

Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems in Bengbu (Volksrepublik China) Wirksamkeit verschiedener Sanierungskonzepte

A. Khelil 1)

D. Grotehusmann 1)

Z. Y. Jin 2)

F. Sieker 1)

M. Siekmann 1)

1) Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover,
Appelstr. 9A, Hannover 1

2) Anhui Water Resources Research Institute, Zhihuai Road 110,
Bengbu, Anhui, People's Republic of China

Inhaltsverzeichnis:

1.) Einleitung

2.) Beschreibung des Entwässerungssystems

2.1.1) Aufnahme der Daten

2.1.2) Beschreibung des Ist-Zustandes

2.2) Trockenwetteranalyse

3.) Analyse der Regendaten

3.1) Regenstatistik

3.2) Modellregen

4.) Analyse des Netzzustandes

4.1) Ein- und Überstauanalyse

4.2) Dimensionierung der Pumpen

5.) Sanierungsszenarien

5.1) Netzerweiterung (Vermaschung und Rohrerweiterung)

5.2) Abkopplung der angeschlossenen undurchlässigen Flächen

5.3) Ergebnisse der Simulationen

6.) Bewertung der Ergebnisse

7.) Durchführung der Sanierungsmaßnahmen

Verzeichnis der Abbildungen:

- Abbildung 1: Bengbu - Stadt
- Abbildung 2: Darstellung des Entwässerungssystems in Bengbu
- Abbildung 3: Verteilung der Haltungslängen
- Abbildung 4: Verteilung der Profilhöhen
- Abbildung 5: Verteilung des Sohlgefälles
- Abbildung 6: Vergleich von Niederschlagsstatistiken
- Abbildung 7: Darstellung der Modellregen
- Abbildung 8: Ergebnisse der ersten Simulation
- Abbildung 9: Darstellung der überstauenden Schächte (MOD1)
- Abbildung 10: Darstellung der überstauenden Schächte (MOD4)
- Abbildung 11: Darstellung der Einstauzeitklassen (MOD1)
- Abbildung 12: Darstellung der Einstauzeitklassen (MOD4)
- Abbildung 13: Abflußganglinie am Auslaß 1
- Abbildung 14: Darstellung der Sanierungsvarianten
- Abbildung 15: Überstauvolumina bei der Simulation mit Modellregen
- Abbildung 16a: Darstellung der einstauenden Schächte
- Abbildung 16b: Darstellung der überstauenden Schächte
- Abbildung 17: Abfluß aus dem System
- Abbildung 18: Einstaudauer (Simulation mit 6 Naturereignissen)
- Abbildung 19: Überstauvolumina (Simulation mit 6 Naturereignissen)
- Abbildung 20: Staufreie Schächte (Simulation mit Naturereignissen)
- Abbildung 21: Umsetzung der Sanierungsvarianten

Verzeichnis der Tabellen:

- Tabelle 1: Kenndaten der Wehre
- Tabelle 2: Kenndaten der Pumpen
- Tabelle 3: Gebietsparamter für die numerische Simulation
- Tabelle 4: Regenhöhe als Funktion von D und RT (China-Deutschland)
- Tabelle 5: Vergleich der Überstauvolumen (MOD1, MOD4)
- Tabelle 6: Ergebnisse der vergleichenden Simulation am Auslaß 1
- Tabelle 7: Kenndaten der neuen Haltungsstrecken
- Tabelle 8: Kenndaten der erweiterten Haltungsstrecken
- Tabelle 9: Alle Ergebnisse der Simulationen mit Modellregen
- Tabelle 10: Niederschlagsvolumina der sechs Naturereignisse

Verzeichnis der Variablen:

- A_0 : Abflußwirksamer Anteil der Flächen zu Beginn der Muldenfüllphase [%]
 A_E : Abflußwirksamer Anteil der Flächen am Anfang der Muldenfüllphase [%]
 A_{ges} : Gesamtfläche des Einzugsgebietes [ha]
 B : Charakteristische Breite des Einzugsgebietes [m]
 B_v : Benetzungsverluste [mm]
 D : Niederschlagsdauer [min]
 h_{gr} : Grenzwassertiefe [cm]
 L_{10} : Längster Fließweg, der in 10% aller Fälle überschritten wird [m]
 L_m : Mittlerer Fließweg [m]
 M_v : Muldenverluste [mm]
 n : Häufigkeit eines Regenereignisses [1/a]
 R : Regenspende [l/s/ha]
 R_{sum} : Regensumme [mm]
 T : Wiederkehrzeit eines Regenereignisses [a]

1.) Einleitung

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems in Bengbu-Stadt (Volksrepublik China) zu bewerten. Auf den Ergebnissen aufbauend werden beispielhaft Sanierungsmaßnahmen erarbeitet und miteinander verglichen. Was die Realisierbarkeit der jeweiligen Sanierungslösungen betrifft, stellen der finanzielle Umfang sowie die Instandhaltung des renovierten Entwässerungssystems die wesentlichen Faktoren dar.

Für derartige Planungsaufgaben werden in Deutschland standardmäßig seit einigen Jahren numerische Simulationsmodelle eingesetzt. Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover (IWH, Prof. Sieker) und dem Anhui Research Institute for Water Resources (Volksrepublik China) wurden die methodischen Aspekte besonders berücksichtigt. Am IWH-Hannover entwickelte Simulationsmodelle und Techniken werden verwendet.

Die besondere Schwierigkeit bei der Anwendung von Simulationsmodellen besteht darin, daß die notwendigen Daten (Gebietsdaten, Kanalnetzdaten, Meßdaten) im Fall Bengbu nicht dem in Deutschland gewohnten Standard entsprechen. Insofern bedürfen die erhaltenen Ergebnisse einer weiteren Bestätigung, wenn genauere Daten verfügbar sind. (Eine Neukartierung des Systems soll durchgeführt werden und Meßkampagnen sind geplant). Trotz dieser Unzulänglichkeiten ermöglichen die Ergebnisse einige interessante Schlußfolgerungen über das Systemverhalten.

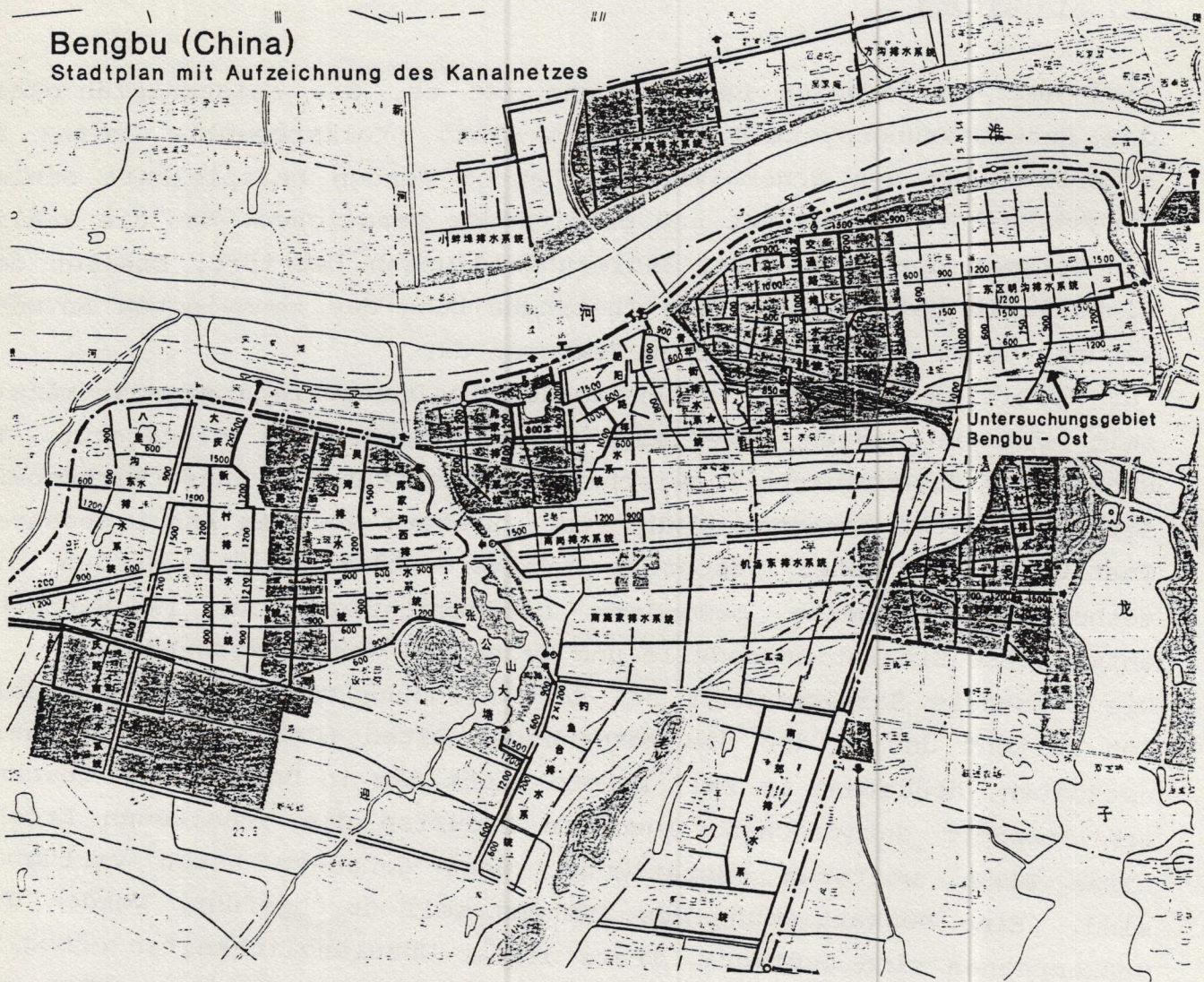


Abbildung 1: Bengbu - Stadt

2.) Beschreibung des Entwässerungssystems

Das Einzugsgebiet des Entwässerungssystems (Mischentwässerung) in Bengbu hat eine Größe von annähernd 8 Quadratkilometern und ein mittleres Gefälle von 0,3 %. Es ist in zwei einzelne Entwässerungssysteme unterteilt. Abbildung 2 zeigt das Entwässerungssystem in Bengbu - Stadt. Das erste Einzugsgebiet (West-Teil) wird vor allem durch die Altstadt mit einer hohen Bevölkerungsdichte beherrscht, wohingegen im Einzugsgebiet 2 Neubaugebiete mit geringerer Bevölkerungsdichte liegen. Hier sind auch einige Industriebetriebe angesiedelt.

