

Alexandra EBERL

Einfluss von Umlandgemeinden in der Kanalnetzberechnung von Großstädten

DIPLOMARBEIT

Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN

Zur Erlangung des akademischen Grades
„DIPLOM-INGENIEURIN“

Beurteiler:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Rauch

Arbeitsbereich Umwelttechnik

Innsbruck, Jänner 2006

Besonders möchte ich meinen Eltern, Mathias und Johanna Eberl, dafür danken, dass sie mir dieses Studium ermöglicht haben.

Weiters gilt mein Dank allen, die mir bei der Verwirklichung dieser Arbeit geholfen haben.

Herr Dipl.-Ing. Sebastian S. Mayer für die begleitende Betreuung und die ständige Bereitschaft zur Hilfestellung.

Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Rauch für die Möglichkeit zur Verfassung dieser Diplomarbeit am Institut für Umwelttechnik der Universität Innsbruck.

Allen übrigen Mitarbeitern des Instituts für Umwelttechnik für die bereitwillige Unterstützung und die geduldige Beantwortung anfallender Fragen.

Zu guter Letzt möchte ich allen bisher noch nicht genannten Personen danken, die mit Rat und Tat zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Kurzfassung

Für den Entwurf, die Instandhaltung und Organisation von großen Kanalnetzen werden vermehrt hydrodynamische Modelle erstellt. Betreiber städtischer Kanalnetzen können auch für den Abfluss aus umliegenden Gemeinden verantwortlich sein. In diesem Fall ist es nötig die relevanten Daten dieser Gemeinden zu erfassen. Ein häufig auftretendes Problem hierbei sind fehlende Angaben bezüglich des Abflussvolumens und -verhaltens der Randgebiete. Deshalb wurde in dieser Arbeit versucht, eine Methode zu entwickeln, welche die einzelnen Umlandgemeinden nach der Größe ihres Einflusses auf das hydrodynamische Verhalten der Stadt reihen kann. Aufbauend auf diese Reihung können jene Kommunen identifiziert werden, für die es unumgänglich ist, weitere Daten zu erheben. Zur Analyse wurden an einem einfachen, fiktiven System und weiters am Vergleichssystem Linz die Flächen einiger Umlandgemeinden und die gedrosselten Zuflüsse zum Stadtkanalnetz verändert. Somit konnten die Auswirkungen von Fehlschätzungen, bezüglich der untersuchten Parameter, festgestellt werden. In dieser Untersuchung wird deutlich, dass die Variationen der Flächen und der Drosseln keinen großen Einfluss auf die Überstauhäufigkeit des Stadtkanalnetzes haben. Vermutlich sind schon die ersten 30 % der Gemeinden (aufsteigend gereiht nach ihrem Entlastungsvolumen) ausreichend, um eine hinlänglich genaue Aussage treffen zu können.

Abstract

Design, maintenance and management of large urban drainage systems are commonly based on hydrodynamic modeling of the system. Operators of sewage networks in large cities are also responsible for the runoff generated in the surrounding suburban and rural areas. Thus the information of surrounding communities had to be collected. Frequent problems are the lack of information of this area regarding runoff volumes and runoff performance. This thesis tempts to develop a method to rank the surrounding areas on their impact to the hydrodynamic performance of the city. Due to this ranking the most relevant areas can be identified and this gives information how many and which surrounding communities are to be assessed in detail. A simple system was designed for the analysis. Furthermore the sewer system of Linz was simplified for the investigations. It is shown that estimating the suburban connected area is of minor importance for submerging frequencies within the city boundaries. Assumedly the first 30 % of the communities (ranked increasingly to the overflow volume) are sufficient to make an adequate conclusion.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Ziel der Arbeit	3
2	GRUNDLAGEN	4
2.1	Siedlungsentwässerung	4
2.1.1	Elemente der Siedlungsentwässerung.....	4
2.1.2	Entwässerungsverfahren	5
2.1.3	Trockenwetterzufluss	5
2.2	Siedlungshydrologie	6
2.2.1	Regen.....	6
2.2.2	Abflussbildung	6
2.2.3	Abflusskonzentration	7
2.2.4	Kanalabfluss	8
2.3	Hydraulische Grundlagen	9
2.3.1	Kontinuitätsgleichung.....	9
2.3.2	Arten des Abflusses	9
2.3.3	Strömungszustände	9
2.4	Numerische Simulation	10
3	HYSTEM-EXTRAN	11
3.1	Bauwerke	11
3.2	Oberflächenabfluss – HYSTEM	11
3.3	hydrodynamisches Transportmodell EXTRAN (ITWH)	13
4	VORGEHENSWEISE	14
4.1	Reihung der Einzugsgebiete	16
4.2	Einfluss von Systemungenauigkeiten	17
5	SYSTEMBESCHREIBUNG	18
5.1	System A	18
5.2	System B	22

6	ERGEBNISSE	25
6.1	System A	25
6.1.1	Reihung der Einzugsgebiete	25
6.1.2	Einfluss von Systemungenauigkeiten	25
6.2	system B	30
6.2.3	Reihung der Einzugsgebiete	30
6.2.4	Einfluss von Systemungenauigkeiten	31
7	DISKUSSION	36
7.1	System A	36
7.1.1	Reihung der Einzugsgebiete	36
7.1.2	Einfluss von Systemungenauigkeiten	36
7.2	System B	38
7.2.1	Reihung der Einzugsgebiete	38
7.2.2	Einfluss von Systemungenauigkeiten	39
7.3	System A vs. System B	40
7.3.3	Starkregenserie	40
7.3.4	Kontinuierliche Simulation	40
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN	45
	LITERATURVERZEICHNIS	46

1 Einleitung

1.1 HINTERGRUND

Für die Planung und Instandhaltung von Kanalnetzen werden vermehrt hydrodynamische Berechnungsmodelle des Abflusses verwendet. Folglich können die Systeme schon vor der Errichtung auf eventuelle Schwachstellen geprüft werden. Auch für bereits bestehende Kanalsysteme kann eine Erweiterung oder Veränderung im Netz mit vergleichsweise geringem Aufwand simuliert werden.

Bei großen Städten ist der Kanalnetzbetreiber nicht nur für anfallendes Abwasser der Stadt zuständig, sondern auch der Zufluss aus den umliegenden Einzugsgebieten muss berücksichtigt werden.

Aufgrund zunehmender Urbanisierung und stetiger Entwicklung des Kanalsystems entsteht ein Mangel an Informationen über das bestehende Netz. Im Stadtgebiet sind gewöhnlich genügend Informationen (Pläne und Aufzeichnungen der Kanalisation, Fördermengen von Pumpen, etc.) für die Erstellung eines Simulationsmodells vorhanden oder können ohne großen Aufwand erhoben werden. Sind an das städtische Kanalnetz zudem Umlandgemeinden angeschlossen, erhöht sich der Aufwand der Datenermittlung erheblich. Meist ist eine vollständige Datenerhebung nicht möglich, da die jeweiligen Kanalnetze im Regelfall von den Umlandgemeinden selbst geplant, gebaut und betrieben werden. In die Verträge über die Einleitrechte sind meist nur maximal zulässige Spitzen- und Tagesabflüsse an den Übergabepunkten festgeschrieben. Da für die außerstädtischen Gemeinden keine rechtliche Verpflichtung besteht, über das tatsächliche Kanalnetz Auskunft zu geben, sind einige Kommunen hierzu aus verschiedenen Gründen nicht gerne bereit. Hier ist beispielsweise die Angst zu nennen, nachfolgend neue Auflagen zu bekommen. Bei bestehenden Streitigkeiten mit den städtischen Kanalnetzbetreibern wird die Datenermittlung unter Umständen ganz verweigert.

Modelle zur Abflusssimulation können in unterschiedlicher Auflösung erstellt werden: von sehr detailliert bis hin zu grob vereinfachten Abstraktionen. Da die detaillierte Erhebung aller Daten sehr aufwendig und auch kostspielig ist, wird in dieser Untersuchung versucht, die wichtigsten Fragen für die Betreiber zu beantworten:

- Wie detailliert müssen die Daten erhoben werden, bzw. wie genau wird das Modell der angeschlossenen Umlandgemeinden benötigt?
- Welche Gebiete haben den größten Einfluss und dadurch auch die höchste Priorität für die detaillierte Datenerhebung und Kalibrierung?

Die Untersuchungen werden an einem einfachen, fiktiven System und an einem vereinfachten Kanalnetzmodell der Stadt Linz mit seinen Umlandgemeinden durchgeführt.

Im Simulationsmodell von Linz sollen die **wichtigsten Charakteristika** der umliegenden Kommunen beibehalten werden. Dabei handelt es sich um die **angeschlossene Fläche**, das **Retentionsvolumen**, die **Länge des Kanalnetzes** bis zur Einleitung ins System der Stadt und die **gedrosselte Abflussmenge** der jeweiligen Gemeinde.

Können diese Charakteristiken nicht genau erhoben, sondern nur abgeschätzt werden, entstehen daraus Unsicherheiten im Berechnungsergebnis, d. h. potentiell falsche Abflüsse. Deshalb ist es nötig diejenigen Gemeinden zu identifizieren, die den größten Einfluss auf das hydrodynamische Verhalten des Stadtkanalnetzes haben. Dann können für die einflussreichsten Kommunen die Daten detailliert erfasst werden und die verbleibenden Einzugsgebiete nur abgeschätzt werden.

Um nun jene Umlandgemeinden zu identifizieren, die den größten Einfluss haben, soll eine Reihung der Gemeinden nach festgelegten Basisinformationen durchgeführt werden. In dieser Arbeit werden dafür das Entlastungsvolumen des gesamten Systems und die Menge des gedrosselten Abflusses verwendet. Für die Reihung nach dem Entlastungsvolumen wird bei jeder Gemeinde die abflusswirksame Fläche, ausgehend vom Grundsystem, auf Null gesetzt. Anschließend werden diese modifizierten Systeme einzeln berechnet. Aus den Ergebnissen werden die Entlastungsvolumina berechnet und aufsteigend gereiht. Die Reihung nach dem Drosselabfluss ist weniger aufwendig, hier werden alle Pumpen die direkt ins Kanalnetz der Stadt führen absteigend, nach der Drosselmenge, gereiht.

Durch die Fehlschätzungen von Charakteristiken, wie z.B. die abflusswirksame Fläche und die Drosselmenge, entstehen Fehler bei den untersuchten Parametern (Überstauhäufigkeit, Überstauvolumen, Entlastungsvolumen und Wirkungsgrad). Um nun eine sinnvolle Aussage über die Größe des Fehlers machen zu können, wird die abflusswirksame Fläche der einflussreichsten Umlandgemeinden in sinnvollen Stufen variiert. Dadurch wird die Ungewissheit der Annahmen imitiert. Auch für die Drosselmengen wurde eine ähnliche Untersuchung vorgenommen, hier werden die erstgereihten Pumpen ebenfalls in sinnvollen Stufen verdoppelt. Diese Berechnungen werden mit dem Grundsystem verglichen und die Abweichungen in Diagrammen dargestellt.

1.2 ZIEL DER ARBEIT

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, vorerst ein Schema des Kanalsystems der Stadt Linz mit seinen Umlandgemeinden zu entwickeln. Hierzu stehen umfangreiche Daten zur Verfügung.

Weiters soll ein sehr einfaches Kanalnetz als Vergleichsmodell erstellt werden. Aufgrund dieses Systems soll gezeigt werden, dass die Ergebnisse der Stadt Linz auch auf beliebige andere Kanalnetze mit umfangreichen Randgebieten übertragbar sind.

Anhand dieser Systeme soll auf Grundlage der spezifischen Gemeindecharakteristika, wie Gemeindefläche, Drosselmenge, etc. bestimmt werden, für welche Gemeinde eine detaillierte Datenerhebung notwendig ist.

Es wird versucht, ein Werkzeug zu entwickeln, mit dem in einfacher und übersichtlicher Methodologie die Gemeinden mit dem größten Einfluss auf die Entwässerung im Stadtgebiet, aufgezeigt werden können.

Die notwendigen Berechnungen erfolgen mit dem hydrodynamischen Transportmodell Hystem-Extran (ITWH, 2005).

