens 4,6 m an H 10 AM 15 zu halten. Beim Wasserstand von 4,20 m an H 10 AM 15 sind zu benachrichtigen:

Betriebsleiter Herr Vogel, privat Telefon Nr. (04209) 2995
Abschnittsleiter Herr Albrecht, privat Telefon Nr. (04221) 81955

Die Zeit der erhöhten Förderung ist im Maschinentagebuch festzuhalten.

8.) Notentlastung in den Hakenburger See (Wasserlöse)

Reicht die erhöhte Förderleistung zum Halten des Wasserstandes von 4,65 m an H 10 AM 15 noch nicht aus, erfolgt jetzt der Abschlag in den Hakenburger See durch weiteres Fördern mit Hilfe der Förderschnecke 2 und / oder 3.

ANLAGE 12: IMPLEMENTIERTE PRODUKTIONBASIS

```

AAAAA
DUMMY =R 0 -> HELP1 = FALSE

101 .00 865 259500.00 2.00
BBBBB
DUMMY =R 0 -> REG = FALSE

201 .00 865 259500.00 2.00
BBBBB
RSA5 >=R 2 -> REG = TRUE

301 .00 0 259500.00 2.00
RSB5 >=R 2 -> REG = TRUE

302 .00 0 259500.00 2.00
RSC5 >=R 2 -> REG = TRUE

303 .00 0 259500.00 2.00
RSA5 >=R 1 RSB5 >=R 1 RSC5 >=R 1 -> REG = TRUE

304 .00 0 259500.00 2.00
BBBBB
H10 >C AH10 -> +H10 = TRUE HELP1 = TRUE

401 .00 238 259500.00 2.00
H10 <=C AH10 -> +H10 = FALSE HELP1 = TRUE

402 .00 626 259500.00 2.00
BBBBB
HELP1 = FALSE -> +H10 = FALSE

501 .00 1 259500.00 2.00
BBBBB
H10 >=R -99 -> STINT =R 300

601 .00 865 259500.00 2.00
BBBBB
H10 <=R 130 -> P1 = 0

701 .00 2 259500.00 2.00
H10 >R 130 H10 <=R 165 -> P1 = 1

```

```

702 .00 296 259500.00 2.00
H10 >R 165 H10 <=R 200 -> P1 = 2

703 .00 46 259500.00 2.00
H10 >R 200 H10 <=R 460 -> P1 = 3

704 .00 515 259500.00 2.00
H10 >R 460 -> P1 = 4

705 .00 6 259500.00 2.00
BBBBB
H10 <=R 340 -> P2 = 0

801 .00 468 259500.00 2.00
H10 >R 340 H10 <=R 420 H11 >=R 538 -> P2 = 0

802 .00 219 259500.00 2.00
H10 >R 340 H10 <=R 420 +H10 = FALSE -> P2 = 0

803 .00 15 259500.00 2.00
H10 >R 340 H10 <=R 420 H11 <R 538 -> P2 = 1

804 .00 10 259500.00 2.00
H10 >R 340 H10 <=R 420 +H10 = TRUE -> P2 = 1

805 .00 0 259500.00 2.00
H10 >R 420 -> P2 = 1

806 .00 153 259500.00 2.00
BBBBB
ZP3 <R 10 H27 <=R 360 -> P3 = 0

901 .00 708 259500.00 2.00
ZP3 >=R 1990 H27 <=R 153 -> P3 = 0

902 .00 13 259500.00 2.00
ZP3 >=R 1990 H27 >R 153 -> P3 = 1

903 .00 131 259500.00 2.00
ZP3 <R 10 H27 >R 360 -> P3 = 1

904 .00 13 259500.00 2.00
BBBBB
H22 <=R 80 ZP15 =R 0 -> P4 = 0

```

1001	.00	33 259500.00	2.00					
H22 >R	80	H22 <=R 90 ZP15 =R	0	->	P4 =	1		
1002	.00	461 259500.00	2.00					
H22 >R	90	H22 <=R 110 ZP15 =R	0	->	P4 =	2		
1003	.00	85 259500.00	2.00					
H22 >R	110	ZP15 =R 0	->		P4 =	3		
1004	.00	150 259500.00	2.00					
ZP15 >=R	400	->	P4 =	4				
1005	.00	134 259500.00	2.00					
BBBBB								
H22 <=R	220	ZP2 =R 0	->		P5 =	0		
1101	.00	679 259500.00	2.00					
H22 <=R	220	ZP2 >=R 1990 H23 <=R	420	->	P5 =	1		
1102	.00	141 259500.00	2.00					
H22 <=R	220	ZP2 >=R 1990 H23 >R	420	->	P5 =	0		
1103	.00	4 259500.00	2.00					
H22 >R	220	H22 <=R 430 H23 <R	525	->	P5 =	1		
1104	.00	41 259500.00	2.00					
H22 >R	220	H22 <=R 430 H23 >=R	525	->	P5 =	0		
1105	.00	0 259500.00	2.00					
H22 >R	430	->	P5 =	1				
1106	.00	0 259500.00	2.00					
H22 >R	470	->	P5 =	2				
1107	.00	0 259500.00	2.00					
BBBBB								
H04 <=R	1	->	P6 =	0				
1201	.00	100 259500.00	2.00					
H04 >R	1	H04 <=R 10	->		P6 =	1		
1202	.00	681 259500.00	2.00					
H04 >R	10	H04 <=R 110	->		P6 =	2		
1203	.00	84 259500.00	2.00					
H04 >R	110	->	P6 =	3				

1204	.00	0 259500.00	2.00					
BBBBB								
DUMMY =R	0	->	P14 =	0				
1301	.00	865 259500.00	2.00					
BBBBB								
ZP14 =R	0	ZP2 =R 0 H10 <R	200	H11 >R	10			
REG = FALSE		->	P14 =	1				
1401	.00	1 259500.00	2.00					
ZP14 >=R	850	ZP2 =R 0 H10 <R	270	REG = FALSE				
->		P14 =	1					
1402	.00	37 259500.00	2.00					
BBBBB								
DUMMY =R	0	->	P15 =	0				
1501	.00	865 259500.00	2.00					
BBBBB								
ZP15 =R	0	ZP5 =R 0 H22 <R	170	H23 >R	10			
REG = FALSE		->	P15 =	1				
1601	.00	50 259500.00	2.00					
ZP15 >=R	410	ZP5 =R 0 H22 <R	210	REG = FALSE				
->		P15 =	1					
1602	.00	88 259500.00	2.00					
BBBBB								
DUMMY =C DUMMY		->	AH10 =C	H10				
1701	.00	865 259500.00	2.00					
ENDE								

- ANLAGE 13 -
DIE KODIERUNGSDATEI (ON-LINE VERSION)

DATEI CODDAT NUMMER N38, WO DIE XPS VARIABLEN CODIERT WERDEN
MODIFIZIERT VON KHELIL FEB-JUNI 1989

H04	H09	H10	H11	H12	H15	H17	H19	H21	H22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H23	H25	H27	H28	H29	H32	H35	H40		
11	12	13	14	15	16	17	18		
VDRU1	VDRU2	VDRU3	VDRU4	VDRU5	VRECH	VLINK			
51	52	53	54	55	56	57			
R1BTO	R2BTO	R3BTO							
101	102	103							
R1B05	R2B05	R3B05	R1B15	R2B15	R3B15	REG			
151	152	153	154	155	156	157			
R1N05	R2N05	R3N05	R1N15	R2N15	R3N15				
201	202	203	204	205	206				
ZVP1	ZVP2	ZVP3	ZVP4	ZVP5	ZVP6	ZVP7	ZVP8	ZVP9	ZVP10
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
ZVP11	ZVP12	ZVP13	ZVP14	ZVP15					
261	262	263	264	265					
ZQP1	ZQP2	ZQP3	ZQP4	ZQP5	ZQP6	ZQP7	ZQP8	ZQP9	ZQP10
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
ZQP11	ZQP12	ZQP13	ZQP14	ZQP15					
311	312	313	314	315					
VUWES	VUWAS	VUKRI	VUKLA						
351	352	353	354						
QUWES	QUWAS	QUKRI	QUKLA						
401	402	403	404						
AHPWL	AKRIM								
451	452								
LEISH	LEISK								
501	502								
ZP1	ZP2	ZP3	ZP4	ZP5	ZP6	ZP7	ZP8	ZP9	ZP10
551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
ZP11	ZP12	ZP12	ZP14	ZP15					
561	562	563	564	565					
ZP1.1	ZP1.2	ZP1.3	ZP2.1	ZP2.2	ZP2.3	ZP3.1	ZP3.2	ZP3.3	ZP4.1
601	602	603	604	605	606	607	608	609	610
ZP4.2	ZP4.3	ZP5.1	ZP5.2	ZP5.3					
611	612	613	614	615					
VH09	VH10	VH11	VH12	VH19	VH21	VH22	VH23	VH25	
651	652	653	654	655	656	657	658	659	
ZUH09	ZUH10	ZUH19	ZUH21	ZUH22	ZUH25				
701	702	703	704	705	706				
VVH09	VVH10	VVH11	VVH12	VVH19	VVH21	VVH22	VVH23	VVH25	
751	752	753	754	755	756	757	758	759	
PLS1	PLS2	PLS2							
801	802	803							
RWB									
851									
STINT									
901									
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
951	952	953	954	955	956	957	958	959	960

P11	P12	P13	P14	P15					
961	962	963	964	965					
P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P2.3	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1
1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010
P4.2	P4.3	P5.1	P5.2	P5.3					
1011	1012	1013	1014	1015					
HSC1	HSC2	HSC3	KSC1	KSC2	KSC3	KSC4	KSC5	KSC6	
1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	
MEL01	MEL02	MEL03	MEL04	MEL05	MEL06	MEL07	MEL08	MEL09	MEL10
1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110
MEL11	MEL12	MEL13	MEL14	MEL15					
1111	1112	1113	1114	1115					
DUMMY	ENDE								
5000	5100								
99999									
<	<=	=	>=	>					
1	2	3	4	5					
<V	<=V	=V	>=V	>V					
11	12	13	14	15					
<R	<=R	=R	>=R	>R					
21	22	23	24	25					
<C	<=C	=C	>=C	>C					
31	32	33	34	35					
99999									
0	1	2	3	4	5	6	7		
0	1	2	3	4	5	6	7		
ZERO	LOW	MID	HIGH	OFL					
51	52	53	54	55					
FALSE	TRUE	ON	OFF	GLT	UGLT				
101	102	151	152	201	202				
99999									

----- DER PATTERN-MATCHING PROZESS -----
 DER MINIMALE PROZENTTEIL DER ERFUELLTEN BEDINGUNGEN IN EINER
 AUSGEWAELHTEN PRODUKTION DES BLOCKS I

100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.

KOMMENTAR UEBER DEN INHALT DIESER DATEI CODDAT N38

A C H T U N G !

BEI DER CODIERUNG DARF KEIN WERT HOEHER ALS 9000
 ANGEWENDET WERDEN.

IM PROGRAMM CODPRO IST ' -> ' ALS 9988 CODDIERT
 ' --> ' ALS 9999 CODDIERT

BEMERKUNG :

' --> ' WIRD ZUR ZEIT NICHT BENUTZT

----- DIE BLOEKE -----

--
 ERSTER BLOCK : SCHLUESSELUNG DER ZUSTANDSVARIABLEN
 ZWEITER BLOCK : SCHLUESSELUNG DER OPERATOREN
 DRITTER BLOCK : SCHLUESSELUNG DER PRAEDIKATEN

----- BEDEUTUNG DER VARIABLEN -----

I) VARIABLEN, DIE VOM DATEN ERFASSUNGSSYSTEM GELIEFERT WERDEN

RiBTO : GESAMTE NIEDERSCHLAGSHOEHE SEIT ANFANG DES EREIGNISSES
 AM REGENSCHREIBER i (EXTERNE NUMERIERUNG)
 RiB05 : NIEDERSCHLAGSHOEHE IN DEN LETZTEN 5 MINUTEN AM
 REGENSCHREIBER i (1/10MM)

Hi : WASSERSTAND AM PEGEL NUMMER i (EXTERNE NUMERIERUNG) (CM)

VDRui : DURCHFLUSSVOLUMINA DER LETZTEN 5 MINUTEN IN DEN
 DRUCKROHRLEITUNGEN (M**3)

VRECH : PUMPENFOEDERVOLUMEN RECHTS DER WESER IN DEN
 LETZTEN 5 MINUTEN (L/S) = VDRUC3 + VDRUC4

VLINK : PUMPENFOEDERVOLUMEN LINKS DER WESER IN DEN
 LETZTEN 5 MINUTEN (L/S) = VDRUC1 + VDRUC2

ZVpi : FOEDERVOLUMEN DER PUMPE i (EXTERNE NUMERIERUNG) IN
 DEN LETZTEN 5 MINUTEN (M3)

ZQPi : AKTUELLE FOEDERLEISTUNG DER PUMPE i (L/S)

VUWES : UEBERLAUF VOLUMEN IN DEN LETZTEN 5 MINUTEN IN DIE WESER
 IM HPWL (IN M3)

VUWAS : UEBERLAUF VOLUMEN IN DEN LETZTEN 5 MINUTEN IN DIE
 WASSERLOESE (IN M3)

VUKRI : UEBERLAUF VOLUMEN IN DEN LETZTEN 5 MINUTEN IN DAS
 KRIMPELFLET (IN M3)

QUWES : AKTUELLER UEBERLAUF IN DIE WESER (L/S)

QUWAS : AKTUELLER UEBERLAUF IN DIE WASSERLOESE (L/S)

QUKRI : AKTUELLER UEBERLAUF IN DAS KRIMPELFLET (L/S)

QUKLA : AKTUELLER UEBERLAUF IN DER KLAERANLAGE (L/S)

AHPWL : GELEISTETE ARBEIT DER LETZTEN 5 MINUTEN IM HPWL (KW*s)

AKRIM : GELEISTETE ARBEIT DER LETZTEN 5 MINUTEN IN PW
 KRIMPEL(KW*s)

LEISH : AKTUELLE LEISTUNGS-AUFNAHME IM HPWL (KW)

LEISK : AKTUELLE LEISTUNGS-AUFNAHME IM PW KRIMPEL (KW)

ZPi.j : AKTUELLER STATUS (ON/OFF) DES TEILS j DER PUMPE i
 (Z.B. PUMPE 2 BESTEHT AUS 3 SCHNECKEN)

VHi : KANALSTAUARAUM BEZOGEN AUF DEN PEGEL Hi
 WENN Hi IM KANALNETZ
 RUECKHALTEBECKENBEFUELLUNG WENN Hi IM BECKEN
 (WIRD IN % ANGEGBEN)

II) VARIABLE, DIE VOM XPS BERECHNET WERDEN

DIE REGENDATEN:

RiN05 : EFFEKTIVE NIEDERSCHLAGSHOEHE IN DEN LETZTEN 5 MINUTEN
 AM REGENSCHREIBER i

DIE VORHERSAGEN:

ZUHi : VORHERSAGE UEBER DIE ZUFLUSSMENGEN (M**3) IN DEN
 VERSCHIEDENEN

STAURAEUMEN DES NETZES FUER DIE NAECHSTEN 5 MINUTEN.

VVHi : VORHERSAGE UEBER DEN STAUARAUM-AUSLASTUNG IM KANALNETZ IN
 DEN

NAECHSTEN 5 MINUTEN (%)

PUMPE P1 : (BERECHNUNG DER STUFE 2)

P1Si : (i=1,3) P1 FOERDERT KONTINUERLICH. EA WIRD 3 FAELLE
UNTERSCHIEDEN
P1S1 : PUMPE 1 STUFE 1 TROCKENWETTER,
P1S2 : PUMPE 1 STUFE 2 REGENWETTER NORMALER BETRIEB
(KEIN UEBERLAUF AN DER KLAERANLAGE)
P1S3 : PUMPE 1 STUFE 3 REGENWETTER STARKES EREIGNIS
(MIT UEBERLAUF AN DER KLAERANLAGE)

III) VARIABLE, UEBER DIE EINE ENTSCHEIDUNG GETROFFEN WIRD
STINT : LAENGE DES STEUERINTERVALLS (IM NORMALEN FALL IST STINT
GLEICH 5 MINUTEN. JEDOCH IN KRITISCHEN PHASEN KANN
STINT ZU 1 MINUTE GESETZT WERDEN)

RWB : REGENWETTERBETRIEB (JA/NEIN)
FALLS RWB = 1 (ES IST REGENWETTERBETRIEB) DANN HAT
WIRKLICH DAS XPS ETWAS ZU TUN.

Pi : (i=1,2,3,4,5,14,15) ENTSCHEIDUNG DES XPS AN DER PUMPE i
(DIE BEIDEN LETZTEN PUMPEN P14, P15 SIND ENTLERUNGS-
-SCHIEBER)

Pi.j : ENTSCHEIDUNG UEBER JEDEN EINZELNEN TEIL DER PUMPE i
DAS GILT FUER DIE PUMPE P2 UND P5, DIE AUS SCHNECKEN
BESTEHEN.

HSCi : =1 BEDEUTET SCHNECKE i IM HPWL MUSS EINGESCHALTET
WERDEN
=0 SCHNECKE i IM HPWL LAEUFT WIE IM
FRUEHEREN ZEITSCHRITT
=-1 SCHNECKE i IM HPWL MUSS AUSGESCHALTET
WERDEN

KSCi : =1 BEDEUTET SCHNECKE i IM PW KRIMPEL MUSS EINGE-
-SCHALTET WERDEN
=0 SCHNECKE i IM PW KRIMPEL LAEUFT WIE IM
FRUEHEREN ZEITSCHRITT
=-1 SCHNECKE i IM PW KRIMPEL MUSS AUSGES-
-CHALTET WERDEN

MEL i : MELDUNG NUMMER i MUSS VOM DATENERFASSUNGSSYSTEM AM
BILDSCHIRM GEZEIGT WERDEN
(MELi =R j) BEDEUTET WENN j>0, DASS DIE j. ZEILE
DER MELDUNGSDATEI VOM DATENERFASSUNGSSYSTEM AUFGE-
-ZEIGT WERDEN SOLL.

DUMMY : DIESE VARIABLE HAT KEINE BEDEUTUNG (DAS IST EINE
HILFSVARIABLE, DIE BENUTZT WIRD UM DEN INFERENZ-
-PROZESS IN BESTIMMTEN FAELLEN ZU LENKEN).

----- DIE OPERATOREN -----

ALLE OPERATOREN SIND VERGLEICHOPERATOREN. SIE UNTERSCHIEDEN
SICH
IN ZWEIERLEI HINSICHT :
1- IN DEM TYP DER VARIABLEN DIE VERGLICHEN WERDEN MUESSEN
(HANDELT ES SICH UM NUMERISCHE WERTE ODER PRAEDIKATEN WERTE)

2- OB MAN EINE VARIABLE DIREKT MIT EINEM WERT VERGLEICHT ODER
OB MAN 2 VARIABLEN MITEINANDER VERGLEICHT.
IN DEM ZWEITEN FALL MUESSEN DIE BEIDEN VARIABLEN VORHER
EINEM WERT ZUGEWIESEN WERDEN.
DEMZUFOLGE GIBT ES 4 GRUPPEN VON VERGLEICHOPERATOREN.

----- DIE PRAEDIKATEN -----

i : NUMMER DER FOERDERSTUFE. ES GIBT 7 STUFEN (VON 0 BIS 6)

A C H T U N G !
DIE CODDIERTEN WERTE DER STUFEN MUSS DIE REIHENFOLGE
DER STUFEN RESPEKTIEREN.
DAS HEISST :
CODDIERTER WERT VON STUFE i > CODDIERTER WERT VON STUFE
j , WENN i > j.

BESCHREIBUNGSPRAEDIKATEN :
INSBESONDERE UM DIE WASSERSTAENDE ZU QUALIFIZIEREN
ZERO : BEDEUTET NULL
LOW : BEDEUTET NIEDRIG
MID : BEDEUTET MITTEL
HIGH : BEDEUTET HOCH
OFL : BEDEUTET UEBERFLUTUNG (OVERFLOW)

STATUSPRAEDIKATEN :
- UM BESTIMMTE SITUATIONEN ZU BESCHREIBEN
(REGENWETTERBETRIEB,...)
- UM DEN BETRIEBZUSTAND DER PUMPEN ZU QUALIFIZIEREN ...
- UM DIE GUELTIGKEIT EINE INFORMATION ZU QUALIFIZIEREN...
FALSE : BEDEUTET FALSCH
TRUE : BEDEUTET WAHR
ON : BEDEUTET EINGESCHALTET
OFF : BEDEUTET AUSGESCHALTET
GLT : BEDEUTET GUELTIG
UGLT : BEDEUTET UNGUELTIG

BEMERKUNGEN :
VARIABLEN, DIE FUER DEN LERNPROZESS NOTWENDIG SIND UND DIE
FRUEHER
IN CODDAT EINGELESEN WORDEN SIND, SIND GELOESCHT WORDEN.
ES HANDELT SICH UM : PALIST,VAROUP,GRENZ.

- ANLAGE 14 -
DIE PRODUKTIONSBASIS (ON-LINE VERSION)

8888						
ZP2.1<=R	0	ZP2.2<=R	0	ZP2.3<=R	0	->
ZP2 =R	0					
ZP2.1 =R	1	ZP2.2<=R	0	ZP2.3<=R	0	->
ZP2 =R	1					
ZP2.1<=R	0	ZP2.2 =R	1	ZP2.3<=R	0	->
ZP2 =R	2					
ZP2.1<=R	0	ZP2.2<=R	0	ZP2.3 =R	1	->
ZP2 =R	3					
ZP2.1 =R	1	ZP2.2 =R	1	ZP2.3<=R	0	->
ZP2 =R	4					
ZP2.1 =R	1	ZP2.2<=R	0	ZP2.3 =R	1	->
ZP2 =R	5					
ZP2.1<=R	0	ZP2.2 =R	1	ZP2.3 =R	1	->
ZP2 =R	6					
7777						
ZP4.1<=R	0	ZP4.2<=R	0	ZP4.3<=R	0	->
ZP4 =R	0					
ZP4.1 =R	1	ZP4.2<=R	0	ZP4.3<=R	0	->
ZP4 =R	1					
ZP4.1<=R	0	ZP4.2 =R	1	ZP4.3<=R	0	->
ZP4 =R	2					
ZP4.1<=R	0	ZP4.2<=R	0	ZP4.3 =R	1	->
ZP4 =R	3					
ZP4.1 =R	1	ZP4.2 =R	1	ZP4.3<=R	0	->
ZP4 =R	4					
ZP4.1 =R	1	ZP4.2<=R	0	ZP4.3 =R	1	->
ZP4 =R	5					
ZP4.1<=R	0	ZP4.2 =R	1	ZP4.3 =R	1	->
ZP4 =R	6					
7777						
ZP5.1<=R	0	ZP5.2<=R	0	ZP5.3<=R	0	->
ZP5 =R	0					
ZP5.1 =R	1	ZP5.2<=R	0	ZP5.3<=R	0	->
ZP5 =R	1					
ZP5.1<=R	0	ZP5.2 =R	1	ZP5.3<=R	0	->
ZP5 =R	2					

```

ZP5.1<=R 0 ZP5.2<=R 0 ZP5.3 =R 1 ->
ZP5.1 =R 1 ZP5.2 =R 1 ZP5.3<=R 0 ->
ZP5.1 =R 1 ZP5.2<=R 0 ZP5.3 =R 1 ->
ZP5.1<=R 0 ZP5.2 =R 1 ZP5.3 =R 1 ->
7777
ZQP14 =R -999 -> ZP14 =R -999
ZQP14<=R 5 -> ZP14 =R 0
ZQP14 >R 5 -> ZP14 =R 1
7777
ZQP15 =R -999 -> ZP15 =R -999
ZQP15<=R 5 -> ZP15 =R 0
ZQP15 >R 5 -> ZP15 =R 1
7777
VH11 =R -999 QUWES >R 0 -> VH11 =R 100
VH11 =R -999 QUWES =R -999 QUWAS >R 0 ->
VH11 =R 100
7777
VH23 =R -999 QUKRI >R 0 -> VH23 =R 100
VH23 =R -999 QUKRI =R 0 -> VH23 <R 100
7777
R1B05 >R 1 R2B05 >R 1 R3B05 >R 1 ->
REG =R 1
R1B05 >R 2 -> REG =R 1
R2B05 >R 2 -> REG =R 1
R3B05 >R 2 -> REG =R 1
7777
VH10 <R 80 VH09 <R 80 VH19 <R 80 VH21 <R 80
VH22 <R 80 VH25 <R 80 VH11 <R 80 VH12 <R 80
VH23 <R 80 -> STINT =R 5
7777
STINT =R 5 REG =R 0 -> RWB =R 0
7777
RWB =R 0 -> RWB =FALSE
7777

```

```

VH10<=R 70 -> P2 =R 0
VH10 >R 70 VH10 <R 95 ZUH10<=R 100 ->
P2 =R 0
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VVH10 <C VH10 ZUH10 >R 100
VH11<=R 70 -> P2 =R 1
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VVH10 >C VH10 VVH10<=R 90
ZUH10 >R 100 VH11<=R 70 -> P2 =R 2
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VVH10 >C VH10 VVH10 >R 90
ZUH10 >R 100 VH11<=R 70 -> P2 =R 4
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VH11 >R 70 VH11<=R 90
ZUH10 >R 100 VVH10 >C VH10 -> P2 =R 1
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VH11 >R 70 VH11<=R 90
VVH10 <C VH10 ZUH10 >R 100 -> P2 =R 0
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VH11 >R 90 VVH10<=R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 0
VH10 >R 70 VH10<=R 80 VH11 >R 90 VVH10 >R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 1
VH10>=R 80 VH10<=R 90 VH11<=R 80 VVH10<=R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 2
VH10>=R 80 VH10<=R 90 VH11<=R 80 VVH10>=R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 4
VH10>=R 80 VH10<=R 90 VH11>=R 80 VH11<=R 90
VVH10<=R 90 ZUH10 >R 100 -> P2 =R 1
VH10>=R 80 VH10<=R 90 VH11>=R 80 VH11<=R 90
VVH10>=R 90 ZUH10 >R 100 -> P2 =R 2
VH10 >R 90 VH10<=R 95 VVH10<=C VH10 VH11<=R 60
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 4
VH10 >R 90 VH10<=R 95 VVH10 >C VH10 VH11<=R 60
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 5
VH10 >R 90 VH10<=R 95 VH11 >R 60 VH11<=R 70
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 4
VH10 >R 90 VH10<=R 95 VH11 >R 70 VH11<=R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 2
VH10>=R 90 VH10<=R 95 VH11>=R 90 VVH10<=R 90
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 1
VH10>=R 90 VH10<=R 95 VH11>=R 90 VVH10>=R 90
VVH10<=R 95 ZUH10 >R 100 -> P2 =R 2
VH10>=R 90 VH10<=R 95 VH11>=R 90 VVH10 >R 95
ZUH10 >R 100 -> P2 =R 3

```

VH10>=R 95 VVH10<=R 95 VH11<=R 90 ->
P2 =R 2

VH10 >R 95 VVH10 >R 95 VH11<=R 90 ->
P2 =R 3

VH10 >R 95 VH11 >R 90 ZUH10 >R 100 ->
P2 =R 2

VH10 =R 100 VH09>=R 90 -> P2 =R 3

VH10 =R 100 VH19>=R 90 -> P2 =R 3

VH10 =R 100 VH09 <R 90 VH19 <R 90 ->
P2 =R 2

7777
ZP2.1 =R -999 ZP2.2 =R -999 ZP2.3 =R -999 ->
(P2 =R 0)

ZP2.1 =R -999 ZP2.2 =R -999 ZP2.3 >R -999 P2 >R 0
-> (P2 =R 3)

ZP2.1 =R -999 ZP2.2 >R -999 ZP2.2 =R -999 P2 >R 0
-> (P2 =R 2)

ZP2.1 >R -999 ZP2.2 =R -999 ZP2.3 =R -999 (P2 >R 0)
-> (P2 =R 1)

P2 =R 1) (ZP2.1 =R -999) (ZP2.2 >R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 2)

(P2 =R 2) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 =R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 3)

(P2 =R 3) (ZP2.3 =R -999) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 >R -999)
-> (P2 =R 4)

(P2 =R 4) (ZP2.1 =R -999) (ZP2.2 >R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 3)

(P2 =R 4) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 =R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 3)

(P2 =R 5) (ZP2.1 =R -999) (ZP2.2 >R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 6)

(P2 =R 5) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 >R -999) (ZP2.3 =R -999)
-> (P2 =R 4)

(P2 =R 6) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 =R -999) (ZP2.3 >R -999)
-> (P2 =R 5)

(P2 =R 6) (ZP2.1 >R -999) (ZP2.2 >R -999) (ZP2.3 =R -999)
-> (P2 =R 4)