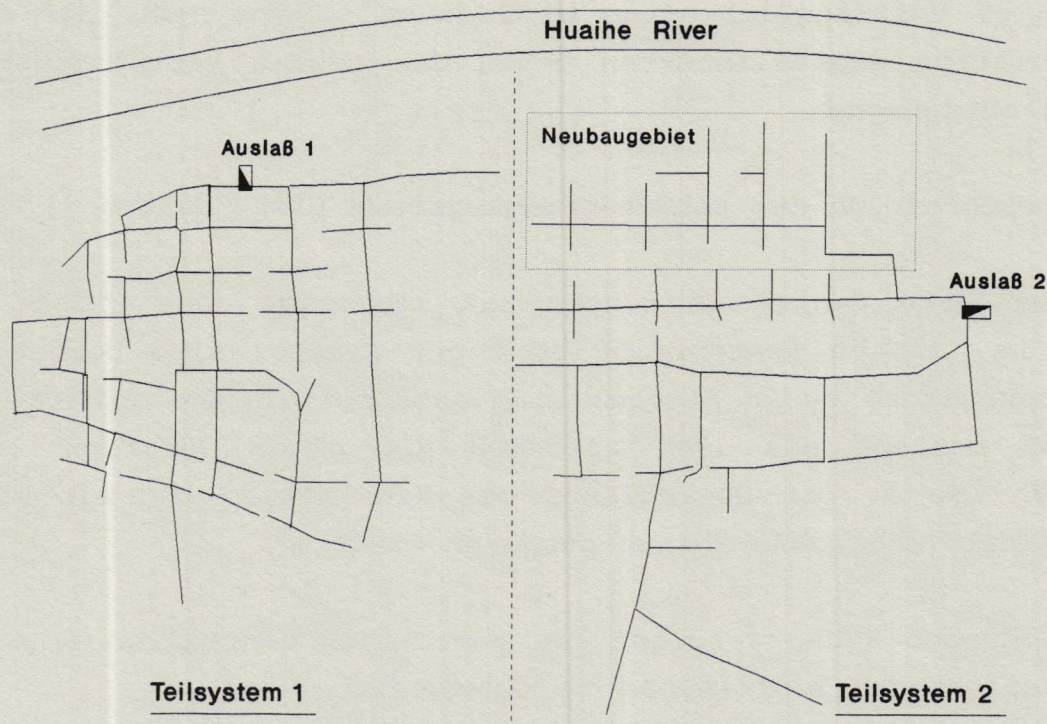


Abbildung 2: Darstellung des Entwässerungssystems in Bengbu

2.1.1) Aufnahme der Daten

Die Daten des Entwässerungssystems, wie sie für die Modellbeschreibung des Netzes verwandt werden, stammen von zwei deutschen Studenten (Gernot Dörrie und Frank Schneider) und wurden im Rahmen eines 3 monatigen Auslandspraktikums aufgenommen.

Zur Güte der gesammelten Daten soll folgendes gesagt werden:

- Es sind keine genauen Angaben über die Steuerung der im Netz installierten Pumpen vorhanden
- Die Lage der einzelnen Haltungsstrecken im Kanal konnte nicht immer detailliert aufgezeichnet werden

Die Systembeschreibung wurde mit dem chinesischen Forscher (Zheng-Yue Jin), der die Situation vor Ort kennt, diskutiert und verbessert.

Trotz aller Unzulänglichkeiten wird davon ausgegangen, daß die für die Simulation digitalisierten Daten den echten Verhältnissen hinreichend entsprechen.

2.1.2) Beschreibung des Entwässerungssystems (Ist-Zustandes)

Das entwässerte Gebiet in Bengbu hat insgesamt eine Fläche (A_{ges}) von 280 ha, 225 ha (entspricht 80 % der Fläche) sind befestigt, 55 ha (entspricht 20 % der Fläche) sind unbefestigt. Das digitalisierte Kanalnetz besteht aus 190 Haltungen mit einer durchschnittlichen Länge von 180 m. Die Gesamtlänge des Kanalnetzes beträgt 35450 m, das im Kanal vorhandene Speichervolumen 27000 m³.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Verteilung der Haltungslängen und die Verteilung der Profilhöhen im Kanalnetz.

Darstellung der einzelnen Längenklassen

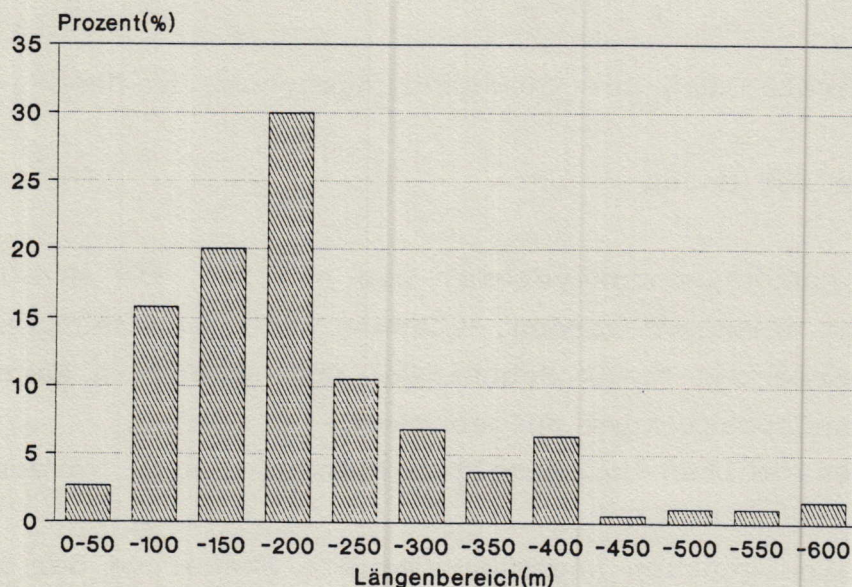


Abbildung 3: Verteilung der Haltungslängen in der Kanalisation

Darstellung der Höhenklassen

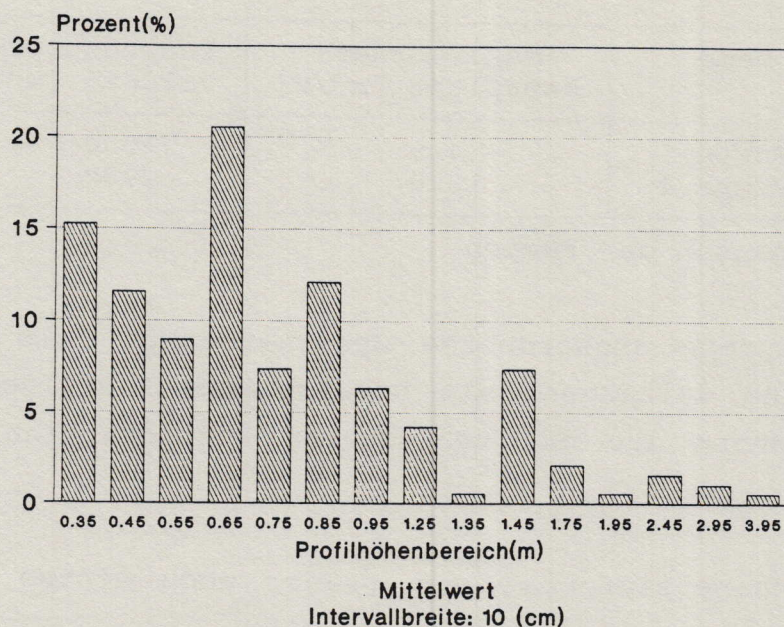


Abbildung 4: Verteilung der Profilhöhen in der Kanalisation

Im Kanalnetz liegen insgesamt 2 Auslässe (1 Auslaß pro Teilgebiet). Aufgrund der klimatischen Gegebenheiten dieser Region kann das Entwässerungssystem im Winter in freier Vorflut in den an das Stadtgebiet angrenzenden Fluß Huai River entwässern. Der Auslaß erfolgt über 2 Wehre. Wenn der Fluß jedoch Hochwasser führt (im Sommer), kann die Entwässerung des Kanalnetzes nicht über die Wehre geschehen. Das anfallende Mischwasser wird dann über 2 Pumpen in den Fluß geleitet.

Beschreibung der Auslaßelemente:

1.) Die Wehre

Einzugs- gebiet	Name	Länge [m]	Überfall- kante [m]*	Kammer- Höhe [m]*
1	Wehr 1	1,50	0,17	1,67
2	Wehr 2	2,80	0,17	2,97

* entspricht [m über Sohlhöhe]

Tabelle 1: Kenndaten der Wehranlagen

2.) Die Pumpen

Einzugs- gebiet	Name	Max. Förder- kapazität [m^3/s]	Pumpensumpf- volumen [m^3]
1	Pumpe 1	4.9	2500
2	Pumpe 2	10.0	2700

Tabelle 2: Kenndaten der Pumpen

Die vor den Pumpen angeordneten Speicherbecken (als 'Pumpensumpf' bezeichnet) sind weitgehend als unbefestigte Erdmulden zu betrachten, deren Grenzen aus den verfügbaren Photographien schwer abzuschätzen sind.

Anhand der Kanalnetzinformationen werden noch einige weitere Kennwerte berechnet:

Mittl. Transportdauer im Kanal	*1	21 [min]
Mittl. Fließweg L_m im Kanal		1790 [m]
Längster Fließweg L_{10} im Kanal	*2	2900 [m]
Charakteristische Breite des Einzugsgebietes B (A_{ges}/L_m)		770 [m]
Koeffizient (L_{10} / B)		3,24

*1: Bei Vollfüllung

*2: Fließweg, der in 10 % aller Fälle überschritten wird

Die numerische Simulation der Abflußbildung und Konzentration erfordert die Festlegung zusätzlicher Gebietscharakteristika. Dies geschieht wie bei der Festlegung der Speichervolumina mit Hilfe vorliegender Photographien.

Tabelle 3: Gebietsparameter zur Abflußbildung der undurchlässigen Flächen

B_V [mm]	M_V [mm]	A_0	A_e
0,7 (0,7)	3,0 (1,8)	25% (25%)	85% (85%)

B_V : Benetzungsverluste [mm]

M_V : Muldenverluste [mm]

A_0 : Abflußwirksamer Anteil der Flächen zu Beginn der Muldenfüllphase [%]

A_e : Abflußwirksamer Anteil der Flächen am Ende der Muldenfüllphase [%]

Die Werte in den Klammern sind die deutschen Standardwerte für diese Parameter.