2 Grundlagen

Die Inhalte dieses Kapitels wurden, falls nicht anders angegeben, auf Basis von Siedlungswasserwirtschaft (Gujer, 2002), Grundlagen der Siedlungsentwässerung (Rauch *et al.*, 2002) und Urban Drainage (Butler und Davies, 2004) erstellt, das Kapitel Rohrhydraulik mithilfe des Skriptums Hydraulik I (Rutschmann, 2002).

2.1 SIEDLUNGSENTWÄSSERUNG

2.1.1 Elemente der Siedlungsentwässerung

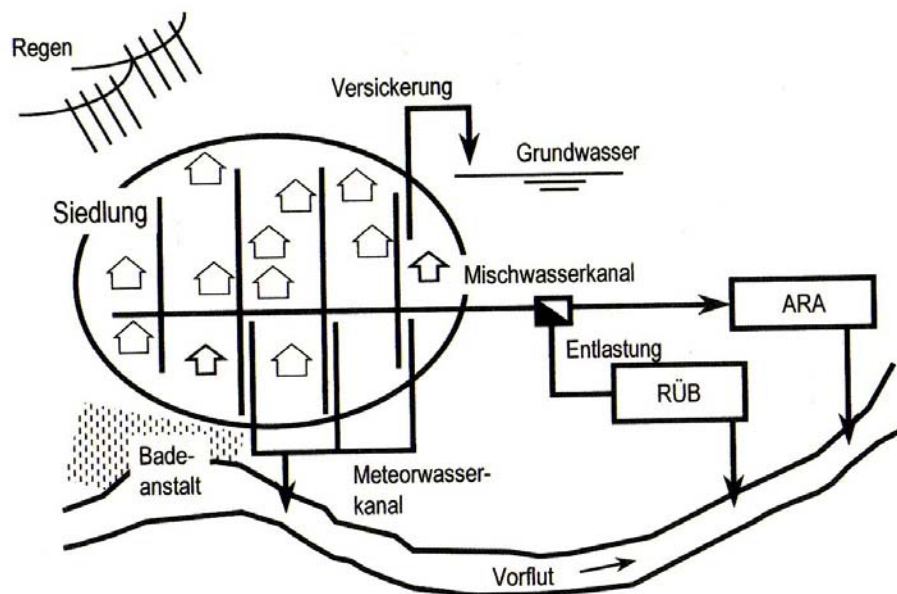


Abb. 2.1: Generelle Darstellung einer Siedlungsentwässerung

Abb. 2.1 zeigt die Elemente einer Siedlungsentwässerung. Das unverschmutzte Regenwasser wird versickert und somit dem Grundwasser zugeführt. Teilweise wird der Abfluss aus versiegelten Flächen auch über separate Regenwasserkanäle in den Vorfluter eingeleitet oder über die Mischwasserkanalisation gemeinsam mit dem Abwasser aus den Siedlungen zur Kläranlage transportiert. Da die hydraulische Kapazität der Abwasserreinigungsanlage bei größeren Regenereignissen nicht ausreicht, muss vor der Einleitung eine Entlastung angeordnet werden. Das für diesen Zweck bestimmte Regenüberlaufbecken speichert das Wasser bis es die Kläranlage wieder aufnehmen kann oder entlastet bei starken Regenereignissen direkt in den Vorfluter. Die unterschiedlichen Einleitungen in ein Gewässer sollen so angeordnet sein, dass sie keine Beeinträchtigung allfälliger Nutzungen darstellen.

2.1.2 Entwässerungsverfahren

Die Abwässer können auf zwei verschiedene Arten transportiert werden: In Druckleitungen (bei voller Füllung) und in Freispiegelleitungen (bei Teilfüllung), diesem wird bei ausreichendem Gefälle der Vorzug gegeben.

- **Mischsystem** - Es werden Abwasser und Regenwasser gemeinsam in einem Kanalsystem zur Kläranlage transportiert, welche nicht das gesamte Wasser aufnehmen kann. Somit sind vor der ARA zusätzlich Regenrückhaltebecken erforderlich.
- **Trennsystem** - Dieses System kommt vorwiegend bei der Neuerrichtung von Kanalsystemen in ländlichen Gebieten zur Anwendung. Hierbei werden zwei Kanäle meist parallel verlegt, einer für Schmutzwasser, der andere für Regenwasser. Der Schmutzwasserkanal wird direkt zur Kläranlage geleitet, während der Regenwasserkanal zum nächsten Vorfluter geführt wird.
- **Alternative Systeme** - Vakuum- oder Drucksysteme werden vor allem in kleineren Siedlungen realisiert, wobei das Regenwasser örtlich versickert und nur das Schmutzwasser abgeleitet wird. Fallweise wird das Schmutzwasser auch an Ort und Stelle vorbehandelt.

2.1.3 Trockenwetterzufluss

Das Abwasser aus Siedlungen setzt sich zusammen aus:

- dem häuslichen, gewerblichen und industriellen Schmutzwasser
- dem Fremdwasser und
- dem Regenwasser.

Der häusliche Schmutzwasseranfall (q_{TW}) ist abhängig vom Wasserverbrauch, der Siedlungsdichte und der Größe der Siedlung. Ein Spitzenabfluss von 4 l/(s.1000.E) wird verwendet, wenn keine Messungen vorliegen (ATV-118, 1999). Der Schmutzwasseranfall kann in Abhängigkeit von der Siedlungsgröße Tab. 2.1 entnommen werden.

Tab. 2.1: Schmutzwasser (ÖWAV-RB-11, 1982)

Siedlungsgröße [E]	Täglicher Schmutzwasseranfall [l/E.d]	Faktor für stündlichen Spitzenabfluss
< 5.000	150	1/8
5.000 - 10.000	180	1/10
10.000 - 50.000	220	1/12
50.000 - 250.000	260	1/14
250.000	300	1/16

Das gewerbliche und industrielle Schmutzwasser kann aufgrund der Entnahme aus dem öffentlichen Wassernetz und aus eigenen Wassergewinnungsanlagen bestimmt werden. Für Neuplanungen wird im Mittel eine Schmutzwassermenge von 1 l/(s.ha) angesetzt. Ein Fremdwasserzuschlag (q_F) von 100 % gilt für Schmutzwasserleitungen, dieser kann bei einem Mischsystem entfallen.

Der Zulauf zur Kläranlage (q_{ARA}) kann mit Formel 2.1 abgeschätzt werden.

$$2 \cdot q_{TW} + q_F = q_{ARA} \quad (2.1)$$

2.2 SIEDLUNGSHYDROLOGIE

Die Siedlungshydrologie befasst sich mit den Oberflächenabflüssen als Folge von Niederschlag. Bei der Bildung von Regenabflüssen werden die vier Teilprozesse **Niederschlag**, **Abflussbildung**, **Abflusskonzentration** und **Abwassertransport** unterschieden.

2.2.1 Regen

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen folgenden Formaten zur Aufbereitung der gemessenen Niederschlagsintensitäten (Rauch und De Toffol, 2004, 2005):

- **Regenkontinuum** - umfasst alle vorhandenen Regendaten für eine Berechnungsperiode
- **Starkregenserie** - besteht aus den stärksten Ereignissen der vorhandenen Aufzeichnungen
- **Modellregen** - ist eine statistische Auswertung von effektiven Regendaten in Form von Regenspendenlinien; für den Einzelmodellregen wird häufig der Euler Typ II verwendet
- **Blockregen** - wird nur bei Verwendung des Fließzeitverfahrens angewandt; mithilfe einer mittleren Regenspende wird die Regenbelastung gewählt

2.2.2 Abflussbildung

Anfänglich wird die Oberfläche benetzt, die Mulden gefüllt und anschließend kommt der Abfluss in Bewegung. Durch Verdunstung, Verwehung und Versickerung geht ein Teil des Niederschlagswassers verloren, daraus berechnet sich der abflusswirksame Niederschlag.

Es gibt mehrere vereinfachte Modelle für die Abflussbildung:

- **Schwellwertmethode** – ist die einfachste Modellvorstellung, es gibt lediglich einen Anfangsverlust der überschritten werden muss
- **Prozentwertmethode** – wird in Verbindung mit dem Schwellenwertkonzept verwendet und berücksichtigt Anfangsverluste und Dauerverluste
- **Grenzwertmethode** – hier werden zusätzlich zu den Anfangs- und Dauerverlusten auch Muldenverluste berücksichtigt

2.2.3 Abflusskonzentration

Die Abflusskonzentration ist jener Prozess, der die Transformation des abflusswirksamen Niederschlags in den effektiven Gebietsabfluss beschreibt.

Es gibt vier lineare Modelle für diese Transferfunktion:

- **Einheitsganglinie** – Bei dieser Methode muss zusätzlich der Direktabfluss gemessen und anschließend die berechnete Ganglinie der gemessenen angepasst werden.
- **Einzellinearspeicher** – Der Einzellinearspeicher ist der einfachste Speichertyp, der die Retentionswirkung von Einzugsgebieten beschreibt. Der Abfluss aus dem Speicher steht linear mit dem Speicherinhalt in Zusammenhang. Diese Methode berücksichtigt keine Translationsvorgänge, somit lässt sich die Abflussfunktion mit nur einem Parameter nicht genügend genau beschreiben.
- **Linearspeicherkaskade** – Darunter versteht man eine Serie von Linearspeichern, wobei der Ausfluss aus einem Speicher der Zufluss zum nächsten Speicher ist. Somit steht ein Parameter mehr zur Verfügung als beim Einzellinearspeicher. Folglich können hier bessere Resultate erzielt werden
- **Isochronenmethode** – Die Isochronenmethode ist eine Transferfunktion, welche die Translationswirkung des Einzugsgebietes beschreibt. Die Zeit, die ein Tropfen Wasser von einem Punkt des Einzugsgebietes benötigt, wird bestimmt.

2.2.4 Kanalabfluss

Die Zulaufganglinien des Oberflächenabflusses zum Kanalnetz werden vom Transportmodell überlagert und anschließend die zeitliche Verteilung berechnet.

Es wird unterschieden:

- **hydrologisches Modell**

Der Abfluss im Kanalnetz wird über empirische Transportfunktionen und Parameter berechnet.

Bei diesem Modell können Einstau, Rückstau sowie Verzweigungen und Sonderbauwerke nur unter sehr vereinfachten Annahmen berechnet werden. Die Berechnungszeit des hydrologischen Modells ist jedoch um den Faktor 10 schneller.

- **hydrodynamisches Modell**

Das partielle hyperbolische Differentialgleichungssystem, von de Saint Venant abgeleitet, bestehend aus der Bewegungsgleichung und der Kontinuitätsgleichung und stellt die Grundlage für dieses Modell dar.

Somit kann der Abflussverlauf bzw. Wasserstands- und Geschwindigkeitsverlauf mit zusätzlichen Gleichungen für die Sonderbauwerke berechnet werden.

2.3 HYDRAULISCHE GRUNDLAGEN

Die Rohrhydraulik setzt vereinfachend voraus, dass Druck und Geschwindigkeit gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind. Weiters werden alle Berechnungen unter der Annahme einer konstanten Dichte des Transportmediums vorgenommen.

2.3.1 Kontinuitätsgleichung

Bei einem Stromröhrenabschnitt mit konstantem Durchmesser muss das eintretende Volumen gleich dem austretenden sein.

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.2)$$

Der Durchfluss Q wird durch die Geschwindigkeit v und die Querschnittsfläche A bestimmt:

$$Q = v \cdot A \quad (2.3)$$

und somit:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (2.4)$$

2.3.2 Arten des Abflusses

Man unterscheidet grundsätzlich nach der zeitlichen und örtlichen Änderung der Geschwindigkeit.

Unterscheidung nach Änderung der Zeit:

- **stationär** – keine Änderung der Geschwindigkeit während eines Zeitintervalls – z.B. Gerinne mit konstantem Oberflächenzufluss
- **instationär** – die Geschwindigkeit ändert sich innerhalb eines Zeitabschnittes – z.B. Gerinne mit veränderlichem Zufluss

Unterscheidung nach Änderung des Ortes:

- **gleichförmig** – wenn keine Änderung des Abflusses zwischen zwei Punkten stattfindet – z.B. Gerinne mit konstantem Querschnitt
- **ungleichförmig** – es findet eine Änderung der Geschwindigkeit von einem Punkt zum anderen statt – z.B. Gerinneverengung/-aufweitung

Es gäbe insgesamt vier Kombinationsmöglichkeiten, wobei nur die drei **stationär – gleichförmig**, **stationär – ungleichförmig** und **instationär** von praktischer Bedeutung sind.