7777
ZP14<=R 0 VH11<=R 5 H10>=R 0 H10<=R 160
-> P1 =R 0

ZP14<=R 0 VH11<=R 5 H10 >R 160 H10<=R 180
ZP1>=R 1 -> P1 =R 1

ZP14<=R 0 VH11<=R 5 H10 >R 160 H10<=R 180
ZP1 =R 0 -> P1 =R 0

ZP14<=R 0 VH11<=R 5 H10 >R 180 H10<=R 200
-> P1 =R 1

VH11 >R 5 VH10>=R 0 VH10<=R 90 ->
P1 =R 2

H10>=R 200 VH10<=R 90 -> P1 =R 2

VH10>=R 90 VH10 <R 95 VVH10 <C VH10 ->
P1 =R 2

VH10>=R 90 VH10 <R 95 VVH10 >C VH10 ->
P1 =R 3

VH10>=R 95 -> P1 =R 3

ZP14 =R 1 -> P1 =R 1

RWB =R 0 H10 =R -999 -> P1 =R 1

RWB =R 1 H10 =R -999 -> P1 =R 2

7777
QUWES =R 0 -> P3 =R 0

QUWES >R 0 -> P3 =R 1

QUWES =R -999 VH11>=R 5 VH11 <R 100 ->
P3 =R 0

VH11 =R 100 P2 >R 0 QUWES =R -999 ->
P3 =R 1

VH11 =R 100 P2 =R 0 QUWAS =R 0 QUWES =R -999
-> P3 =R 0

QUWES =R -999 VH11 =R -999 QUWAS >R 0 ->
P3 =R 1

7777
VH22<=R 70 -> P5 =R 0

VH22 >R 70 VH22<=R 80 ZUH22 >R 100 VH23<=R 90
-> P5 =R 1

VH22 >R 70 VH22<=R 80 ZUH22<=R 100 VH23<=R 90
-> P5 =R 0

VH22 >R 70 VH22<=R 80 VH23 >R 90 ->
P5 =R 0

VH22 >R ->	80	VH22<=R P5 =R	90 4	VVH22 >R	90	VH23<=R	90	
VH22 >R VH23<=R	80 90	VH22<=R ->	90	VVH22<=R P5 =R	90 2	ZUH22 >R	100	
VH22 >R VH23<=R	80 90	VH22<=R ->	90	VVH22<=R P5 =R	90 0	ZUH22<=R	100	
VH22 >R ->	80	VH22<=R P5 =R	90 2	VH23 >R	90	VVH23<=R	100	
VH22 >R ->	80	VH22<=R P5 =R	90 1	VH23 >R	90	VVH23 =R	100	
VH22 >R ->	90	VH22 <R P5 =R	100 4	VVH22 >R	90	VH23<=R	90	
VH22 >R ->	90	VH22 <R P5 =R	100 2	VVH22 <R	90	VH23<=R	90	
VH22 >R P5 =R	90 2	VH22 <R	100	VH23 >R	90		->	
VH22 =R	100		->	P5 =R	4			

7777

(ZP5.1 =R -999)	(ZP5.2 =R -999)	(ZP5.3 =R -999)	->
(P5 =R 0)			
(P5 >R 0)	(ZP5.1 =R -999)	(ZP5.2 =R -999)	(ZP5.3 >R -999)
->	(P5 =R 3)		
(P5 >R 0)	(ZP5.1 =R -999)	(ZP5.2 >R -999)	(ZP5.3 =R -999)
->	(P5 =R 2)		
(P5 >R 0)	(ZP5.1 >R -999)	(ZP5.2 =R -999)	(ZP5.3 =R -999)
->	(P5 =R 1)		
(P5 =R 1)	(ZP5.1 =R -999)	(ZP5.2 >R -999)	(ZP5.3 >R -999)
->	(P5 =R 2)		
(P5 =R 2)	(ZP5.1 >R -999)	(ZP5.2 =R -999)	(ZP5.3 >R -999)
->	(P5 =R 3)		
(P5 =R 3)	(ZP5.1 >R -999)	(ZP5.2 >R -999)	(ZP5.3 =R -999)
->	(P5 =R 4)		
(P5 =R 4)	(ZP5.1 =R -999)	(ZP5.2 >R -999)	(ZP5.3 >R -999)
->	(P5 =R 3)		
(P5 =R 4)	(ZP5.1 >R -999)	(ZP5.2 =R -999)	(ZP5.3 >R -999)
->	(P5 =R 5)		

7777

H22>=R P4 =R	0 0	H22<=R	90	ZP4>=R	1	->
-----------------	--------	--------	----	--------	---	----

H22 >R P4 =R	90 1	ZP4>=R	1	VH22<=R	70	->
H22>=R P4 =R	0 0	H22<=R	95	ZP4 =R	0	->
H22 >R P4 =R	95 1	VH22<=R	70	ZP4 =R	0	->
VH22 >R ->	70	VH22<=R P4 =R	80 2	VH19<=R	80	VH21<=R 80
VH22 >R ->	80	VH22<=R P4 =R	90 3	VH19<=R	80	VH21<=R 80
VH22 >R P4 =R	90 4	VH19<=R	80	VH21<=R	80	->
VH22 >R ->	80	VH21 >R P4 =R	80 1	VH21<=R	95	VH19<=R 95
VH22 >R ->	80	VH19 >R P4 =R	80 1	VH19<=R	95	VH21<=R 95
VH21 >R	95		->	P4 =R	0	
VH19 >R	95		->	P4 =R	0	

7777

(ZP4.1 =R -999)	(ZP4.2 =R -999)	(ZP4.3 =R -999)	->
(P4 =R 0)			
(P4 >R 0)	(ZP4.1 =R -999)	(ZP4.2 =R -999)	(ZP4.3 >R -999)
->	(P4 =R 3)		
(P4 >R 0)	(ZP4.1 =R -999)	(ZP4.2 >R -999)	(ZP4.3 =R -999)
->	(P4 =R 2)		
(P4 >R 0)	(ZP4.1 >R -999)	(ZP4.2 =R -999)	(ZP4.3 =R -999)
->	(P4 =R 1)		
(P4 =R 1)	(ZP4.1 =R -999)	(ZP4.2 >R -999)	(ZP4.3 >R -999)
->	(P4 =R 2)		
(P4 =R 2)	(ZP4.1 >R -999)	(ZP4.2 =R -999)	(ZP4.3 >R -999)
->	(P4 =R 3)		
(P4 =R 3)	(ZP4.1 >R -999)	(ZP4.2 >R -999)	(ZP4.3 =R -999)
->	(P4 =R 4)		
(P4 =R 4)	(ZP4.1 =R -999)	(ZP4.2 >R -999)	(ZP4.3 >R -999)
->	(P4 =R 3)		
(P4 =R 4)	(ZP4.1 >R -999)	(ZP4.2 =R -999)	(ZP4.3 >R -999)
->	(P4 =R 5)		

7777
 ZP14 =R -999 -> P14 =R 0
 P2 >R 0 -> P14 =R 0
 P2 =R 0 VH11<=R 5 -> P14 =R 0
 P2 =R 0 VH10 >R 50 -> P14 =R 0
 P2 =R 0 VH11 >R 5 VH10<=R 50 ZP14 >R -999
 -> P14 =R 1

7777
 ZP15 =R -999 -> P15 =R 0
 P5 >R 0 -> P15 =R 0
 P5 =R 0 VH23<=R 5 -> P15 =R 0
 P5 =R 0 H23 >R 375 VH21 >R 50 ->
 P15 =R 0
 P5 =R 0 H23<=R 375 VH22 >R 50 ->
 P15 =R 0
 P5 =R 0 H23 >R 375 VH21<=R 50 ZP15 >R -999
 -> P15 =R 1
 P5 =R 0 H23<=R 375 VH23 >R 5 VH22<=R 50
 VH22>=R 0 ZP15 >R -999 -> P15 =R 1

7777
 P2 =R 0 -> P2.1 =R 0 P2.2 =R 0
 P2.3 =R 0
 P2 =R 1 -> P2.1 =R 1 P2.2 =R 0
 P2.3 =R 0
 P2 =R 2 -> P2.1 =R 0 P2.2 =R 1
 P2.3 =R 0
 P2 =R 3 -> P2.1 =R 0 P2.2 =R 0
 P2.3 =R 1
 P2 =R 4 -> P2.1 =R 1 P2.2 =R 1
 P2.3 =R 0
 P2 =R 5 -> P2.1 =R 1 P2.2 =R 0
 P2.3 =R 1
 P2 =R 6 -> P2.1 =R 0 P2.2 =R 1
 P2.3 =R 1

7777
 P4 =R 0 -> P4.1 =R 0 P4.2 =R 0
 P4.3 =R 0
 P4 =R 1 -> P4.1 =R 1 P4.2 =R 0
 P4.3 =R 0

P4 =R 2 -> P4.1 =R 0 P4.2 =R 1
 P4.3 =R 0
 P4 =R 3 -> P4.1 =R 0 P4.2 =R 0
 P4.3 =R 1
 P4 =R 4 -> P4.1 =R 1 P4.2 =R 1
 P4.3 =R 0
 P4 =R 5 -> P4.1 =R 1 P4.2 =R 0
 P4.3 =R 1
 P4 =R 6 -> P4.1 =R 0 P4.2 =R 1
 P4.3 =R 1

7777
 P5 =R 0 -> P5.1 =R 0 P5.2 =R 0
 P5.3 =R 0
 P5 =R 1 -> P5.1 =R 1 P5.2 =R 0
 P5.3 =R 0
 P5 =R 2 -> P5.1 =R 0 P5.2 =R 1
 P5.3 =R 0
 P5 =R 3 -> P5.1 =R 0 P5.2 =R 0
 P5.3 =R 1
 P5 =R 4 -> P5.1 =R 1 P5.2 =R 1
 P5.3 =R 0
 P5 =R 5 -> P5.1 =R 1 P5.2 =R 0
 P5.3 =R 1
 P5 =R 6 -> P5.1 =R 0 P5.2 =R 1
 P5.3 =R 1

7777
 ZP2.1<=R 0 P2.1 =R 0 -> HSC1 =R 0
 ZP2.1<=R 0 P2.1 =R 1 -> HSC1 =R 1
 ZP2.1 =R 1 P2.1 =R 0 -> HSC1 =R -1
 ZP2.1 =R 1 P2.1 =R 1 -> HSC1 =R 0
 7777
 ZP2.2<=R 0 P2.2 =R 0 -> HSC2 =R 0
 ZP2.2<=R 0 P2.2 =R 1 -> HSC2 =R 1
 ZP2.2 =R 1 P2.2 =R 0 -> HSC2 =R -1
 ZP2.2 =R 1 P2.2 =R 1 -> HSC2 =R 0

7777
 ZP2.3<=R 0 P2.3 =R 0 -> HSC3 =R 0

ZP2.3<=R	0	P2.3 =R	1	->	HSC3 =R	1
ZP2.3 =R	1	P2.3 =R	0	->	HSC3 =R	-1
ZP2.3 =R	1	P2.3 =R	1	->	HSC3 =R	0
7777						
ZP4.1<=R	0	P4.1 =R	0	->	KSC1 =R	0
ZP4.1<=R	0	P4.1 =R	1	->	KSC1 =R	1
ZP4.1 =R	1	P4.1 =R	0	->	KSC1 =R	-1
ZP4.1 =R	1	P4.1 =R	1	->	KSC1 =R	0
7777						
ZP4.2<=R	0	P4.2 =R	0	->	KSC2 =R	0
ZP4.2<=R	0	P4.2 =R	1	->	KSC2 =R	1
ZP4.2 =R	1	P4.2 =R	0	->	KSC2 =R	-1
ZP4.2 =R	1	P4.2 =R	1	->	KSC2 =R	0
7777						
ZP4.3<=R	0	P4.3 =R	0	->	KSC3 =R	0
ZP4.3<=R	0	P4.3 =R	1	->	KSC3 =R	1
ZP4.3 =R	1	P4.3 =R	0	->	KSC3 =R	-1
ZP4.3 =R	1	P4.3 =R	1	->	KSC3 =R	0
7777						
ZP5.1<=R	0	P5.1 =R	0	->	KSC4 =R	0
ZP5.1<=R	0	P5.1 =R	1	->	KSC4 =R	1
ZP5.1 =R	1	P5.1 =R	0	->	KSC4 =R	-1
ZP5.1 =R	1	P5.1 =R	1	->	KSC4 =R	0
7777						
ZP5.2<=R	0	P5.2 =R	0	->	KSC5 =R	0
ZP5.2<=R	0	P5.2 =R	1	->	KSC5 =R	1
ZP5.2 =R	1	P5.2 =R	0	->	KSC5 =R	-1
ZP5.2 =R	1	P5.2 =R	1	->	KSC5 =R	0
7777						
ZP5.3<=R	0	P5.3 =R	0	->	KSC6 =R	0
ZP5.3<=R	0	P5.3 =R	1	->	KSC6 =R	1
ZP5.3 =R	1	P5.3 =R	0	->	KSC6 =R	-1
ZP5.3 =R	1	P5.3 =R	1	->	KSC6 =R	0

7777									
ZP1 <R	2	P1 =R	2	->	MEL01 =R	2			
ZP1 <R	3	P1 =R	3	->	MEL01 =R	3			
ZP1 >R	2	P1 =R	2	->	MEL01 =R	2			
ZP1 >R	1	P1<=R	1	->	MEL01 =R	5			
7777									
ZP2 >R	0	P2 =R	0	VH11 =R	-999	QUWES =R	-999		
->		MEL02 =R	7						
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	1		
P2 =R	1	->		MEL02 =R	8				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	2		
P2 =R	2	->		MEL02 =R	9				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	3		
P2 =R	3	->		MEL02 =R	10				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	4		
P2 =R	4	->		MEL02 =R	11				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	5		
P2 =R	5	->		MEL02 =R	12				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 <R	6		
P2 =R	6	->		MEL02 =R	13				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 >R	1		
P2 =R	1	->		MEL02 =R	14				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 >R	2		
P2 =R	2	->		MEL02 =R	15				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 >R	3		
P2 =R	3	->		MEL02 =R	16				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 >R	4		
P2 =R	4	->		MEL02 =R	17				
VH11 =R	-999	QUWES =R	-999	QUWAS<=R	0	ZP2 >R	5		
P2 =R	5	->		MEL02 =R	18				
ZP2 >R	0	P2 =R	0	VH11 <R	99	VH11 >R	-999		
->		MEL02 =R	7						
VH11 <R	99	VH11 >R	-999	ZP2 <R	1	P2 =R	1		
->		MEL02 =R	8						
VH11 <R	99	VH11 >R	-999	ZP2 <R	2	P2 =R	2		
->		MEL02 =R	9						
VH11 <R	99	VH11 >R	-999	ZP2 <R	3	P2 =R	3		
->		MEL02 =R	10						

VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 11	ZP2 <R	4	P2 =R	4
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 12	ZP2 <R	5	P2 =R	5
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 13	ZP2 <R	5	P2 =R	6
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 14	ZP2 >R	1	P2 =R	1
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 15	ZP2 >R	2	P2 =R	2
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 16	ZP2 >R	3	P2 =R	3
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 17	ZP2 >R	4	P2 =R	4
VH11 <R ->	99	VH11 >R MEL02 =R	-999 18	ZP2 >R	5	P2 =R	5
ZP2 >R ->	0	P2 =R MEL02 =R	0 7	VH11 =R	-999	QUWES =R	0
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 8	ZP2 <R	1	P2 =R	1
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 9	ZP2 <R	2	P2 =R	2
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 10	ZP2 <R	3	P2 =R	3
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 11	ZP2 <R	4	P2 =R	4
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 12	ZP2 <R	5	P2 =R	5
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 13	ZP2 <R	5	P2 =R	6
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 14	ZP2 >R	1	P2 =R	1
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 15	ZP2 >R	2	P2 =R	2
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 16	ZP2 >R	3	P2 =R	3
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 17	ZP2 >R	4	P2 =R	4
VH11 =R ->	-999	QUWES =R MEL02 =R	0 18	ZP2 >R	5	P2 =R	5

ZP2 >R ->	0	P2 =R MEL02 =R	0 19	VH11 >=R	99	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	1 20	P2 =R	1	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	2 21	P2 =R	2	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	3 22	P2 =R	3	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	4 23	P2 =R	4	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	5 24	P2 =R	5	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 <R MEL02 =R	5 25	P2 =R	6	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 >R MEL02 =R	1 26	P2 =R	1	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 >R MEL02 =R	2 27	P2 =R	2	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 >R MEL02 =R	3 28	P2 =R	3	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 >R MEL02 =R	4 29	P2 =R	4	QUWAS <=R	0
VH11 >=R ->	99	ZP2 >R MEL02 =R	5 30	P2 =R	5	QUWAS <=R	0
ZP2 >R QUWAS <=R	0 0	P2 =R ->	0 19	VH11 =R	-999	QUWES >=R	0
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 20	ZP2 <R	1	P2 =R	1
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 21	ZP2 <R	2	P2 =R	2
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 22	ZP2 <R	3	P2 =R	3
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 23	ZP2 <R	4	P2 =R	4
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 24	ZP2 <R	5	P2 =R	5
VH11 =R QUWAS <=R	-999 0	QUWES >=R ->	0 25	ZP2 <R	5	P2 =R	6

VH11 =R -999	QUWES>=R	0	ZP2 >R	1	P2 =R	1
QUWAS<=R	->		MEL02 =R	26		
VH11 =R -999	QUWES>=R	0	ZP2 >R	2	P2 =R	2
QUWAS<=R	->		MEL02 =R	27		
VH11 =R -999	QUWES>=R	0	ZP2 >R	3	P2 =R	3
QUWAS<=R	->		MEL02 =R	28		
VH11 =R -999	QUWES>=R	0	ZP2 >R	4	P2 =R	4
QUWAS<=R	->		MEL02 =R	29		
VH11 =R -999	QUWES>=R	0	ZP2 >R	5	P2 =R	5
QUWAS<=R	->		MEL02 =R	30		
ZP2 >R	0	P2 =R	0	QUWAS >R	0	->
MEL02 =R	31					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	1	P2 =R	1	->
MEL02 =R	32					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	2	P2 =R	2	->
MEL02 =R	33					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	3	P2 =R	3	->
MEL02 =R	34					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	4	P2 =R	4	->
MEL02 =R	35					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	5	P2 =R	5	->
MEL02 =R	36					
QUWAS >R	0	ZP2 <R	5	P2 =R	6	->
MEL02 =R	37					
QUWAS >R	0	ZP2 >R	1	P2 =R	1	->
MEL02 =R	38					
QUWAS >R	0	ZP2 >R	2	P2 =R	2	->
MEL02 =R	39					
QUWAS >R	0	ZP2 >R	3	P2 =R	3	->
MEL02 =R	40					
QUWAS >R	0	ZP2 >R	4	P2 =R	4	->
MEL02 =R	41					
QUWAS >R	0	ZP2 >R	5	P2 =R	5	->
MEL02 =R	42					
7777						
ZP5 >R	0	P5 =R	0	VH23 =R -999	QUKRI =R -999	
->		MEL03 =R	44			
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	1	P5 =R	1	
->	MEL03 =R	45				

VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	2	P5 =R	2	
->	MEL03 =R	46				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	3	P5 =R	3	
->	MEL03 =R	47				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	4	P5 =R	4	
->	MEL03 =R	48				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	5	P5 =R	5	
->	MEL03 =R	49				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 <R	5	P5 =R	6	
->	MEL03 =R	50				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 >R	1	P5 =R	1	
->	MEL03 =R	51				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 >R	2	P5 =R	2	
->	MEL03 =R	52				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 >R	3	P5 =R	3	
->	MEL03 =R	53				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 >R	4	P5 =R	4	
->	MEL03 =R	54				
VH23 =R -999	QUKRI =R -999	ZP5 >R	5	P5 =R	5	
->	MEL03 =R	55				
ZP5 >R	0	P5 =R	0	VH23 <R	99	VH23 >R -999
->		MEL03 =R	44			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	45			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	46			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	47			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	48			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	49			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 <R	5	P5 =R	6
->		MEL03 =R	50			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 >R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	51			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 >R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	52			
VH23 <R	99	VH23 >R -999	ZP5 >R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	53			

VH23 <R	99	VH23 >R	-999	ZP5 >R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	54				
VH23 <R	99	VH23 >R	-999	ZP5 >R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	55				
ZP5 >R	0	P5 =R	0	VH23 =R	-999	QUKRI =R	0
->		MEL03 =R	44				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	45				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	46				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	47				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	48				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	49				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 <R	5	P5 =R	6
->		MEL03 =R	50				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 >R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	51				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 >R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	52				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 >R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	53				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 >R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	54				
VH23 =R	-999	QUKRI =R	0	ZP5 >R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	55				
ZP5 >R	0	P5 =R	0	VH23>=R	99	->	
MEL03 =R	56						
VH23>=R	99	ZP5 <R	1	P5 =R	1	->	
MEL03 =R	57						
VH23>=R	99	ZP5 <R	2	P5 =R	2	->	
MEL03 =R	58						
VH23>=R	99	ZP5 <R	3	P5 =R	3	->	
MEL03 =R	59						
VH23>=R	99	ZP5 <R	4	P5 =R	4	->	
MEL03 =R	60						

VH23>=R	99	ZP5 <R	5	P5 =R	5	->	
MEL03 =R	61						
VH23>=R	99	ZP5 <R	5	P5 =R	6	->	
MEL03 =R	62						
VH23>=R	99	ZP5 >R	1	P5 =R	1	->	
MEL03 =R	63						
VH23>=R	99	ZP5 >R	2	P5 =R	2	->	
MEL03 =R	64						
VH23>=R	99	ZP5 >R	3	P5 =R	3	->	
MEL03 =R	65						
VH23>=R	99	ZP5 >R	4	P5 =R	4	->	
MEL03 =R	66						
VH23>=R	99	ZP5 >R	5	P5 =R	5	->	
MEL03 =R	67						
ZP5 >R	0	P5 =R	0	VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0
->		MEL03 =R	56				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	57				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	58				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	59				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	60				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	61				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 <R	5	P5 =R	6
->		MEL03 =R	62				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 >R	1	P5 =R	1
->		MEL03 =R	63				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 >R	2	P5 =R	2
->		MEL03 =R	64				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 >R	3	P5 =R	3
->		MEL03 =R	65				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 >R	4	P5 =R	4
->		MEL03 =R	66				
VH23 =R	-999	QUKRI>=R	0	ZP5 >R	5	P5 =R	5
->		MEL03 =R	67				
7777							
ZP4 >R	0	P4 =R	0	->		MEL04 =R	69

ZP4 <R	1	P4 =R	1	->	MEL04 =R	70
ZP4 <R	2	P4 =R	2	->	MEL04 =R	71
ZP4 <R	3	P4 =R	3	->	MEL04 =R	72
ZP4 <R	4	P4 =R	4	->	MEL04 =R	73
ZP4 <R	5	P4 =R	5	->	MEL04 =R	74
ZP4 <R	5	P4 =R	6	->	MEL04 =R	75
ZP4 >R	1	P4 =R	1	->	MEL04 =R	76
ZP4 >R	2	P4 =R	2	->	MEL04 =R	77
ZP4 >R	3	P4 =R	3	->	MEL04 =R	78
ZP4 >R	4	P4 =R	4	->	MEL04 =R	79
ZP4 >R	5	P4 =R	5	->	MEL04 =R	80
7777						
ZP14 >R	0	P14 =R	0	->	MEL05 =R	82
ZP14 <R	1	P14 =R	1	->	MEL05 =R	83
7777						
ZP15 >R	0	P15 =R	0	->	MEL06 =R	85
ZP15 <R	1	P15 =R	1	->	MEL06 =R	86
9999						

MODIFIZIERUNG DER PRODUKTIONSBASIS UND DER MELDUNGSDATEI

Zweck: Reduzierung der möglichen Anzahl von Meldungen. Es muß höchstens drei Meldungen pro Steuerungsintervall abgegeben werden.

Die vom Expertensystem abgegebenen Hinweisungen beziehen sich auf die Pumpenstufen.

I) DIE STUFEN DER IM NETZ EINGEBAUTEN PUMPEN

PUMPE P1 (HAUPTPUMPWERK → KRIMPEL)

Die Pumpe P1 besteht aus drei Pumpen, die kontinuierlich gesteuert werden können. Die Fördermengen werden durch zwei Druckrohrleistungen weiter in die Kläranlage geleitet.

Es wird vom Expertensystem vier Konfigurationen (vier Stufen) berücksichtigt.

- 1) Pumpe P1 wird ausgeschaltet. Es bedeutet : keine Förderung in Richtung der Kläranlage oder im Formalismus des Expertensystems ausgedrückt ($P1 = R 0$).
- 2) Es herrscht normale Trockenwetterbetriebsbedingungen.
→ ($P1 = R 1$)
- 3) Es wird gefördert soviel Wassermenge wie die Kläranlage augenblicklich bearbeiten kann (=maximale Kapazität der Kläranlage 3800 l/s minus die von Rechts der Weser ankommende Fördermenge).
→ ($P1 = R 2$)
- 4) Es wird alles gefördert, was die Pumpe fördern kann (Die Reinigungskapazität der Kläranlage wird in dem Falle überfordert und eine Entlastung des Regenwassers durch einen Überlauf findet statt).
→ ($P1 = R 3$)

PUMPE P2: BEFÜLLUNG DER BECKEN IM HAUPTPUMPWERK

- Die Pumpe besteht in Wirklichkeit aus drei Schnecken, die von 1 bis 3 numeriert worden sind (P2.1, P2.2, P2.3).

Schnecke 1 (P2.1) : 2 m³/s

Schnecke 2 (P2.2) : 3 m³/s

Schnecke 3 (P2.3) : 3.2 m³/s

- ZP2.i bezeichnet den Zustand der Schnecke Nummer i (i=1,3).

Der Buchstabe Z vor der eigentlichen Bezeichnung der Pumpe oder der Schnecke bedeutet Zustand.

Wenn ZP2.i=0 dann ist Schnecke P2.i ausgeschaltet.

Wenn ZP2.i=1 dann ist Schnecke P2.i eingeschaltet.

Tabelle der Stufen bei Pumpe P2

Stufe ZP2=	Schnecke 1 ZP2.1=	Schnecke 2 ZP2.2=	Schnecke 3 ZP2.3=
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1	1	0
5	1	0	1
6	0	1	1

- "0" bedeutet "ausgeschaltet"

- "1" bedeutet "eingeschaltet"

PUMPE P3 : HPWL ENTLASTUNG IN DIE WESER

In Wirklichkeit sobald ein Überlauf der Becken im HPWL stattfindet, wird die überlaufende Wassermenge in die Weser geleitet. Das Wasser sollte im normalen Fall im Freigefälle fließen. Es muß aber oft Pumpen eingeschaltet werden, da die hydraulischen Bedingungen ungünstig sind, insbesondere wenn der Wasserstand der Weser hoch ist.

Das Expertensystem nimmt an, daß Pumpe P3 eingeschaltet wird, sobald es zu einem Überlauf kommt. Es gibt nur zwei möglichen Zustände:

1) die Pumpe P3 ist ausgeschaltet → ($P3 = R 0$)

2) die Pumpe P3 ist eingeschaltet → ($P3 = R 1$)

PUMPE P14 (ENTLEERUNG DER BECKEN IM HAUPTPUMPWERK)

Diese sogenannte Pumpe P14 ist in Wirklichkeit keine Pumpe sondern ein Schieber.

Es wird nur zwei Zustände betrachtet :

Der Schieber ist zu; Die Pumpe ist ausgeschaltet → ZP14 = 0

Der Schieber ist auf; Die Pumpe ist eingeschaltet → ZP14 = 1

PUMPE P4 : KRIMPEL NACH HAUPTPUMPWERK

Pumpe P4 besteht aus drei Schnecken, die von eins bis drei nummeriert worden sind (P4.1, P4.2, P4.3).

Schnecke 1 (P4.1) : 0.115 m³/s

Schnecke 2 (P4.2) : 0.350 m³/s

Schnecke 3 (P4.3) : 0.350 m³/s

Tabelle der Stufen bei Pumpe P4 (KRIMPEL → HPWL)

Stufe ZP4=	Schnecke 1 ZP4.1=	Schnecke 2 ZP4.2=	Schnecke 3 ZP4.3=
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1	1	0
5	1	0	1
6	0	1	1

- "0" bedeutet "ausgeschaltet"

- "1" bedeutet "eingeschaltet"

PUMPE P5 : KRIMPEL BEFÜLLUNG DER BECKEN

Die Pumpe P5 besteht aus drei Schnecken, die von eins bis drei nummeriert worden sind (P5.1, P5.2, P5.3).

Schnecke 1 (P5.1) : 0.600 m³/s

Schnecke 2 (P5.2) : 0.850 m³/s

Schnecke 3 (P5.3) : 1.530 m³/s

Tabelle der Stufen bei Pumpe P5 (Befüllung der Becken im HPWL)

Stufe ZP5=	Schnecke 1 ZP5.1=	Schnecke 2 ZP5.2=	Schnecke 3 ZP5.3=
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1	1	0
5	1	0	1
6	0	1	1

- "0" bedeutet "ausgeschaltet"

- "1" bedeutet "eingeschaltet"

PUMPE P15 : KRIMPEL ENTLEERUNG DER BECKEN

Diese sogenannte Pumpe P15 ist in Wirklichkeit keine Pumpe sondern ein Schieber.