Zur Bestimmung der Modellparameter soll folgendes hinzugefügt werden:

- Die Muldenverluste in Bengbu (China) werden so hoch gewählt, weil durch eine verwirrende und unübersichtliche Führung der Regenwasserströme (Photographie) größere Mengen des Regenwassers (als beispielsweise hier in Deutschland) die Kanalisation nicht erreichen.
- Der Parameter A_0 entspricht der Größe der an das Entwässerungssystem angeschlossenen Flächen (Dachflächen), die sofort nach Beginn des Niederschlagsereignisses Abfluß liefern. In Deutschland werden erfahrungsgemäß 25% der angeschlossenen Flächen als Dachflächen definiert. In Bengbu liegt der Dachflächenanteil wahrscheinlich höher (30% - 40%). Für die Simulation ist die genaue Festlegung von A_0 unbedeutend.
- Der Parameter A_e beschreibt die maximal am Abflußgeschehen beteiligte Gebietsfläche. Bei sehr genauer Bestimmung der an das Kanalnetz angeschlossenen Flächen beträgt $A_e=100\%$, vorausgesetzt, die Dauerverluste können vernachlässigt werden (wie bei deutschen Verhältnissen).

2.2) Trockenwetteranalyse

Für die Berechnung des Trockenwetterabflusses in Bengbu werden folgende Annahmen getroffen:

- 1.) Der Wasserverbrauch pro Einwohner und Tag beträgt 120 Liter.
- 2.) Die gesamte Einzugsgebietsfläche wird in 3 Teilgebiete aufgeteilt:

Teilgebiet 1:	400 Einwohner/ha
Teilgebiet 2:	250 Einwohner/ha
Teilgebiet 3:	100 Einwohner/ha

- 3.) Im Einzugsgebiet 2 existieren noch einige Industrieanlagen, deren Trockenwetterabfluß gesondert berücksichtigt wird.

Insgesamt berechnet sich der Trockenwetterabfluß zu 650 l/s.

Aufgrund des geringen Sohlgefälles (Abbildung 5) in den einzelnen Haltungsstrecken werden Absetzvorgänge während des Trockenwetterabflusses erwartet. Bei 15% aller Haltungen ist das Sohlgefälle kleiner als 0.1%. Diese Annahme wird durch die Betrachtung der einzelnen Trockenwetterabflüsse in den Haltungen bestätigt. Bei 90% aller Haltungsstrecken ist die Fließgeschwindigkeit im Trockenwetterfall kleiner als 0.7 m/s .

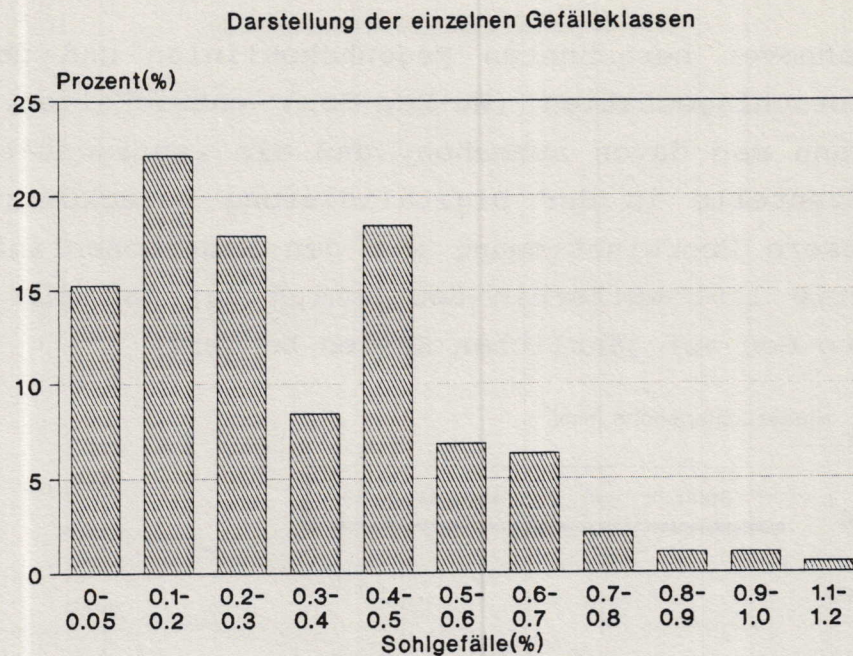


Abbildung 5: Sohlgefälleklassen in der Kanalisation

3.) Analyse der Regendaten

Die angewandten Regendaten stammen aus dem Regenschreiber der Niederschlagsstation Wu-Dao-Gou (40 km entfernt von Bengbu-Stadt) und sind aus dem Zeitraum von 1963-1989 mit Ausnahme der Jahre 1973, 1986 und 1987. Das entspricht einem Zeitraum von 24 Jahren.

Ursprünglich lagen die Regeninformationen in Form von Aufzeichnungen vor. Diese wurden dann am IWH-Hannover in 5-minütigen Zeitschritten digitalisiert. Die digitalisierte Reihe weist so viele Lücken auf, daß nur in eingeschränktem Sinn von einem Niederschlagskontinuum gesprochen werden darf.

3.1) Regenstatistik

Aus diesem Datenmaterial werden partielle und jährliche Niederschlags-Serien für verschiedene Dauerstufen (5 min - 4 h) entwickelt und im weiteren statistisch ausgewertet. Die ermittelten Regenhöhenlinien werden mit den Regenhöhenlinien verglichen, wie sie die Niederschlagsstation in China (Wu-Dao-Gou) entwickelt hat. Die Abbildungen 6a und 6b zeigen eine ausreichende Übereinstimmung zwischen

den im IWH-Hannover berechneten Regenhöhenlinien und den in China von der Niederschlagsstation (Wu-Dao-Gou) entwickelten. Trotz der Datenlücken kann man davon ausgehen, daß die repräsentativen NA-Ereignisse größtenteils in der Digitalisierung berücksichtigt worden sind. Die bessere Übereinstimmung mit den Regenhöhenlinien aus der jährlichen Serie läßt weiterhin den Schluß zu, daß die Regenstatistik aus Wu-Dao-Gou auf jährlichen Serien basiert.

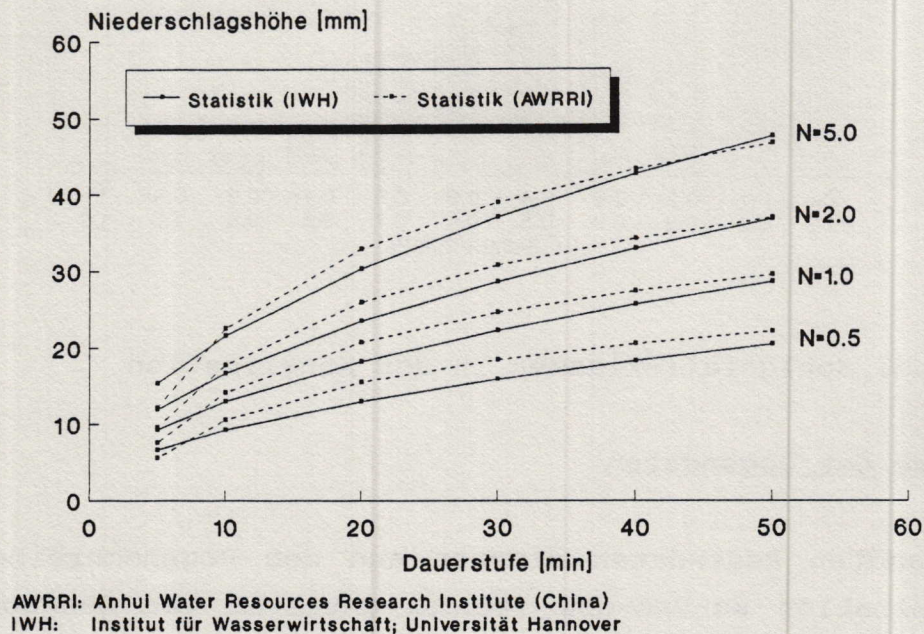


Abbildung 6a: Vergleich der Regenhöhenlinien (partielle Serie)

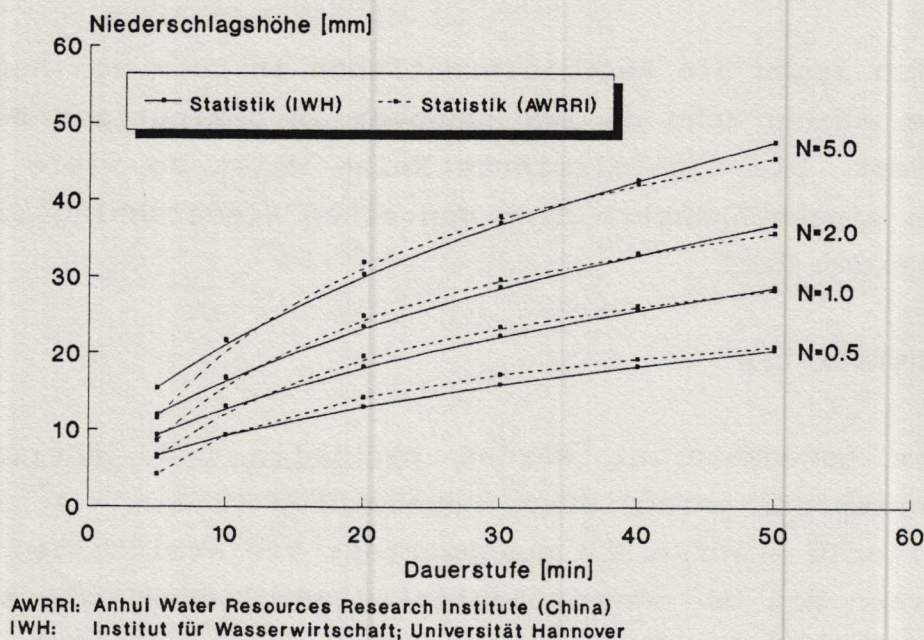


Abbildung 6b: Vergleich der Regenhöhenlinien (jährliche Serie)

In Tabelle 4 werden Regenhöhenlinien für Bengbu (IWH-Statistik) mit denen für Hannover gültigen (nach Rheinhold) verglichen.

	Hannover			Bengbu		
	T=0.5	T=1.0	T=2.0	T=0.5	T=1.0	T=2.0
D= 5	3.9	5.1	6.7	5.6	7.6	9.5
D=10	5.7	7.6	9.9	10.6	14.1	17.7
D=15	6.7	9.0	11.7	13.5	18.0	22.5
D=30	8.3	11.1	14.4	18.4	24.6	30.8
D=60	9.4	12.5	16.3	23.4	31.2	39.0

Tabelle 4: Regenhöhe [mm] als Funktion von D und T (D: Dauer [min]; T: Wiederkehrzeit [Jahre])

Die in der Tabelle fett markierten Zahlen spiegeln die wesentlichen Unterschiede zwischen den Regenstatistiken wieder. Bei einem Regeneignis (Wiederkehrzeit: 1 Jahr) in Hannover fallen 7,6 mm Niederschlag in einem Zeitraum von 10 Minuten, bei einem entsprechenden Regeneignis in Bengbu fällt der gleiche Niederschlag in einem um die Hälfte kürzeren Zeitraum (hier 5 Minuten).