2.3.3 Strömungszustände

Man unterscheidet bei einem vollgefüllten Rohr zwischen den zwei Strömungszuständen **turbulent** und **laminar**. In der Siedlungsentwässerung sind die Strömungen meist turbulent.

2.4 NUMERISCHE SIMULATION

Die gängigsten Ansätze für die numerische Simulation sind:

- **Finite Differenzen** – ein orthogonales Raum-Zeit-Gitter wird für die eindimensionale Strömungsberechnung verwendet
- **Finite Elemente** – diese Methode ist aufwendiger als die Finite-Differenzen-Methode und eignet sich für unstrukturierte, nicht orthogonale Gitter; die Massenerhaltung wird nur für das gesamte Gebiet berücksichtigt
- **Finite Volumen** – hier gilt die Massenerhaltung für jedes einzelne Element; wird bei mehrdimensionalen Strömungen verwendet
- **Charakteristiken-Methode** – bei dieser Methode wird die Differentialgleichung nur für bestimmte Bahnlinien gelöst und wird vor allem für Spezialanwendungen eingesetzt

Die Methode der finiten Differenzen wird in der Kanalnetzsimulation am Häufigsten verwendet. Es existieren grundsätzlich zwei Berechnungsverfahren:

- **Explizite Verfahren**
Es werden die Unbekannten an einem Knoten jeweils direkt berechnet. Der Zeitschritt darf nicht größer sein, als die Zeit, die ein Stoff bzw. eine Welle benötigt, um von einem Gitterpunkt zum nächsten zu wandern. Wird dieses Kriterium verletzt, entstehen numerische Instabilitäten, die sich in den Resultaten als Schwingungen manifestieren.
- **Implizite Verfahren**
Die Unbekannten an einem Knoten werden aus Werten der Nachbarknoten der vorigen und der aktuellen Zeitebene berechnet.
Implizite Verfahren sind in der Regel stabiler als explizite Verfahren.

3 Hystem-Extran

Dieses Kapitels wurde auf Basis der Modellbeschreibung von Hystem-Extran (ITWH, 2002) ausgearbeitet.

3.1 BAUWERKE

- **Schächte und Haltungen** – Einzelne Schächte, die vorwiegend durch Haltungen verbunden sind
- **Pumpen** - verknüpfen, ähnlich wie Haltungen, zwei Schächte miteinander
- **Wehre** - verknüpfen ebenfalls zwei Schächte miteinander
- **Speicherschächte** – stellen Rückhaltebecken dar
- **Auslässe** - in der Regel am Ende des Kanalnetzes, beim Einlauf in die Kläranlage, oder gegebenenfalls bei Entlastungen

3.2 OBERFLÄCHENABFLUSS – HYSTEM

Das Oberflächenabflussmodell beschreibt den Verlauf des Wassers vom Auftreffen des Regens auf den Boden bis zum Eintritt in das Kanalnetz. Bei der Ermittlung unterscheidet man zwischen:

- Abflussbildung (wie viel Niederschlag kommt zum Abfluss) und
- Abflusskonzentration (zeitliche Verteilung des Abflusses).

In HYSTEM (Hydrologisches STAdtEntwässerungs-Modell) gibt es drei verschiedene Ansätze zur Berechnung der Abflussbildung und der Abflusskonzentration:

- **Modellansatz 1:**

Die Berechnung für die Abflussbildung der undurchlässigen Flächen erfolgt mit der Grenzwertmethode unter Vorwegabzug der Muldenverluste. Die durchlässigen Flächen berechnet man nach dem Infiltrationsmodell von NEUMANN. Bei Neumann ist, im Gegensatz zum Ansatz von Horton, die Infiltrationskapazität abhängig von der Aufnahmefähigkeit des Bodens.

Mit der Standardeinheitsganglinie wird die Abflusskonzentration bestimmt.

- Dieser Modellansatz wird für die Simulation mit Einzelereignissen (Modellregen, Regenseriensimulation) verwendet.

- **Modellansatz 2:**

Die Abflussbildung für die undurchlässigen Flächen wird mit Hilfe der erweiterten Grenzwertmethode unter Vorwegabzug der Muldenverluste berechnet. Für die durchlässigen Flächen wird das Infiltrationsmodell nach HORTON angewandt.

Die Berechnung der Abflusskonzentration erfolgt mittels Linearspeicherkaskade.

→ Für die Berechnung der kontinuierlichen Abflussbildung wurde dieser Ansatz verwendet.

- **Modellansatz 3:**

Für die undurchlässigen Flächen wird der Abflussbeiwertansatz und für die durchlässigen Flächen das Infiltrationsmodell nach HORTON verwendet. Für die Abflusskonzentration wird der lineare Einzelspeicher verwendet.

→ Das dritte Modell eignet sich für die Neuerschließung von Gebieten mit geringen Angaben über die zukünftige Bebauung.

Die Abflüsse einer Haltung werden, im Gegensatz zum tatsächlichen System, in den oberen und unteren Schacht eingeleitet. In dieser Arbeit wurde zu 50 % in den oberen und zu 50 % in den unteren Schacht entwässert.

Die tatsächlichen Haltungsflächen werden in HYSTEM zu Rechtecken idealisiert. Die Einführung dieser rechtwinkligen Haltungsfläche hat den Vorteil, dass die zeitliche Verteilung der Abflüsse im Oberflächenabflussmodell berücksichtigt werden kann. Der mittlere Fließweg bis zum unterhalb liegenden Schacht ist für die Abflussberechnung von Bedeutung.

Für die Berechnung der Muldenverluste und der Abflusskonzentration durchlässiger Flächen sind Geländeneigungen erforderlich. Von den fünf Neigungsklassen in HYSTEM-EXTRAN basieren die ersten vier auf dem ATV-Regelwerk Arbeitsblatt A 118, die letzte Klasse wurde zusätzlich eingeführt:

Tab. 3.1: Neigungsklassen

Neigungsklasse	Geländeneigung
1	< 1 %
2	1 % - 4 %
3	4 % - 10 %
4	10 % - 14 %
5	> 14 %

3.3 HYDRODYNAMISCHES TRANSPORTMODELL EXTRAN (ITWH)

EXTRAN (ITWH) wurde auf der Basis eines Teilblockes des in den USA entwickelten Modells SWMM (Stormwater Management Model) entwickelt.

Zur Berechnung hydrodynamischer Abflussvorgänge in offenen Gerinnen wurden die Kontinuitätsgleichung und die Bewegungsgleichung abgeleitet. Der Kontinuitätsgleichung kommt eine größere Bedeutung zu, da bei deren Nichterfüllung die Mengenbilanz verletzt wird. Die Vereinfachung der Bewegungsgleichung ergibt hingegen eine Änderung der zeitlichen Durchflussverteilung.

Die in EXTRAN verwendete Differenzenform der **Bewegungsgleichung** lautet

$$\frac{Q_{t+\Delta t} - Q_t}{\Delta t} = 2 \cdot \bar{v} \cdot \frac{A_{t+\Delta t} - A_t}{\Delta t} + \bar{v}^2 \cdot \frac{A_2 - A_1}{L} - g \cdot \bar{A} \cdot \frac{h_2 - h_1}{L} - k \cdot Q_{t+\Delta t} \cdot v_t \quad (3.1)$$

wobei \bar{v} und \bar{A} die gewichteten Mittelwerte der Beträge am Haltungsanfang und -ende zum Zeitpunkt t darstellen.

Q_t	Durchfluss zum Zeitpunkt t
Δt	Zeitintervall
A_1 bzw. A_2	Querschnitt der Haltung am Anfang bzw. am Ende
h_1 bzw. h_2	Wasserspiegellage am Anfang bzw. am Ende der Haltung
L	Haltungslänge
k	Rauhigkeitsbeiwert
v_t	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

Die Differenzenform der **Kontinuitätsgleichung** für EXTRAN lautet

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_{t+\Delta t} - h_t}{\Delta t} = \frac{[\Sigma Q]_{t+\Delta t}}{[A_s]_t} \quad (3.2)$$

A_s dem Schacht zugeordnete Oberfläche

4 Vorgehensweise

Die Untersuchung erfolgte auf der Grundlage eines einfachen, fiktiven Systems (System A) und an einem vergleichbaren realen Kanalnetz (System B). Hierbei wurde das Kanalsystem der Stadt Linz mit seinen Umlandgemeinden verwendet.

Zur Berechnung standen Regenserien der ZAMG (Station Linz) über 12,5 Jahre in 5 min Schritten zur Verfügung. Zusätzlich wurden Modellregen des Typs Euler II mit 5-jährlicher Wiederkehrzeit zur Reihung der Ergebnisse mit Hilfe des Programms Hystem-Extran erstellt. Dabei wurde aufgrund der längsten Fließzeit, bis zur nächsten Mischwasserentlastung im Kanalsystem der Stadt Linz, eine maßgebliche Regendauer von 150 min (Anhang B Abb. B.2) und dem fiktiven System A eine Regendauer von 60 min (Anhang B Abb. B.1) zugrunde gelegt.

Die Simulationen wurden für eine Langzeitserie von 44 ausgewählten Starkregenereignissen innerhalb der zur Verfügung stehenden 12,5 Jahre durchgeführt. Nach den ersten Berechnungen wurde festgestellt, dass sich eines dieser Ereignisse wesentlich von allen Anderen abhebt. Dabei handelt es sich um einen 40 min dauernden, sehr intensiven Regen im März 1993 (siehe Anhang B Tab. B.2). Dieses Starkregenereignis weist einen um 125 % größeren Oberflächenabfluss auf als das nächstgrößere Ereignis. Folglich wurde dieses Ereignis nicht in die Bewertung einbezogen, da daraus eine statistische Verfälschung der Ergebnisse resultieren würde. Um die beiden Systeme besser vergleichen zu können, wurde sowohl für das einfache System als auch für das Vergleichssystem Linz dieselbe Langzeitserie verwendet.

Indikatoren für die Bewertung sind Überstauhäufigkeiten ($n_{\bar{u}}$) und Überstauvolumina in der Stadt, sowie Entlastungsvolumina (V_{CSO}) und der hydraulische Wirkungsgrad (η) (Abb. 4.1). Wobei der Überstau durch die Hydraulik des Kanalnetzes bestimmt wird, jedoch das Entlastungsvolumen und der Wirkungsgrad durch die Mischwasserentlastung definiert sind.

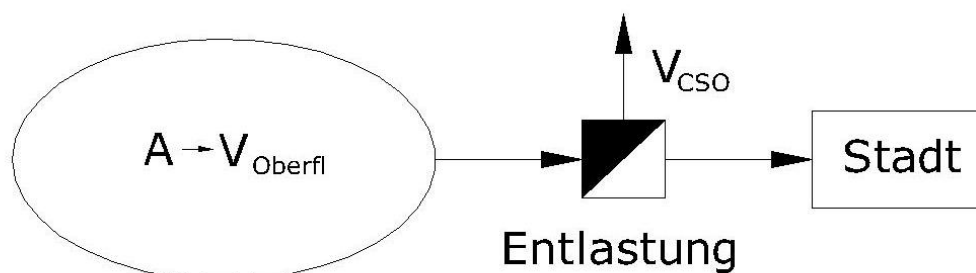


Abb. 4.1: System: Einzugsgebiet mit Entlastung

Als Überstau wird jener Zustand bezeichnet, bei dem der Wasserspiegel über der Schachtoberkante liegt. Somit ist das Überstauvolumen als die Menge des überlaufenden Wassers zu bezeichnen.