Es wird nur zwei Zustände betrachtet :

Der Schieber ist zu; Die Pumpe ist ausgeschaltet → ZP15 = 0

Der Schieber ist auf; Die Pumpe ist eingeschaltet → ZP15 = 1

II) DIE LISTE DER ZULÄSSIGEN MELDUNGENMeldungen über die Pumpe P1 (HPWL → Kläranlage)

- 1 . Meldung MEL01 über die Pumpe P1 (HPWL → KA)
- 2 . HPWL → KA; maximale Kapazität der Kläranlage
- 3 . HPWL → KA; maximale Pumpenleistung; Entlastung Weser
- 4 . HPWL → KA; Pumpen zurückfahren; maximale Kapazität der KA
- 5 . HPWL → KA; Pumpen zurückfahren; normaler TW-Betrieb

Meldungen über die Befüllung der Becken im HPWL (Pumpe P2)

- 6 . Meldung MEL02 über die Pumpe P2 (Befüllung der Becken)
- 7 . HPWL Ende Befüllung der Becken
- 8 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
- 9 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
- 10 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
- 11 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 4 hochfahren
- 12 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
- 13 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 6 hochfahren
- 14 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
- 15 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
- 16 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
- 17 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
- 18 . HPWL Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren
- 19 . HPWL Ende Entlastung Weser
- 20 . HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
- 21 . HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
- 22 . HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
- 23 . HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 4 hochfahren

24. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
25. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 6 hochfahren

26. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
27. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
28. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
29. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
30. HPWL Entlastung Weser; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren

31. HPWL Ende Entlastung Wasserlöse
32. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
33. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
34. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
35. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 4 hochfahren
36. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
37. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 6 hochfahren

38. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
39. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
40. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
41. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
42. HPWL Entlastung Wasserlöse; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren

- Meldungen über die Befüllung der Becken in Krimpel (Pumpe P5)
43. Die Meldung MEL03 über die Pumpe P5 (Befüllung der Becken)
44. Krimpel Ende Befüllung der Becken
45. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
46. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
47. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
48. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 4 hochfahren
49. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
50. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 6 hochfahren

51. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
52. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
53. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
54. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
55. Krimpel Befüllung der Becken; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren

56. Krimpel Ende Entlastung Krimpelflet
57. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
58. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
59. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
60. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 4 hochfahren
61. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
62. Krimpel Entlastung Krimpelflet; auf Pumpenstufe 6 hochfahren

63. Krimpel Entl. Krimpelflet; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
64. Krimpel Entl. Krimpelflet; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
65. Krimpel Entl. Krimpelflet; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
66. Krimpel Entl. Krimpelflet; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
67. Krimpel Entl. Krimpelflet; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren

Meldungen : Krimpel Förderung → HPWL Pumpe P4

68. Meldung MEL04 über die Pumpe P4 (Krimpel → HPWL)
69. Krimpel → HPWL ; keine Förderung mehr
70. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 1 hochfahren
71. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 2 hochfahren
72. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 3 hochfahren
73. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 4 hochfahren
74. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 5 hochfahren
75. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 6 hochfahren

76. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 1 zurückfahren
77. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 2 zurückfahren
78. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 3 zurückfahren
79. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 4 zurückfahren
80. Krimpel → HPWL ; auf Pumpenstufe 5 zurückfahren

Meldungen : HPWL Entleerung der Becken (Pumpe P14)

81. Meldung MEL05 über die Pumpe P14 (Entleerung der Becken)
82. HPWL Ende Entleerung der Becken
83. HPWL Entleerung der Becken

Meldungen : Krimpel Entleerung der Becken (Pumpe P15)

84. Meldung MEL06 über die Pumpe P15 (Entleerung der Becken)
85. Krimpel Ende Entleerung der Becken

86. Krimpel Entleerung der Becken

III) DIE MELDUNGSPRODUKTIONEN

Die Meldung MEL01 (über die Pumpe P1)

(ZP1 <R 2) (P1 =R 2) -> (MEL01 =R 2)
 (ZP1 <R 3) (P1 =R 3) -> (MEL01 =R 3)
 (ZP1 >R 2) (P1 =R 2) -> (MEL01 =R 4)
 (ZP1 >R 1) (P1 =<R 1) -> (MEL01 =R 5)

Die Meldung MEL02 (über die Pumpe P2)

1) Befüllung der Becken (VH11 und QUWES ungültig)

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) -> (MEL02 =R 7)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) ->
 (MEL02 =R 8)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) ->
 (MEL02 =R 9)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) ->
 (MEL02 =R 10)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) ->
 (MEL02 =R 11)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) ->
 (MEL02 =R 12)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) ->
 (MEL02 =R 13)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) ->
 (MEL02 =R 14)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) ->
 (MEL02 =R 15)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) ->
 (MEL02 =R 16)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) ->
 (MEL02 =R 17)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R -999) (QUWAS <=R 0) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) ->
 (MEL02 =R 18)

2) Befüllung der Becken mit dem Kriterium VH11

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) -> (MEL02 =R 7)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 8)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 9)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 10)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 11)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 12)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) -> (MEL02 =R 13)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 14)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 15)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 16)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 17)
 (VH11 <R 99) (VH11 >R -999) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 18)

3) Befüllung der Becken mit dem Kriterium QUWES

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) -> (MEL02 =R 7)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 8)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 9)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 10)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 11)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 12)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) -> (MEL02 =R 13)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 14)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 15)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 16)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 17)
 (VH11 =R -999) (QUWES =R 0) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 18)

4) Entlastung in die Weser mit dem Kriterium VH11

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (VH11 >=R 99) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 19)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 20)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 21)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 22)

(VH11 >=R 99) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 23)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 24)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 25)

(VH11 >=R 99) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 26)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 27)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 28)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 29)
 (VH11 >=R 99) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) (QUWAS <=R 0) -> (MEL02 =R 30)

5) Entlastung in die Weser mit dem Kriterium QUWES, QUWAS

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 19)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 20)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 21)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 22)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 23)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 24)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 25)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 26)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 27)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 28)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 29)

(VH11 =R -999) (QUWES >=R 0) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) (QUWAS <=R 0) ->
 (MEL02 =R 30)

6) Entlastung in die Wasserlöse

(ZP2 >R 0) (P2 =R 0) (QUWAS >R 0) -> (MEL02 =R 31)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 32)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 33)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 34)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 35)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 36)

(QUWAS >R 0) (ZP2 <R 5) (P2 =R 6) -> (MEL02 =R 37)

(QUWAS >R 0) (ZP2 >R 1) (P2 =R 1) -> (MEL02 =R 38)

(QUWAS >R 0) (ZP2 >R 2) (P2 =R 2) -> (MEL02 =R 39)

(QUWAS >R 0) (ZP2 >R 3) (P2 =R 3) -> (MEL02 =R 40)

(QUWAS >R 0) (ZP2 >R 4) (P2 =R 4) -> (MEL02 =R 41)

(QUWAS >R 0) (ZP2 >R 5) (P2 =R 5) -> (MEL02 =R 42)

Die Meldung MEL03 über die Pumpe P5

1) Befüllung der Becken

(ZP5 >R 0) (P5 =R 0) (VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) -> (MEL04 =R 44)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 45)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 46)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 47)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 48)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 49)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 <R 5) (P5 =R 6) -> (MEL03 =R 50)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 >R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 51)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 >R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 52)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 >R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 53)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 >R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 54)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R -999) (ZP5 >R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 55)

2) Befüllung der Becken mit dem Kriterium VH23

(ZP5 >R 0) (P5 =R 0) (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) -> (MEL03 =R 44)

(VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 45)

(VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 46)

(VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 47)

(VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 48)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 49)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 <R 5) (P5 =R 6) -> (MEL03 =R 50)

(VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 >R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 51)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 >R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 52)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 >R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 53)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 >R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 54)
 (VH23 <R 99) (VH23 >R -999) (ZP5 >R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 55)

3) Befüllung der Becken mit dem Kriterium QUKRI

(ZP5 >R 0) (P5 =R 0) (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) -> (MEL03 =R 44)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 45)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 46)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 47)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 48)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 49)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 <R 5) (P5 =R 6) -> (MEL03 =R 50)

(VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 >R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 51)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 >R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 52)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 >R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 53)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 >R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 54)
 (VH23 =R -999) (QUKRI =R 0) (ZP5 >R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 55)

4) Entlastung in das Krimpelflet mit dem Kriterium VH23

(ZP5 >R 0) (P5 =R 0) (VH23 >=R 99) -> (MEL03 =R 56)

(VH23 >=R 99) (ZP5 <R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 57)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 <R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 58)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 <R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 59)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 <R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 60)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 <R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 61)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 <R 5) (P5 =R 6) -> (MEL03 =R 62)

(VH23 >=R 99) (ZP5 >R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 63)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 >R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 64)

(VH23 >=R 99) (ZP5 >R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 65)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 >R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 66)
 (VH23 >=R 99) (ZP5 >R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 67)

5) Entlastung in das Krimpelflet mit dem Kriterium QUKRI

(ZP5 >R 0) (P5 =R 0) (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) -> (MEL03 =R 56)

(VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 57)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 58)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 59)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 60)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 61)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 <R 5) (P5 =R 6) -> (MEL03 =R 62)

(VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 >R 1) (P5 =R 1) -> (MEL03 =R 63)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 >R 2) (P5 =R 2) -> (MEL03 =R 64)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 >R 3) (P5 =R 3) -> (MEL03 =R 65)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 >R 4) (P5 =R 4) -> (MEL03 =R 66)
 (VH23 =R -999) (QUKRI >=R 0) (ZP5 >R 5) (P5 =R 5) -> (MEL03 =R 67)

Die Meldung MEL04 über die Pumpe P4

(ZP4 >R 0) (P4 =R 0) -> (MEL04 =R 69)

(ZP4 <R 1) (P4 =R 1) -> (MEL04 =R 70)
 (ZP4 <R 2) (P4 =R 2) -> (MEL04 =R 71)
 (ZP4 <R 3) (P4 =R 3) -> (MEL04 =R 72)
 (ZP4 <R 4) (P4 =R 4) -> (MEL04 =R 73)
 (ZP4 <R 5) (P4 =R 5) -> (MEL04 =R 74)
 (ZP4 <R 5) (P4 =R 6) -> (MEL04 =R 75)

(ZP4 >R 1) (P4 =R 1) -> (MEL04 =R 76)
 (ZP4 >R 2) (P4 =R 2) -> (MEL04 =R 77)
 (ZP4 >R 3) (P4 =R 3) -> (MEL04 =R 78)
 (ZP4 >R 4) (P4 =R 4) -> (MEL04 =R 79)
 (ZP4 >R 5) (P4 =R 5) -> (MEL04 =R 80)

Die Meldung MEL05 über die Pumpe P14

(ZP14 >R 0) (P14 =R 0) -> (MEL05 =R 82)

(ZP14 <R 1) (P14 =R 1) -> (MEL05 =R 83)

Die Meldung MEL06 über die Pumpe P15

(ZP15 >R 0) (P15 =R 0) -> (MEL06 =R 85)

(ZP15 <R 1) (P15 =R 1) -> (MEL06 =R 86)

ANLAGE 16: SIMULATION MIT DEM ERWEITERTEN
SIMULATIONSMODELL STEUER

Simulation des Netzes Bremen links der Weser
Ereignis vom 27.08.-29.08.1989:

SIMULATIONSANFANG : 27. 8.1989 0: 0. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 30. 8.1989 0: 0. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 1.00 (SEC)
ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 27. 8.1989 0: 0. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 360.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AN ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 283114.800 (M**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 97306.9700 (M**3)
DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 185807.800 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 290565.300 (M**3)

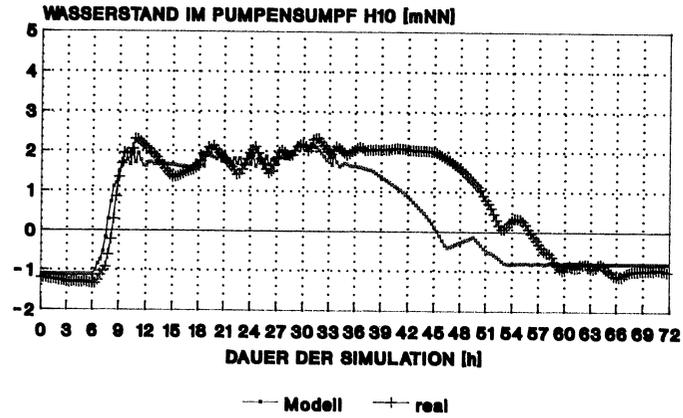
UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES EIN-/UEBERSTAUS (MIN)
HZ6	.000 (M**3)	167.87
HZ11-H19	.000 (M**3)	1378.18
HZ12	.000 (M**3)	1779.47
HZ13-H17	.000 (M**3)	168.80
RS3	.000 (M**3)	135.05
RS1	.000 (M**3)	29.93
RS5	.000 (M**3)	707.33
RS4	.000 (M**3)	57.12
RS6-H9	.000 (M**3)	237.58
RS8	.000 (M**3)	301.48
RS7	.000 (M**3)	1767.85
HZ14	.000 (M**3)	650.25
AUS1	217258.100 (M**3)	.00
AUS2-H35	86401.399 (M**3)	4320.02
AUS3	431.953 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 304091.500 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 9977.668 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 314069.200 (M**3)

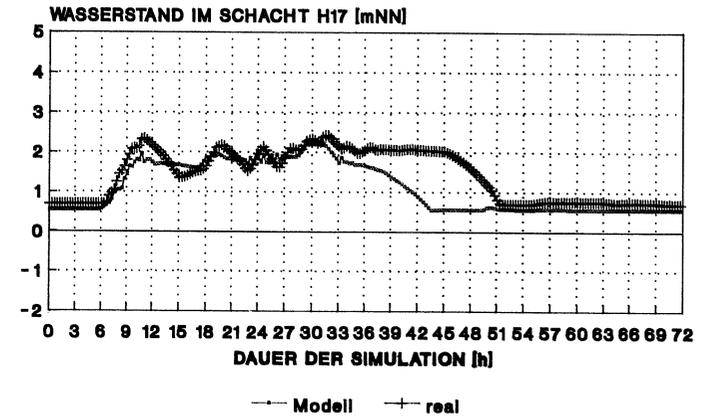
VOLUMENFEHLER : -8.09 *

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
 Vergleich mit den Meßwerten

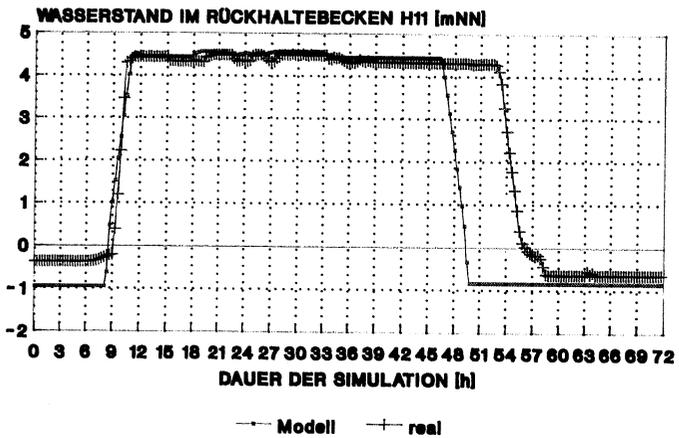


Sohlhöhe:
 im Modell: -2.45 mNN
 real : -2.45 mNN

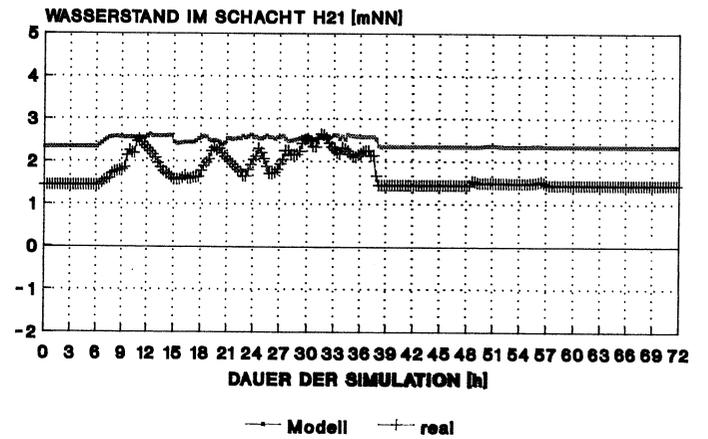
27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
 Vergleich mit den Meßwerten



Sohlhöhe:
 im Modell: 0.85 mNN
 real : 0.85 mNN

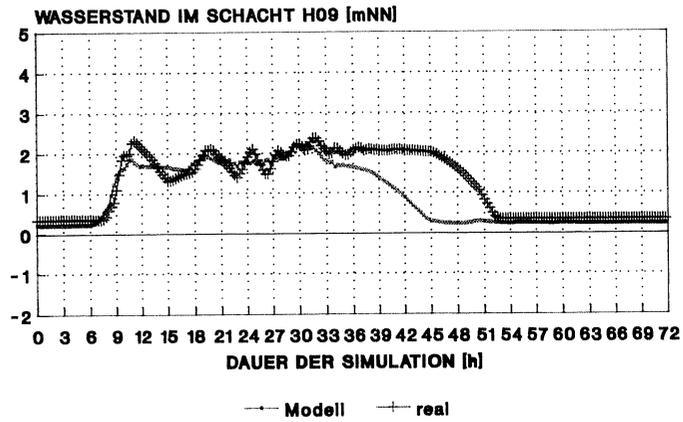


Sohlhöhe:
 im Modell: -0.95 mNN
 real : -0.95 mNN



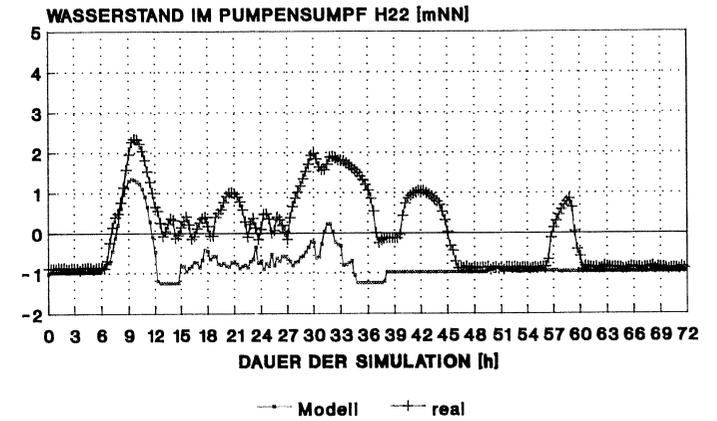
Sohlhöhe:
 im Modell: 2.14 mNN
 real : 1.25 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
Vergleich mit den Meßwerten



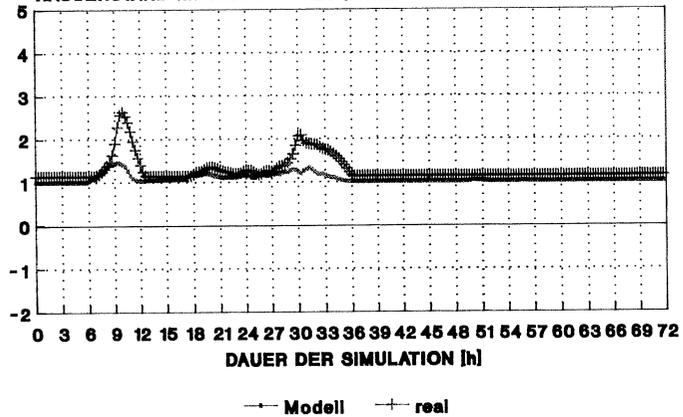
Sohlhöhe:
im Modell: 0.06 mNN
real : 0.06 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
Vergleich mit den Meßwerten



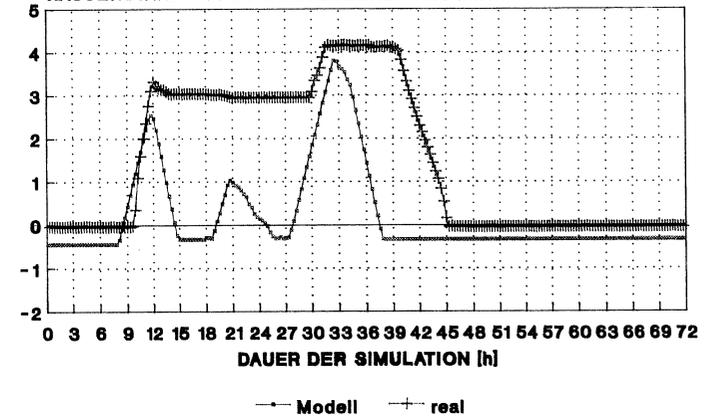
Sohlhöhe:
im Modell: -1.66 mNN
real : -1.66 mNN

WASSERSTAND IM SCHACHT H25 [mNN]



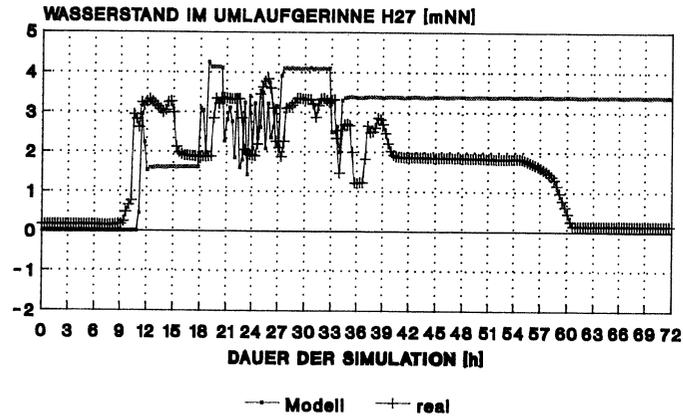
Sohlhöhe:
im Modell: 0.91 mNN
real : 0.90 mNN

WASSERSTAND IM RÜCKHALTEBECKEN H23 [mNN]



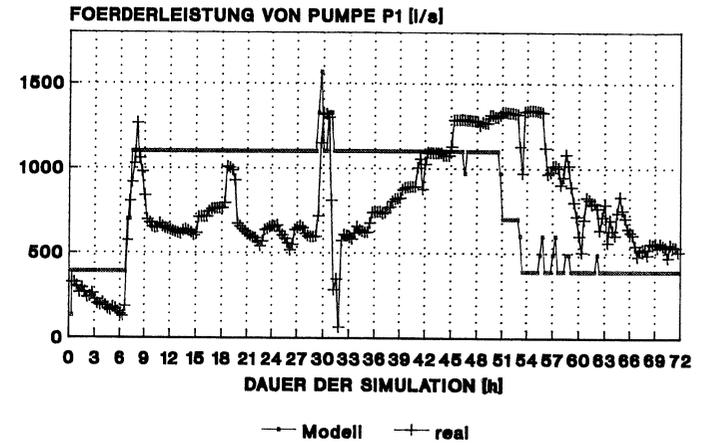
Sohlhöhe:
im Modell: -0.45 mNN
real : -0.45 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
Vergleich mit den Meßwerten

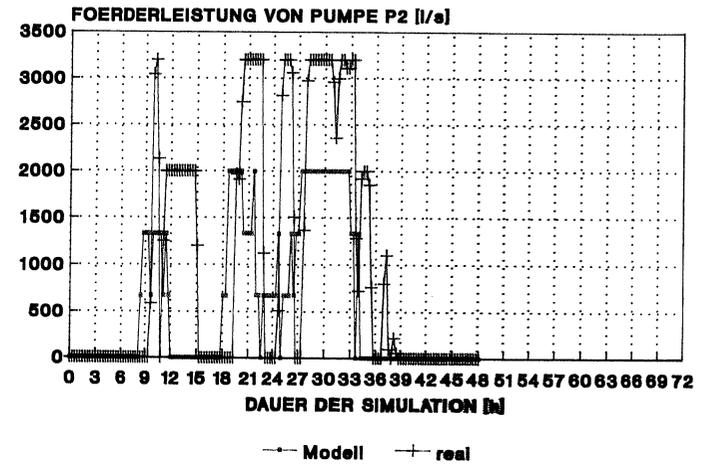


Sehhöhe:
im Modell: 0.00 mNN
real : 0.00 mNN

27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
Vergleich mit den Meßwerten



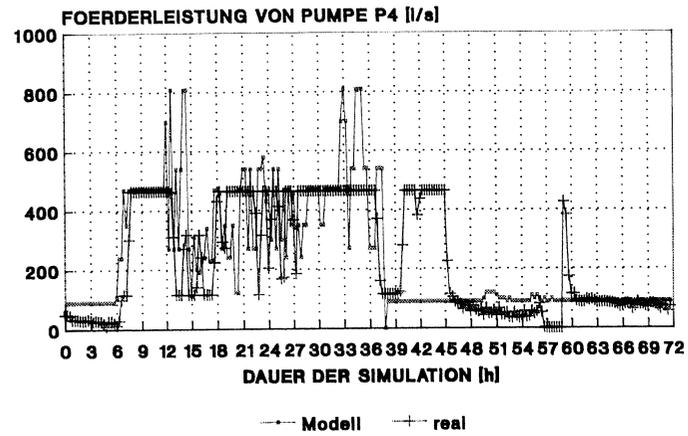
Pumpe P1 : Schmutzwasserpumpe HPWL → KA



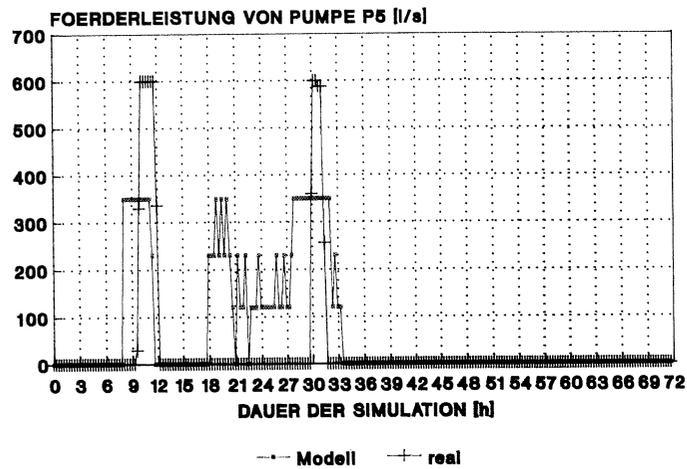
Pumpe P2 : HPWL → Befüllung der Becken

DARSTELLUNG DER EINSTAUENDEN SCHAECHTE

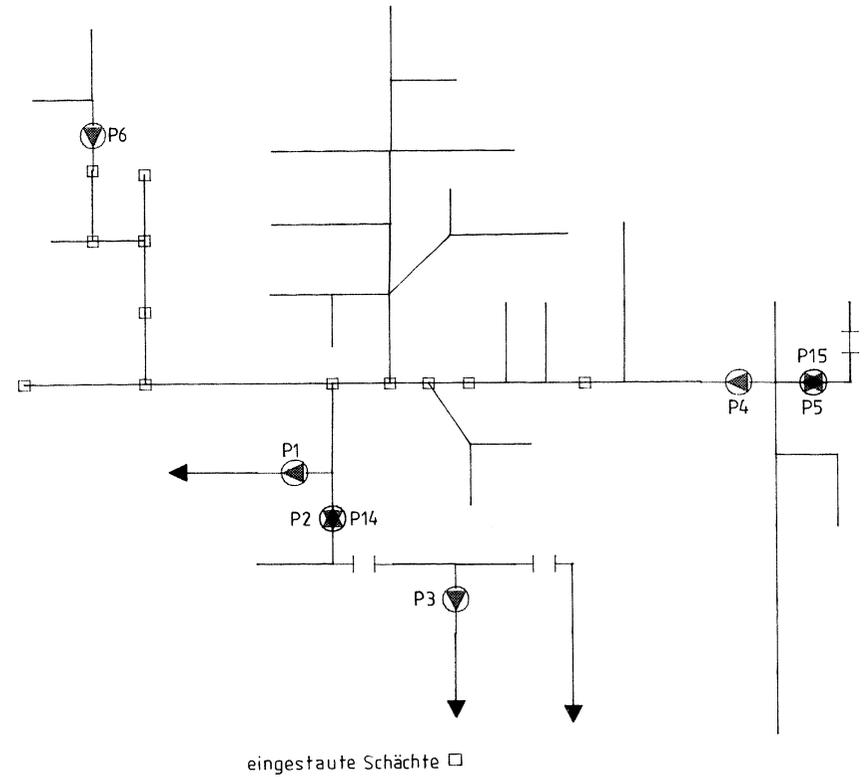
27.8.-29.8.1989 SIMULATION MIT STEUER
Vergleich mit den Meßwerten



Pumpe P4 : Schmutzwasserpumpe
Krimpel -> HPWL



Pumpe P5 : Krimpel -> Befüllung der Becken



KANALNETZ: 'BREMEN LINKS DER WESER'

SIMULATION MIT 'STEUER' , EREIGNIS 27.-29.08.1989

ANLAGE 17: FUNKTIONALE ABHÄNGIGKEIT ZWISCHEN DEN WASSERSTÄNDEN IM KANALNETZ UND DER SPEICHERRAUM AUSLASTUNG

Die Basisfunktionen für die Approximation der Speicherkennlinien der Pegel im Grobnetz Bremen links der Weser sind:

$$F(0)=1; F(1)=x; F(2)=x^2; \dots; F(n)=x^n$$

Die allgemeine Ausgleichsfunktion lautet: $\phi(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x^i$

Die Koeffizienten für die Ausgleichsfunktion der Pegel:

Ba	H04	H09	H10	H15	H17
1	1536.9490	-87.7281	6111.3210	331842.4000	-1672.7650
x ₂	2983.1100	1937.6630	6585.8160	-921941.6000	14222.7300
x ₃	-204.8871	-15541.0800	2282.1130	1054893.0000	-48139.3400
x ₄	-2334.4590	61929.1000	135.4577	-625181.3000	85144.9500
x ₅	1609.9780	-126563.8000	-115.8117	189863.0000	-86489.1400
x ₆	1852.0800	154039.6000	176.7908	-18628.8700	52239.2000
x ₇	-1592.2000	-110935.7000	30.9594	-4393.1900	-18163.6100
x ₈	-563.7328	46033.5000	-70.7501	1031.0200	3158.3330
x ₉	534.2579	-10167.4500	7.8346	23.1184	-28.7882
x ₁₀	-39.2848	926.0272	7.1281	7.6237	-97.1320
x ₁₁	0.0	0.0	-2.4346	-10.9442	18.3385
x ₁₂	0.0	0.0	0.2956	1.3266	-1.4089
x ₁₃	0.0	0.0	-0.0129	0.1483	0.0339
x ₁₄	0.0	0.0	0.0	-0.0383	0.0006
x ¹⁴	0.0	0.0	0.0	0.0020	0.0

Ba	H19	H21	H22		
1	672.9257	-86474.1000	152.4006	-	-
x ₂	1731.6020	209375.9000	593.6938	-	-
x ₃	1342.7370	-211100.9000	562.6000	-	-
x ₄	-159.4532	118413.8000	-372.1208	-	-
x ₅	-1051.6970	-42775.9600	390.3744	-	-
x ₆	321.3202	11362.7600	1386.2580	-	-
x ₇	1089.8800	-2445.6340	-1001.1550	-	-
x ₈	-653.8485	407.9165	-595.4818	-	-
x ₉	-268.0488	-43.3526	873.6862	-	-
x ₁₀	374.2108	2.0602	-395.3313	-	-
x ₁₁	-141.9022	0.0	90.7467	-	-
x ₁₂	22.6665	0.0	-11.0320	-	-
x ₁₃	-0.5870	0.0	0.6257	-	-
x ₁₄	-0.2452	0.0	-0.0097	-	-
x ¹⁴	0.0212	0.0	0.0	-	-