3.2) Modellregen

Modellregen erlauben eine schnelle und in vielen Fällen hinreichend genaue Einschätzung der Belastbarkeit des Entwässerungssystems.

Die Modellregen wurden nach der Methode von Euler entwickelt. Es sind insgesamt 6 Modellregen, deren Charakteristika im folgenden aufgeführt sind.

	D = 10 min	D = 15 min	D = 30 min
T = 1 (a)	MOD 1	MOD 2	MOD 3
T = 0,5 (a)	MOD 4	MOD 5	MOD 6

Wiederkehrzeiten von 1 Jahr bzw. 6 Monaten werden gewählt, da die in

China zugrundeliegende Wiederkehrzeit für die Bemessung von Kanälen 1 Jahr betragen soll. Erste Untersuchungen zeigen aber, daß nach diesem Maßstab eine starke Überlastung des Kanalnetzes zu erwarten ist. Zu Vergleichszwecken werden deshalb Modellregen mit einer kürzeren Wiederkehrzeit (6 Monate) entwickelt.

Die Abbildungen 7a bis 7f zeigen die Modellregen.

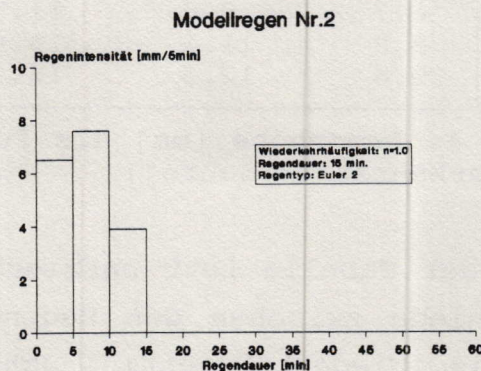
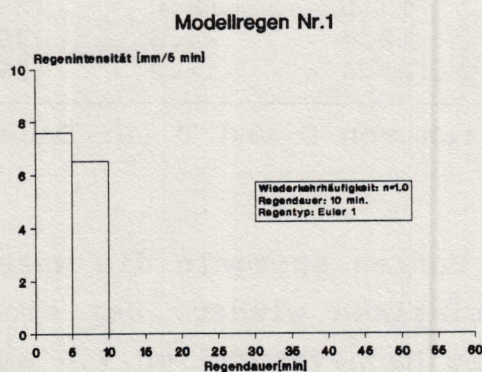


Abbildung 7a, 7b: Modellregen 1 und Modellregen 2

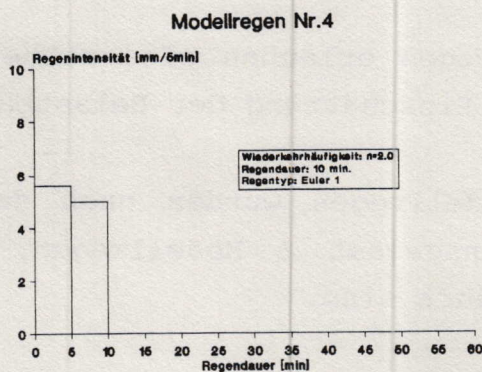
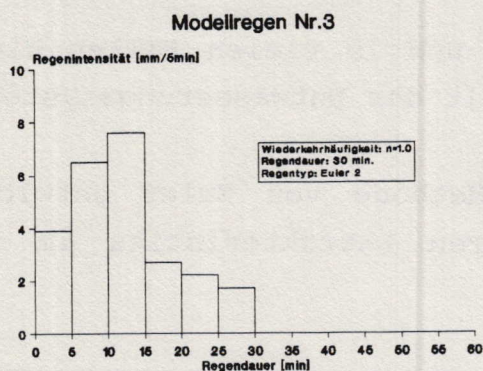


Abbildung 7c, 7d: Modellregen 3 und Modellregen 4

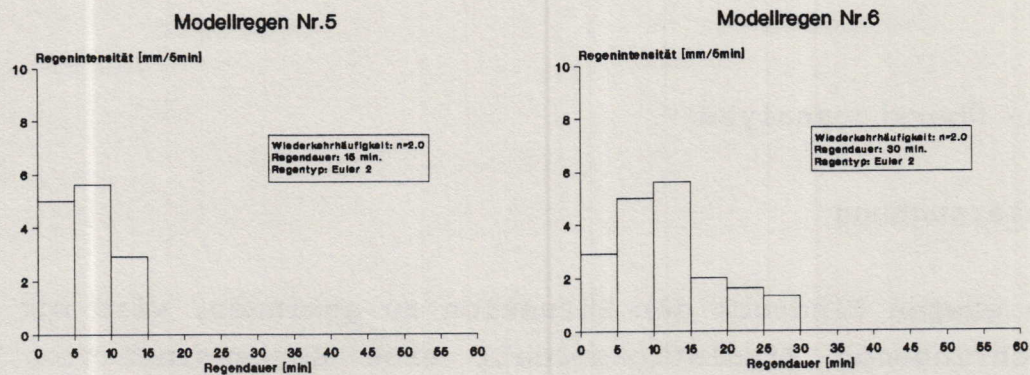


Abbildung 7e, 7f: Modellregen 5 und Modellregen 6

4. Analyse des Netzzustandes

Der Nachweis über die Leistungsfähigkeit des städtischen Entwässerungssystems wird unter Zuhilfenahme des vom IWH-Hannover weiterentwickelten hydrodynamischen Simulationsprogrammes HYSTEM-EXTRAN durchgeführt.

HYSTEM ist ein hydrologisches Modell zur Simulation der Abflußbildung und Abflußkonzentration (Berechnung des Oberflächenabflusses). Die Prozesse werden für jede Haltung getrennt nach undurchlässigen und durchlässigen Flächen behandelt. Dabei werden die folgenden zwei Ansätze für die Abflußbildung benutzt (Fuchs, Verworn; 1990):

- undurchlässige Flächen: Vorwegabzug der Benetzungs- und Muldenverluste nach der Grenzwertmethode (Sieker; Nov. 1987)
- durchlässige Flächen: Abzug der Benetzungs- und Muldenverluste, dann Infiltration nach Neumann

Ansatz für die Abflußkonzentration:

- Standardeinheitganglinie (Harms, Verworn; 1980)

EXTRAN ist ein hydrodynamisches Modell zur Berechnung des Transportes in der Kanalisation. Bei der Lösung des Saint-Venant'schen Gleichung

chungssystems (Kontinuitätsgleichung und vollständige Bewegungsgleichung) wird ein explizites Differenzenverfahren (nach Euler) eingesetzt.

4.1) Ein- Überstauanalyse

Erste Untersuchung

Um einen ersten Eindruck der Situation zu gewinnen, wird mit dem zuvor beschriebenen Simulationsmodell eine Seriensimulation mit 33 'mittleren' Regenereignissen durchgeführt. Die Auswahl dieser 33 Regenereignisse geschieht folgendermaßen:

- a:) Sortieren der Regenereignisse (24 Jahre Regenreihenfolge) in zwei Listen nach Regensumme und Regenintensität
- b:) Heraussortieren der Ereignisse von der 20. Stelle bis zur 40. Stelle in den Listen (mittlere Ereignisse nach der Regensumme und der Regenintensität)
- c:) Aus den so erhaltenen 40 Ereignissen werden diejenigen gestrichen, welche zweimal vorkommen. Das Ergebnis sind 33 Ereignisse mittlerer Intensität.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse dieser Simulation. Die Entwässerungslage in Bengbu entspricht nicht dem europäischen Standard. Trotz der Tatsache, daß nur mittlere Ereignisse selektiert wurden (Auswahl der Regenereignisse siehe oben), werden hohe Ein- und Überstauhäufigkeiten festgestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß aufgrund der geringen Rohrdurchmesser und des kleinen Gefälles innerhalb der Haltungen mit diesen Niederschlagsereignissen (die Niederschlagsintensität der Ereignisse ist höher als die Intensität vergleichbarer Ereignisse in Deutschland) hohe Überstaumengen aus dem Kanalnetzsystem resultieren.

Ergebnisse der Seriensimulation 33 Naturereignisse

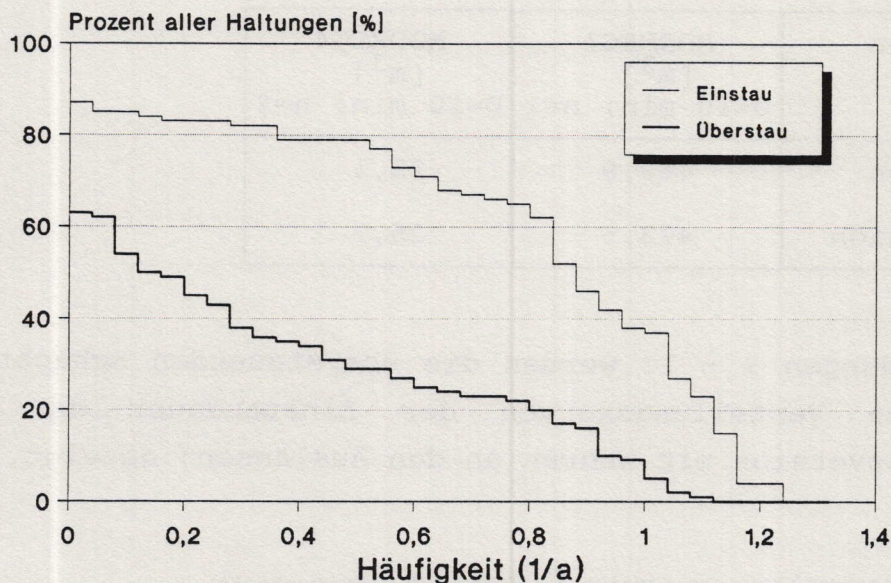


Abbildung 8: Ergebnisse der ersten Simulation

Analyse der Ergebnisse von Simulationen mit Modellregen kurzer Dauer (10 min)

Für eine weitere Klassifizierung des Netzzustandes werden Simulationen des Netzes mit Modellregen 1 ($D=10$ min; $n=1$) und Modellregen 4 ($D=10$ min; $n=2$) als Belastungsfall durchgeführt. Zum Einsatz kommen dabei sowohl Modellbeschreibungen der Kanalisation mit Wehren als auch mit Pumpen an den Auslässen (siehe 2.1.2).