Die Überstauhäufigkeit ($n_{\ddot{u}}$) wird durch Starkregenseriensimulationen bestimmt und bezeichnet die Anzahl der Überstauereignisse dividiert durch die Regenjahre, bezogen auf einen Schacht (ATV-118, 1999).

$$n_{\ddot{u}} = \frac{x}{M} \quad (4.1)$$

- $n_{\ddot{u}}$ Überstauhäufigkeit an einem Schacht
 x Anzahl der berechneten Überstauungen
 M Anzahl der Jahre der Niederschlagsaufzeichnungen

Das ÖWAV Regelblatt 11 definiert die erlaubte Überstauhäufigkeit in Abhängigkeit von der Nutzungskategorie (siehe Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Empfohlene Überstauhäufigkeiten (ÖWAV-RB-11, 1982)

Nutzungskategorie	Häufigkeit	Wiederkehrzeit
Ländliche Wohngebiete	0,50	2 Jahre
Städtische Wohngebiete	0,33	3 Jahre
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	0,20	5 Jahre
Unterirdische Verkehrsanlagen und Unterführungen	0,10	10 Jahre

Im Gegensatz zur Überstauhäufigkeit werden das Überstauvolumen, das Entlastungsvolumen und der Wirkungsgrad mittels einer kontinuierlichen Simulation berechnet. Laut ÖWAV Regelblatt 19 (in Druck, 2006) muss dieses Kontinuum mindestens 10 Jahre umfassen. In dieser Arbeit interessiert lediglich die Auswirkung der Systemvarianten auf den Wirkungsgrad. Daher wurde abweichend vom Regelblatt 19 (in Druck, 2006) aus Zeitgründen nur ein Monat für die kontinuierliche Simulation ausgewählt und aus den entsprechenden Rechenergebnissen der Wirkungsgrad bestimmt.

Der hydraulische Wirkungsgrad wird laut ÖWAV Regelblatt 19 (in Druck, 2006) mit Formel 4.2 definiert.

$$\eta = \left(1 - \frac{V_{\text{CSO}}}{V_{\text{Oberfl}}} \right) \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Wobei V_{CSO} das gesamte Entlastungsvolumen in einer bestimmten Zeitspanne und V_{Oberfl} den totalen Oberflächenabfluss in derselben Periode darstellt (Abb. 4.1).

4.1 REIHUNG DER EINZUGSGEBIETE

Die Reihung der Gemeinden nach ihrem Einfluss auf das Entlastungsvolumen erfolgte mittels eines Modellregens des Typs Euler II mit 5-jährlicher Wiederkehrzeit.

Um den Einfluss der einzelnen Gemeinden auf das hydrodynamische Verhalten des Stadtkanalystems herauszufinden wurden mehrere modifizierte Systeme berechnet. Dabei wurde vorerst bei jeder Gemeinde, ausgehend vom Grundsystem, die abflusswirksame Fläche auf Null gesetzt. Somit wurde für jede Kommune ein eigenes, modifiziertes System erhalten. Aus den berechneten Systemen wurde jeweils das Entlastungsvolumen bestimmt. Daraus wurde mit Hilfe der spezifischen Relevanz (siehe Formel 4.3) eine sinnvolle Reihung der Umlandgemeinden nach ihrem Einfluss erhalten.

Die spezifische Relevanz ξ_c ist definiert als der Unterschied des Entlastungsvolumens ($V_{CSO}^0 - V_{CSO}^i$) im Verhältnis zur maximalen Volumendifferenz. Entsprechend für das Grundsystem (0) und das modifizierte System (i).

$$\xi_c = \frac{V_{CSO}^0 - V_{CSO}^i}{\max_{i=1}^{nc} |V_{CSO}^0 - V_{CSO}^i|} \quad (4.3)$$

In Abb. 4.2 ist als Beispiel die Reihung der Einzugsgebiete von Linz dargestellt.

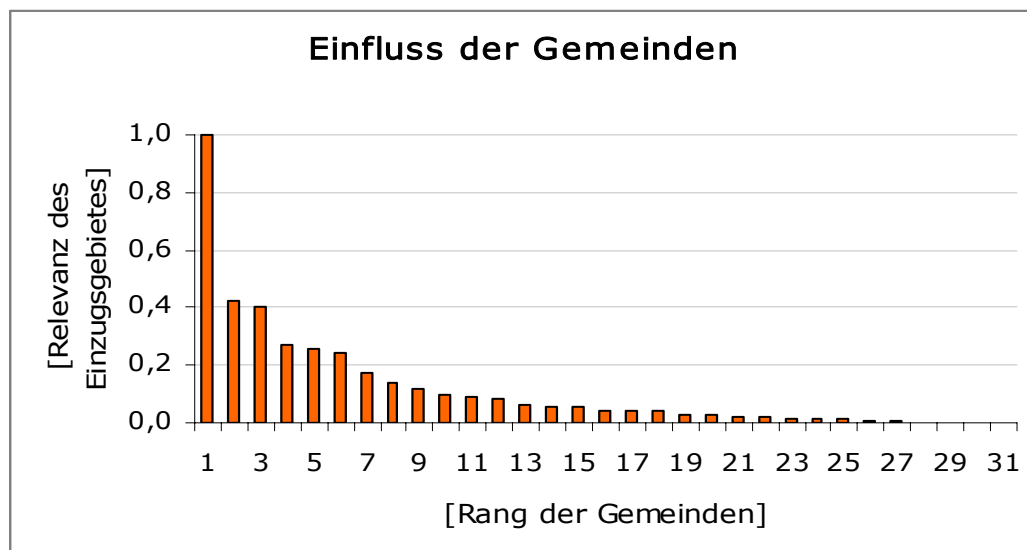


Abb. 4.2: Rang der Gemeinden am Beispiel Linz

Die Reihung der Kommunen wurde auch mittels Überstauvolumen in der Stadt durchgeführt, was jedoch keine wesentlichen Unterschiede in der Relevanz zeigte.

Zusätzlich wurden die Pumpen im System, die direkt ins Kanalnetz der Stadt führen, absteigend nach ihrer Drosselmenge gereiht (siehe Tab. C.5 und Tab. C.6 im Anhang C).

4.2 EINFLUSS VON SYSTEMUNGENAUGIGKEITEN

Von besonderem Interesse ist der Fehler, der durch die Fehlschätzung der Flächen und Drosselmengen der Umlandgemeinden entsteht. Deshalb wurden vorerst die Flächen und anschließend die gedrosselte Durchflussmenge variiert. Für die Berechnung der Abweichungen zum Grundsystem wurden wiederum mehrere modifizierte Systeme erstellt.

Die abflusswirksamen Flächen der Umlandgemeinden werden mit $\pm 20\%$, ausgehend vom Grundsystem, variiert ($F_{\text{modifiziertes System}} = F_{\text{Grundsystem}} \cdot 0,8$ bzw. $\cdot 1,2$). Sowohl beim virtuellen System, als auch beim System Linz wurde die Flächenvariation bei ausgewählten Gemeinden durchgeführt. Diese Kommunen wurden aus der vorhin bestimmten Reihung nach der Relevanz entnommen. Beim virtuellen System wurde die Variation der Flächen bei den 20, 40, 60 und 80 % (siehe Anhang C Tab. C.3) der Gemeinden, nach ihrem Einfluss gereiht, durchgeführt. Beim System Linz wurde die Flächenvariation bei den 10, 29 und 52 % (siehe Anhang C Tab. C.4) der einflussreichsten Kommunen durchgeführt. In Abb. 4.3 ist am Beispiel Linz dargestellt, welche Gemeinden für die einzelnen Berechnungen verwendet wurden. Auf die 10 % der einflussreichsten Gemeinden entfallen die ersten 3 Gemeinden und auf die 29 % die ersten 9 Kommunen.

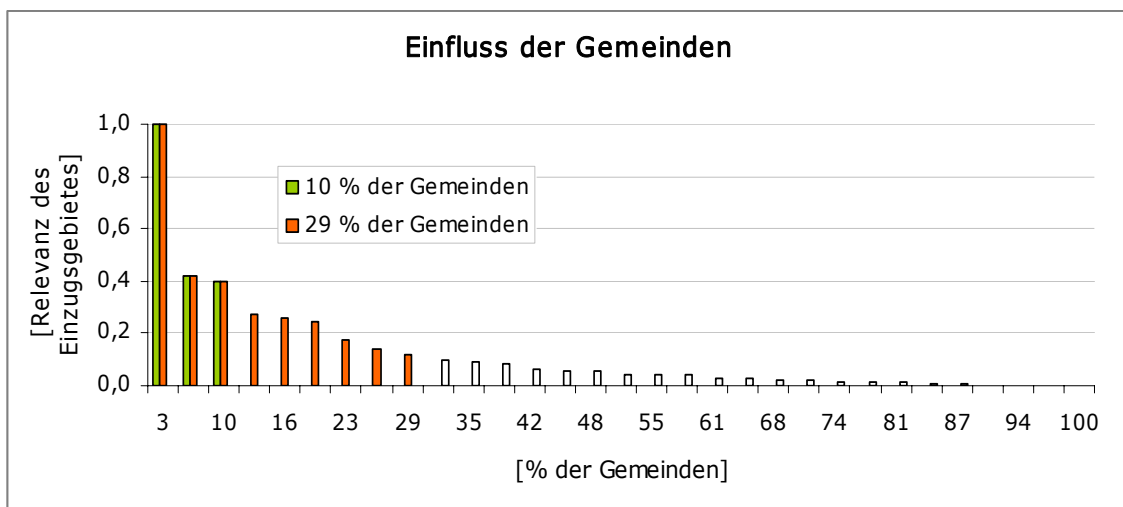


Abb. 4.3: Einfluss der Gemeinden am Beispiel Linz

Um den Einfluss der gedrosselten Zuflüsse zum Stadtkanalnetz zu analysieren, wurden die Drosseln des Ausgangssystems verdoppelt. Beim fiktiven System wurden die Berechnungen wiederum bei den 20, 40, 60 und 80 % der Pumpen, absteigend gereiht nach der Pumpmenge, durchgeführt (siehe Anhang C Tab. C.5). Für das System Linz wurde die Variation der Pumpen bei den 12, 29 und 53 % (siehe Anhang C Tab. C.6) der Pumpen durchgeführt. Zusätzlich wurden in einem gesonderten Rechenlauf bei beiden Systemen alle Pumpmengen verdoppelt, mit Ausnahme derer in der Stadt. Zusätzlich wurde zum Vergleich ausschließlich beim System A eine zusätzliche Berechnung ohne Drosselung der Abflüsse aus den Umlandgemeinden durchgeführt. Hier wurden die Pumpen durch Haltungen ersetzt.

5 Systembeschreibung

5.1 SYSTEM A

Als Grundlage für die Berechnungen dieser Diplomarbeit diente ein einfaches, fiktives System (Abb. 5.1), eigens für diese Untersuchung konstruiert. Dieses fiktive System kann als Ersatz für Entwässerungssysteme von Städten mit großen Anteilen von angeschlossenen Umlandgemeinden betrachtet werden.

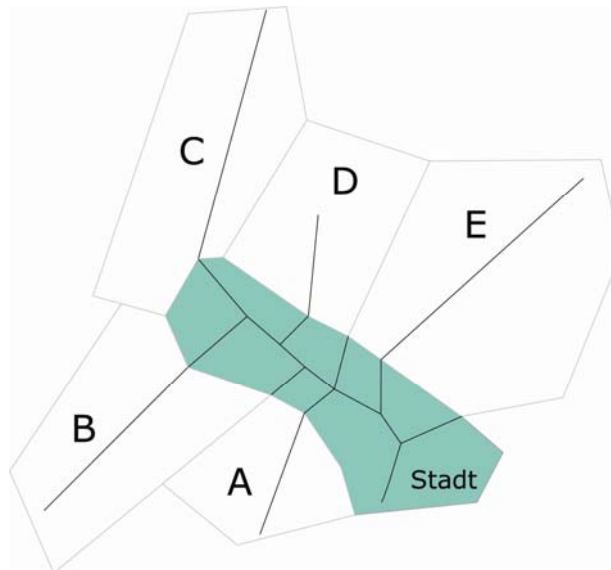


Abb. 5.1: einfaches System

Die in das Kanalnetz der Stadt entwässernden Gemeinden A - E wurden jeweils durch ein Einzugsgebiet (A_i) mit einer Haltung, einer Entlastung (V_i) und einer Drossel dargestellt (siehe Abb. 5.2 und Abb. 5.3).