Gültigkeitsbereich der Ausgleichsfunktionen und Angabe der Fehler

Pegel H04

Gültigkeitsbereich: $-0.90 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 1.40 \text{ [mNN]}$
 $h < -0.90 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 1.40 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 4193 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =85.0694
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=55.9459
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD =12.7708

Pegel H09

Gültigkeitsbereich: $0.10 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 2.50 \text{ [mNN]}$
 $h < 0.10 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 2.50 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 5216 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =62.6997
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=35.7322
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD = 8.8858

Pegel H10

Gültigkeitsbereich: $-1.80 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 5.60 \text{ [mNN]}$
 $h < -1.80 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 5.60 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 50334 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =538.1935
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=172.3711
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD = 43.4388

Pegel H15

Gültigkeitsbereich: $1.60 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 5.60 \text{ [mNN]}$
 $h < 1.60 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 5.60 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 3987 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =88.6877
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=37.1875
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD =11.3197

Pegel H17

Gültigkeitsbereich: $0.40 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 5.60 \text{ [mNN]}$
 $h < 0.40 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 5.60 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 15653 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =275.3047
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=116.5576
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD = 27.9100

Pegel H19

Gültigkeitsbereich: $-0.80 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 4.50 \text{ [mNN]}$
 $h < -0.80 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 4.50 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 14892 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =229.7847
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX= 86.3877
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD = 22.9328

Pegel H21

Gültigkeitsbereich: $2.30 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 4.50 \text{ [mNN]}$
 $h < 2.30 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 4.50 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 1762 \text{ [m}^3\text{]}$

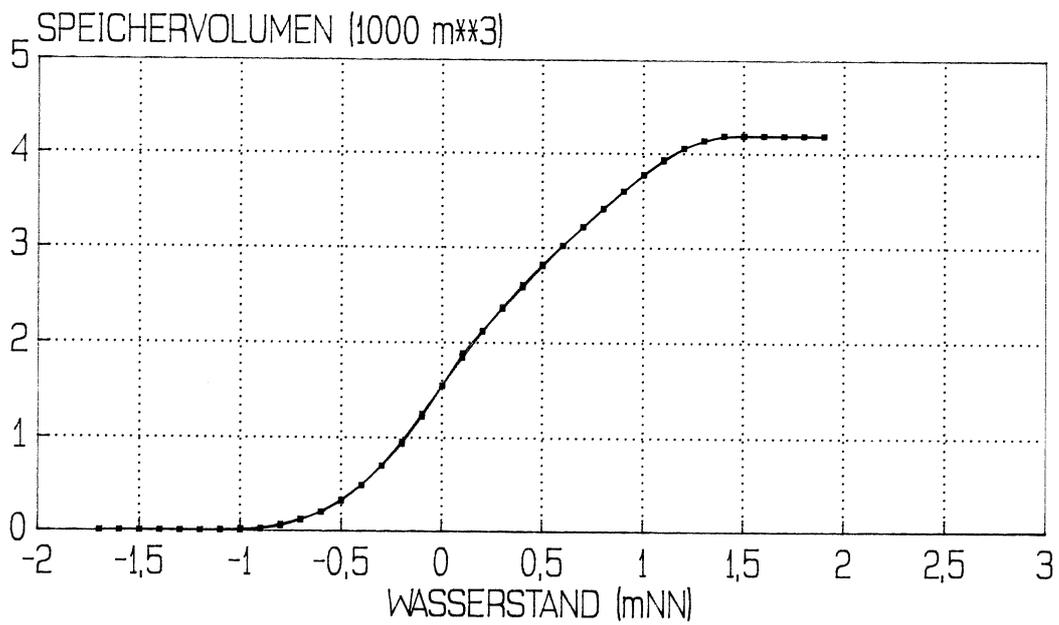
Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =11.7081
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX= 5.3919
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD = 1.9471

Pegel H22

Gültigkeitsbereich: $-0.70 \text{ [mNN]} \leq h \text{ [mNN]} \leq 4.50 \text{ [mNN]}$
 $h < -0.70 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 0 \quad \text{[m}^3\text{]}$
 $h > 4.50 \text{ [mNN]} \quad \text{Volumen} = 6288 \text{ [m}^3\text{]}$

Der gewichtete mittlere quadratische Fehler :F =99.8349
 Der maximale absolute Fehler an den Stützstellen :FMAX=36.4697
 Der durchschnittliche absolute Fehler an den Stützst.:FD =11.0349

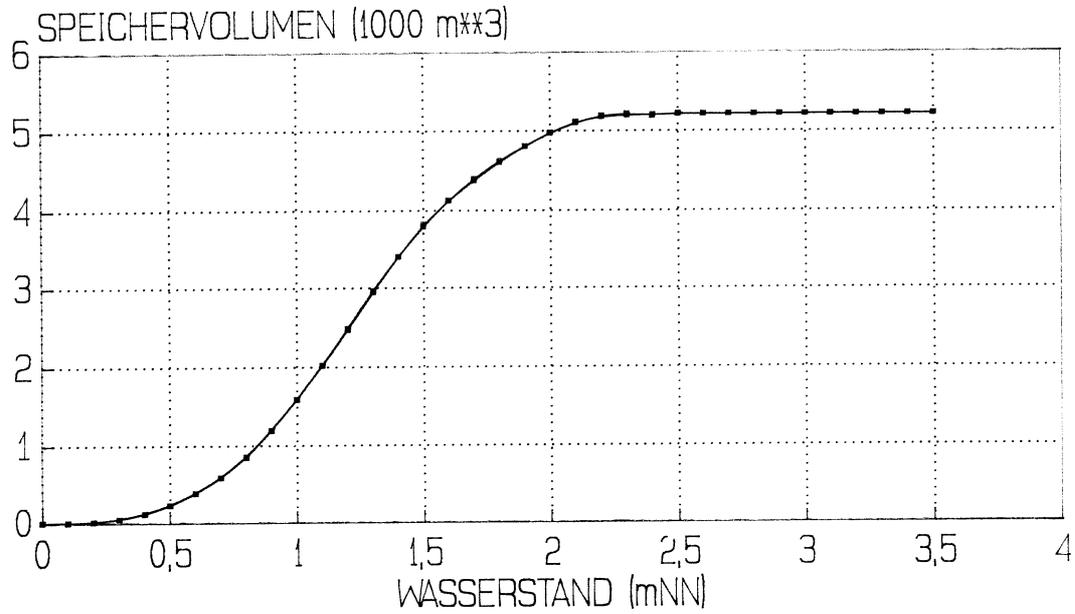
BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H4



—●— BERECHNETE KENNLINIE —●— APPROX. KENNLINIE

SOHLHÖHE -1.62 mNN

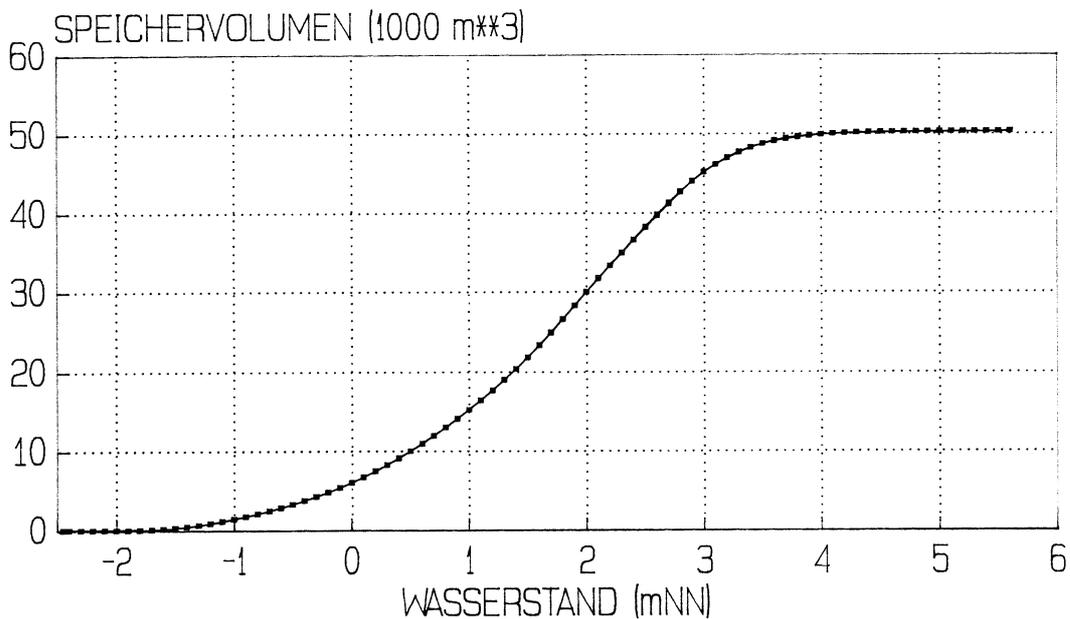
BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H9



—●— BERECHNETE KENNLINIE - - -●- - - APPROX. KENNLINIE

SOHLHÖHE 0.06 mNN

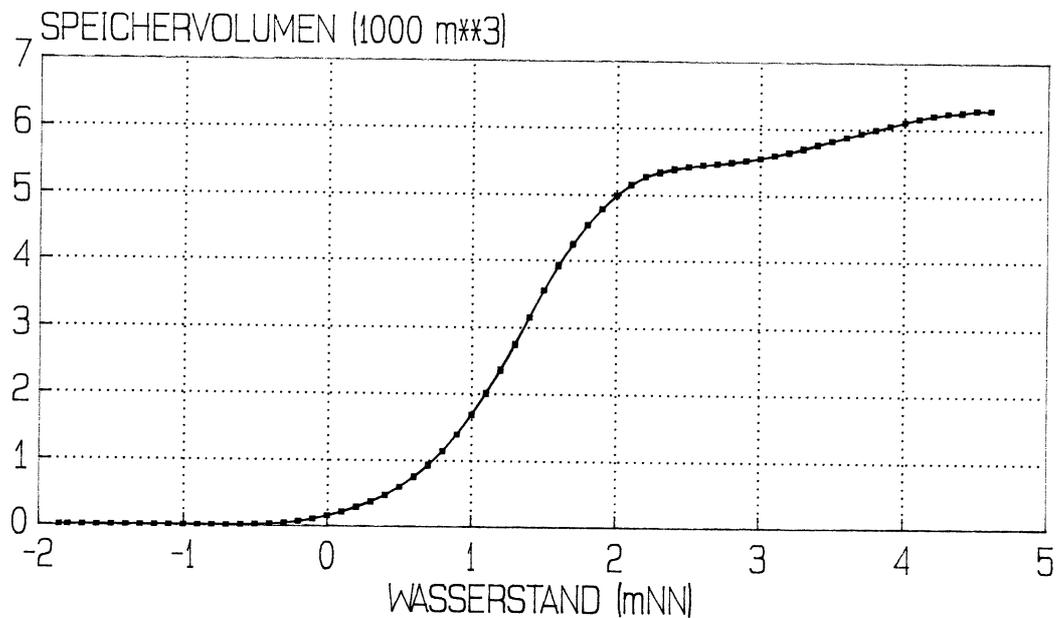
BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H10



—●— BERECHNETE KENNLINIE - - -●- - - APPROX. KENNLINIE

SOHLHÖHE -2.45 mNN

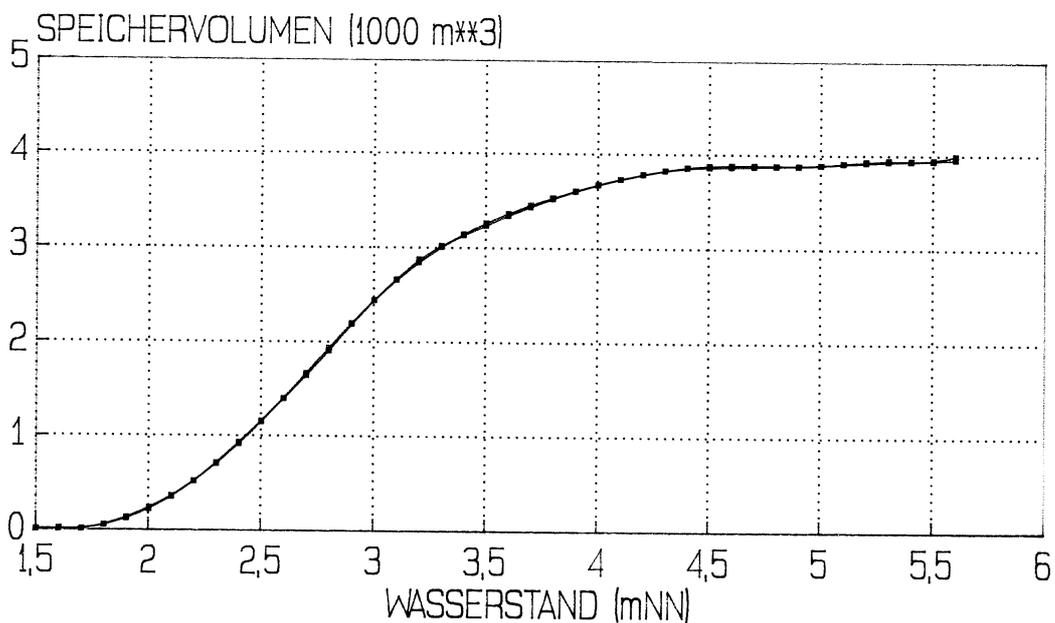
BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H22



—•— BERECHNETE KENNLINIE —•— APPROX. KENNLINIE

SOHLHÖHE -1.86 mNN

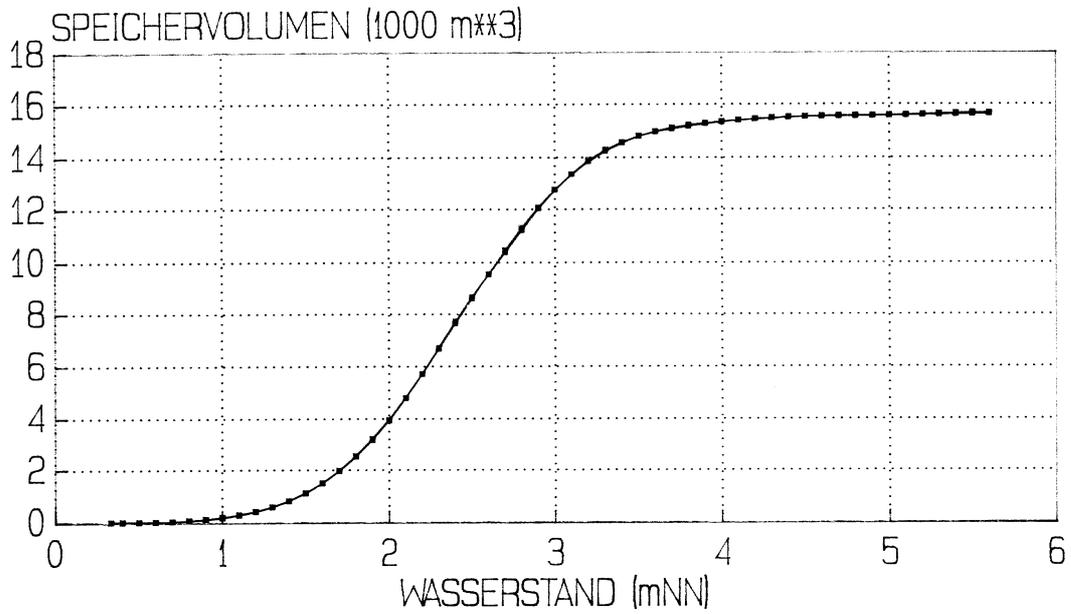
BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H15



—•— BERECHNETE KENNLINIE —•— APPROX. KENNLINIE

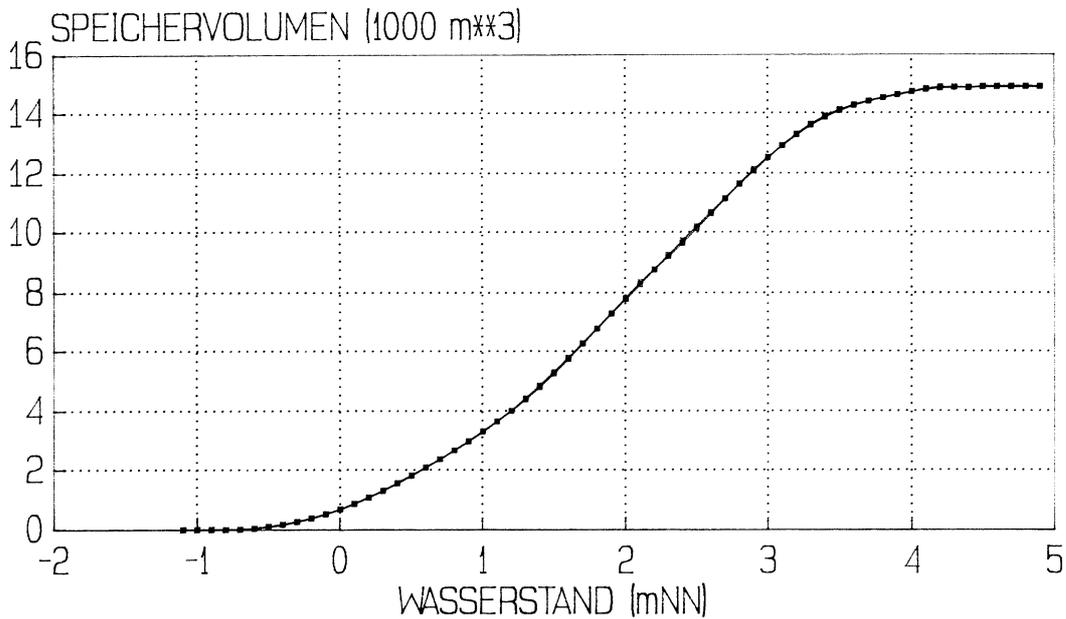
SOHLHÖHE 1.58 mNN

BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H17



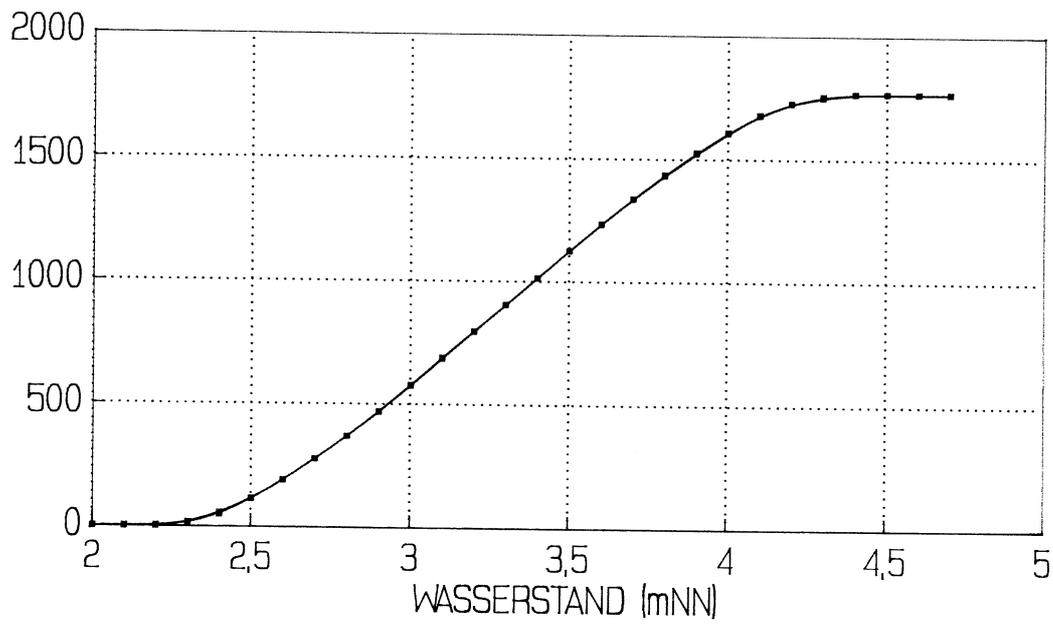
SOHLHÖHE 0.33 mNN

BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H19



SOHLHÖHE -0.91 mNN

BERECHNETE UND APPROXIMIERTE SPEICHER- KENNLINIE FÜR PEGEL H21



—•— BERECHNETE KENNLINIE —•— APPROX. KENNLINIE

SOHLHÖHE 2.14 mNN

Anlage 18: Statistische Auswertung der
Daten vom Regenschreiber 2833 Bremen
Bayernstrasse HPW1 (30 Jahre Aufnahme)

Genauere Standortbeschreibung des Regenschreibers in Bremen:

Regenschreiber 2833 Bremen Bayerstr.	Gauss-Koordinaten		Höhe [mNN]
	Rechts	Hoch	
	3486.889	5885.818	4.810

Für die statistische Auswertung wurden alle Regeninformationen der Sommermonate herangezogen. (Monate: Mai, Juni, July, August, September und Oktober)

Der Auswertzeitraum der Regeninformationen geht vom Jahr 1955 bis zum Jahr 1978 (entspricht 22.14 Jahre).

Die Regeninformationen werden in zwei Bereiche aufgeteilt:

Bereich 1: bis 90 min
Bereich 2: ab 90 min

1.) Parameter der Exponential-Verteilung für jede Dauerstufe:
($hN = u + w * \ln T$)

Blockintervall	Dauerstufe	u	w
5 min	5 min	5.9	2.21
5 min	10 min	7.9	2.68
5 min	15 min	9.2	3.17
5 min	20 min	10.2	3.57
5 min	30 min	11.6	4.00
5 min	45 min	13.0	4.38
5 min	60 min	13.9	4.58
5 min	90 min	15.3	4.83
1 h	2 h	17.1	5.40
1 h	3 h	19.4	7.14
1 h	4 h	20.8	8.28
1 h	6 h	23.2	8.92

2.) Funktionale Abhängigkeit der statistischen Parameter u und w von der Regendauer D:

Bereich 1 : bis 90 min

Regressionsgleichungen :

$$u(D) = .329 + 3.329 * \ln(D)$$

$$w(D) = .722 + .921 * \ln(D)$$

Bereich 2 : ab 90 min

Regressionsgleichungen :

$$u(D) = -10.517 + 5.739 * \ln(D)$$

$$w(D) = -9.091 + 3.102 * \ln(D)$$

3.) Bestimmungsgleichung fuer die Niederschlagshoehen

$$h_N(T, D) = u(D) + w(D) * \ln T$$

Niederschlagshoehen in Abhängigkeit der Wiederkehrhäufigkeit bezogen auf die Regendauer D:

T = Wiederkehr nach einem Zeitraum [Jahren]

n = Häufigkeit pro Jahr

Wiederkehr T=	.5	1.0	2.0	3.3	5.0
Haeufigkeit n=	2.000	1.000	.500	.303	.200
Dauer D					
5 min	4.2	5.7	7.2	8.3	9.2
10 min	6.0	8.0	10.0	11.4	12.6
15 min	7.1	9.3	11.6	13.2	14.5
20 min	7.9	10.3	12.7	14.5	15.9
30 min	9.0	11.7	14.3	16.3	17.9
45 min	10.1	13.0	15.9	18.0	19.8
60 min	10.8	14.0	17.1	19.3	21.2
90 min	11.9	15.3	18.7	21.1	23.1
2 h	13.0	17.0	21.0	23.8	26.2
3 h	14.4	19.3	24.1	27.7	30.6
4 h	15.5	20.9	26.4	30.4	33.7
6 h	16.9	23.3	29.6	34.2	38.0

Wiederkehr T=	10.0	20.0	25.0	33.3	50.0
Haeufigkeit n=	.100	.050	.040	.030	.020
Dauer D					
5 min	10.8	12.3	12.8	13.4	14.3
10 min	14.5	16.5	17.1	18.0	19.1
15 min	16.7	19.0	19.7	20.6	21.9
20 min	18.3	20.7	21.5	22.5	23.9
30 min	20.5	23.2	24.1	25.2	26.7
45 min	22.7	25.7	26.6	27.8	29.5
60 min	24.3	27.4	28.4	29.7	31.5
90 min	26.5	29.9	31.0	32.4	34.3
2 h	30.2	34.2	35.5	37.1	39.5
3 h	35.4	40.3	41.9	43.9	46.7
4 h	39.1	44.6	46.4	48.7	51.9
6 h	44.4	50.7	52.8	55.4	59.1

ANLAGE 19: MODIFIZIERTE PRODUKTIONSBASIS

C*** DATEI 'INIPRO.DAT' : BESCHREIBUNG DER GEÄNDERTEN STRATEGIE
C*** FUER DAS XPS-EXTRAN SIMULATION MODELL

C*** ALLGEMEINE BEMERKUNGEN:
C***
C*** DER BLOCK METAPRODUKTION IST NICHT VORHANDEN

AAAAA

C*** BLOCK -2 INITIALISIEREN DER HILFSVARIABLEN
(DUMMY =R 0) -> (HELP1 = FALSE)

BBBBB

C*** BLOCK -1 : BESTIMMEN VON +H10
(H10 >C AH10) -> (+H10 = TRUE) (HELP1 = TRUE)
(H10 <=C AH10) -> (+H10 = FALSE) (HELP1 = TRUE)

BBBBB

C*** BLOCK 0 : DUMMY-ENTSCHEIDUNG TREFFEN FUER +H10
(HELP1 = FALSE) -> (+H10 = FALSE)

BBBBB

C*** BLOCK 1 : BESTIMMUNG DES STEUERINTERVALLS (IN SEKUNDEN)
(H10 >=R -99) -> (STINT =R 300)

BBBBB

C*** BLOCK 1B: BESTIMMUNG DES STEUERINTERVALLS (IN SEKUNDEN)
(RSA2H >=R 1) (H10 >=R 510) -> (STINT =R 60)
(RSA2H >=R 1) (H22 >=R 406) -> (STINT =R 60)
(H10 <R 510) (H22 <R 406) (RSA2H <R 1) -> (STINT =R 300)

BBBBB

C*** BLOCK 2 STEUERUNG DER PUMPE P1
C*** PUMPE P1 BESCHICKUNG DER KLAERANLAGE
C*** DIE FOERDERLEISTUNG VON P1 HAENGT AB VON
C*** - DER BESCHICKUNG DER KLAERANLAGE VON RECHTS DER WESER
C*** - DEM WASSERSTAND IM PUMPENSUMPF H10

(H10 <=R 55) -> (P1 = 0)

(H10 >R 55) (H10 <=R 130) -> (P1 = 1)

(H10 >R 130) (H10 <=R 200) -> (P1 = 2)

(H10 >R 200) (H10 <=R 520) -> (P1 = 3)

(H10 >R 520) (RSA2H >=R 50) -> (P1 = 4)

(H10 >R 520) (RSA2H <R 50) -> (P1 = 3)

BBBBB

C*** BLOCK 3 STEUERUNG DER PUMPE P2
C*** DEFINIERTER ANFANGSZUSTAND

(DUMMY =R 0) -> (P2 = 0)

BBBBB

C*** BLOCK 3A STEUERUNG DER PUMPE P2
C*** PUMPE P2 BEFUELLUNG DER BECKEN IM HPWL

(H10 >R 540) (H11 <R 533) -> (P2 = 3)

(H10 >R 540) (H11 >=R 533) -> (P2 = 1)

(H10 >R 535) (H11 >=R 533) (AP2 = 1) -> (P2 = 1)

BBBBB

C*** BLOCK 4: STEUERUNG DER PUMPE P3
C*** PUMPE P3 ENTLASTUNG HPWL IN DIE WESER
C*** IN DER SIMULATION WIRD IM GEGENSATZ ZUR REALITAET
C*** ANGENOMMEN,
C*** DASS DIE ENTLASTUNG IN DIE WESER IMMER DURCH EINE PUMPE MIT
C*** DER KONSTANTEN FOERDERLEISTUNG 2 M**3/S ERFOLGT

(H27 >R 150) -> (P3 = 1)

(H27 <=R 50) -> (P3 = 0)

(QP3 <R 100) (H27 >R 50) (H27 <=R 150) -> (P3 = 0)

(QP3 >R 1900) (H27 >R 50) (H27 <=R 150) -> (P3 = 1)

BBBBB

C*** BLOCK 5A STEUERUNG DER PUMPE P4
C*** PUMPE P4 KRIMPEL BESCHICKUNG NACH HPWL

(H22 <=R 80) -> (P4 = 0)

(H22 >R 80) (H22 <=R 109) (RSA10 =R 0) (QP15 =R 0) -> (P4 = 1)

(H22 >R 80) (H22 <=R 109) (RSA10 >=R 0) (QP15 =R 0) -> (P4 = 0)

(H22 >R 109) (H22 <=R 200) (H10 <=R 495) -> (P4 = 2)

(H22 >R 109) (H22 <=R 200) (H10 <=R 515) (AP4 = 2) -> (P4 = 2)