Hierbei zeigen die Wehrversion und die Pumpenversion des Kanalnetzes vergleichbare Ergebnisse. Sowohl die Anzahl der ein- und überstauen den Schächte, als auch die Überstauvolumina (siehe Tabelle 5) weisen kaum Unterschiede auf. Zur Bestimmung der Überstauvolumina muß angemerkt werden, daß hier die maximalen Überstauvolumina während der Simulationszeit schachtweise aufaddiert und nach Simulationsende für alle Schächte zusammengefaßt werden. Der so erhaltene Maximalwert überschätzt deshalb das für verschiedene Zeitintervalle gleichzeitig an allen Schächten bestimmbare echte Überstauvolumen.

Tabelle 5: Vergleich der aufaddierten
Überstauvolumina

Netzversion	MODREG1 [m ³] D=10 min; n=1	MODREG4 [m ³] D=10 min; n=2
Wehrversion	468,9	25,1
Pumpenversion	473,5	25,1

In den Abbildungen 9 - 12 werden die überstauenden Schächte und die entsprechenden Verteilungskurven der Einstaudauer der einzelnen Schächte (Netzversion mit Wehren an den Auslässen) gezeigt.

Netzdarstellung des Kanalnetzes BENGBU-OST (Wehrversion)

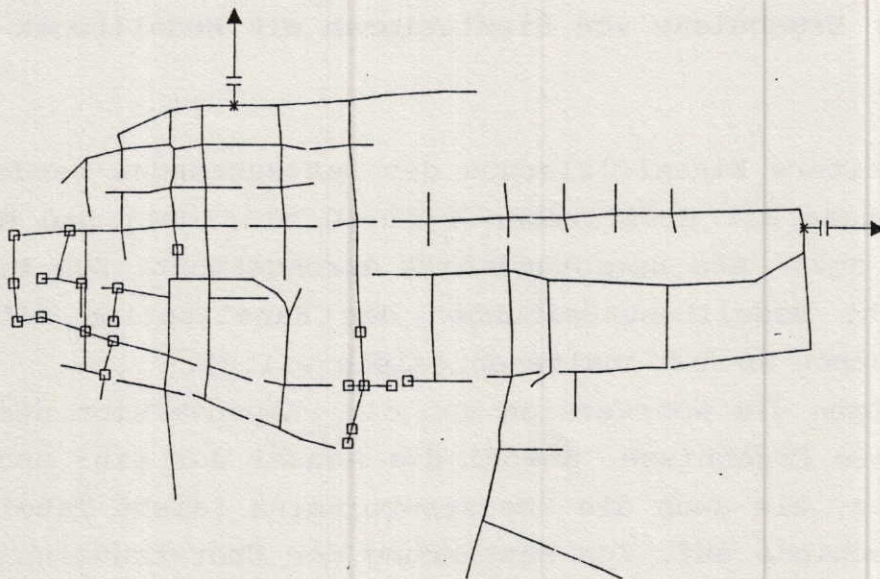


Abbildung 9: Darstellung der überstauenden Schächte (Modellregen 1)

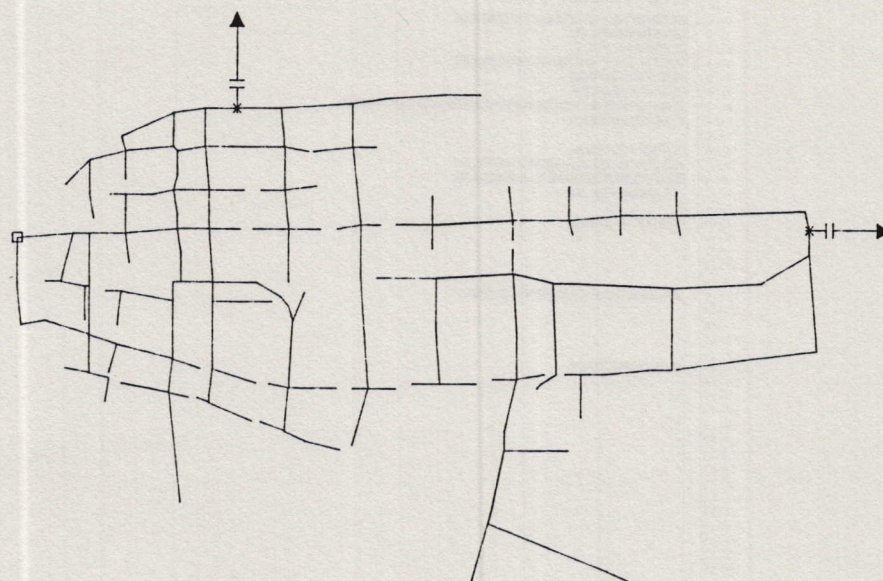


Abbildung 10: Darstellung der überstauenden Schächte (Modellregen 4)

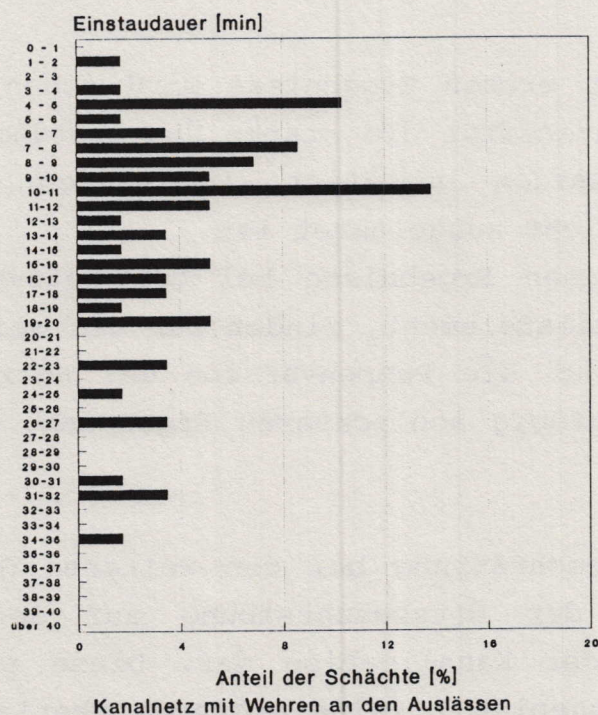


Abbildung 11: Darstellung der Einstauzeitklassen (Modellregen 1)

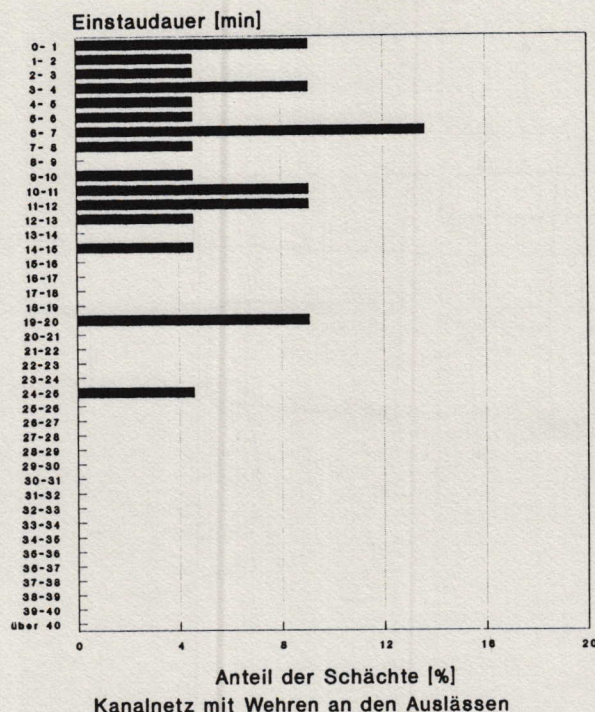


Abbildung 12: Darstellung der Einstauzeitklassen (Modellregen 4)

Bei der Analyse der ersten Ergebnisse wird schon bei kurzen Ereignissen mittlerer Intensität die starke Überlastung des Einzugsgebietes 1 der Kanalisation bestätigt, wohingegen der östliche Teil (Einzugsgebiet 2) nicht ausgelastet ist.

Aufgrund der ähnlichen Ergebnisse bei den Netzversionen mit Pumpe und mit Wehr als Auslaßelement, findet für die weiteren Simulationen eine Beschränkung auf die Pumpenversion der Netzdarstellung statt, da diese die geringfügig schlechteren Ergebnisse liefert (siehe Tabelle 5).

Eine zusätzliche Beschränkung bei den weiteren Simulationen stellt die Verkleinerung der Netzbeschreibung auf den westlichen Teil (Einzugsgebiet 1) der Kanalisation dar. Diese scheint gerechtfertigt, da im Einzugsgebiet 2 keine größeren Überlastungen aufgezeigt werden können und die wesentlichen Schwierigkeiten auf das Einzugsgebiet 1 begrenzt sind.

4.2) Dimensionierung der Pumpen

Zur weiteren Überprüfung der Dimensionierung von Pumpe 1 im Einzugsgebiet 1 wird entsprechend der im letzten Kapitel festgelegten Beschränkung mit der verkleinerten Netzdatei gerechnet. Zu Vergleichszwecken kommt eine Pumpenversion mit $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ maximaler Förderkapazität und eine Netzversion mit einem Freiauslaß (anstelle von Pumpe 1) zum Einsatz. Modelltechnisch erfolgt der Abfluß durch einen Freiauslaß unter Annahme der Grenzwassertiefe h_{gr} . Eine RÜchstaubeinflußung ist nicht möglich. Bei der Netzversion mit Freiauslaß als Auslaßelement wird außerdem auf das Speicherbecken verzichtet, um alle Puffererscheinungen eines solchen Elementes ausschliessen zu können und die maximalen Abflußraten aus dem Kanalnetz aufzuzeigen. Die Simulationen werden mit dem Modellregen 1 ($D=10 \text{ min}$; $n=1$) durchgeführt. Der folgenden Tabelle 6 sind die wichtigsten Ergebnisse zu entnehmen.

Netz-version	Einstauende Schächte	Überstauende Schächte	Überstauvolumen	Max.Auslaßkapazität
$4,9 \text{ m}^3/\text{s}$	49	20	457 m^3	$4,9 \text{ m}^3/\text{s}$
Freiauslaß	49	20	449 m^3	$5,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 6: Vergleichende Simulation am Auslaß 1

In der Abbildungen 13 sind die dieser Tabelle zugehörigen Abflußganglinien am Auslaß 1 gezeigt.