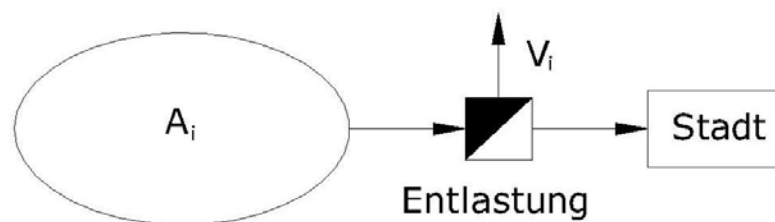


Abb. 5.2: System: Einzugsgebiet mit Entlastung

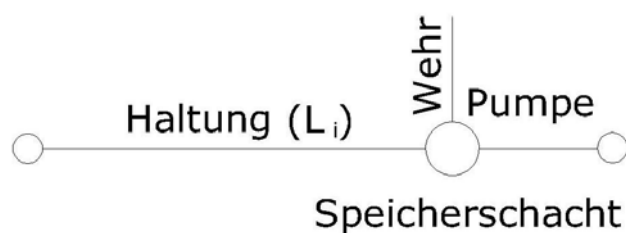


Abb. 5.3: Systemerstellung im Modell

Es wurde die Annahme getroffen, dass die reduzierte Fläche der Umlandgemeinden ein Mehrfaches der undurchlässigen Fläche der Stadt umfasst. Daraus entstand ein System mit einer gesamten reduzierten Fläche von 145 ha, wobei auf die fünf Randgemeinden gemeinsam 115 ha entfallen und im Gegensatz dazu auf die Stadt lediglich 30 ha. In Tab. 5.1 sind sämtliche Annahmen sowohl der Gemeinden A bis E als auch die der Stadt gegenübergestellt.

Tab. 5.1: Werte einfaches System

Gemeinde	Q_{TW} [l/s]	A_{red} [m ²]	A_{ges} [m ²]	Einwohner	Pumpleistung [l/s]	Speichervolumen [m ³]
A	7,78	20	40	1400	18,20	300
B	5,83	15	30	1050	13,65	225
C	3,89	10	20	700	9,10	150
D	11,67	30	60	2100	27,30	450
E	15,56	40	80	2800	36,40	600
Stadt	30,95	30	40	6000	182,65	2175

Der Anteil der undurchlässigen Fläche wurde bei den ländlichen Gebieten mit 50 % und in der Stadt mit 75 % der Gesamtfläche angenommen. Allgemein ist in den Randzonen aufgrund der historischen Entwicklung eine geringere Siedlungsdichte als im städtischen Bereich gegeben. Für die Erstellung des Systems wurde eine Einwohnerdichte von 70 EW/ha für die Landgemeinden und 200 EW/ha im Stadtgebiet festgelegt. Daraus berechneten sich die Einwohner des gesamten Einzugsgebietes zu rund 14.000. Die Einwohner der Umlandgemeinden betragen rund 8.000 und dem gegenüber die der Stadt 6.000.

Wie bereits kurz erwähnt, beruhen alle angegebenen Werte auf Schätzungen, welche jedoch teilweise auf Basis von Richtwerten festgelegt werden konnten.

Der Trockenwetterabfluss für jede Kommune wurde mit Hilfe der in Tab. 2.1 (Kapitel 2 Grundlagen) aufgeführten Werte berechnet. Aufgrund des absichtlich geringen Umfangs des einfachen Systems konnte natürlich die Auswahl der Siedlungsgröße nicht mithilfe der Einwohnerzahl erfolgen. Deshalb wurde für die Umlandgemeinden der niedrigste Wert für eine Siedlungsgröße bis zu 10.000 Einwohnern verwendet und für die Stadt die Werte für Einwohnerzahlen von 50.000 – 250.000.

Jede der fünf Randgemeinden besteht aus einer Haltung mit der vorhin geschätzten bzw. berechneten angeschlossenen Fläche und einer zusätzlichen Mischwasserentlastung mit anschließender Drossel vor der Einleitung ins Kanalnetz der fiktiven Stadt. Der gedrosselte Abfluss aus den Kommunen konnte bei der hydrodynamischen Berechnung mittels Pumpen simuliert werden. Diese wurden mit nur einer Schaltstufe ausgestattet, sodass immer die zulaufende Wassermenge abgeführt wird. Die Pumpleistung der einzelnen Gemeinden konnte laut ÖWAV Regelblatt 11 (1982) mit $0,013 \text{ l/(s.EW)}$ nach Formel 2.1 (Kapitel 2 Grundlagen) kalkuliert werden.

Ebenfalls musste bei jeder Entlastung ein Speicherschacht zur Simulation der Regenbecken und der Speicherkapazität des Kanalsystems eingegeben werden. Diese Speicherschächte wurden mit $15 \text{ m}^3/(\text{ha } A_{\text{red}})$ (ÖWAV-RB-19, 1987) dimensioniert.

Die Simulation der Mischwasserentlastungen erfolgte mittels Wehre an den Speicherschächten. Die Weherschwellen wurden jeweils auf 1 m unter Geländeoberkante gesetzt und mit einer Länge von 5 m eingegeben. Der Überfallsbeiwert wurde aus Tab. 5.2, in Abhängigkeit von der Überfallform entnommen (ITWH, 2002; Loiskandl, 2005). Hierbei wurde die Form d für scharfkantige Wehre, mit Belüftung des Überfallstrahles gewählt (siehe Abb. 5.4 d). Die Entlastungen wurden für die hydrodynamische Berechnung in Anlehnung an reale Systeme als Seitenwehre ausgebildet.

Tab. 5.2: Überfallsbeiwerte nach Poleni in Abhängigkeit von der Überfallform

Überfallform	Kronenausbildung	Überfallsbeiwert
a	breit, scharfkantig, waagrecht	0,49-0,51
b	breit, gut abgerundete Kanten, waagrecht	0,5-0,55
c	breit, vollständig abgerundet, umgelegte Stauklappe	0,65-0,73
d	scharfkantig, Überfallstrahl belüftet	0,64
e	rundkörnig, mit lotrechter Oberwasser- und geneigter Unterwasserseite	0,73-0,75
f	dachförmig, gut ausgerundet	0,79

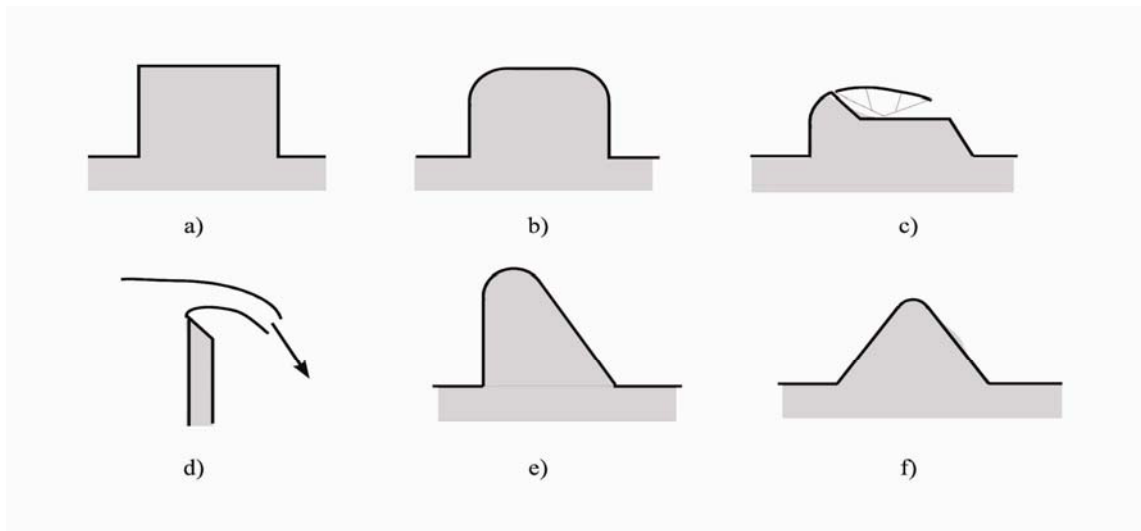


Abb. 5.4: Überfallformen

Das Kanalsystem beinhaltet folgende Elemente:

Tab. 5.3: Elemente einfaches System

	Gesamtsystem	Stadtgebiet
Schächte	21	17
Haltungen	20	15
Pumpen	6	1
Wehre	6	1
Speicherschächte	6	1
freier Auslass	1	1

Das gesamte Kanalnetz umfasst eine Länge von rund 9.200 m, wobei die längste Haltung ca. 1.500 m misst. Die Haltungen umfassen Durchmesser von 300 mm bis 1.300 mm mit Gefällen von 0,7 bis 6,3 %. Die Neigungsklassen der einzelnen Haltungen wurden alle mit 1 angenommen.

5.2 SYSTEM B

Als Vergleichssystem wurde das Einzugsgebiet der Abwasserreinigungsanlage Asten bei Linz gewählt. Dieses System ist aufgrund der umfangreichen Gemeinden im Gegensatz zum Stadtgebiet sehr geeignet für die Untersuchungen im Rahmen dieser Diplomarbeit.

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit bestand in der Erstellung und Kalibrierung des Kanalmodells der Stadt Linz aus einem Übersichtsschema der Linz AG. Hierfür wurden mehrere Einzugsgebiete zusammengefasst und an eine Haltung angeschlossen (siehe Abb. 5.2 und Abb. 5.3). Auch bei diesem Vergleichssystem wurden die in das System von Linz entwässernden Gemeinden zum Großteil durch ein Einzugsgebiet (A_i) mit einer Haltung, einer Entlastung (V_i) und einer Drossel zur Einhaltung der wasserrechtlich vorgeschriebenen Abflussmenge ersetzt. Weiters wurden alle Entlastungen einer Gemeinde zu einem Wehr und alle Regenbecken zu einem Speicherschacht zusammengefasst. Die Länge der jeweiligen Leitung (L_i) entspricht dem Abstand vom weitesten Punkt des Netzes bis zur Einleitstelle (siehe Abb. 5.3). Die Daten der Umlandgemeinden sind größtenteils Annahmen.



Abb. 5.5: vereinfachtes System von Linz mit Umlandgemeinden

Das Kanalsystem besteht aus der Entwässerung der Stadt Linz und deren zahlreichen Umlandgemeinden (Auflistung siehe Anhang C). Die Stadt Linz hat 183.000 Einwohner und die Summe der Einwohner der Gemeinden beträgt 191.000 (Regionaldatenbank, 2005).

Als Grundlage zur Erstellung und Kalibrierung des Kanalsystems (Abb. 5.5) standen ein von der Linz AG erhaltenes Übersichtsschema des gesamten Einzugsgebietes und detaillierte Lagepläne des Kanalnetzes der Stadt, sowie zahlreiche Pläne von Entlastungsanlagen und Speicherbecken zur Verfügung. Aufgrund des Grobschemas konnte ein stark vereinfachtes System der Umlandgemeinden erstellt werden. Das Simulationsnetz für die einzelnen Stadtteile wurde aus dem detaillierten Lageplan erstellt, wobei jeweils mehrere Haltungen zu einer zusammengefasst werden mussten, um zu lange Rechenzeiten zu vermeiden.

Auch die angeschlossenen Flächen wurden zur Vereinfachung, vor allem im Stadtgebiet, auf nur wenige Haltungen begrenzt.

Zusätzlich standen zur Kalibrierung vereinzelt Daten von Pumpwerken der Umlandgemeinden zur Verfügung. So konnten für diese Teilgebiete genauere Aussagen über den Anteil der undurchlässigen Fläche und die Größe der gesamten Haltungsfläche gemacht werden. Teilweise wurden die Flächen auch mittels Orthofotos geschätzt.

Auch bei diesem System wurden mithilfe von Wehren und zusätzlich angegebenen freien Auslässen Mischwasserentlastungen simuliert. Bei Wehren ohne genaue Angaben wurde hier, wie auch schon im fiktiven System, die Kammerhöhe gleich der Geländeoberkante, die Schwellenhöhe 1 m darunter und die Schwellenlänge mit 5 m bzw. in einigen Fällen mit 10 m angegeben. Für die Mischwasserentlastungen im Stadtgebiet waren genaue Angaben vorhanden, woraus die Daten ins Simulationsprogramm übertragen wurden. Die Entlastungen wurden ausschließlich als Seitenwehre ausgebildet.