(H22 >R 109) (H22 <=R 200) (H10 >R 495) -> (P4 = 0)

```
(H22 >R 420) -> (P4 = 4)
(H22 >R 400) (AP4 = 4) -> (P4 = 4)
(H22 >R 200) (H22 <=R 420) (H10 <=R 495) -> (P4 = 3)
(H22 >R 200) (H22 <=R 420) (H10 <=R 515) (AP4 = 3) -> (P4 = 3)
(H22 >R 200) (H22 <=R 420) (H10 >R 495) -> (P4 = 0)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 5B STEUERUNG DER PUMPE P4
C*** PUMPE P4 KRIMPEL BESCHICKUNG NACH HPWL
```

```
(H22 >R 80) (H22 <=R 420) (RSA10 =R 0) (P4 = 0) -> (P4 = 1)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 6 STEUERUNG DER PUMPE P5
C*** PUMPE P5 KRIMPEL BEFUELLUNG DER BECKEN
```

```
(DUMMY =R 0) -> (P5 = 0)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 6A STEUERUNG DER PUMPE P5
C*** PUMPE P5 KRIMPEL BEFUELLUNG DER BECKEN
```

```
(H22 <=R 420) -> (P5 = 0)
```

```
(RSA2H >R 0) (H22 >R 420) (H22 <=R 460) (H23 <=R 263) -> (P5 = 1)
```

```
(H22 >R 420) (H22 <=R 460) (H23 >R 263) -> (P5 = 0)
```

```
(RSA2H >R 0) (H22 >R 460) (H22 <=R 480) (H23 <=R 263) -> (P5 = 2)
```

```
(H22 >R 460) (H22 <=R 480) (H23 >R 263) -> (P5 = 0)
```

```
(RSA2H >R 0) (H22 >R 480) (H23 <=R 520) -> (P5 = 4)
```

```
(H22 >R 480) (H23 >R 520) -> (P5 = 0)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 6B STEUERUNG DER PUMPE P5
C*** PUMPE P5 KRIMPEL BEFUELLUNG DER BECKEN
```

```
(H22 >R 480) (P5 = 0) -> (P5 = 3)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 7 STEUERUNG DER PUMPE P6
C*** RABLINGHAUSEN -> HPWL
C*** DEFINIERTER ANFANGSZUSTAND
```

```
(DUMMY =R 0) -> (P6 = 0)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 7A STEUERUNG DER PUMPE P6
C*** PUMPE P6 RABLINGHAUSEN -> HPWL
```

```
(H04 <=R 10) -> (P6 = 0)
```

```
(H04 >R 10) (H04 <=R 56) (RSA10 =R 0) -> (P6 = 1)
```

```
(H04 >R 10) (H04 <=R 56) (RSA10 >=R 0) -> (P6 = 0)
```

```
(H04 >R 56) (H04 <=R 88) (RSA10 >=R 0) (RSA10 <R 5) -> (P6 = 2)
```

```
(H04 >R 56) (H04 <=R 88) (RSA10 >=R 5) -> (P6 = 0)
```

```
(H04 >R 88) (H04 <=R 280) (H10 <=R 495) (RSA2H <=R 5) -> (P6 = 3)
```

```
(H04 >R 88) (H04 <=R 280) (H10 <=R 515) (RSA2H <=R 5) (AP6 = 3)
-> (P6 = 3)
```

```
(H04 >R 88) (H04 <=R 280) (H10 >R 495) (RSA2H <=R 5) -> (P6 = 0)
```

```
(H04 >R 280) -> (P6 = 4)
```

```
(H04 >R 260) (AP6 = 4) -> (P6 = 4)
```

```
(H04 >R 270) (H04 <=R 280) -> (P6 = 3)
```

```
(H04 >R 260) (H04 <=R 280) (AP6 = 3) -> (P6 = 3)
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 7B STEUERUNG DER PUMPE P6
C*** PUMPE P6 RABLINGHAUSEN -> HPWL
```

```
(H04 >R 10) (H04 <=R 280) (RSA10 =R 0) (P6 = 0) -> P6 = 1
```

```
(H04 >R 10) (H04 <=R 280) (RSA10 >R 0) (P6 = 0) -> P6 = 0
```

BBBBB

```
C*** BLOCK 8 STEUERUNG DER 'PUMPE' P14
C*** BLOCK 8.A
```

```
(DUMMY =R 0) -> (P14 = 0)
```

BBBBB

C*** BLOCK 8.B

```
(QP2 =R 0) (H10 <R 450) (H11 >R 269) (RSA10 <=R 1) -> (P14 = 1)
```

```
(QP2 =R 0) (H10 <R 470) (H11 >R 269) (RSA10 <=R 1) (AP14 = 1) ->
(P14 = 1)
```

```
(QP2 =R 0) (H10 <R 345) (H11 >R 15) (RSA10 <=R 1) -> (P14 = 1)
```

```
(QP2 =R 0) (H10 <R 365) (H11 >R 15) (RSA10 <=R 1) (AP14 = 1) ->
(P14 = 1)
```

BBBBB

C*** BLOCK 9 STEUERUNG DER PUMPE P15
C*** BLOCK 9.A

(DUMMY =R 0) -> (P15 = 0)

BBBBB

C*** BLOCK 9.B

(QP5 =R 0) (H23 >=R 15) (H22 <=R 360) (RSA10 <=R 5) -> (P15 = 1)

(QP5 =R 0) (H23 >=R 15) (H22 <=R 380) (RSA10 <=R 5)
(AP15 = 1) -> (P15 = 1)

BBBBB

C*** BLOCK 10 SETZEN EINIGER VARIABLEN
C*** DER WERT VON H10 WIRD IN AH10 ABGESPEICHERT, UM BEI DEM
C*** NAECHSTEN DURCHLAUFEN DER PRODUKTIONEN ALS VERGLEICHSWERT ZU
C*** DIENEN

(DUMMY =C DUMMY) -> (AH10 =C H10) (AP1 =V P1) (AP2 =V P2) (AP3
=V P3)
(AP4 =V P4) (AP5 =V P5) (AP6 =V P6) (AP14 =V P14) (AP15 =V P15)

ENDE

ANLAGE 20: SIMULATION DER REGEN 005, 015

UND EINEM DOPPELEREIGNIS MIT STEUER

Ereignis Nr. 005 vom 7.6.1985 1:55 Uhr bis 7.6.1985 3:55 Uhr
Standardregelbasis

SIMULATIONSANFANG : 7. 6.1985 1:55. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 7. 6.1985 15:55. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 7. 6.1985 1:55. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM :	7450.556	(N**3)
GESAMTES ZUFLOSSVOLUMEN INS SYSTEM :	156113.500	(N**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLOSS :	19661.7500	(N**3)
DAVON OBERFLAECHEENABFLUSS :	136451.700	(N**3)
GESAMTVOLUMEN (ZUFLOSS+ANFANGSVOL.) :	163564.000	(N**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN		LAEENGE DES	
		MAXIMAL	EIN-/UEBERSTAU (MIN)
KS1	.000	10.250 (N**3)	299.83
KS2-H25	.000	.000 (N**3)	312.92
KS3	.000	.000 (N**3)	320.25
KS4	.000	1.963 (N**3)	332.92
KS7	.000	.000 (N**3)	351.00
KS5	.000	.000 (N**3)	317.50
KS6	.000	57.610 (N**3)	309.58
KPIT-H22	.000	4490.708 (N**3)	85.67
KW1	.000	.000 (N**3)	110.08
KRB-H23	63.285	63.285 (N**3)	.00
HZ1	.000	17.398 (N**3)	2.00
HZ2-H21	.000	.000 (N**3)	9.75
HZ5	.000	.000 (N**3)	16.00
HZ3	.000	.000 (N**3)	31.75
HZ4	.000	.000 (N**3)	44.17
HZ6	.000	.000 (N**3)	366.83
HZ8	.000	.000 (N**3)	139.25
HZ7	.000	.000 (N**3)	64.08
HZ10	.000	.000 (N**3)	131.92
HZ9	.000	.000 (N**3)	66.08

HZ11-H19	.000	.000 (N**3)	496.75
HZ12	.000	.000 (N**3)	742.17
HZ13-H17	.000	.000 (N**3)	362.83
HS1	.000	222.859 (N**3)	122.67
HS3	.000	.000 (N**3)	247.08
HS2	.000	667.594 (N**3)	124.00
HW1	.000	.000 (N**3)	17.00
HW3	.000	.000 (N**3)	178.08
HW2	.000	.000 (N**3)	99.50
HW8-H15	.000	.000 (N**3)	90.00
HW5	.000	.000 (N**3)	1.67
HW6	.000	.000 (N**3)	31.50
HW7	.000	.000 (N**3)	169.00
HW11	.000	.000 (N**3)	139.08
HW9	.000	.000 (N**3)	16.50
HW10	.000	10634.170 (N**3)	120.00
HW19	.000	.000 (N**3)	268.42
HW12	.000	.000 (N**3)	269.08
HW14	.000	8270.544 (N**3)	222.75
HW13	.000	3.352 (N**3)	109.75
HW15	.000	.000 (N**3)	60.75
HW16	.000	1743.565 (N**3)	91.50
HW18	.000	.000 (N**3)	92.25
HW17	.000	418.636 (N**3)	110.50
RS2	.000	.000 (N**3)	207.92
RS3	.000	739.610 (N**3)	359.42
RS1	.000	700.001 (N**3)	275.00
RS5	.000	.000 (N**3)	445.33
RS4	.000	96.591 (N**3)	288.42
RS6-H9	.000	.000 (N**3)	406.75
RS8	.000	.000 (N**3)	418.92
RS7	.000	.000 (N**3)	734.50
HZ14	.000	.000 (N**3)	439.75
AUS1	65120.090	65120.090 (N**3)	.00
AUS2-H35	45595.590	45786.630 (N**3)	840.08
AUS3	421.881	421.906 (N**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM :	111200.900	(N**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM :	41603.600	(N**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) :	152804.500	(N**3)
------------------------------------	------------	--------

VOLUMENFEHLER :	6.58 %
-----------------	--------

Ereignis Nr. 015 vom 9. 8.1960 16:15 Uhr bis 9. 8.1960 17:30 Uhr
Standardregelbasis

SIMULATIONSANFANG : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 10. 8.1960 5:30. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 88576.520 (M**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 18604.9500 (M**3)
DAVON OBERFLAECHEWABFLUSS : 69971.580 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 96027.080 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES BIN-/UEBERSTAUEN (MIN)
KS1	.000 (M**3)	124.33
KS2-H25	.000 (M**3)	139.50
KS3	.000 (M**3)	148.75
KS4	.000 (M**3)	169.25
KS7	.000 (M**3)	191.08
KS5	.000 (M**3)	150.08
KS6	.000 (M**3)	140.50
ZP17-H22	138.368 (M**3)	6.33
KN1	.000 (M**3)	15.92
HZ6	.000 (M**3)	85.17
HZ11-H19	.000 (M**3)	214.50
HZ12	.000 (M**3)	495.92
HZ13-H17	.000 (M**3)	78.33
HN19	.000 (M**3)	3.42
RS2	.000 (M**3)	6.83
RS3	.000 (M**3)	73.67
RS1	.000 (M**3)	38.67
RS5	.000 (M**3)	147.17
RS4	.000 (M**3)	51.25
RS6-H9	.000 (M**3)	110.25
RS8	.000 (M**3)	117.42
RS7	.000 (M**3)	487.75

HZ14	.000 (M**3)	143.25
AUS1	53345.050 (M**3)	.00
AUS2-H35	11402.650 (M**3)	795.08
AUS3	421.719 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 65169.410 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 31193.100 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 96362.520 (M**3)

VOLUMENFEHLER : -.35 %

Ereignis Nr.005 vom 7.6.1985 1:55 Uhr bis 7.6.1985 3:55 Uhr
Modifizierte Regelbasis

SIMULATIONSANFANG : 7. 6.1985 1:55. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 7. 6.1985 15:55. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 7. 6.1985 1:55. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 156113.500 (M**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 19661.7500 (M**3)
DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 136451.700 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 163564.000 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES	
		EIN-/UEBERSTAU	(MIN)
KS1	.000	8.146 (M**3)	145.17
KS2-H25	.000	.000 (M**3)	592.75
KS3	.000	.000 (M**3)	633.83
KS4	.000	.000 (M**3)	689.17
KS7	.000	.000 (M**3)	782.92
KS5	.000	.000 (M**3)	624.33
KS6	.000	.000 (M**3)	583.00
KRB-H23	5436.481	5436.481 (M**3)	.00
H21	.000	48.111 (M**3)	3.50
H22-H21	.000	.000 (M**3)	13.25
H25	.000	.000 (M**3)	16.42
H23	.000	.000 (M**3)	30.83
H24	.000	.000 (M**3)	47.92
H26	.000	.000 (M**3)	761.50
H28	.000	.000 (M**3)	341.50
H27	.000	.000 (M**3)	68.17
H210	.000	.000 (M**3)	231.92
H29	.000	.000 (M**3)	69.00
H211-H19	.000	.000 (M**3)	770.42
H212	.000	.000 (M**3)	771.67
H213-H17	.000	.000 (M**3)	768.75

HS1	.000	140.444 (M**3)	150.50
HS3	.000	.000 (M**3)	762.50
HS2	.000	446.711 (M**3)	154.42
HN1	.000	.000 (M**3)	14.25
HN3	.000	.000 (M**3)	207.42
HN2	.000	.000 (M**3)	102.17
HN8-H15	.000	.000 (M**3)	92.17
HN6	.000	.000 (M**3)	22.75
HN7	.000	.000 (M**3)	197.58
HN11	.000	.000 (M**3)	142.75
HN9	.000	.000 (M**3)	16.92
HN10	.000	9979.005 (M**3)	122.00
HN19	.000	.000 (M**3)	779.92
HN12	.000	.000 (M**3)	780.17
HN14	3879.416	7536.417 (M**3)	530.92
HN13	.000	3.352 (M**3)	119.83
HN15	.000	.000 (M**3)	57.33
HN16	.000	1707.164 (M**3)	89.25
HN18	.000	.000 (M**3)	90.08
HN17	.000	401.292 (M**3)	109.08
RN1	.000	.000 (M**3)	576.92
RS2	.000	.000 (M**3)	747.08
RS3	193.099	193.099 (M**3)	758.25
RS1	23.523	23.523 (M**3)	757.42
RS5	.000	.000 (M**3)	767.33
RS4	36.285	36.285 (M**3)	761.67
RS6-H9	.000	.000 (M**3)	767.08
RS8	13.022	13.022 (M**3)	769.42
RS7	.000	.000 (M**3)	771.67
HZ14	.000	.000 (M**3)	770.00
AUS1	58700.370	58700.370 (M**3)	.00
AUS2-H35	16297.920	16485.880 (M**3)	840.08
AUS3	.011	.086 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 84580.120 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 72316.230 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 156896.300 (M**3)

VOLUMENFEHLER : 4.08 %

Ereignis Nr.015 vom 9. 8.1960 16:15 Uhr bis 9. 8.1960 17:30 Uhr
 Modifizierte Regelbasis

SIMULATIONSANFANG : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
 SIMULATIONSENDE : 10. 8.1960 5:30. 0 UHR
 BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
 AUSGABEZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
 GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 88576.520 (M**3)
 DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 18604.9500 (M**3)
 DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 69971.580 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 96027.080 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES	
		EIN-/UEBERSTAU	(MIN)
KS1	.000	.000 (M**3)	52.92
KS2-H25	.000	.000 (M**3)	140.92
KS3	.000	.000 (M**3)	288.75
KS4	.000	.000 (M**3)	373.75
KS7	.000	.000 (M**3)	506.33
KS5	.000	.000 (M**3)	279.17
KS6	.000	.000 (M**3)	132.00
HZ6	.000	.000 (M**3)	729.58
HZ8	.000	.000 (M**3)	19.50
HZ11-H19	.000	.000 (M**3)	740.33
HZ12	.000	.000 (M**3)	745.08
HZ13-H17	.000	.000 (M**3)	732.17
HS3	.000	.000 (M**3)	524.17
HN19	.000	.000 (M**3)	400.17
HN12	.000	.000 (M**3)	275.42
HN14	.000	.000 (M**3)	181.75
RS2	.000	.000 (M**3)	282.83
RS3	.000	.000 (M**3)	699.58
RS1	.000	.000 (M**3)	587.67
RS5	.000	.000 (M**3)	736.75
RS4	.000	.000 (M**3)	676.83
RS6-H9	.000	.000 (M**3)	734.67
RS8	.000	.000 (M**3)	737.33

RS7	.000	.000 (M**3)	746.33
HZ14	.000	.000 (M**3)	738.17
AUS1	53588.360	53588.360 (M**3)	.00
AUS2-H35	1.250	2.287 (M**3)	795.08
AUS3	.085	.086 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 53589.700 (M**3)
 RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 41825.360 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 95415.050 (M**3)

VOLUMENFEHLER : .64 %

Doppel-Ereignis (Nr.015)
vom 9.8.1960 16:15 Uhr bis 10.8.1960 1:00 Uhr
Standardregelbasis

SIMULATIONSANFANG : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 10. 8.1960 13: 0. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT* : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
AUSGABEZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AN ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
GESAMTES ZUFLUSSVOLUMEN INS SYSTEM : 191616.000 (M**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLUSS : 29172.9200 (M**3)
DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 162443.100 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLUSS+ANFANGSVOL.) : 199066.600 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN	MAXIMAL	LAENGE DES	
		EIN-/UEBERSTAU	(MIN)
KS1	.000	.000 (M**3)	313.58
KS2-H25	.000	.000 (M**3)	347.67
KS3	.000	.000 (M**3)	368.75
KS4	.000	.000 (M**3)	417.75
KS7	.000	.000 (M**3)	473.83
KS5	.000	.000 (M**3)	370.17
KS6	.000	.000 (M**3)	347.00
KPIT-H22	.000	1447.926 (M**3)	50.50
KW1	.000	.000 (M**3)	81.33
KRB-H23	294.381	294.381 (M**3)	.00
HZ2-H21	.000	.000 (M**3)	6.83
HZ5	.000	.000 (M**3)	17.75
HZ3	.000	.000 (M**3)	36.92
HZ4	.000	.000 (M**3)	46.42
HZ6	.000	.000 (M**3)	418.08
HZ8	.000	.000 (M**3)	125.17
HZ7	.000	.000 (M**3)	66.17
HZ10	.000	.000 (M**3)	120.33
HZ9	.000	.000 (M**3)	66.67
HZ11-H19	.000	.000 (M**3)	664.00

HZ12	.000	.000 (M**3)	1064.58
HZ13-H17	.000	.000 (M**3)	406.17
HS1	.000	.000 (M**3)	113.17
HS3	.000	.000 (M**3)	218.92
HS2	.000	63.733 (M**3)	114.33
HM1	.000	.000 (M**3)	1.50
HM3	.000	.000 (M**3)	131.58
HM2	.000	.000 (M**3)	78.17
HM8-H15	.000	.000 (M**3)	75.50
HM6	.000	.000 (M**3)	31.58
HM7	.000	.000 (M**3)	124.58
HM11	.000	.000 (M**3)	104.42
HM9	.000	.000 (M**3)	3.50
HM10	.000	9703.529 (M**3)	87.42
HM19	.000	.000 (M**3)	222.17
HM12	.000	.000 (M**3)	218.33
HM14	.000	8370.744 (M**3)	171.58
HM13	.000	11.567 (M**3)	95.50
HM15	.000	.000 (M**3)	54.08
HM16	.000	381.146 (M**3)	64.67
HM18	.000	.000 (M**3)	66.25
HM17	.000	7.304 (M**3)	78.92
RS2	.000	1.076 (M**3)	181.08
RS3	.000	130.742 (M**3)	398.08
RS1	.000	677.250 (M**3)	281.92
RS5	.000	.000 (M**3)	559.58
RS4	.000	.000 (M**3)	311.00
RS6-H9	.000	.000 (M**3)	476.58
RS8	.000	.000 (M**3)	497.75
RS7	.000	.000 (M**3)	1056.08
HZ14	.000	.000 (M**3)	548.42
AUS1	93545.090	93545.090 (M**3)	.00
AUS2-H35	61796.080	61986.500 (M**3)	1245.08
AUS3	425.315	425.380 (M**3)	.00

GESAMTABELUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 156060.900 (M**3)
RESTVOLUMEN IN SYSTEM : 39510.020 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 195570.900 (M**3)

VOLUMENFEHLER : 1.76 %

Doppel-Ereignis (Nr.015)
vom 9.8.1960 16:15 Uhr bis 10.8.1960 1:00 Uhr
Modifizierte Regelbasis

SIMULATIONSANFANG : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
SIMULATIONSENDE : 10. 8.1960 13: 0. 0 UHR
BERECHNUNGSZEITSCHRITT : 5.00 (SEC)

ANFANG DER LAUFENDEN AUSGABE : 9. 8.1960 16:15. 0 UHR
AUSGABENZEITSCHRITT : 300.00 (SEC)

VOLUMENKONTROLLE AM ENDE DER RECHNUNG

ANFANGSVOLUMEN IM SYSTEM : 7450.556 (M**3)
GESAMTES ZUFLOSSVOLUMEN INS SYSTEM : 191616.000 (M**3)
DAVON TROCKENWETTERZUFLOSS : 29172.9200 (M**3)
DAVON OBERFLAECHEABFLUSS : 162443.100 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ZUFLOSS+ANFANGSVOL.) : 199066.600 (M**3)

UEBERSTAU- UND ABFLUSSVOLUMEN AUS KNOTEN		MAXIMAL	LAENGE DES	
			EIN-/UEBERSTAU	(MIN)
KS1	.000	.467 (M**3)	177.42	
KS2-H25	.000	.000 (M**3)	338.25	
KS3	.000	.000 (M**3)	985.67	
KS4	.000	.000 (M**3)	1062.42	
KS7	.000	.000 (M**3)	1216.08	
KS5	.000	.000 (M**3)	967.58	
KS6	.000	.000 (M**3)	326.00	
KRB-H23	4553.849	4553.849 (M**3)	.00	
H21	.000	104.604 (M**3)	3.75	
H22-H21	.000	.000 (M**3)	32.33	
H25	.000	.000 (M**3)	50.33	
H23	.000	.000 (M**3)	61.50	
H24	.000	.000 (M**3)	71.67	
H26	.000	.000 (M**3)	1179.58	
H28	.000	.000 (M**3)	428.25	
H27	.000	.000 (M**3)	84.00	
H210	.000	.000 (M**3)	267.25	
H29	.000	.000 (M**3)	83.42	
H211-H19	.000	.000 (M**3)	119	

H212	.000	.000 (M**3)	1195.08
H213-H17	.000	.000 (M**3)	1182.17
HS1	.000	333.170 (M**3)	154.58
HS3	.000	.000 (M**3)	1173.17
HS2	.000	1093.573 (M**3)	163.42
HW1	.000	.000 (M**3)	21.42
HW3	.000	.000 (M**3)	177.67
HW2	.000	.000 (M**3)	87.92
HW8-H15	.000	.000 (M**3)	85.00
HW5	.000	.000 (M**3)	4.42
HW6	.000	.000 (M**3)	60.67
HW7	.000	.000 (M**3)	171.42
HW11	.000	.000 (M**3)	116.75
HW9	.000	.000 (M**3)	11.42
HW10	.000	13174.530 (M**3)	97.25
HW19	.000	.000 (M**3)	1179.67
HW12	.000	.000 (M**3)	1072.33
HW14	8473.369	11170.870 (M**3)	789.00
HW13	.000	.000 (M**3)	112.75
HW15	.000	.000 (M**3)	63.00
HW16	.000	1607.687 (M**3)	73.42
HW18	.000	.000 (M**3)	74.67
HW17	.000	421.455 (M**3)	84.17
RW1	.000	.000 (M**3)	594.58
RS2	.000	.000 (M**3)	1069.42
RS3	353.258	353.258 (M**3)	1170.25
RS1	2.425	2.425 (M**3)	1169.25
RS5	.000	.000 (M**3)	1186.75
RS4	100.794	100.794 (M**3)	1177.17
RS6-H9	.000	.000 (M**3)	1184.67
RS8	24.405	24.405 (M**3)	1187.33
RS7	.000	.000 (M**3)	1196.33
H214	.000	.000 (M**3)	1188.17
AUS1	88706.380	88706.380 (M**3)	.00
AUS2-H35	17442.470	17621.270 (M**3)	1245.08
AUS3	-.021	.087 (M**3)	.00

GESAMTABFLUSSVOLUMEN AUS DEM SYSTEM : 119656.900 (M**3)
RESTVOLUMEN IM SYSTEM : 73512.860 (M**3)

GESAMTVOLUMEN (ABFLUSS+RESTVOL.) : 193169.800 (M**3)

VOLUMENFEHLER : 2.96 %

INSTITUT FUER WASSERWIRTSCHAFT, UNIVERSITAET HANNOVER

Steuerung eines Mischwassernetzes zur Verbesserung der Gewässergüte
und zur Vermeidung der Betriebskosten

Teil 3.3: Erarbeitung von Kriterien zur Steuerung nach Güteaspekten

Erste Erfahrungen mit dem BSB_{M3}-Meßgerät zur Kennzeichnung der
qualitativen Systemzustände des Mischsystems

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. A. Durchschlag
Dr.-Ing. A. Khelil

Hannover, den 19.06.1989

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Allgemeines zum BSB	3
3. Installation und Betrieb des BSB _{M3} - Meßgerätes	4
4. Prinzipielle Grundlage der kontinuierlichen BSB _{M3} - Messung	7
5. Vergleich zwischen den Stichprobenmessungen (BSB ₅) und der kontinuierlichen BSB _{M3} - Messung	9
6. Auswertung der kontinuierlichen BSB _{M3} - Messungen	12
6.1 Schmutzwasserabfluß	12
6.2 Mischwasserabfluß	15
7. Überprüfung des Informationsgehaltes von BSB _{M3} - Messungen zur Steuerung nach Güteaspekten	35
8. Eignung des BSB _{M3} - Meßwertes als Indikator zur Verunreinigung des Mischwasserabflusses	35
9. Zusammenfassung und Ausblick	36

1. Einleitung

Die Steuerung des Mischwasserabflusses mit dem Ziel der Minimierung von Überstau, der Minimierung von Entlastungsmengen sowie der Minimierung von Pumpkosten nach Kriterien aus der Analyse des Niederschlag- Abflußverhaltens, basieren auf quantitative Kenngrößen des Systemzustandes. Sind qualitative Systemzustände des Mischsystems bekannt, so lassen sich Kriterien zur Steuerung des Mischwasserabflusses nach Güteaspekten erarbeiten. Qualitative Aussagen über den Systemzustand verändern die Entscheidungsgrundlagen zur Steuerung. Der Entlastungszeitraum und die Entlastungsmenge während eines Mischwasserereignisses, die nach quantitativen Entscheidungsgrundlagen festgelegt werden, brauchen nicht mit dem Entlastungszeitraum und der Entlastungsmenge, die nach qualitativen Entscheidungsgrundlagen getroffen werden, übereinstimmen, wenn als Zielvorgabe, die gesamte Entlastungsgfracht während des Mischwasserereignisses zu reduzieren, vorgegeben wird. Dieses setzt voraus, daß der qualitative Systemzustand bekannt ist. Dafür ist es erforderlich ein kontinuierlich messendes Gerät einzusetzen. Im Rahmen des BMFT-Vorhabens wurde ein BSB_{M3}-Meßgerät zur Ermittlung der biologisch abbaubaren Stoffe angeschafft. Erste Erfahrungen mit diesem Meßgerät wurden auf der Kläranlage Bremen-Seehausen gemacht.

2. Allgemeines zum BSB

Der bioschmische Sauerstoffbedarf BSB charakterisiert über die Summenaktivität des Sauerstoffverbrauchs die organische Verschmutzung eines Wassers. Im Sinne der analytischen Chemie ist der BSB nicht als Konzentration, sondern als indirektes Maß für eine Konzentration anzusehen. Er resultiert aus der Wirkung eines Nährstoffangebotes auf eine Mikrobielle Lebensgemeinschaft und beschreibt die Wirkung der organischen Substanz auf ein biologisches System. Der BSB ist deshalb besonders geeignet zur Beurteilung des O₂- Haushaltes eines Vorfluters oder des erforderlichen O₂- Angebotes in einer biologischen Kläranlage.

Als biochemischer Sauerstoffbedarf wird die O₂- Menge bezeichnet, die für eine gegebene Menge organischer Substanz von den Bakterien beim Stoffwechsel unter konventionell festgelegten Bedingungen verbraucht wird (20° C, angeimpftes Verdünnungswasser, 5 Tage Reaktionszeit). Der BSB liefert keine Aussage über die Gesamtmenge der organischen Substanz, sondern einen quantitativen Hinweis über den Sauerstoffbedarf. Dabei hängt die Größenordnung von der Struktur der organischen Substanz und der Beeinflussung von Hemmstoffen ab.

Die Bemessung biologischer Abwasseranlagen und die Kontrolle der Reinigungsleistung erfolgte früher auf der Grundlage des BSB₅- Analysen. Auch heute noch wird der BSB zur Bewertung der Schmutz- bzw. Mischwasserbelastung verwendet. Allerdings wird der BSB im Zuge des Vorfluterschutzes und durch Entwicklung neuer Analysemethoden immer mehr durch Analyse von Einzelparametern ersetzt.

3. Installation und Betrieb des Meßgerätes

Das BSB_{M3}-Meßgerät wurde auf der Kläranlage installiert, um erste Erfahrungen gewinnen zu können. Zwei Meßeinheiten wurden durchgeführt:

1. Meßeinheit

Im Ablauf der Vorklärung: vom 16.07.87 bis 3.01.88

2. Meßeinheit

Im Zulauf der Vorklärung: vom 28.07.88 bis 11.03.89

Die Wartung des Meßgerätes wurde nach der Arbeitseinweisung von der Firma SIEPMANN und TEUTSCHER vom Personal der Kläranlage durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, daß eine täglicher Wartungsaufwand von etwa 1 Stunde anfällt. In der ersten Meßeinheit wurde nur der ungeeichte Standardwert des BSB_{M3} gemessen. In der zweiten Meßeinheit wurde der BSB_{M3} auf den BSB₅ geeicht. Am 14.12.1988 sowie am 22.12.88 wurde der Eichwert L_K bestimmt. In der 51. Woche wurde ein neuer L_K-Wert eingestellt. In Bild 1 und 2 sind die Betriebszeiten des Meßgerätes während der Meßeinheiten aufgetragen.