Istzustand - Modellregen 1

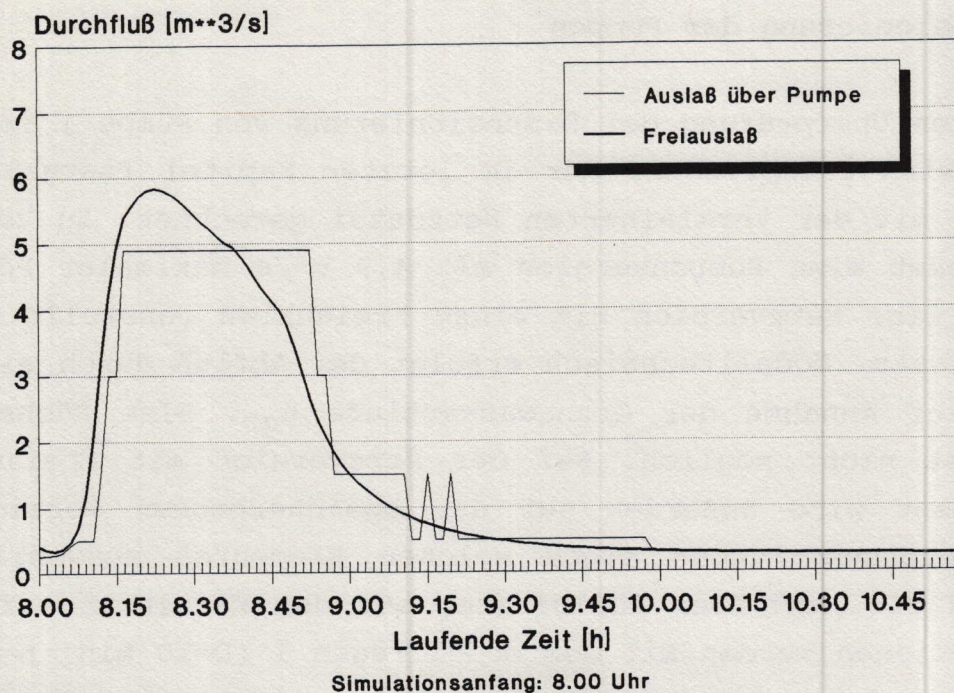


Abbildung 13: Abflußganglinie am Auslaß 1

Bei der Netzversion mit dem Freiauslaß zeigt sich eine erhöhte maximale Auslaßkapazität von $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$, die aber nicht die Anzahl der ein- und überstauenden Schächte verringern konnte. Lediglich die Höhe des Überstauvolumens wird um 2 Prozent verringert. Durch den Vergleich der beiden Abflußganglinien kann das bei der Netzversion mit der Pumpe am Auslaß erforderliche Speichervolumen vor dem Auslaßelement bestimmt werden. Dieses erforderliche Speichervolumen von 760 m^3 ist kleiner als das tatsächlich am Auslaß 1 vorhandene Speichervolumen von 2500 m^3 . Deshalb kann **Pumpe P1** nach dieser Untersuchung nur als **geringfügig zu klein dimensioniert** angesehen werden. Die Hauptunzulänglichkeiten der Entwässerungsanlage sind im Kanalnetz selbst zu suchen. Zur Behebung dieser Problematik werden drei Sanierungsszenarien erarbeitet, die im folgenden näher beschrieben werden.

5.) Sanierungsszenarien

5.1) Netzerweiterung (Vermaschung und Rohrerweiterung)

Baumaßnahmen sind mit vielen Schwierigkeiten verbunden (Verkehrsbehinderung, Lärmbelästigung, Gefährdung anderer Bauwerke). Deshalb wird versucht, diese Maßnahmen in begrenztem Umfang in eine Sanierungsmaßnahme zusammenzufassen (gleichmäßigere Belastung des Systems durch Vermaschung und Entlastung der besonders überlasteten Haltungsstrecken durch Vergrößerung der Abflußquerschnitte). Ziel der Simulation ist, die Möglichkeiten der Netzerweiterung im Hinblick auf die Verbesserung der Entwässerungssituation in Bengbu zu prüfen.

Die einzelnen durchgeführten Änderungen werden nun aufgezeigt:

-1- Einführung von 4 zusätzlichen Haltungen

Tabelle 7: Kenndaten der neuen Haltungsstrecken

Haltung	Länge [m]	Durchmesser [m]	Speichervolumen [m ³]
HA143V	160	0,38	18,14
HA822V	160	0,60	45,24
HA832V	160	0,45	25,45
HA321V	160	0,45	25,45
			Σ 114,28

-2- Erweiterung von 4 schon existierenden Haltungen

Tabelle 8: Kenndaten der erweiterten Haltungen

Haltung	Länge [m]	Durchmesser [m]		Volumen [m ³]	
		vorher	nachher	vorher	nachher
HA380B	155	0,375	1,0	17,12	121,74
HA370	185	0,45	1,0	29,42	145,29
HA360	265	0,6	1,0	74,93	208,13
HA350	156	0,8	1,0	78,41	122,52
				Σ 199,88	597,68

Das mit Hilfe dieser Erweiterungen neu geschaffene Speichervolumen im Kanalnetz beträgt 512,08 m³. Die genaue Lage der Haltungen kann Abbildung 14 entnommen werden.

5.2) Abkopplung der angeschlossenen undurchlässigen Flächen

Eine andere Maßnahme zur 'Sanierung' eines städtischen Entwässerungssystems ist die teilweise Abkopplung der angeschlossenen Flächen. Diese Möglichkeit stellt eine flexible Sanierungsvariante dar. Zur Abschätzung der damit verbundenen Entlastung des Entwässerungssystems werden die angeschlossenen undurchlässigen Flächen schrittweise von 10 - 50% abgekoppelt.

Erste Simulationen stellen heraus, daß ein Abkopplungsgrad von 20% der angeschlossenen undurchlässigen Flächen den größten Wirkungsgrad auf die Entlastung des Entwässerungssystems zeigt. Zusätzlich zu der Netzversion mit einer 20 prozentigen Abkopplung wird die Netzversion mit der höchsten Abkopplungsrate (50%) für die weitere Untersuchung beibehalten. Ferner wird zu der allgemeinen Abkopplung im gesamten Netz noch eine weitere Abkopplungsmaßnahme geschaffen. Nur in dem besonders überlasteten Teilgebiet werden die angeschlossenen undurchlässigen Flächen um 20 Prozent abgekoppelt, im restlichen Gebiet jedoch auf dem Ursprungsniveau belassen. Damit soll überprüft werden, ob punktuelle Maßnahmen zur Lösung des Problems beitragen können. Die im überlasteten Teilgebiet abgekoppelte Fläche hat eine Gesamtgröße von 8,3 [ha]. Betroffen von der speziellen Abkopplungsmaßnahme sind 36 Haltungen. Die Lage des Teilgebietes kann wiederum Abbildung 14 entnommen werden.

Sanierungskonzepte

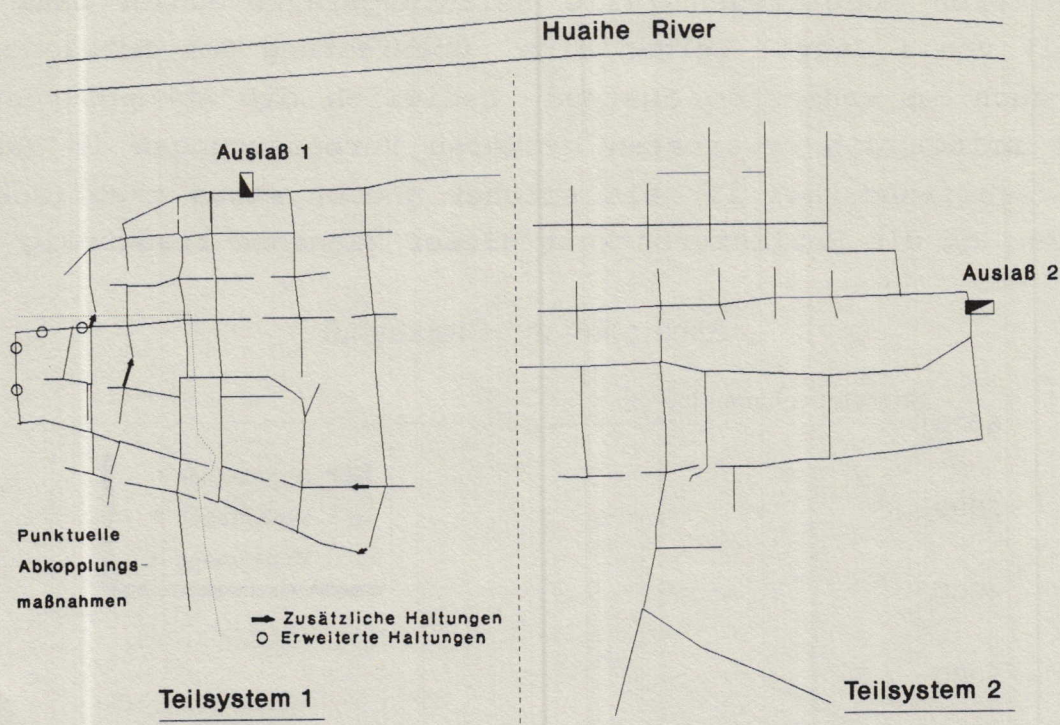


Abbildung 14: Darstellung der Sanierungsvarianten

5.3) Ergebnisse der Simulationen

Alle zuvor vorgestellten Sanierungsvarianten werden mit Modellregen 1, 2 und 3 nachgerechnet und den Simulationsergebnissen des Ist-Zustandes gegenübergestellt.

Analyse der Überstauvolumina:

Alle Sanierungsszenarien zeigen eine spürbare Wirkung in Verbindung mit dem Belastungsfall Modellregen 1 ($D=10$ min; $n=1$). Der Abbildung 15 ist das ermittelte Überstauvolumen zu entnehmen. Im Vergleich zum Ist-Zustand wird eine Reduzierung des Überstauvolumens von bis zu 100% erreicht. Auch bei den in der Durchführbarkeit als besser zu beurteilenden Maßnahmen (Spezielle Abkopplung von 20% der angeschlossenen undurchlässigen Flächen) wird eine Verringerung von 50% realisiert.

Die weiteren Modellregen (alle Belastungsfälle haben eine Wiederkehrzeit von 1 Jahr!) zeigen eine Überlastung des Entwässerungssystems auch im sanierten Zustand. Lediglich die Abkopplungsmaßnahme um 50% bringt die erwarteten größeren Verbesserungen im Kanalnetz. Dieser Sanierungsfall ist als solcher jedoch etwas skeptisch zu betrachten, da die Realisierbarkeit dieser Maßnahme fragwürdig ist.