Die Daten der Pumpwerke der Stadt waren größtenteils nicht vollständig oder zu ungenau, um eine konkrete Kalibrierung vorzunehmen. Deshalb wurden auch in Linz die Flächen der Einzugsgebiete mittels Orthofotos und vorhandener Studien (Flögl, 2002, 2003; Wett *et al.*, 2004) geschätzt. Mit dem Zulauf zur Kläranlage konnte zusätzlich das Gesamtsystem einigermaßen abgeschätzt werden. Daran angelehnt wurden auch die Trockenwetterzuflüsse für das gesamte Einzugsgebiet abgeschätzt. Somit wurde der gesamte Trockenwetterabfluss mit rund 1.600 l/s für die hydraulische Simulation festgelegt.

Vor jedem Pumpwerk und vereinzelt auch in anderen Bereichen des Systems wurden Speicherschächte eingesetzt. Diese Schächte stellen einerseits die Volumina der Regenbecken dar und andererseits die Speicherkapazität des Kanalsystems, die mit $10 \text{ m}^3/(\text{ha } A_{\text{red}})$ abgesichert wurde.

Das gesamte Einzugsgebiet, folglich Linz und die zugehörigen Umlandgemeinden, besteht aus einer durchlässigen Fläche von 3.489 ha und einer undurchlässigen Fläche von 8.905 ha.

Das vereinfachte System zur Berechnung beinhaltet:

Tab. 5.4: Elemente Vergleichssystem Linz

	Gesamtsystem
Schächte	846
Haltungen	259
Pumpen	54
Wehre	54
Speicherschächte	59
Schieber	2
Sonderprofile	24

Das gesamte Kanalnetz umfasst eine Länge von rund 418.000 m wobei die längste Haltung 9.560 m ist. Die Haltungen umfassen Durchmesser von 200 mm bis 3.800 mm und zusätzlich 24 Sonderprofile (siehe Anhang A Tab. A.1). Das mittlere Haltungsgefälle beträgt rund 10 ‰. Die Neigungsklassen der einzelnen Haltungen wurden aus den örtlichen Gegebenheiten mithilfe eines Höhenschichtenplanes zugeordnet.

6 Ergebnisse

6.1 SYSTEM A

6.1.1 Reihung der Einzugsgebiete

Abb. 6.1 zeigt die spezifische Relevanz ξ_c der Einzugsgebiete in Abhängigkeit vom Entlastungsvolumen (siehe Anhang C Tab. C.3).

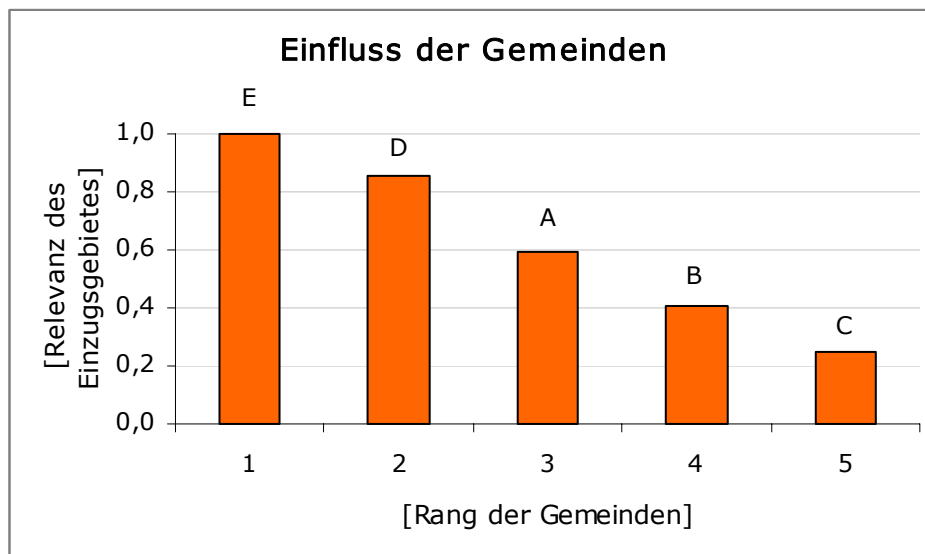


Abb. 6.1: Einfluss der Gemeinden

6.1.2 Einfluss von Systemungenauigkeiten

Wie bereits erwähnt, werden die Systemungenauigkeiten in zwei Teile geteilt:

- Variation der Flächen und
- Verdoppelung des Pumpvolumens.

6.1.2.1 Variation der Flächen

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, wird die Überstauhäufigkeit mit Hilfe von Einzelregenereignissen bzw. der statistischen Auswertung von Einzelregenereignissen berechnet. Im Gegensatz dazu erfolgt die Berechnung des Entlastungsvolumens, des Überstauvolumens und des hydraulischen Wirkungsgrades mittels einer kontinuierlichen Simulation. Im ÖWAV-Regelblatt 19 (in Druck, 2006) wird für die Berechnung des Wirkungsgrades eine Simulationsdauer von 10 Jahren vorgeschlagen.

(a) Starkregenserie

Abb. 6.2 zeigt den Einfluss der Variation der Flächen auf die Überstauhäufigkeit in der Stadt, dabei sind keine Unterschiede in den Häufigkeiten zu erkennen.

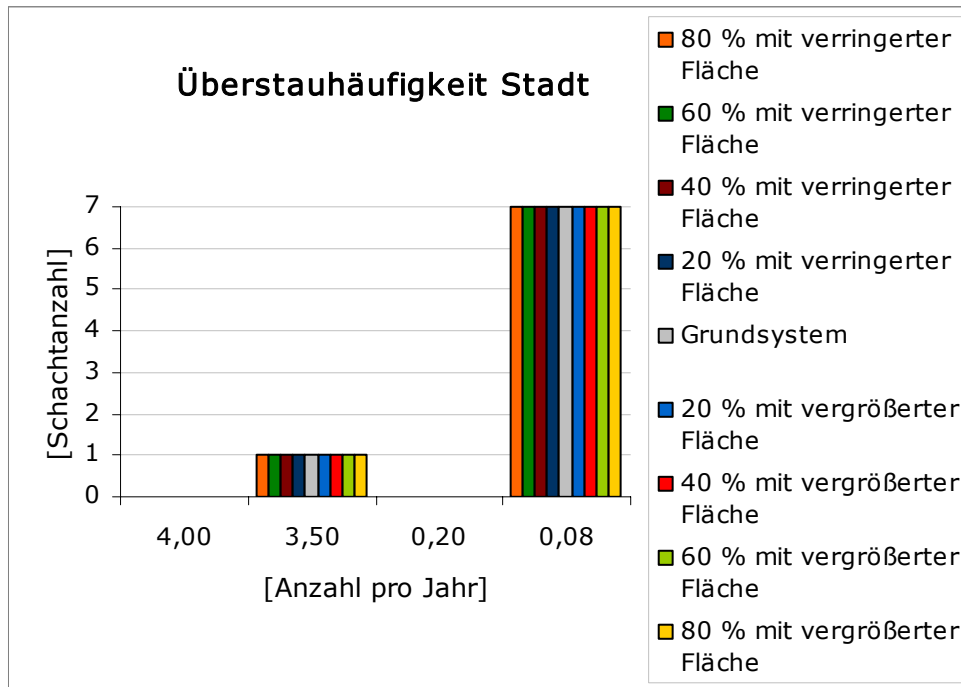


Abb. 6.2: kumulative Überstauhäufigkeit in der Stadt

(b) kontinuierliche Simulation

Im Zuge der hydrodynamischen Berechnung stellte sich heraus, dass im Mai 1994 kein Überstau beim einfachen System vorhanden ist. Für die Gegenüberstellung mit dem Vergleichssystem Linz wurde das Kanalnetz zusätzlich mit einem der stärksten Regenereignisse der 12,5 Jahre durchgerechnet. Dabei handelt es sich um ein ca. 15 min dauerndes Starkregenereignis im Juli 1997, wobei wiederum der ganze Monat berechnet wurde.

Bei den relativen Ergebnissen des Entlastungsvolumens und des hydraulischen Wirkungsgrades konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Monaten festgestellt werden.

Der Unterschied durch die Veränderung der angeschlossenen Flächen wird in den folgenden Abbildungen anhand einer kontinuierlichen Berechnung als Abweichung zum Ausgangssystem gezeigt. Einflüsse auf das Entlastungsvolumen in Abb. 6.3, im Gegensatz dazu wird in Abb. 6.4 der Wirkungsgrad dargestellt und scheint weniger sensibel zu sein. Auf die Darstellung des Überstauvolumens wurde an dieser Stelle verzichtet, da der Unterschied vernachlässigbar klein ist.

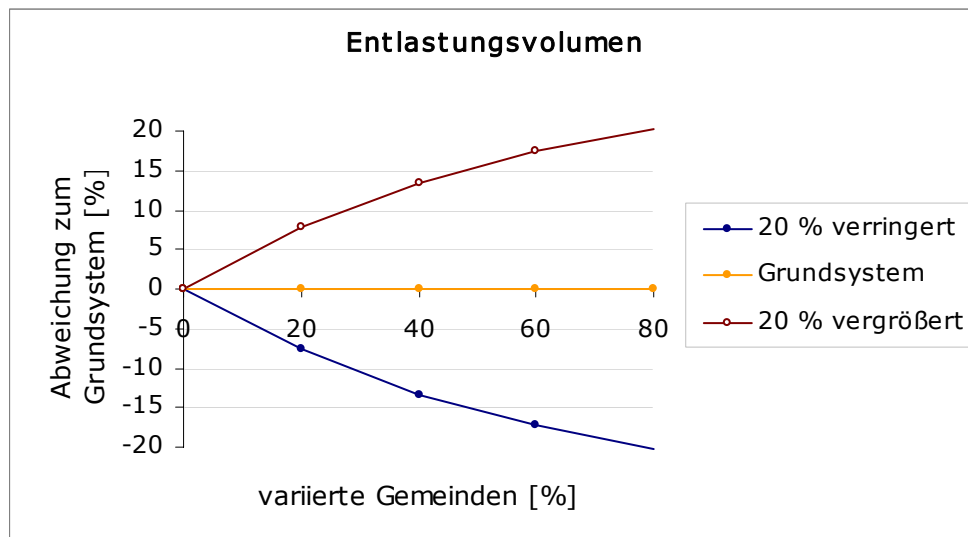


Abb. 6.3: Entlastungsvolumen

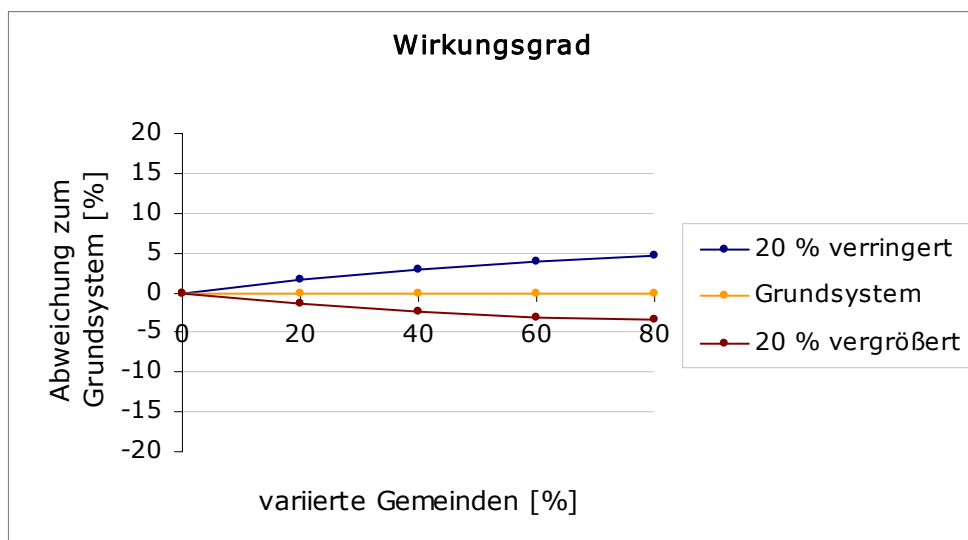


Abb. 6.4: Wirkungsgrad

6.2.2 Verdoppelung der Pumpleistung:

(a) Starkregenserie

Der Einfluss des gedrosselten Durchflusses auf die Überstauhäufigkeit ist in Abb. 6.5 gezeigt. Die größten 20, 40, 60, 80 und 100 % der Drosselstrecken, die ins Stadtkanalnetz führen, wurden verdoppelt.