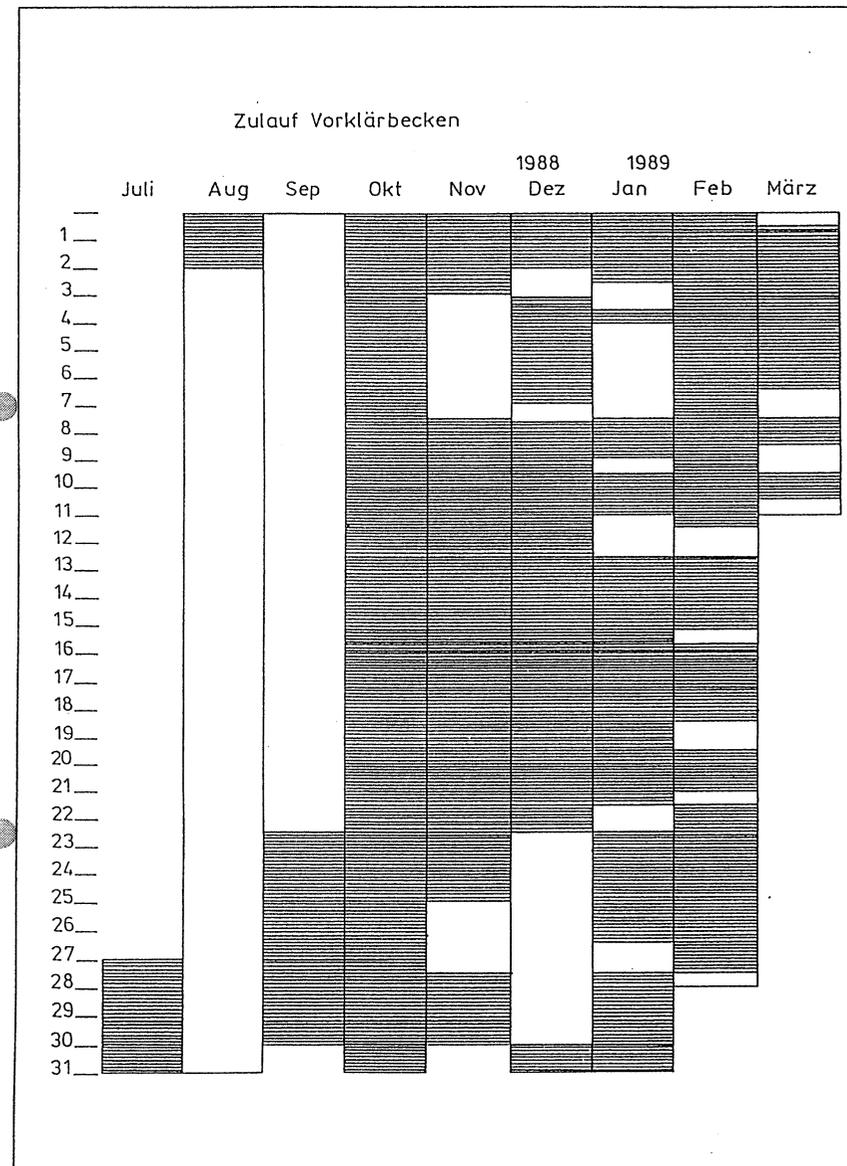


Bild 1: Betriebszeit des Meßgerätes in der 1. Meßeinheit

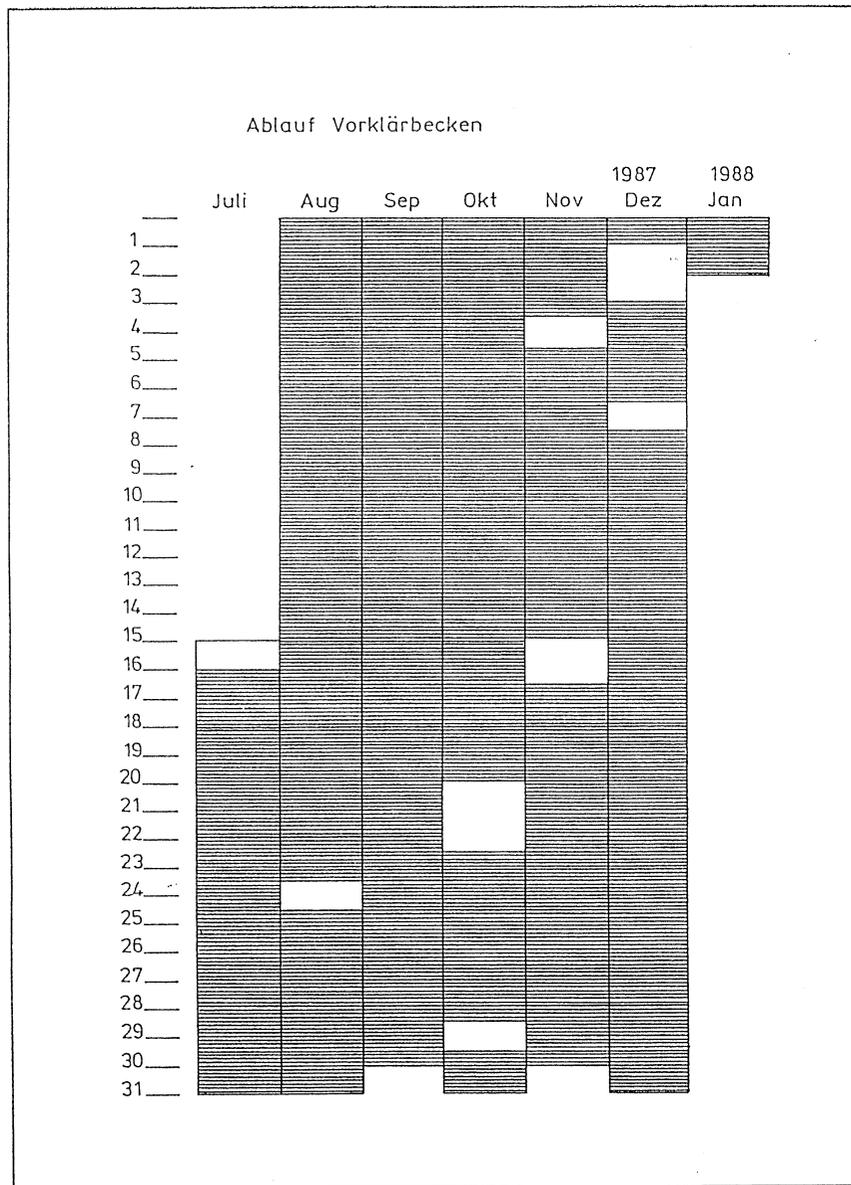


Bild 2: Betriebszeit des Meßgerätes in der 2. Meßeinheit

4. Prinzipielle Grundlage der kontinuierlichen BSB_{M3}- Messung

Bei der kontinuierlichen BSB_{M3}- Messung durchläuft ein Probenstrom des zu untersuchenden Abwassers einen Bioreaktor. Der Probenstrom wird mit Leitungswasser verdünnt, so daß sich im Reaktor eine konstante Substratumsetzung einstellt. Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch kontrolliert und geregelt. Das Mischungsverhältnis von Abwasser und Verdünnungswasser dient zur Ermittlung der Nährstoffkonzentration des Abwassers, also zur BSB- Bestimmung.

Als theoretische Grundlage dienen die Reaktionsgleichungen nach MICHAELIS und MENTEN. Mißt man die Geschwindigkeit einer enzymatischen Reaktion und trägt diese gegen die Substratkonzentration auf, so ergibt sich die in Bild 3 dargestellte Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit einer Enzymreaktion von der Substratreaktion. Die Substratreaktion bei halbmaximaler Reaktionsgeschwindigkeit wurde als Maß für die Enzymaktivität definiert.

$$V = V_{\max} \frac{S_0}{k_m + S_0}$$

- V : Reaktionsgeschwindigkeit
- V_{max}: maximale Reaktionsgeschwindigkeit
- S₀ : Substratkonzentration
- k_m : Michaelis-Konstante

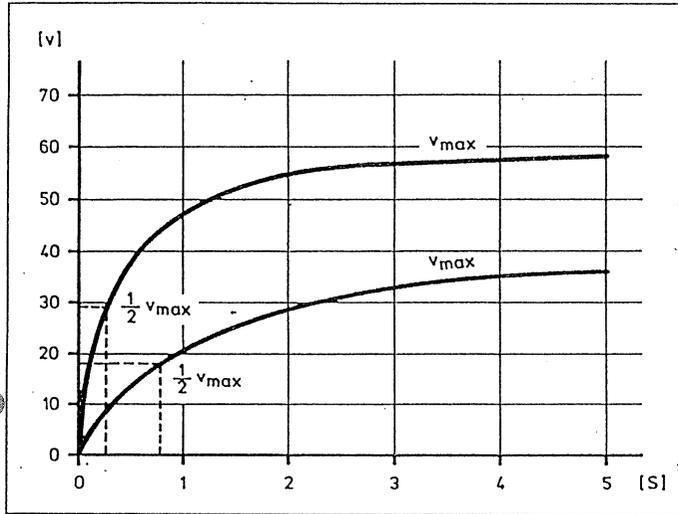


Bild 3: Michaelis-Menten-Beziehung

Bei kleinen Substratkonzentrationen sind die Reaktionsgeschwindigkeit diesen etwa proportional. Diese Abhängigkeit wird bei der kontinuierlichen BSB-Messung ausgenutzt. Die Nährstoffzufuhr bewirkt in diesem Bereich eine nahezu proportionale Sauerstoffzehrung. Das zu untersuchende Abwasser wird mit Leitungswasser verdünnt, so daß der Bioreaktor konstant mit einer bestimmten BSB₅-Konzentration versorgt wird.

Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch geregelt. Die O₂-Oxydation im Bioreaktor bewirkt die Regelung der Nährstoffzufuhr. Über das Mischungsverhältnis wird der BSB_{M3} bestimmt.

5. Vergleich zwischen den Stichprobenmessungen (BSB₅) und der kontinuierlichen BSB_{M3}- Messung

Ein direkter Vergleich zwischen BSB₅- und BSB_{M3}- ist nicht möglich, da die Wechselwirkung zwischen Substrat und Biozönose bei einer kontinuierlichen Beschickung mit einer abgeschlossenen Organismen Population (BSB₅- Probenflasche) nicht identisch ist. Der BSB_{M3}- kann nicht den BSB₅ exakt wiedergeben. Mit dem BSB_{M3}- Meßwert werden relative Aussagen über Konzentrationsniveaus getroffen, so daß kontinuierliche Aussagen über die biologische Abbaubarkeit möglich werden. Der BSB₅- beschreibt nur den biologischen Abbau zu einem Zeitpunkt einer bestimmten Biozönose.

Nach Adaption der Biomasse an das Abwasser kann der BSB_{M3} auf den BSB₅ durch Eichung des L_K- Wertes angepaßt werden. Die BSB- Konzentration im Bioreaktor (L_K- Wert) ist solange zu eichen, bis der BSB_{M3} mit dem BSB₅ übereinstimmt.

Die Angleichung des BSB_{M3} an den BSB₅ (Laboruntersuchungen der Kläranlage Seehausen) erfolgte am 14.12.1988. Das Meßgerät war im Zulauf der Vorklärung stationiert. Der L_K- Wert wurde an zwei Verhältnismessungen (BSB_{M3}/BSB₅) geeicht. In Bild 2 ist der Zusammenhang zwischen BSB_{M3} und BSB₅ dargestellt. Die BSB_{M3}/BSB₅- Relation beträgt 2,6:1. Durch herabsetzen des L_K- Wertes von 5,0 auf 1,85 konnte die BSB_{M3}/BSB₅- Relation verbessert werden. Die BSB_{M3}/BSB₅- Relationen wurden an drei weiteren Eichmessungen überprüft.

Eichmessung vom 14.12.88	BSB _{5,gem} = 352 mg/l
L _K = 5,0	BSB _{M3} /BSB ₅ = 2,6:1,0 und = 192 mg/l
Eichmessung vom 22.12.88	BSB _{5,gem} = 324 mg/l
L _K = 1,85	BSB _{M3} /BSB ₅ = 1,08:1,0
Eichmessung vom 09.01.89	BSB _{5,gem} = 285 mg/l
L _K = 1,85	BSB _{M3} /BSB ₅ = 1,16:1,0
Eichmessung vom 02.03.89	BSB _{5,gem} = 223 mg/l
L _K = 1,85	BSB _{M3} /BSB ₅ = 0,75:1,0

Tabelle 1: BSB_{M3}/BSB₅- Relation

Die Auswertungen sind grafisch in Tabelle 1 aufgetragen. Der BSB_{M3} -Meßwert bildet die Abbauleistung des BSB_5 nach Eichung des L_K -wertes hinreichend genau nach. Der BSB_{M3}/BSB_5 -Realtionswert schwankt zwischen 0,75 und 1,08, wobei eine eventuelle Ungenauigkeit der Laborwerte zu berücksichtigen ist. Erfahrungsbedingt liegen die Abweichungen der Laborwerte zwischen 10% und 15% (Schöneborn, KA 4,1988). Eine absolute Wiedergabegenauigkeit des BSB_{M3} ist durch den BSB_5 nicht gegeben.

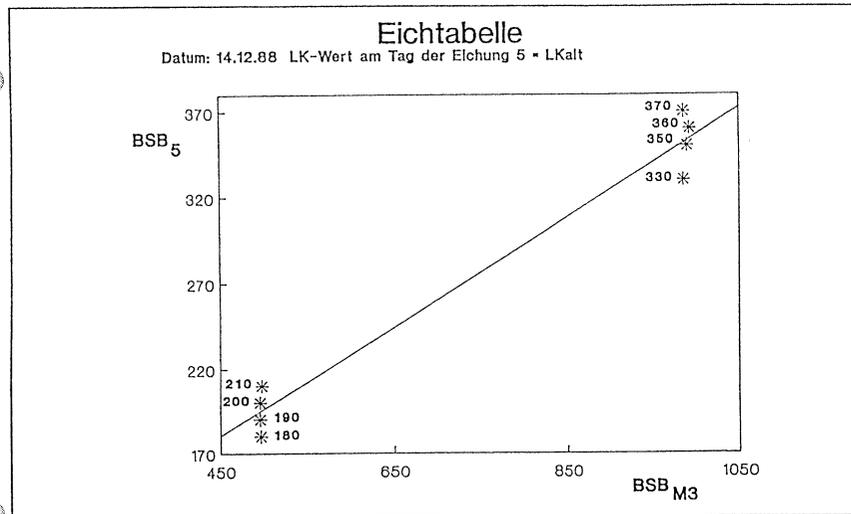


Bild 4: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB_5 und BSB_{M3} vom 14.12.88, $L_K = 5,0$

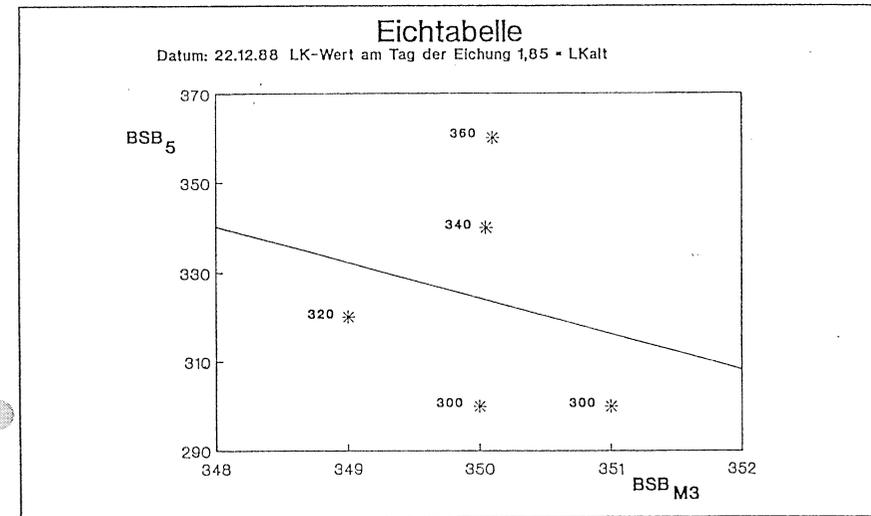


Bild 5: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB_5 und BSB_{M3} vom 22.12.88, $L_K = 1,85$

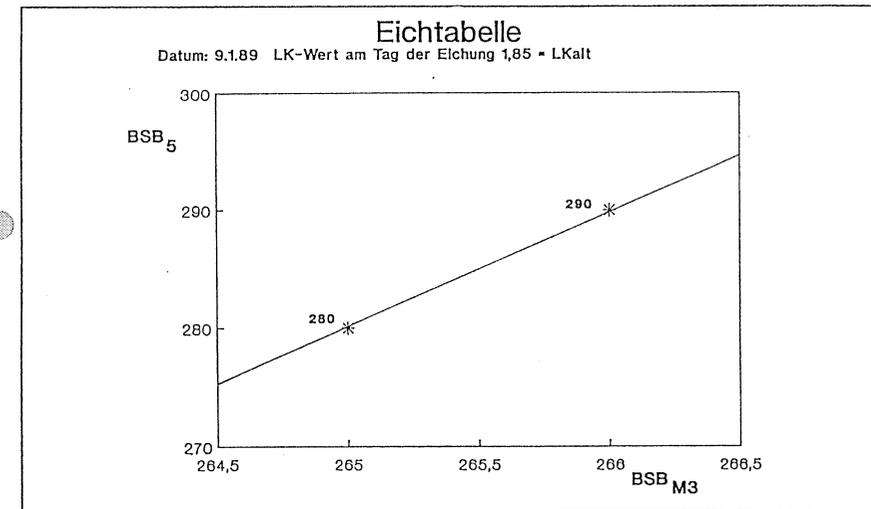


Bild 6: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB_5 und BSB_{M3} vom 09.01.89, $L_K = 1,85$

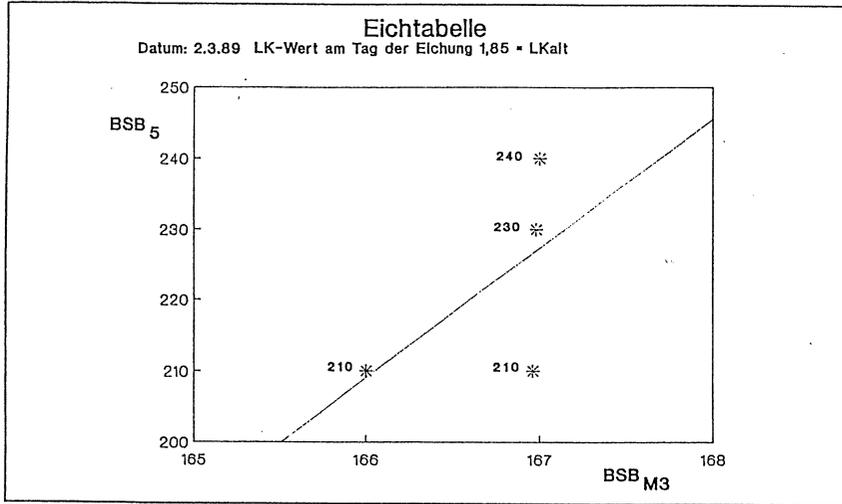


Bild 7: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB₅ und BSB_{M3} vom 02.03.89, L_K = 1,85

6. Auswertung der kontinuierlichen BSB_{M3}-Messungen

6.1 Schmutzwasserabfluß

Die BSB_{M3}-Konzentrationen schwanken im Zulauf der Vorklärung erheblich.

L_K = 5 (n. geeicht): 30 mg BSB_{M3}/l bis 2320 mg BSB_{M3}/l
 L_K = 1.85 (geeicht): 40 mg BSB_{M3}/l bis 1200 mg BSB_{M3}/l

Tageszeitliche Schwankungen der BSB_{M3}-Konzentrationen traten nicht auf. Beim Trockenwetterabfluß konnte ein tageszeitlicher Verlauf festgestellt werden (→ exemplarische Beispiele in Bild 8 u. 9).



Bild 8: Schwankungen des Trockenwetterabflusses

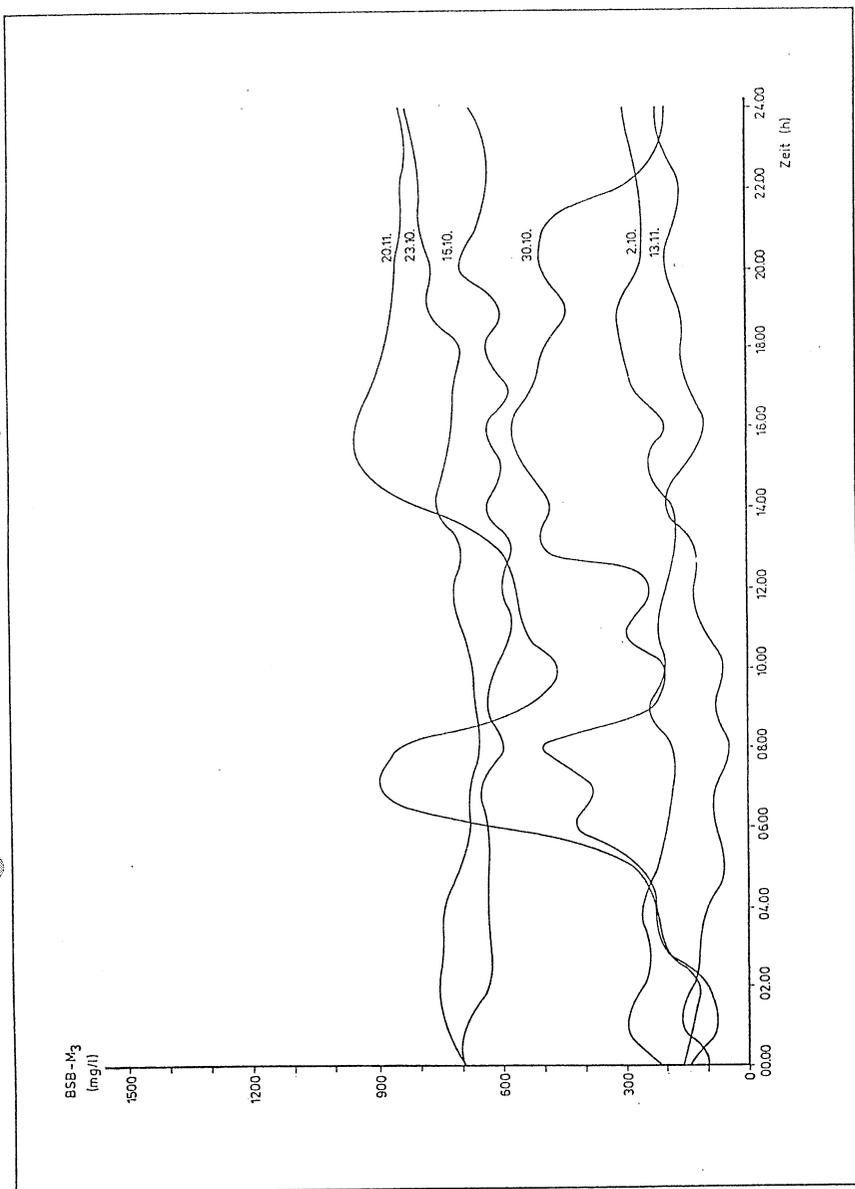


Bild 9: Schwankungen der BSB_{M3}-Konzentrationen

6.2 Mischwasserabfluß

Die gemessenen BSB_{M3}-Konzentrationen schwanken im Zulauf zur Vorklärung erheblich.

L_K = 5 (n. geeicht): 30 mg BSB_{M3}/l bis 2400 mg BSB_{M3}/l
L_K = 1.85 (geeicht): 40 mg BSB_{M3}/l bis 1200 mg BSB_{M3}/l

Insgesamt konnten 41 Regenereignisse auf der Kläranlage erfaßt werden, mit einer Abflußspitze von 2.8 m³/s, die dem Bemessungszufluß der Kläranlage entsprechen. Da die Konzentrationen sowie Abflüsse nicht digitalisiert auf Datenträger vorlagen, konnte das Datenmaterial nur gesichtet werden. Die Mischwasserereignisse wurden nach Gruppen unterschieden. Bei der Einteilung wurde der Konzentrationsverlauf zu Beginn und während des Mischwasserereignisses betrachtet.

- Gruppe I
Konzentration steigt
Anzahl der Mischwasserzustände: 21
- Gruppe II
Konzentration fällt
Anzahl der Mischwasserereigniszustände: 23
- Gruppe III
Konzentration bleibt gleich
Anzahl der Mischwasserzustände: 20

Aufgrund der rasch wechselnden Mischwasserkonzentrationen während der Mischwasserabflüsse ist eine Steuerung des Mischwasserabflusses nach qualitativen Gesichtspunkten sinnvoll.

In den Bildern 10 bis 28 sind einige Mischwasserereignisse grafisch aufgetragen. Die Kläranlagenzuflüsse, die BSB_{M3}-Frachtdensitäten (Frachtraten) und die BSB_{M3}-Konzentrationen sind exemplarisch für abflußrelevante Ereignisse dargestellt. Der Kläranlagenzufluß wurde kontinuierlich auf der Kläranlage gemessen.