Simulation mit Freiauslaß

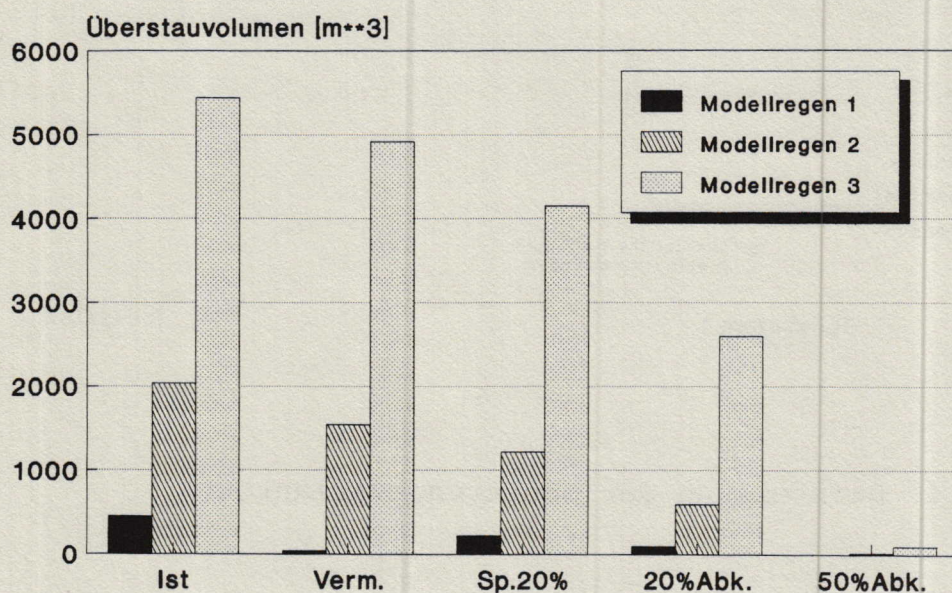


Abbildung 15: Überstauvolumina bei der Simulation mit den Modellregen 1, 2 und 3

Anzahl der ein- bzw überstauenden Schächte

Die Abbildung 16 zeigt die Anzahl der bei der Simulation ermittelten ein- und überstauenden Schächte. Es wird deutlich, daß erwartungsgemäß (Kanalnetze mit zusätzlichen Haltungen zur Vermaschung zeigen zwar eine Verminderung der Überstauvolumina, nicht aber eine Verminderung bei der Anzahl der einstauenden Schächte) bei der Version mit zusätzlicher Vermaschung und Rohrerweiterung in der Netzdatei die Verminderung der Überstauvolumina nicht mit einer Verminderung der stauenden Schächte verbunden ist. Die Anzahl der überstauenden Schächte konnte zwar verringert werden, die Gesamtanzahl der einstauenden Schächte nicht. Auch hier zeigt die reine Abkopplungsmaßnahme von 50% im Gesamtnetz eine bessere Wirksamkeit, da mit der Verringerung der Überstauvolumina auch eine Verringerung der Anzahl

der ein- und überstauenden Schächte eng verbunden ist. Die bei den Überstauvolumina festgestellte Tendenz, daß bei kürzeren Ereignissen die Wirksamkeit der Sanierungslösungen größer ist, behält auch hier ihre Gültigkeit.

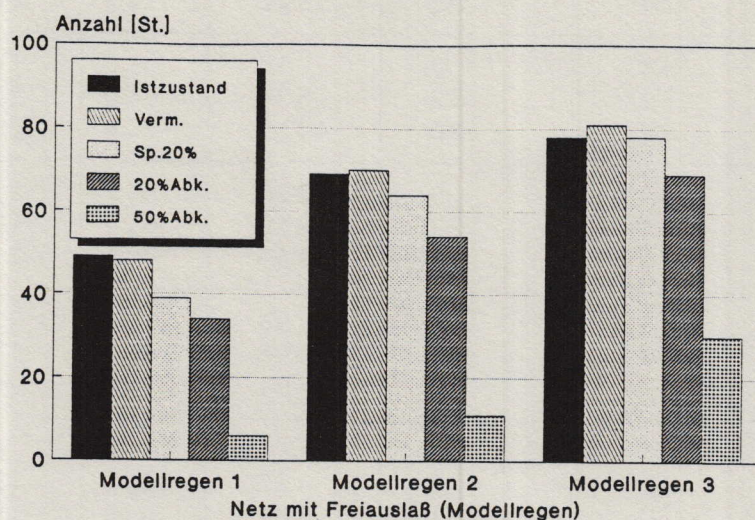


Abbildung 16 a: Darstellung der einstauenden Schächte

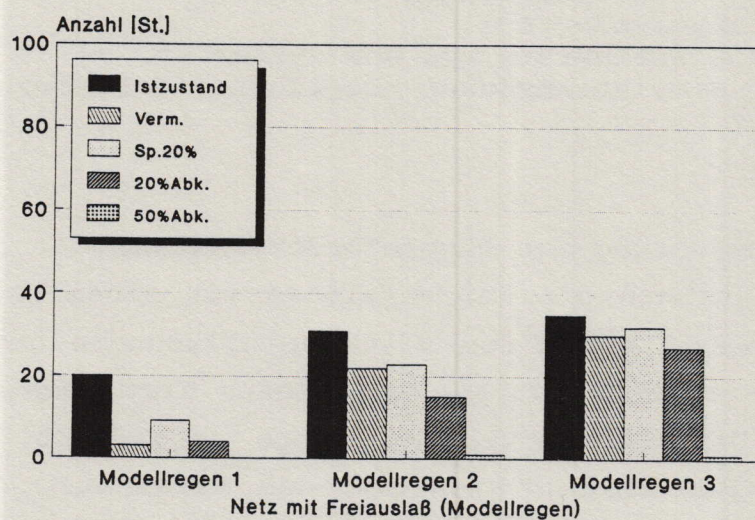


Abbildung 16 b: Darstellung der überstauenden Schächte

Tabelle 9 zeigt die genauen Ergebnisse aller Simulationen

Tabelle 9: Ergebnisse der Simulationen mit Modellregen

Netz	Modell	Einstau	Überstau	Q 1	Q/s 2	Q 3
Ist	1	49	20	449	5,8	16476,7
	2	69	31	2036	6,9	20822,7
	3	78	35	5442	7,8	29242,7
Verm.	1	48	3	39	5,8	16477,6
	2	70	22	1534	6,9	20813,5
	3	81	30	4912	7,9	29227,7
Sp.20%	1	39	9	220	5,7	15561,4
	2	64	23	1216	6,8	19641,2
	3	78	32	4145	7,8	27607,8
20%Abk	1	34	4	96	5,4	13648,2
	2	54	15	598	6,2	17253,5
	3	69	27	2591	7,1	24267,2
50%Abk	1	6	-	-	4,2	9409,4
	2	11	1	13	5,1	11914,0
	3	30	1	101	5,9	16819,0

Modell : Modellregen

Einstau : Anzahl der einstauenden Schächte

Überstau : Anzahl der überstauenden Schächte

Q 1 : Überstauvolumen [m³]

Q/s 2 : Maximale Abflußrate aus dem System [m³/s]

Q 3 : In der Simulationsdauer abgeführtes Gesamtvolumen [m³]

Abschließende Betrachtung der Pumpenförderleistung

Da bei den Simulationen die Netzversionen mit einem Freiauslass anstatt Pumpe 1 gewählt wurde (um alle Beeinflussungen durch die Pumpe von Anfang an ausschließen zu können), seien hier noch einmal einige Bemerkungen zur Dimensionierung der Pumpe aufgeführt. Abbildung 17 zeigt die maximalen Ausflußraten aus dem Kanalnetz. Die erzielten Ausflußraten liegen bei dem längsten Modellregen (Modellregen 3 hat eine Dauer von 30 [min]) um bis zu 30% über der maximalen Förderkapazität der Pumpe P1. Die Sanierungsvarianten in Verbindung mit den Abkopplungsmaßnahmen zeigen aber auch hier ein besseres Ergebnis. Bei dem maximalen Abkopplungsgrad von 50% wird die größte Förderrate der Pumpe nur unwesentlich überstiegen. Es wird hier aber nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die Sanierung des Kanalnetzes für den

Fall, daß keine Vergrößerung des Speichervolumens vor der Pumpe durchgeführt wird, mit einer Erhöhung der Pumpenleistung am Auslaß 1 verbunden sein muß.

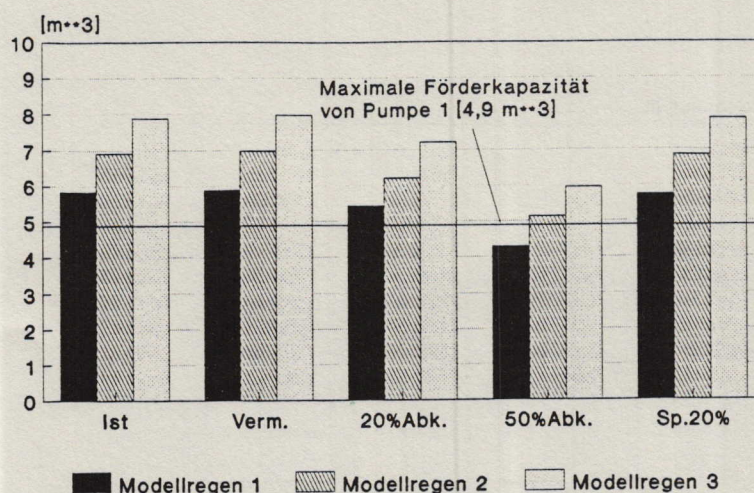


Abbildung 17: Maximale Ausflußraten aus der Kanalisation

6.) Bewertung der Ergebnisse

Zur Überprüfung dieses Trends (längere und stärkere Regenereignisse zeigen eine Überlastung der aufgeführten Sanierungslösungen) wird eine Seriensimulation mit sechs ausgesuchten Naturereignissen (Wiederkehrzeiten von 0,6 bis 1,2 Jahre) durchgeführt, um eine genaue Bewertung der Sanierungsszenarien zu ermöglichen. Die Auswahl der Ereignisse wird in der gleichen Weise durchgeführt, wie sie auch bei der Auswahl der 33 Ereignisse für die erste Simulation angewandt wurde (siehe Kapitel 4.1). Der Unterschied liegt darin, daß um die Anzahl der Ereignisse stärker zu beschränken nur Ereignisse ausgewählt werden, die in beiden nach Regensumme und Regenintensität sortierten Listen zwischen der 20. und 40. Position zu finden sind. Die Anzahl der Ereignisse beschränkt sich somit auf 6 'mittlere' Ereignisse.

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen die Ergebnisse dieser Simulationen.

Die gesamten Überstauvolumina und Einstauzeiten werden dargestellt. Die nach der Simulation mit den Modellregen aufgeführten Bemerkungen haben ohne Einschränkung auch ihre Gültigkeit bei diesen Ergebnissen. Eine deutliche Verminderung der Überstauvolumina zeigt nur die Sanierungslösung mit der höchsten Abkopplungsmaßnahme.