Ein signifikanter Einfluss auf die Überstauhäufigkeit kann nur beim System ohne gedrosselten Abfluss beobachtet werden (Abb. 6.5).

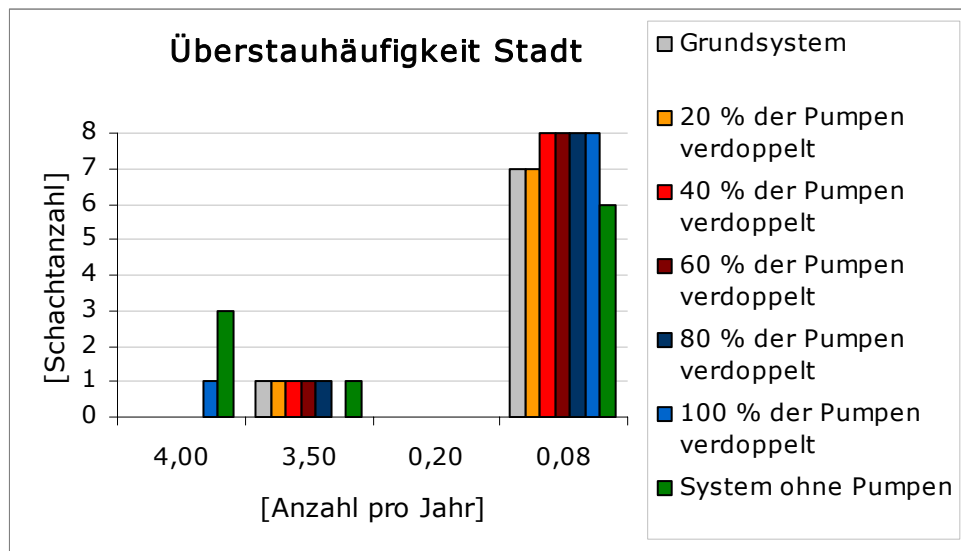


Abb. 6.5: kumulative Überstauhäufigkeit in der Stadt

(b) kontinuierliche Simulation

In den folgenden Abbildungen wird aufgrund der kontinuierlichen Berechnungen die Veränderung verschiedener Parameter durch die doppelte Drosselmenge als Abweichung zum Ausgangssystem gezeigt. Auch hier konnte im Mai 1994 kein Überstau beobachtet werden, weshalb die Berechnungen wiederum zusätzlich mit den Regendaten vom Juli 1997 durchgeführt wurden. Die Einflüsse auf das Überstauvolumen sind in Abb. 6.6, und die auf das Entlastungsvolumen sind in Abb. 6.7 gezeigt. Im Gegensatz dazu wird in Abb. 6.8 die Effizienz der Mischwasserweiterleitung dargestellt.

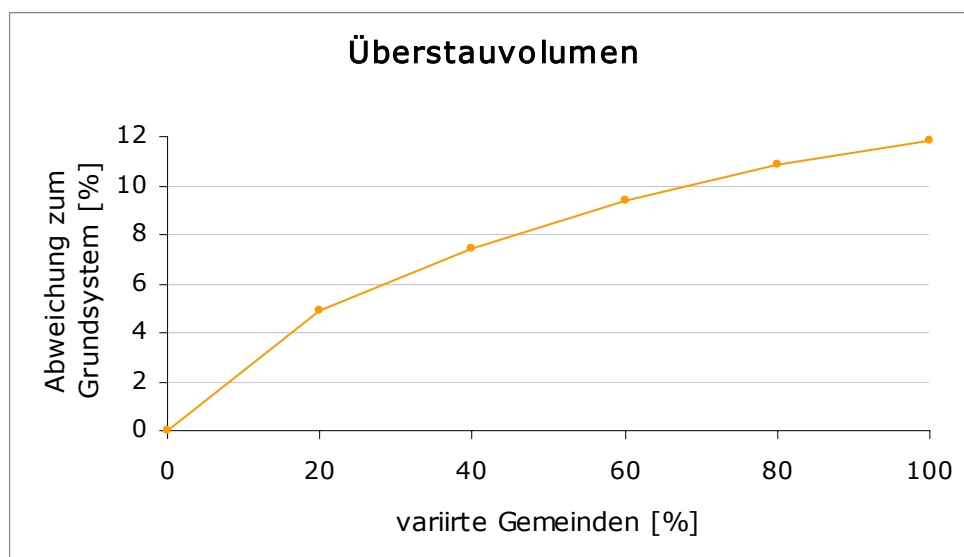


Abb. 6.6: Überstauvolumen

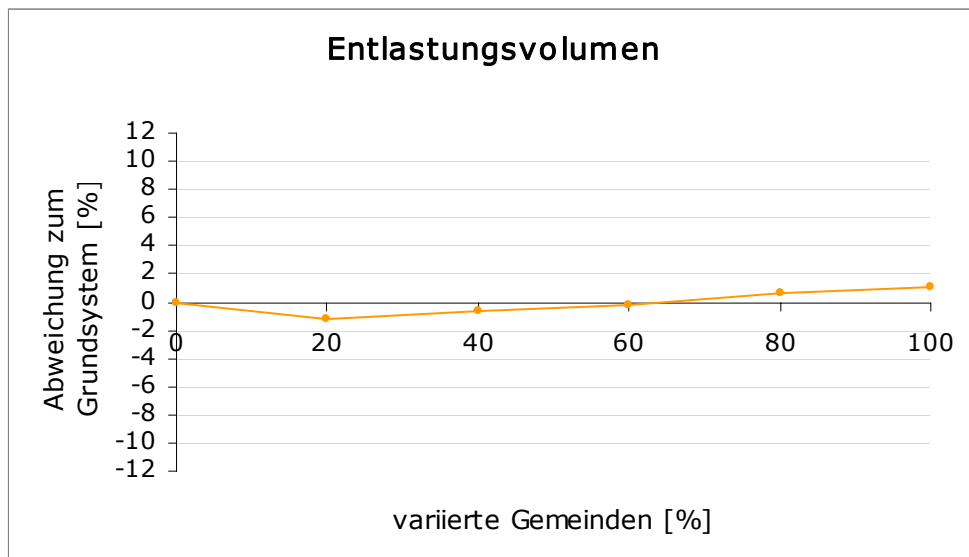


Abb. 6.7: Entlastungsvolumen

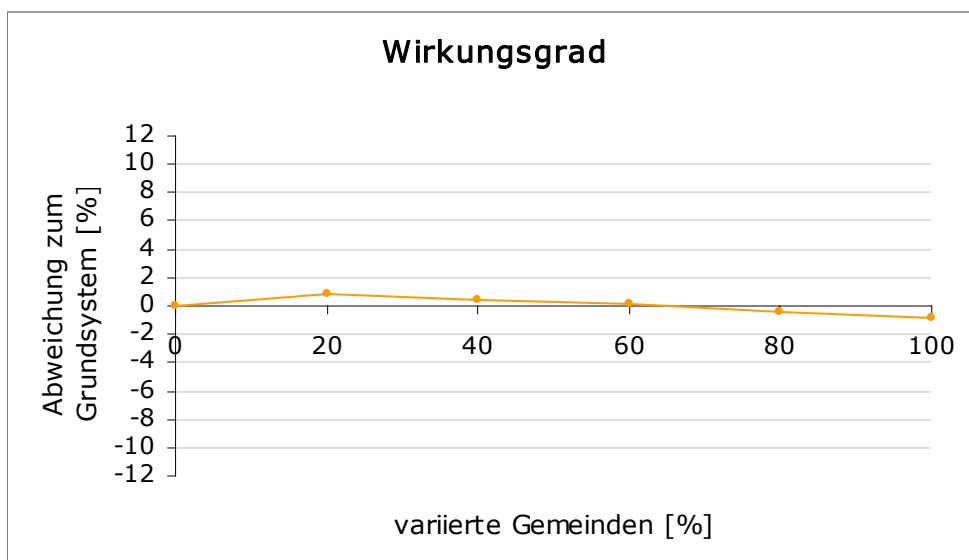


Abb. 6.8: Wirkungsgrad

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Erhöhung der Drosselmenge keinen wesentlichen Einfluss auf das Entlastungsvolumen und somit auch nicht auf den Wirkungsgrad hat. Das Überstauvolumen hingegen nimmt stetig zu, wodurch der Abfluss verzögert wird.

6.2 SYSTEM B

6.2.3 Reihung der Einzugsgebiete

Auch beim Vergleichssystem Linz mit seinen Umlandgemeinden wird die Reihung der Gemeinden mit der spezifischen Relevanz ξ_C (Tabelle siehe Anhang C) angegeben.

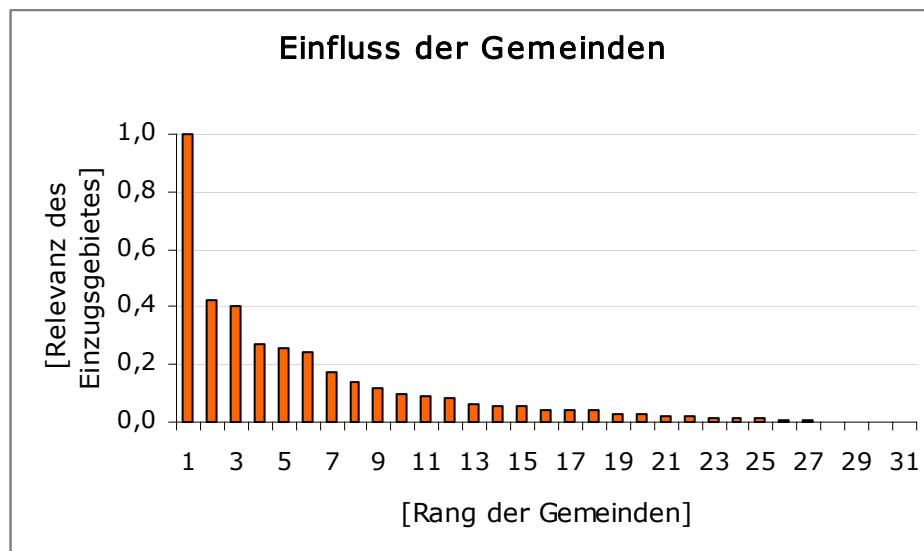


Abb. 6.9: Einfluss der Umlandgemeinden von Linz

Hier wurde zusätzlich das Überstauvolumen absteigend gereiht, was zu einem ähnlichen Ergebnis führte und deshalb nicht dargestellt wurde. Nur kleine, vernachlässigbare Abweichungen, die die Reihung von einigen Gemeinden betrifft, konnten bei einem Vergleich der zwei Fälle festgestellt werden.

Die dominante Gemeinde, welche den größten Einfluss hat, liegt nahe der Stadt. Grund für den ersten Rang der Gemeinde ist ein Bach im Einzugsgebiet, der aufgrund der historischen Entwicklung des Systems ungedrosselt ins Kanalnetz eingeleitet wird (siehe Abb. 6.10). Bei Trockenwetter fließt kein bzw. nur sehr wenig Wasser. Bei Regen hat der Bach einen sehr großen Einfluss auf das Entwässerungssystem.

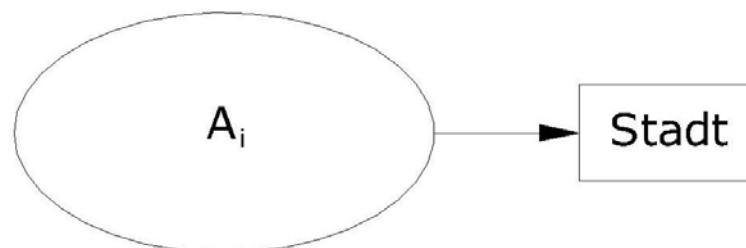


Abb. 6.10: System: Einzugsgebiet ohne Entlastung

6.2.4 Einfluss von Systemungenauigkeiten

Wie bereits beim einfachen System, werden auch hier die Systemungenauigkeiten in zwei Teile geteilt:

- Variation der Flächen und
- Verdoppelung des Pumpvolumens.