Bild 10: Mischwasserereignis 23.09.1988

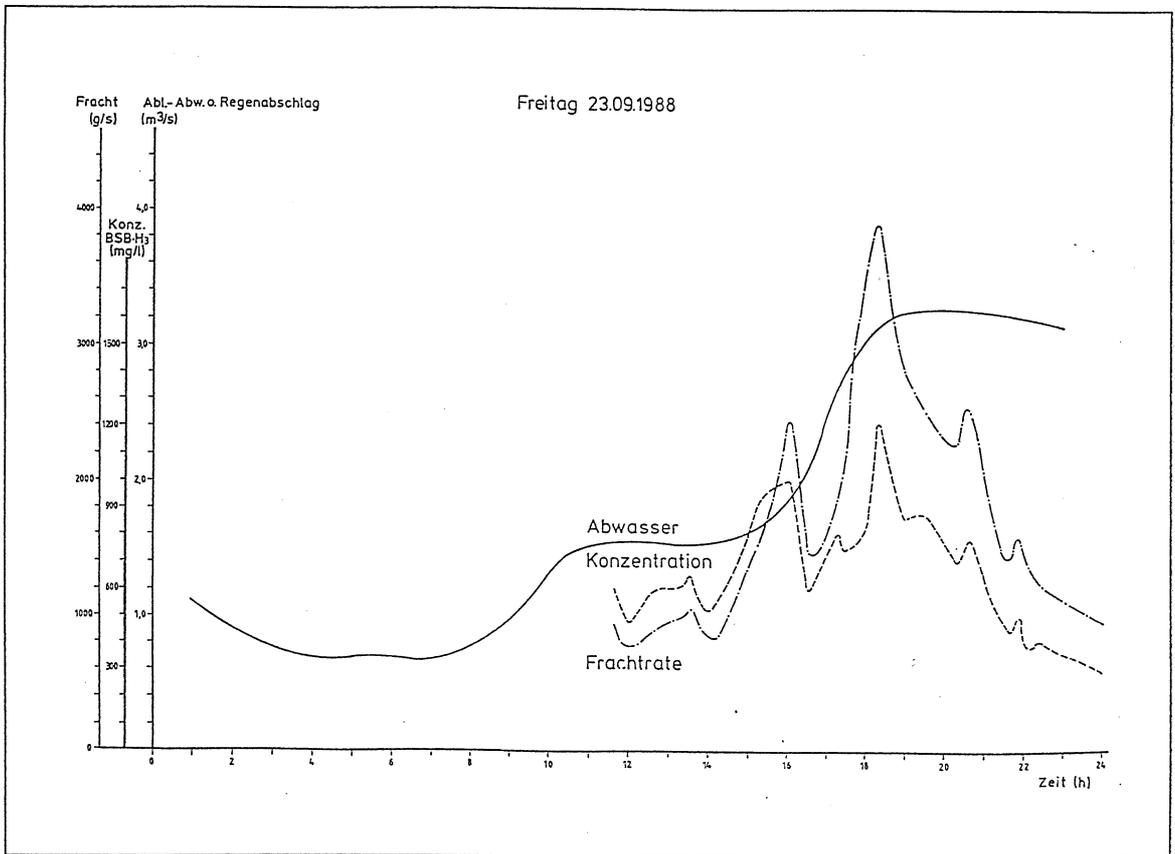


Bild 11: Mischwasserereignis 24.09.1988

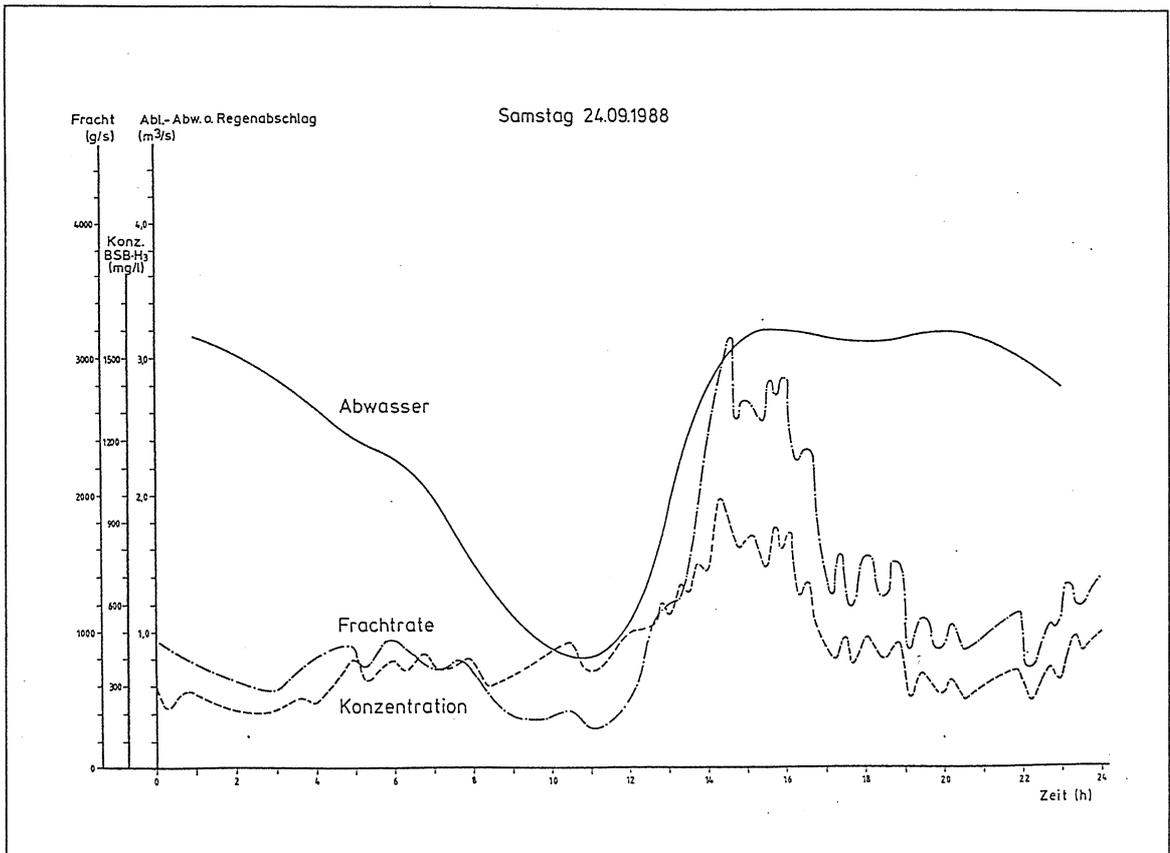


Bild 12: Mischwasserereignis 6.10.1988

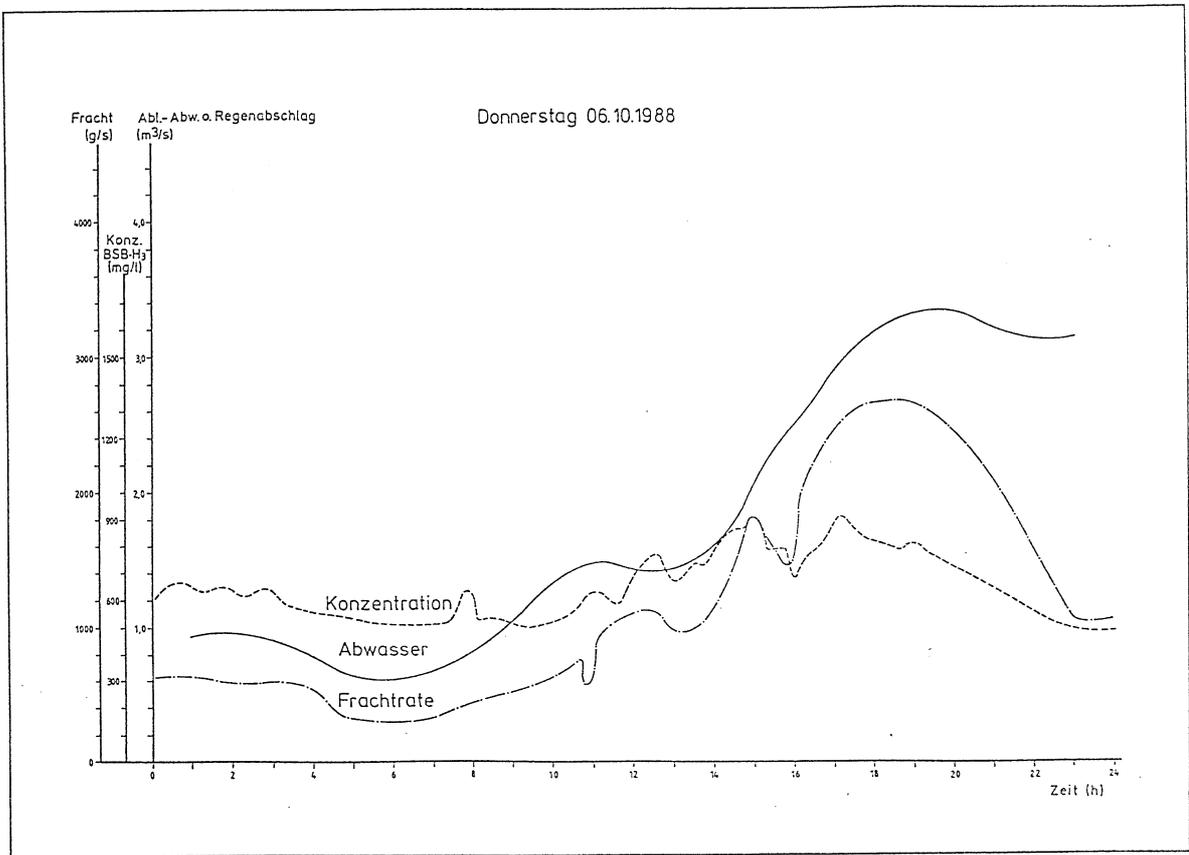


Bild 13: Mischwasserereignis 8.10.1988

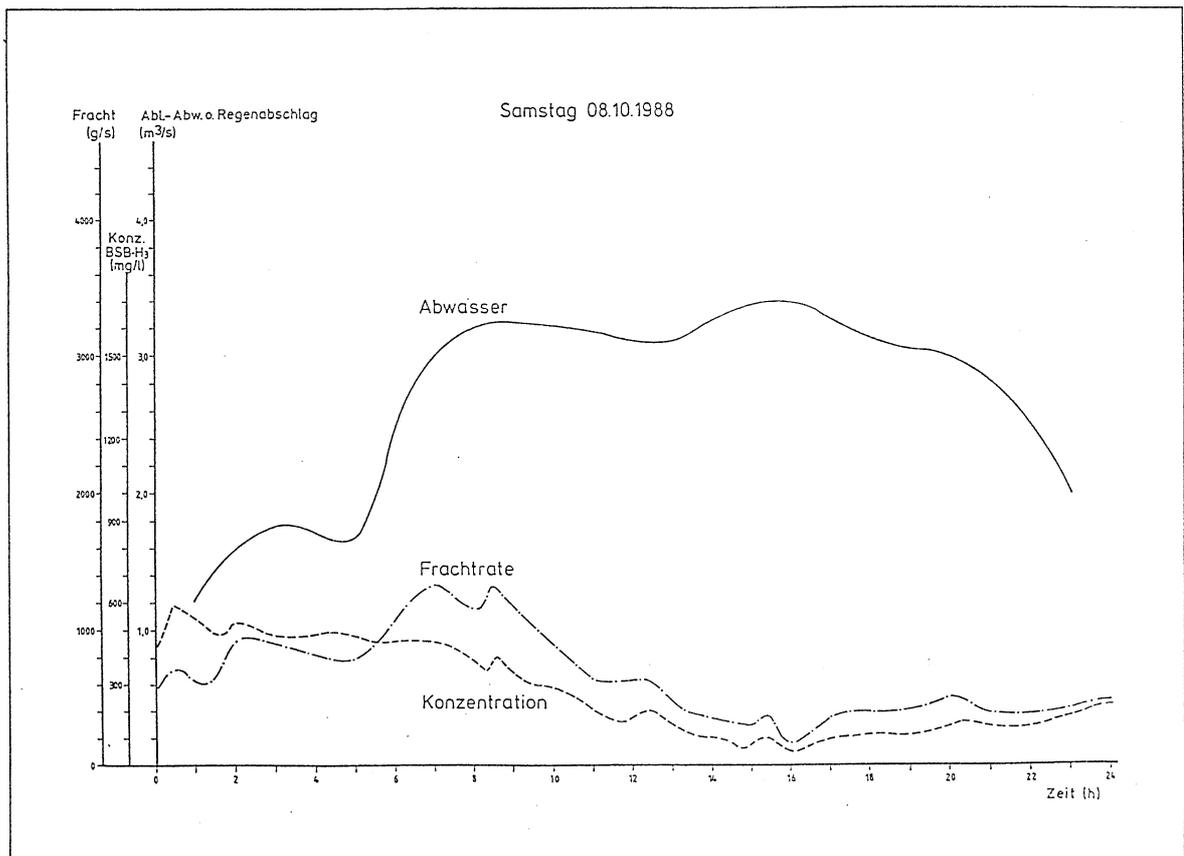


Bild 14: Mischwasserereignis 9.10.1988

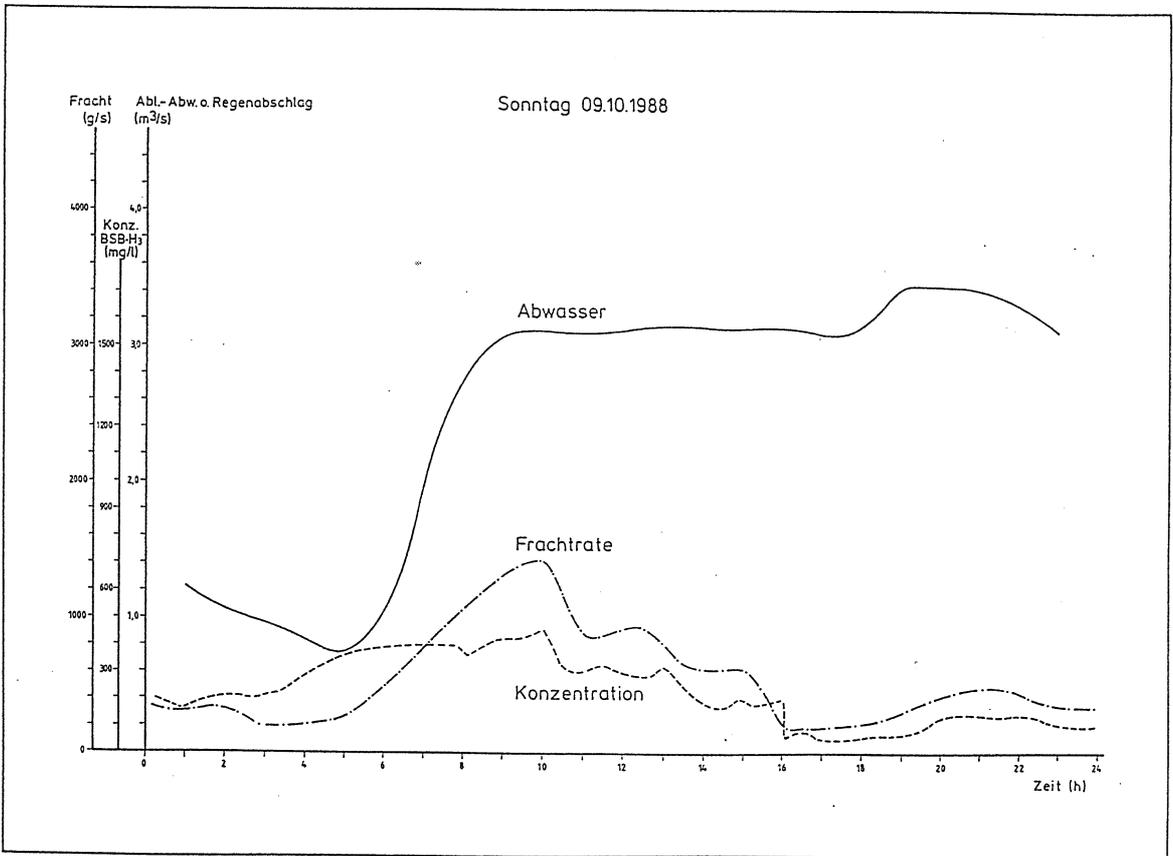


Bild 15: Mischwasserereignis 10.10.1988

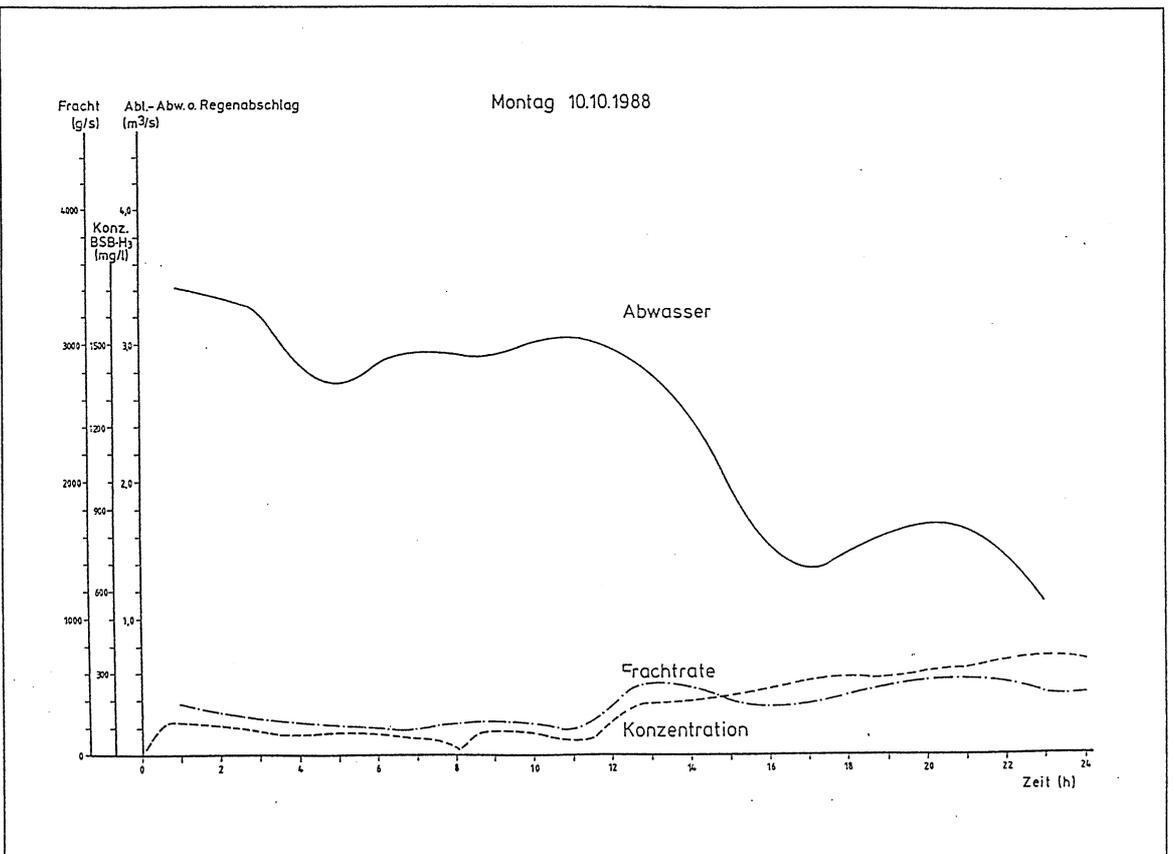


Bild 16: Mischwasserereignis 12.10.1988

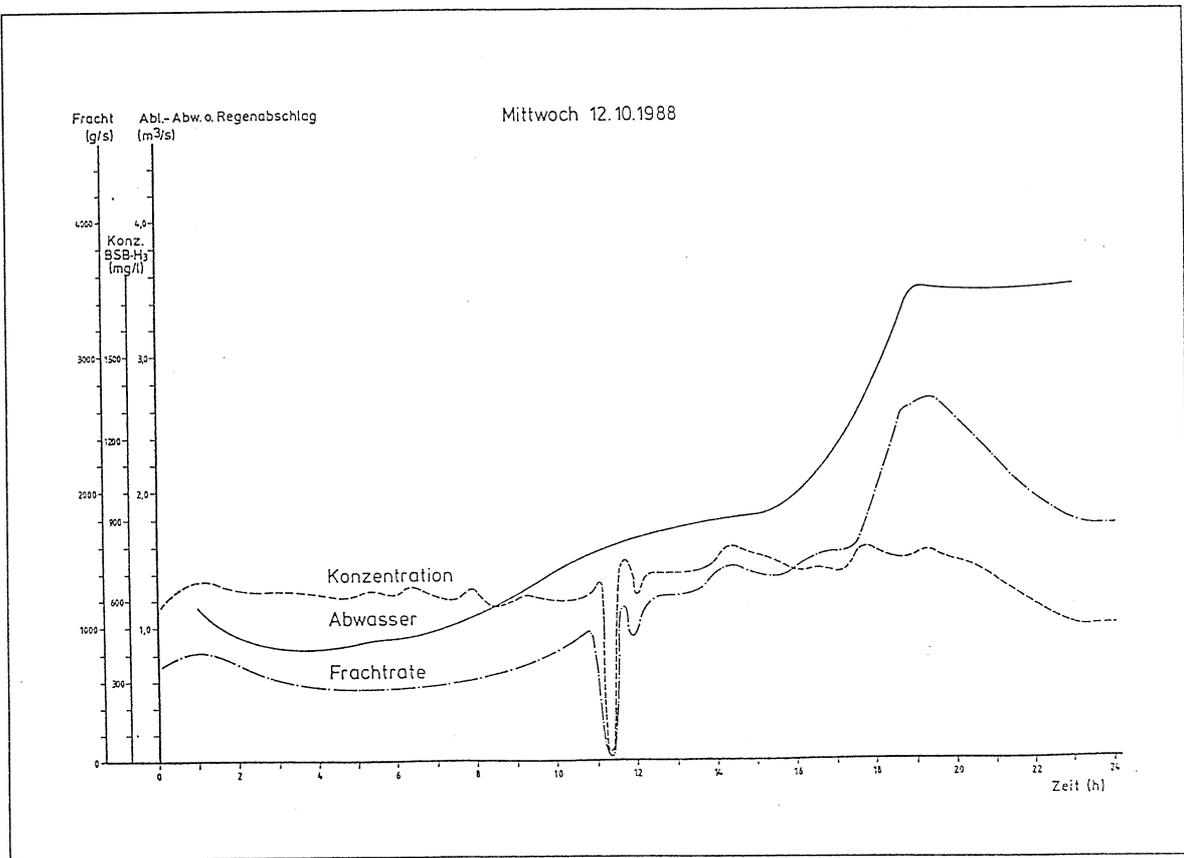


Bild 17: Mischwasserereignis 13.10.1988

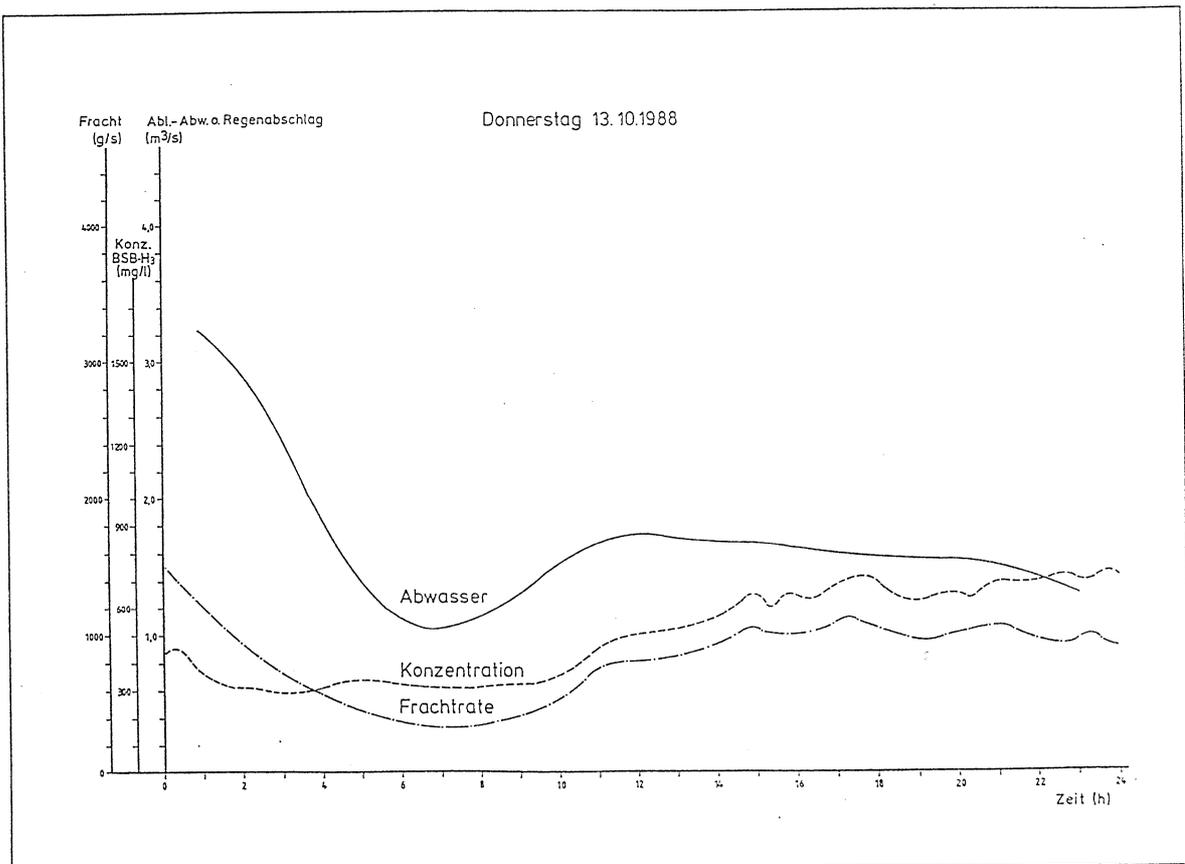


Bild 18: Mischwasserereignis 23.11.1988

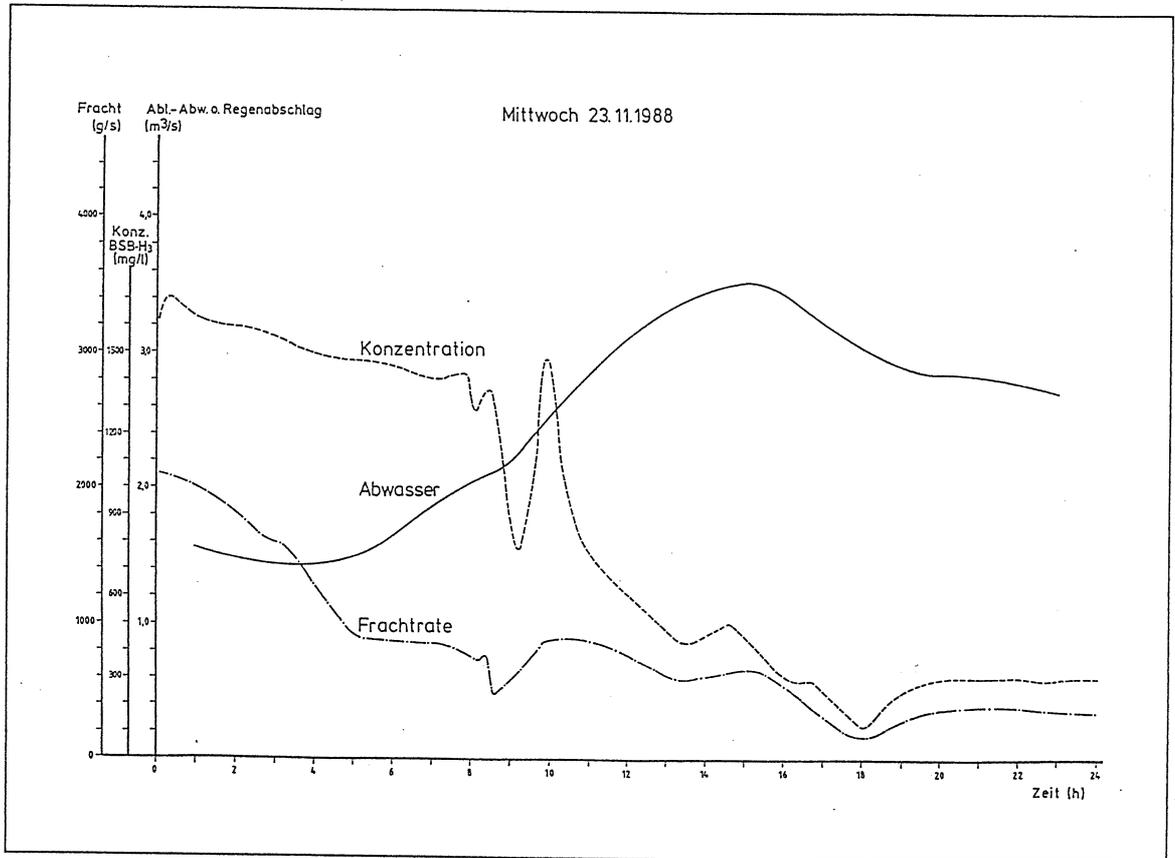


Bild 19: Mischwasserereignis 28.11.1988

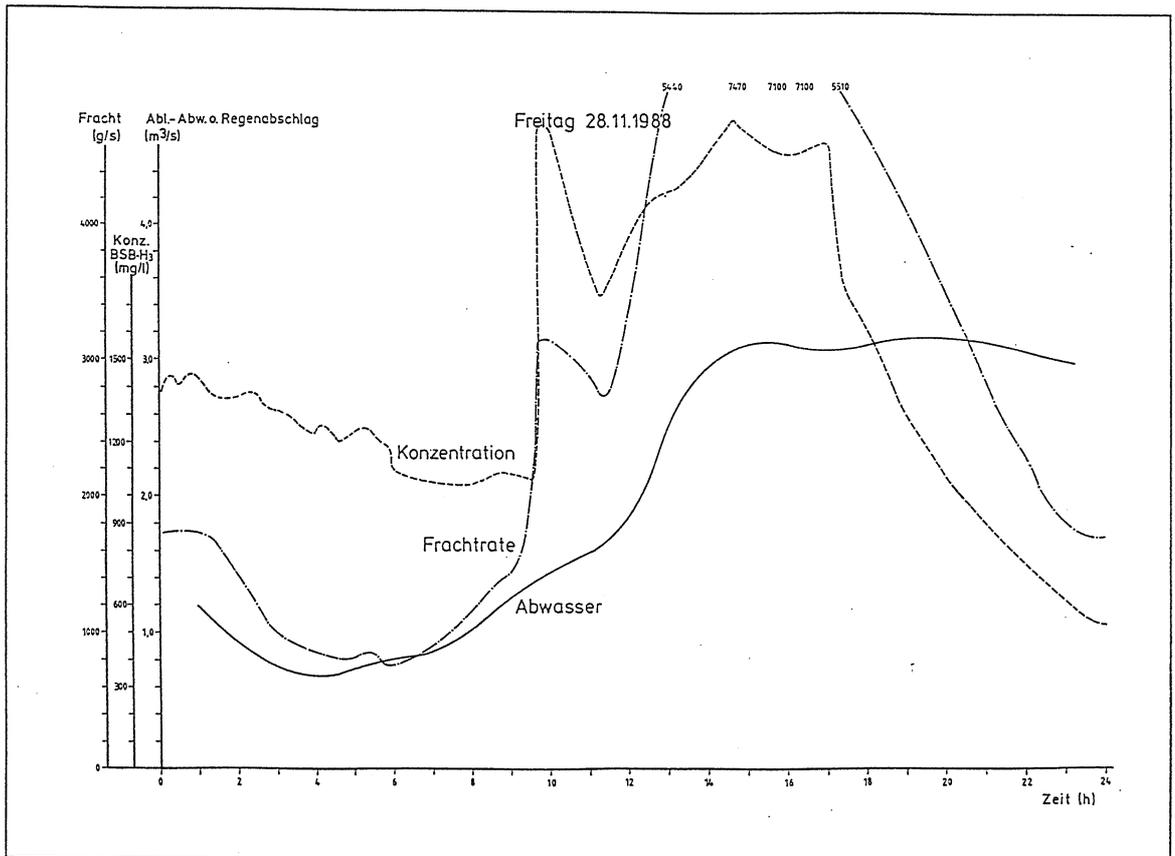


Bild 20: Mischwasserereignis 4.12.1988

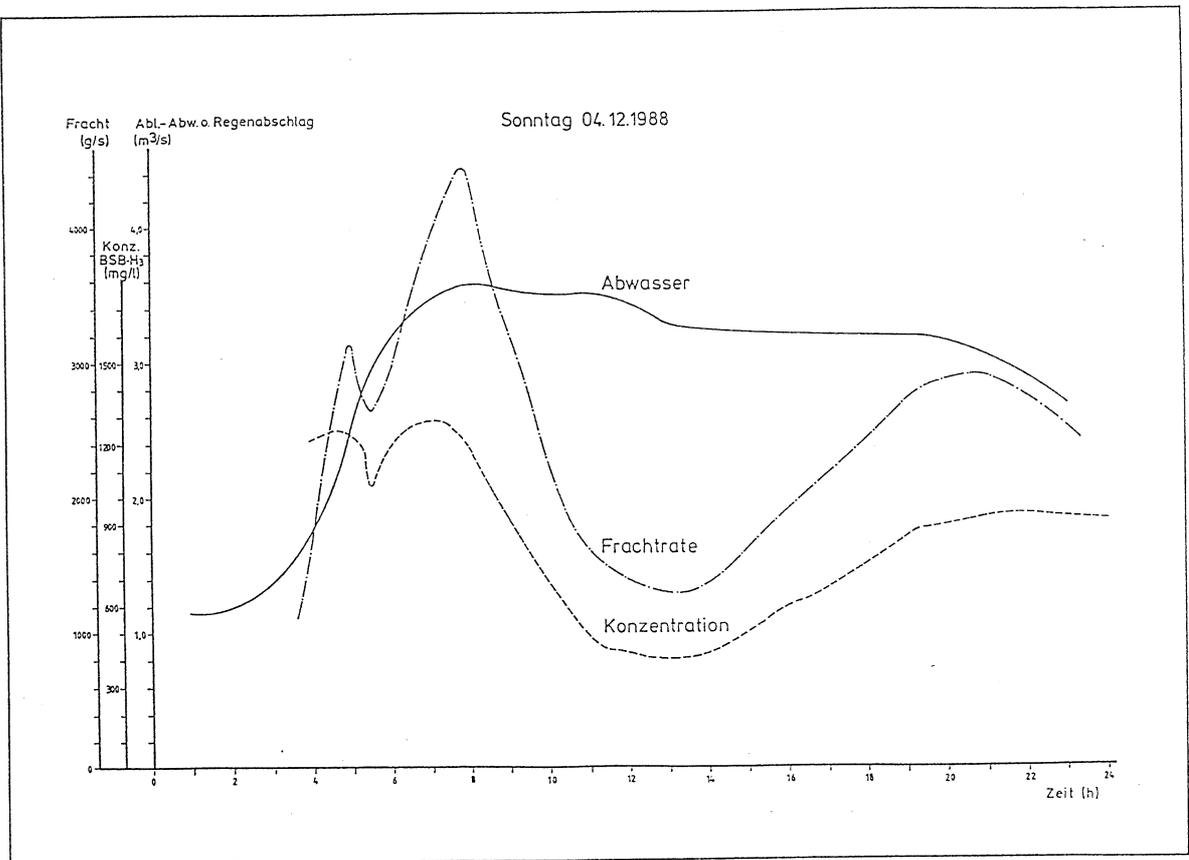


Bild 21: Mischwasserereignis 5.12.1988

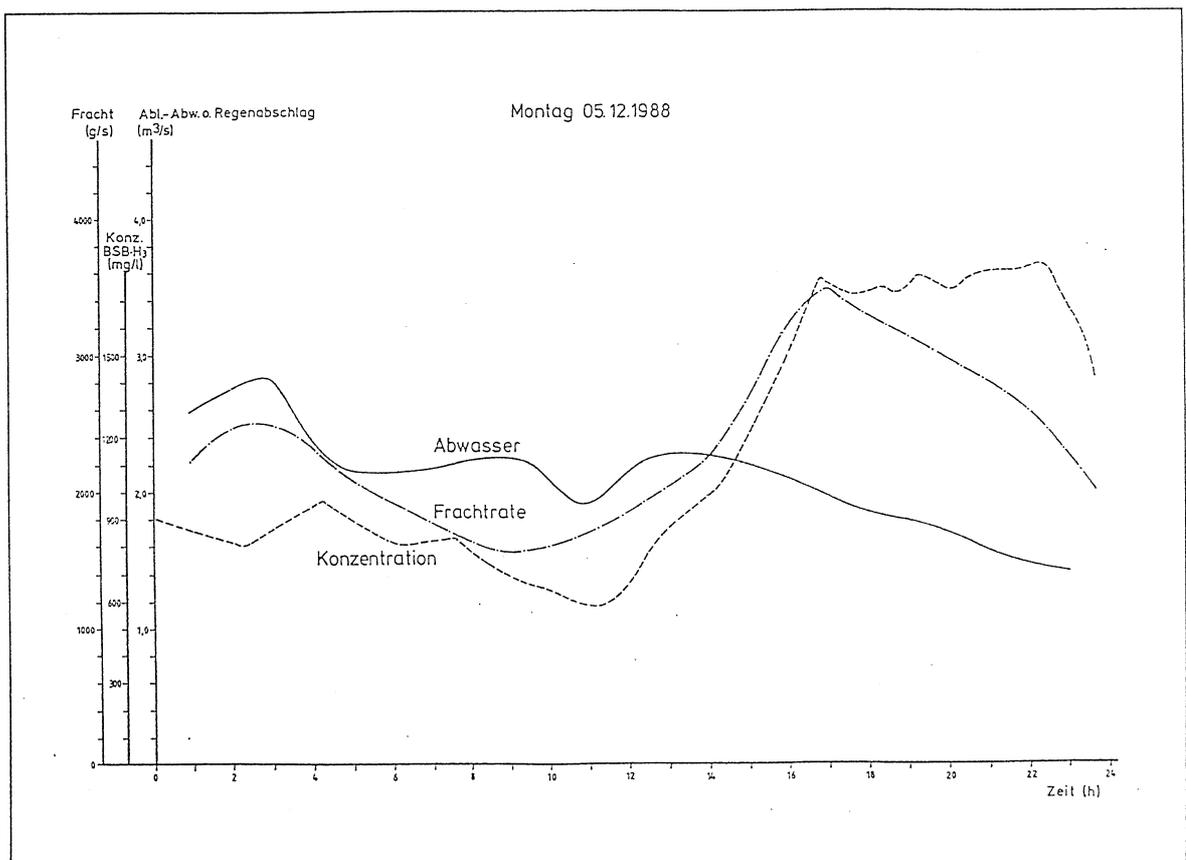


Bild 22: Mischwasserereignis 6.12.1988

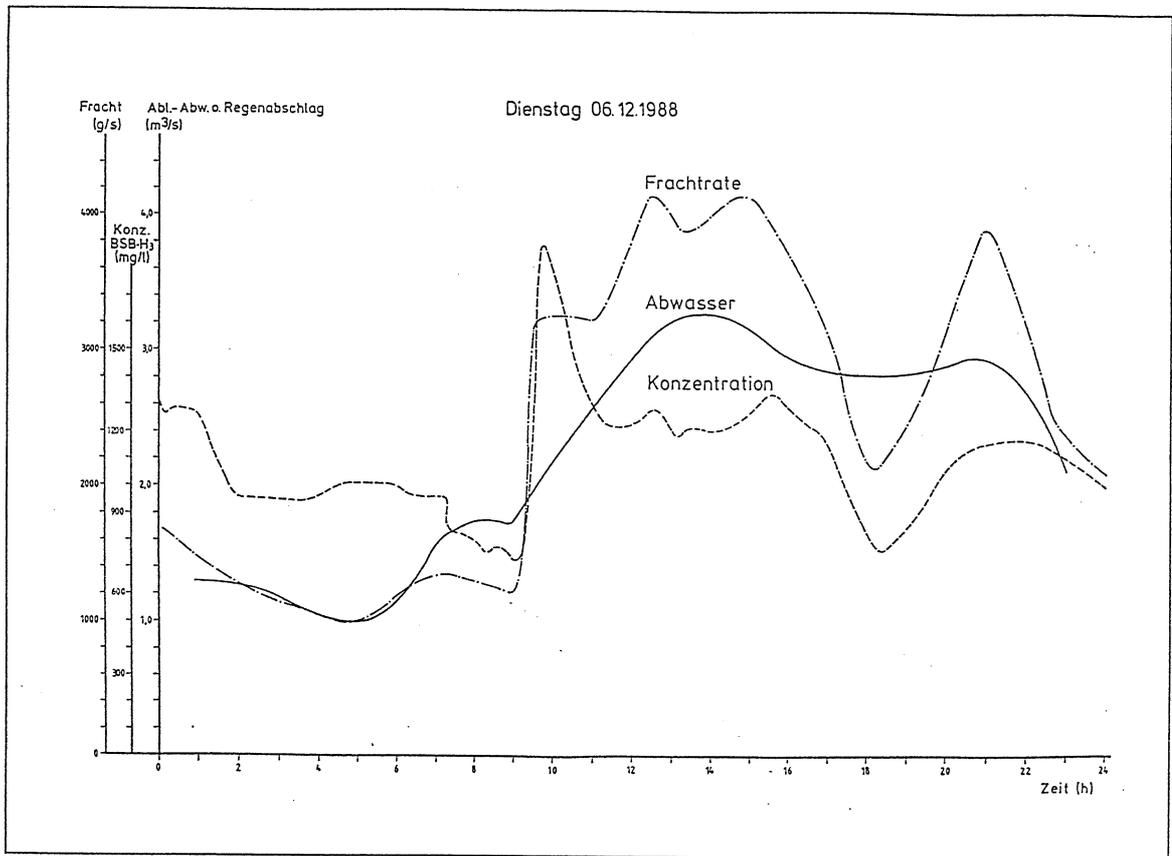


Bild 23: Mischwasserereignis 9.12.1988

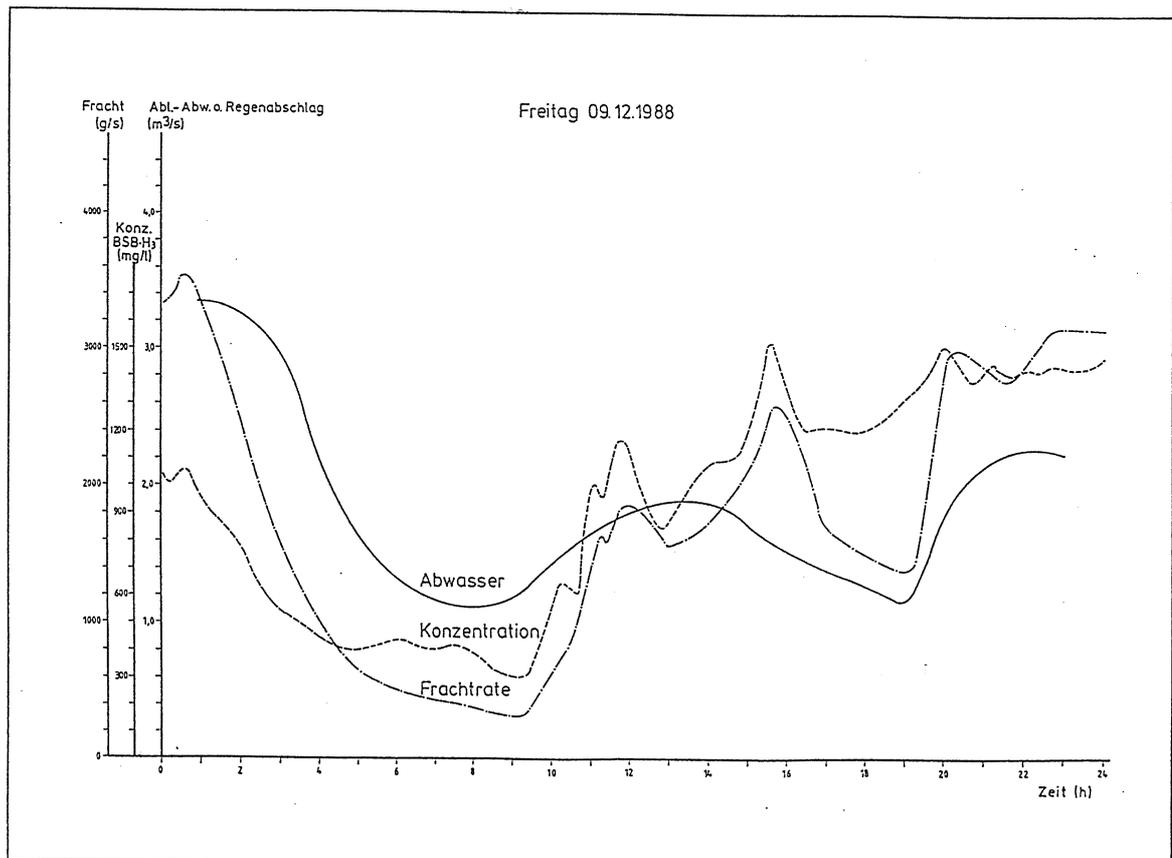


Bild 24: Mischwasserereignis 10.12.1988

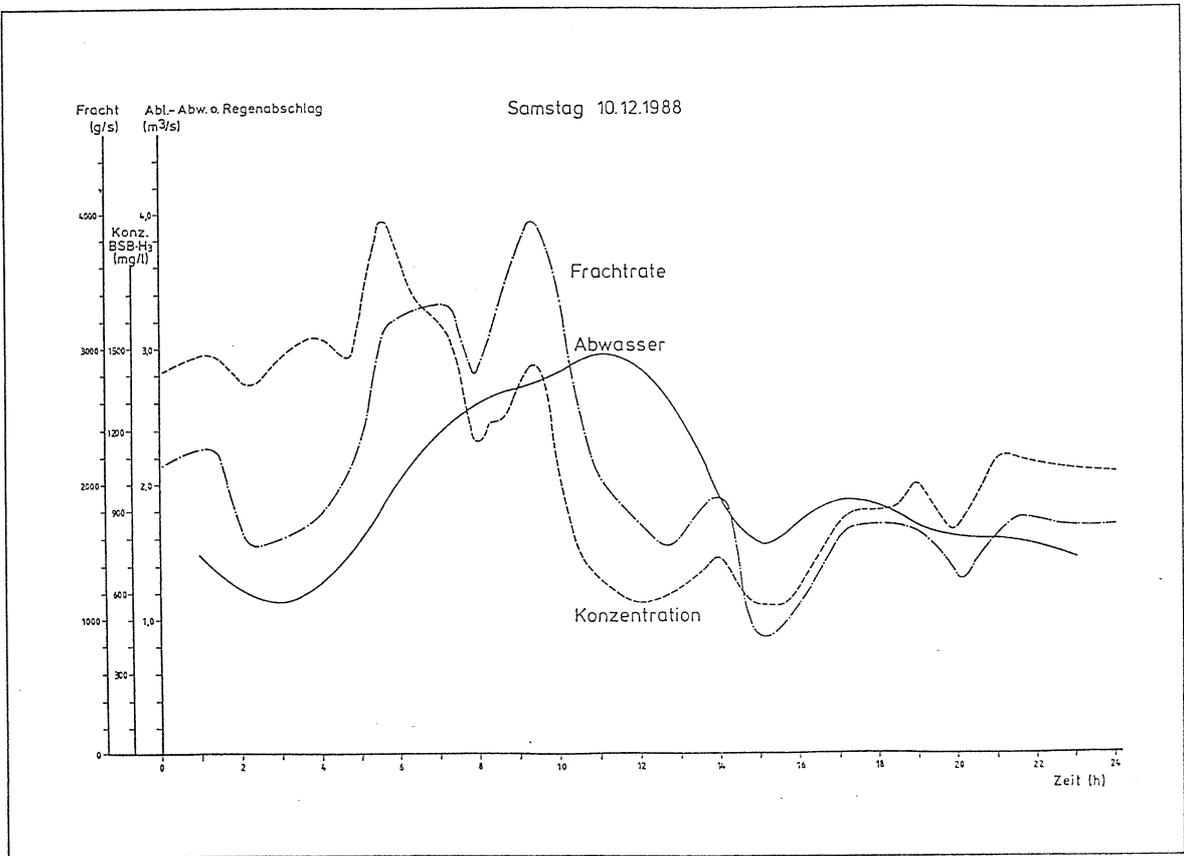


Bild 25: Mischwasserereignis 18.12.1988

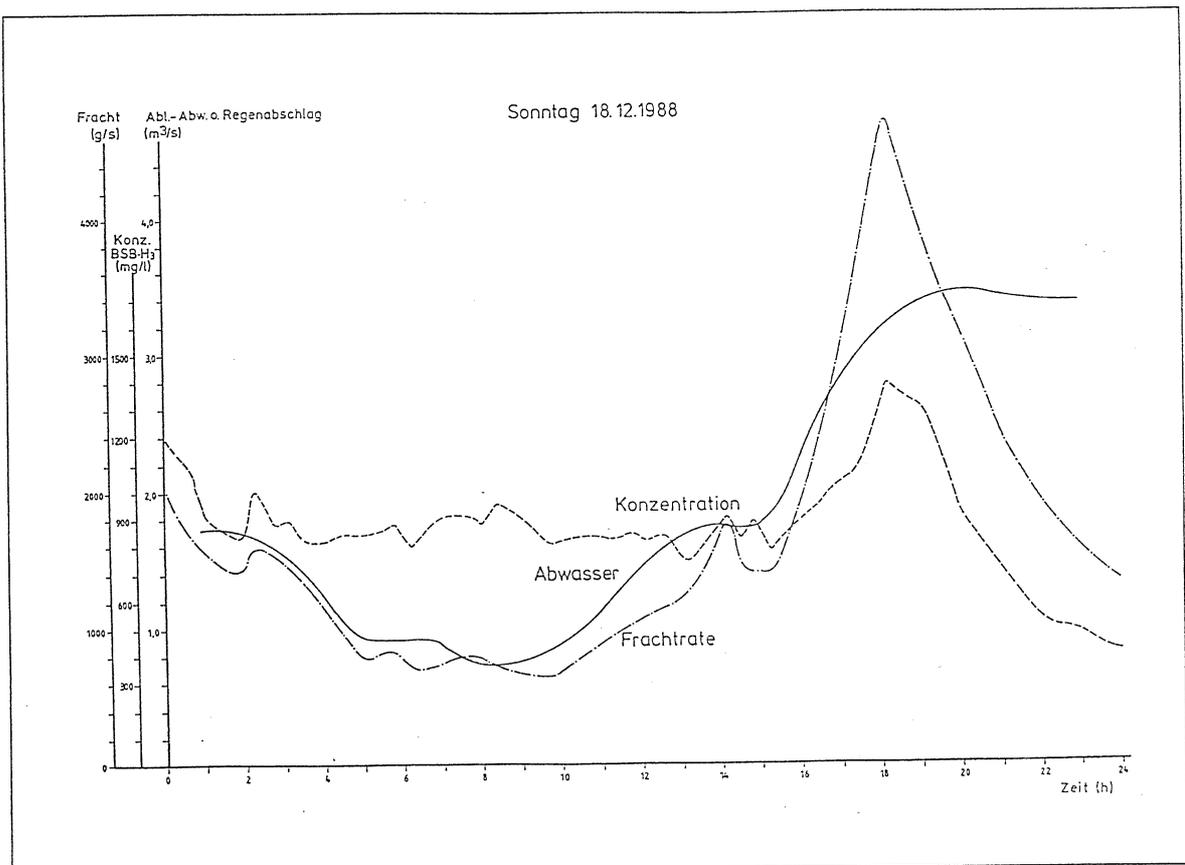


Bild 26: Mischwasserereignis 19.12.1988

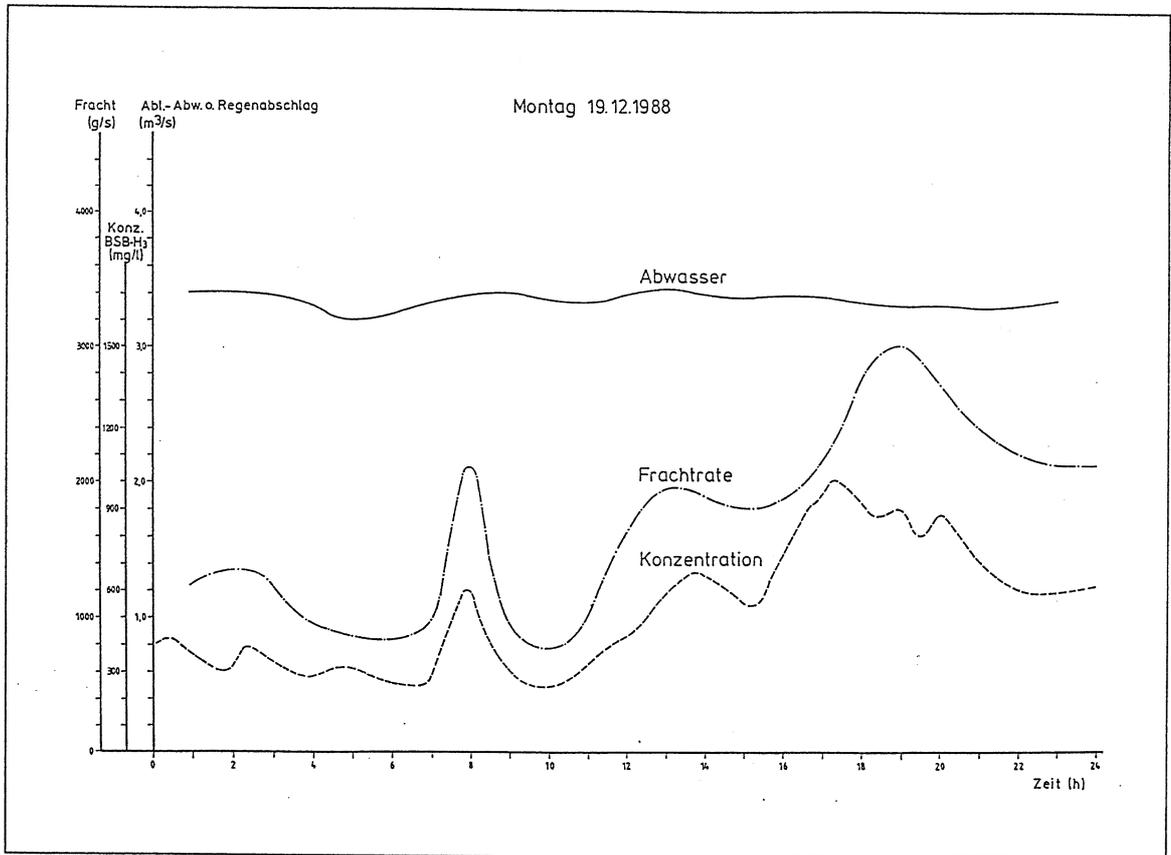
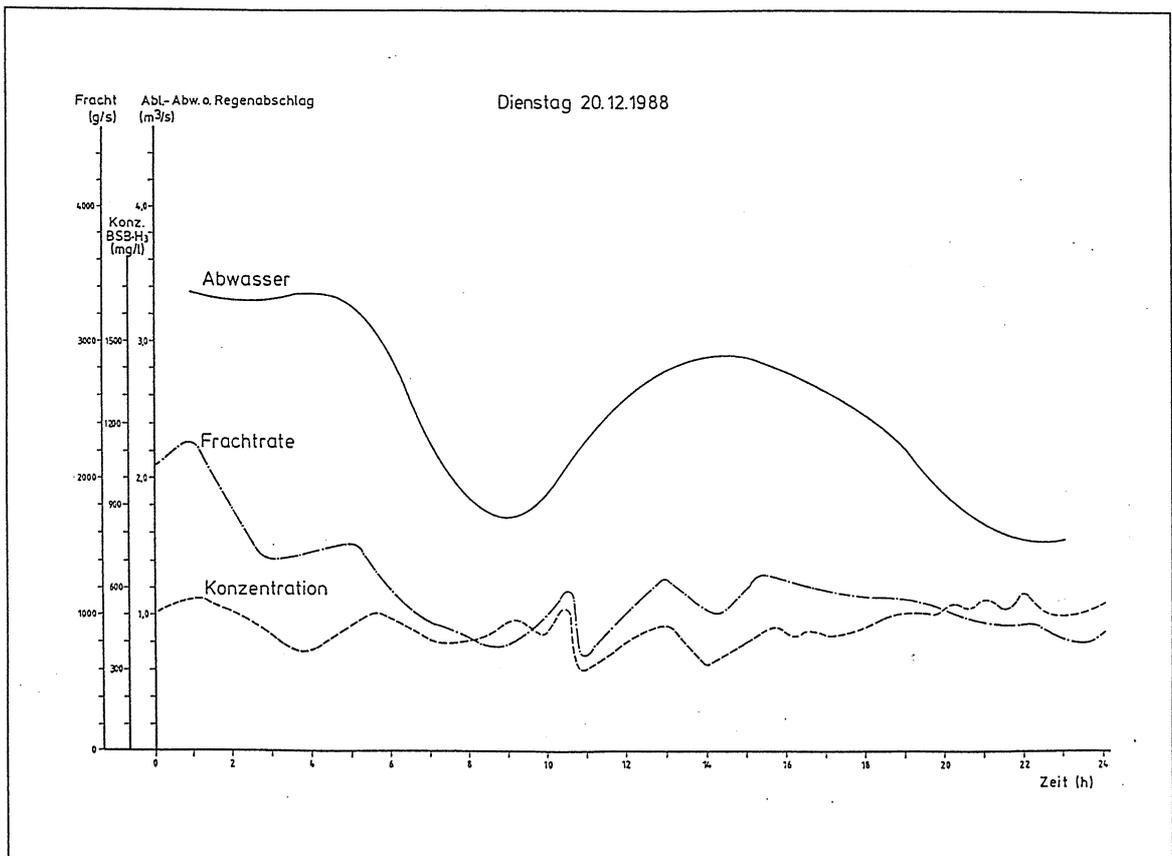


Bild 27: Mischwasserereignis 20.12.1988



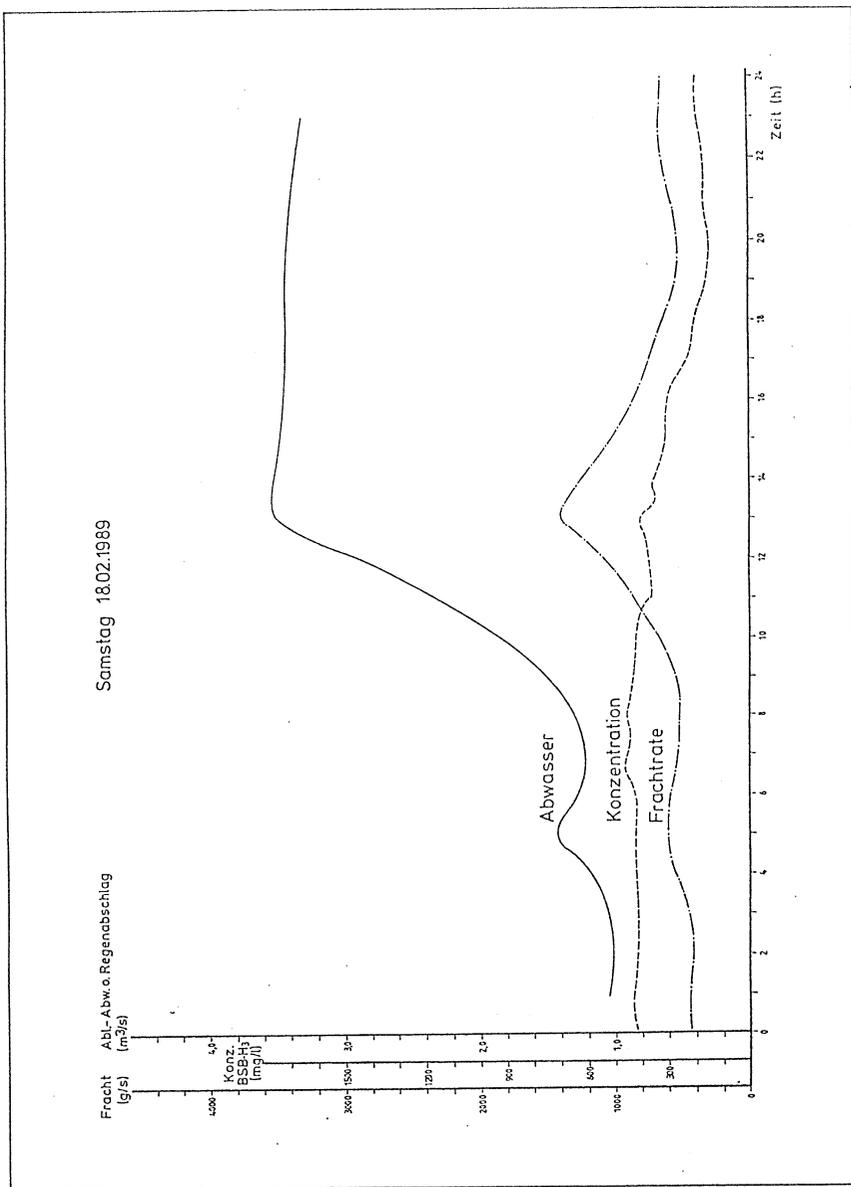


Bild 28: Mischwasserereignis 18.02.1988

7. Überprüfung des Informationsgehaltes von BSB_{M3}-Messungen zur Steuerung nach Güteaspekten

Überträgt man die gemessenen BSB_{M3}-Messungen in den Zulauf der Entlastungsanlage des Hauptpumpwerkes, so lassen sich aufgrund der qualitativen Informationen zusätzliche Regeln zur Abflußsteuerung berücksichtigen. Folgende Steuereingriffe wären möglich gewesen:

in den Vorfluter

- 1.) Entleerung *in den Vorfluter* der Becken während des Mischwasserereignisses (d.h. die Zulaufkonzentration steigt (z.B. Bild 11,17,26).
- 2.) Direktes Abschlagen der Wassermengen, ohne Beschickung der Speicherbecken (Zulaufkonzentration ist geringer als die Konzentration im Speicherbecken) (z.B. Bild 11,13,14,15,18,19,20,25).