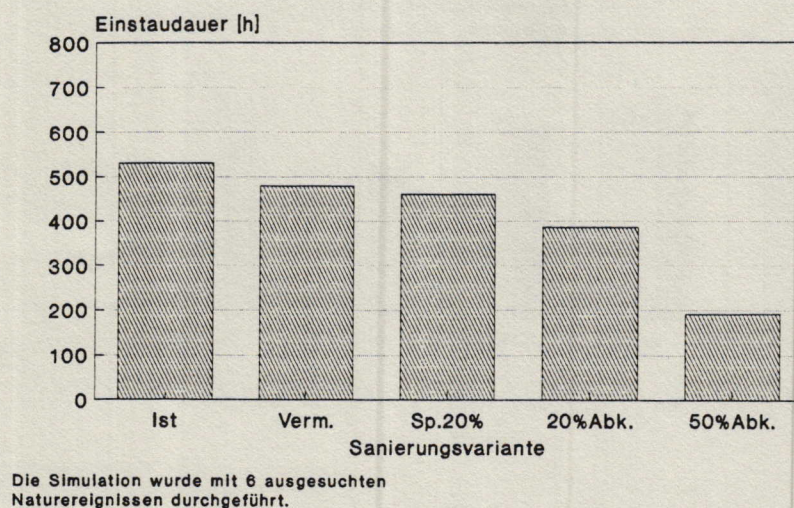


Abbildung 18: Gesamte Einstaudauer

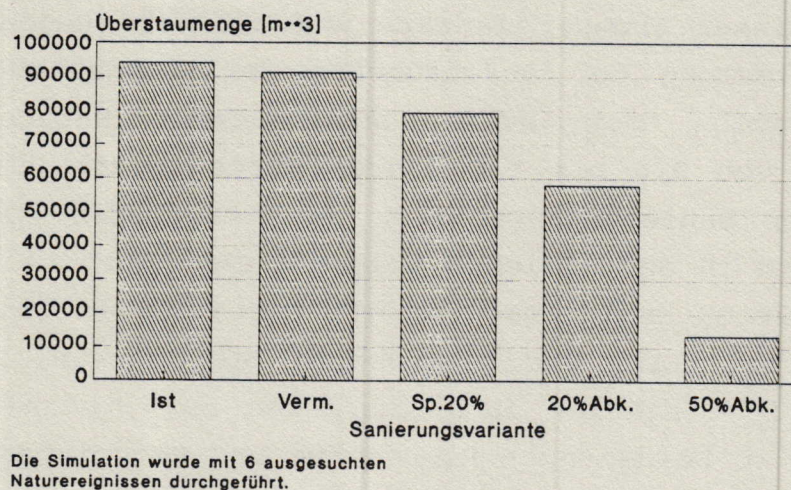


Abbildung 19: Gesamtes Überstauvolumen

Zu Vergleichszwecken werden in Tabelle 10 die Gesamtniederschlags-

und die abflußwirksamen Niederschlagsvolumina dargestellt.

Tabelle 10: Darstellung des Niederschlagvolumens der sechs Naturereignisse

Sanierungsvariante	Ist	Verm.	Sp.20%	20%Abk.	50%Abk.
Gesamtniederschlag [m ³]	581913	581913	548695	485670	346308
Abflußwirksamer N. [m ³]	452113	452113	428005	376929	264198

Abbildung 20 stellt die staufreien Schächte des Kanalsystems dar.

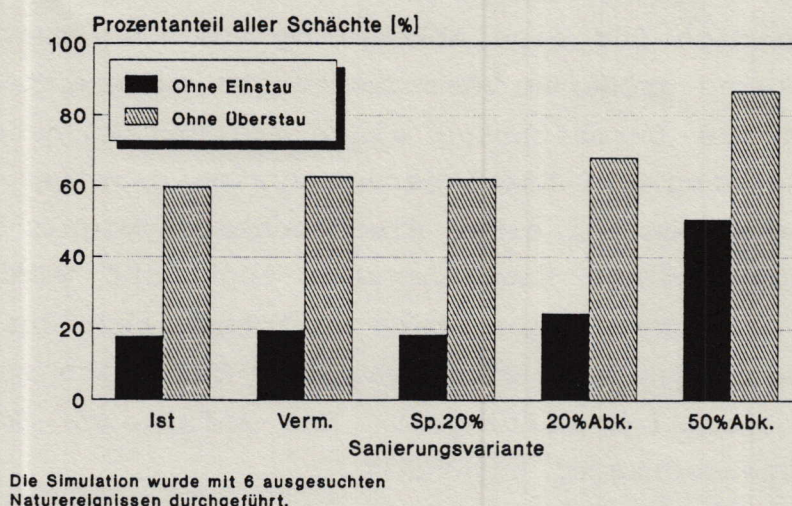


Abbildung 20: Staufreie Schächte in der Kanalisation bei der Simulation mit den Naturereignissen

Resümé:

Die schwierige Entwässerungssituation in Bengbu kann durch die in der Seriensimulation getesteten Sanierungslösungen kaum oder nicht verbessert werden. Die punktuellen 'Baumaßnahmen' im Netz stehen in keinem Kosten - Nutzen Verhältnis zur Entschärfung der Entwässerungssituation. Aber auch die speziellen Abkopplungsmaßnahmen im Altstadtgebiet erfüllen die nach den Simulationen mit Modellregen 1 gemachten Erwartungen nicht. Alle größeren Belastungsfälle

(Modellregen 2 und 3; Naturereignisse) überlasten die Kanalisation nach Durchführung der getesteten Sanierungslösungen. Nach den in Deutschland gültigen Kriterien zur Bewertung eines Kanalnetzes können nur umfangreiche Neubaumaßnahmen oder aber die Abkopplung großer Flächen im Einzugsgebiet des Kanales ($> 40\%$) die herrschende Situation verbessern. Die Abkopplung derart großer Flächen wirft in der Durchführung Schwierigkeiten auf. Im nächsten Kapitel soll eine Lösungsmöglichkeit dieses Problems aufgezeigt werden.

7. Durchführung der Abkopplungsmaßnahmen

Insbesondere Dach- und Hofflächen und in beschränktem Maß auch Straßenflächen bieten sich für eine Abkopplung vom Kanalisationssystem an, da von hier keine größeren Verschmutzungen zu erwarten sind. Abbildung 21 zeigt die Durchführung einer solchen Maßnahme (Fujita, Koyama; 1990). Es wird ein Entwässerungssystem gezeigt, in dem die anfallenden Wassermengen bei einem Niederschlagsereignis von den abzukoppelnden Flächen einem Rigolensystem zugeführt werden, um sie dort gezielt zu versickern bzw. stark verzögert abzuführen. Dadurch wird der Spitzenwert des Abflußgeschehens im Vergleich zu herkömmlichen Kanalnetzen deutlich verringert. Das anfallende Schmutzwasser wird einem Schmutzwasserkanal zugeführt.

Die Kombination der Speicherung bzw. Versickerung von Regenwasser in einem Rigolensystem mit der getrennten Ableitung verschmutzten Abwassers stellt eine besonders naturnahe, ökologisch sinnvolle Sanierungslösung für überlastete Kanalisationssysteme dar. Sie ist auch für Gebiete anzuwenden, in denen aufgrund einer zu geringen Durchlässigkeit des Bodens oder aber eines zu hoch gelegenen Grundwasserspiegels die Versickerung von Regenwasser nicht durchgeführt werden kann. Aufgrund der verzögerten Abführung des Regenwassers (welches nicht versickert werden kann) in den nächst gelegenen Vorfluter, wird zudem noch die Wasserführung dieses Vorfluters (hier Huaihe River) gleichmäßig.

Die zu erwartenden Baukosten für ein Rigolensystem sind geringer als die zu veranschlagenden Kosten für den Bau von Speicherbecken mit

vergleichbarer Speicherkapazität (Grotehusmann, Khelil, Sieker, Uhl; 1991).

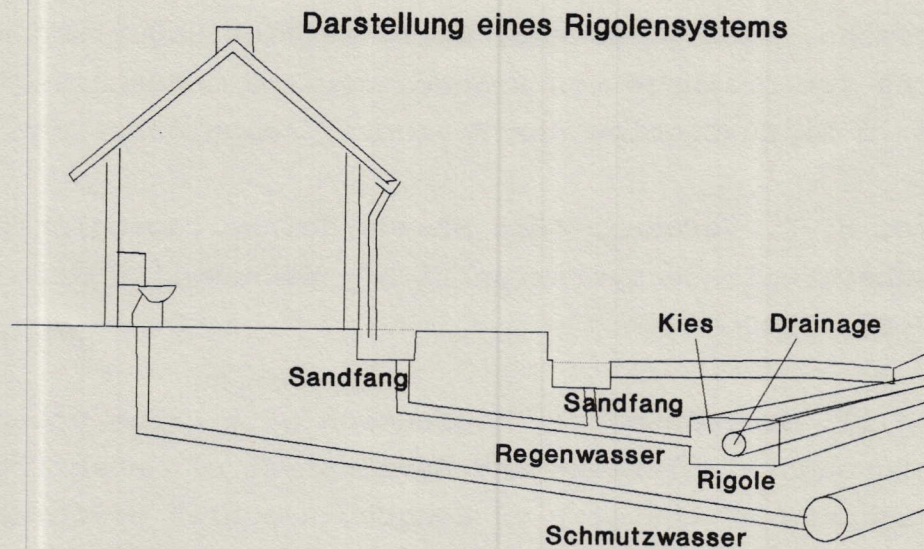


Abbildung 21: Sanierung einer Entwässerungsanlage durch ein Rigolensystem

Literaturverzeichnis:

- [1] L.Fuchs, H.-R. Verworn; 'Mikrocomputer in der Urbanhydrologie'
Beschreibung des Programmes Hystem-Extran; ITWH Hannover; 1990
- [2] Grotehusmann, Khelil, Sieker, Uhl; 'Entwicklung eines neuen
Konzeptes zur Drainage von Regenwasser von undurchlässigen
Flächen im Einzugsgebiet der Emscher'; Abschlußbericht
- [3] R. Harms, H.-R. Verworn; 'Die Standardeinheitganglinie - eine
gebietsübergreifende Systemfunktion'; Wasserwirtschaft 70
Heft (7+8); 1980
- [4] Jin, Khelil, Grotehusmann; 'Evaluation of a Urban Drainage
System through Simulations and Development of Rehabilitation
concepts; Case of the city of Bengbu, Republik of China';
Asian Waterqual '91; Shanghai; 1991
- [5] F.Sieker; Abflußbildung; SUG Heft 1, Teil 4.3; Nov. 1987
- [6] Planungs- und Konstruktionsbüro der Stadt Bengbu
Dokumentation; 1980 (in chinesisch)
- [7] S. Fujita, T. Koyama; 'Pollution Abatement in the Experimental
Sewer System'; 5th International Conference on Urban Storm
Drainage; Osaka; 1990