- 3.) Indirekter Abschlag unter Ausnutzung der Absetzwirkung des Speicherbeckens (Konzentration im Klärüberlauf geringer als im Zulauf) (z.B. Bild 11,20,26).
- 4.) Minimierung des Drosselabflusses zur Kläranlage, um einen höheren Wirkungsgrad auf der Kläranlage zu erzielen (wenn die zusätzliche Ablauffracht der Kläranlage größer als die Entlastungsfracht ist) (z.B. Bild 13,14,15,18).
- 5.) Veränderung der Füll-, Speicher- und Entleerungsprozesse während des Mischwasserabflusses mit dem Ziel der Minimierung von Schmutzfrachten in den Vorfluter oder des Kläranlagenablaufs.

8. Eignung des BSB_{M3}- Meßwertes als Indikator zur Verunreinigung des Mischwasserabflusses

Der BSB_{M3}-Meßwert zeigt das dynamische Verhalten der biologischen Abbaufähigkeit der Abwasserinhaltsstoffe an. Dafür ist es nicht erforderlich den BSB_{M3}-Meßwert auf den BSB₅-Meßwert zu eichen. Werden allerdings die Mischwasserkonzentrationen mit den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage verglichen, ist der BSB_{M3}-Meßwert zu

eichen, da der BSB im Kläranlagenablauf nach der Verdünnungsmethode mit einer Reaktionszeit von 5 Tagen analysiert wird.

Der BSB ist ein biologischer Summenparameter der Abwasseranalytik. Chemische Stoffe werden nicht erfaßt. Allerdings beträgt der Korrelationskoeffizient zwischen BSB und CSB zwischen $r = 0,92$ bis $0,94$ (siehe Meßergebnisse an der Entlastungsanlage BREMEN-HORN).

Toxische Einflüsse sind nicht erfaßbar. Ebenso bleiben die Konzentrationen anderer Inhaltsstoffe z.B. Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe unbekannt.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Das BSB_{M3}- Meßgerät hat sich auf der Kläranlage bewährt. Die sprunghafte Änderung von Misch- und Trockenwetterkonzentrationen läßt sich nur mit einer kontinuierlichen Messung nachweisen. Der Wartungsaufwand des Meßgerätes ist erheblich. Er beträgt 1 Stunde am Tag. Im Zulauf der Vorklärung gab es bei der kontinuierlichen Probenentnahme aufgrund einer erhöhten Verstopfungsgefahr verursacht durch Feststoffteilchen Probleme.

Zeigen sich ähnliche Konzentrationsschwankungen im Zulauf der Entlastungsanlage des Hauptpumpwerks, so ist eine Steuerung des Mischwasserabflusses nach Güteaspekten sinnvoll.