6.2.4.1 Variation der Flächen

(a) Starkregenserie

In Abb. 6.11 ist der Einfluss der variierten Flächen auf die Überstauhäufigkeit in Linz gezeigt. Es sind keine nennenswerten Unterschiede in den Häufigkeiten zu erkennen.

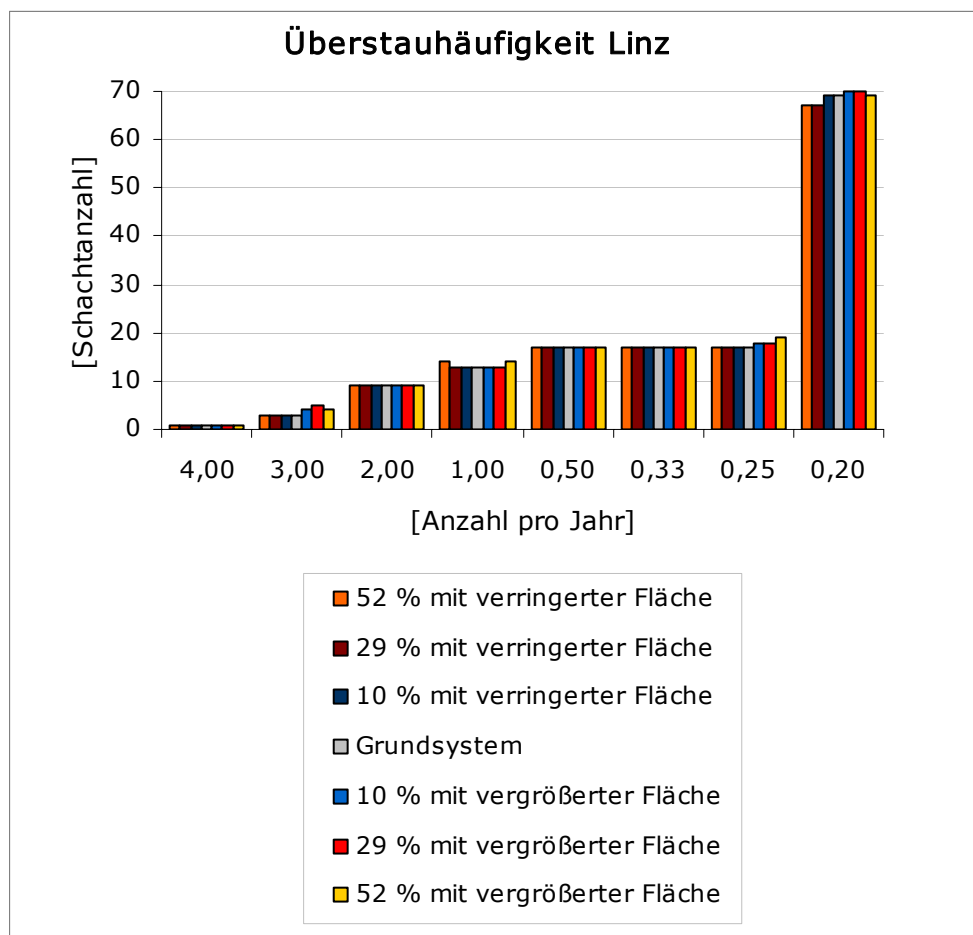


Abb. 6.11: kumulative Überstauhäufigkeit in Linz

(b) kontinuierliche Simulation

Wie bereits beim einfachen System wurde auch in Linz die Veränderung der angeschlossenen Flächen anhand einer kontinuierlichen Berechnung als Abweichung zum Ausgangssystem ausgewertet. Die Einflüsse auf das Überstauvolumen sind in Abb. 6.12 und jene auf das Entlastungsvolumen in Abb. 6.13 dargestellt. Die weniger empfindliche Auswirkung auf die Schmutzwasseremissionen ist in Abb. 6.14 zu sehen.

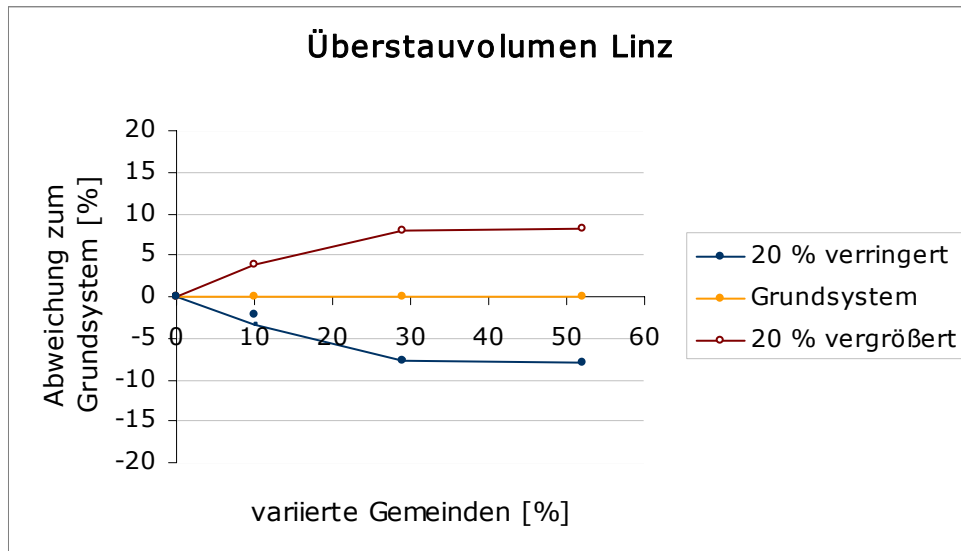


Abb. 6.12: Überstauvolumen in Linz

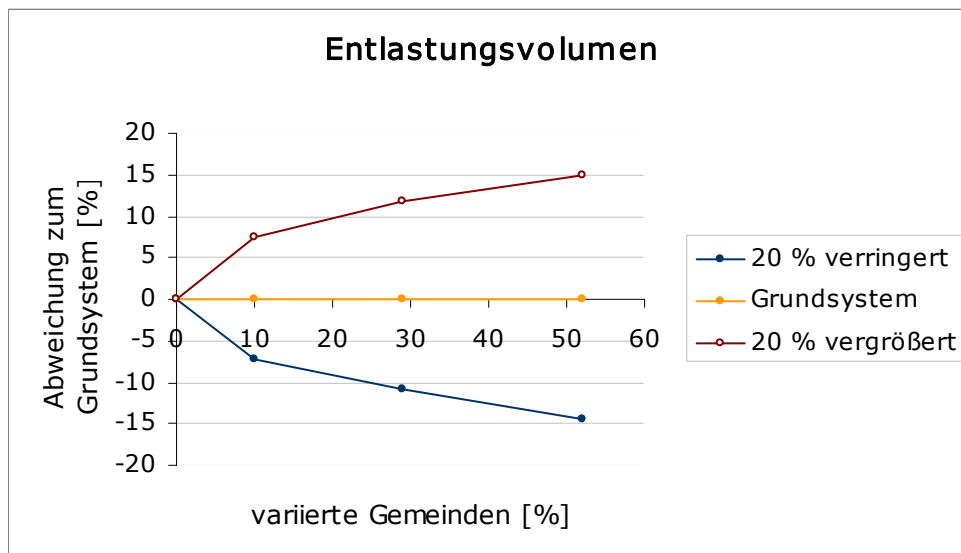


Abb. 6.13: Entlastungsvolumen Linz und Umlandgemeinden

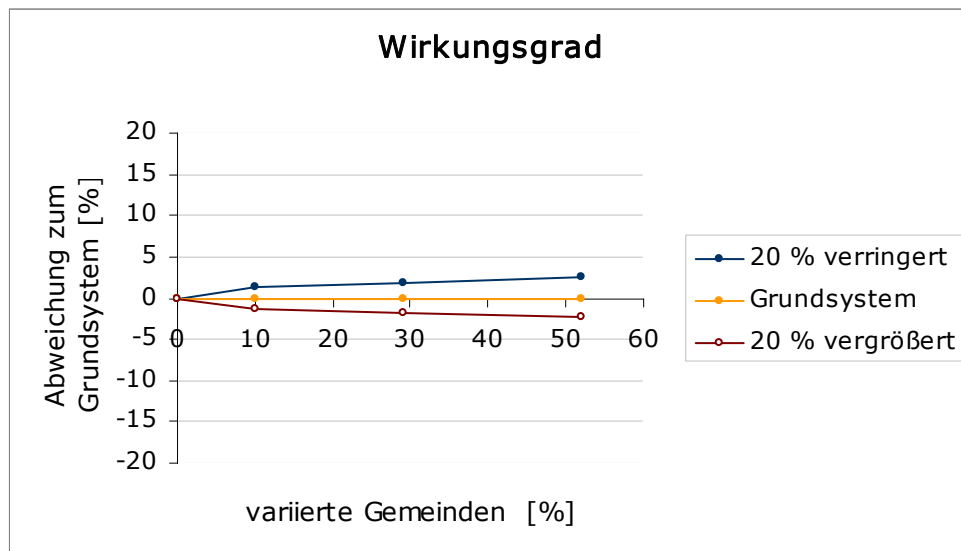


Abb. 6.14: hydraulischer Wirkungsgrad

6.2.4.2 Verdoppelung der Pumpleistung:

(a) Starkregenserie

Ebenfalls wurde beim Vergleichssystem der Einfluss der Drosselstrecken auf die Überstauhäufigkeit untersucht und ist in Abb. 6.15 dargestellt. Hierfür wurde die Fördermenge der stärksten 12, 29 und 53 % der Pumpen verdoppelt. Zum Vergleich wurden alle Pumpmengen im System, mit Ausnahme jener in der Stadt, um 100 % erhöht.

Wie in Abb. 6.15 zu sehen, zeigt die verdoppelte Drosselmenge nahezu keinen Einfluss auf die Überstauhäufigkeit.

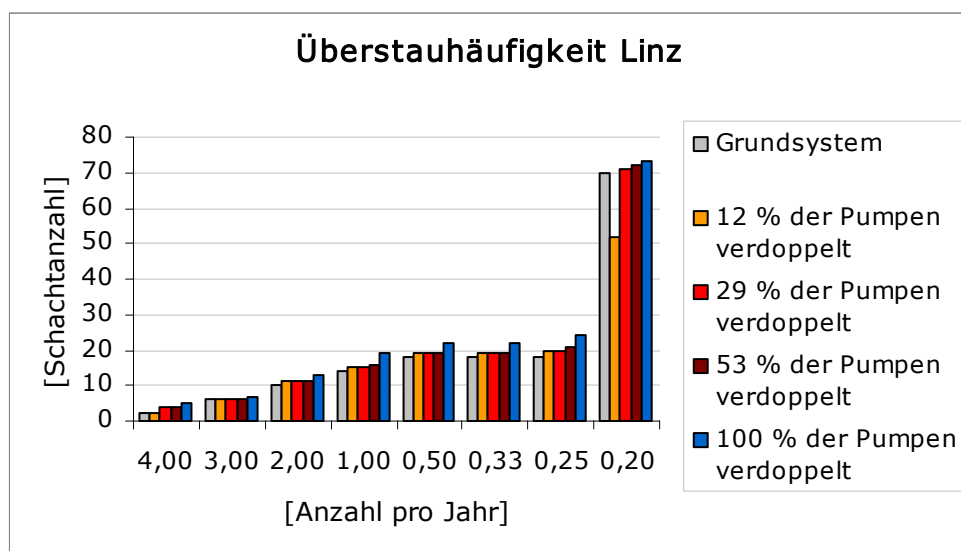


Abb. 6.15: kumulative Überstauhäufigkeit in Linz

(b) kontinuierliche Simulation

Die Veränderung der Drosselmenge wird in den folgenden Abbildungen anhand einer kontinuierlichen Berechnung als Abweichung zum Ausgangssystem gezeigt. Einflüsse auf das Überstauvolumen werden in Abb. 6.16 und Einflüsse auf das Entlastungsvolumen werden in Abb. 6.17 gezeigt. Im Gegensatz dazu wird in Abb. 6.18 der Wirkungsgrad dargestellt.

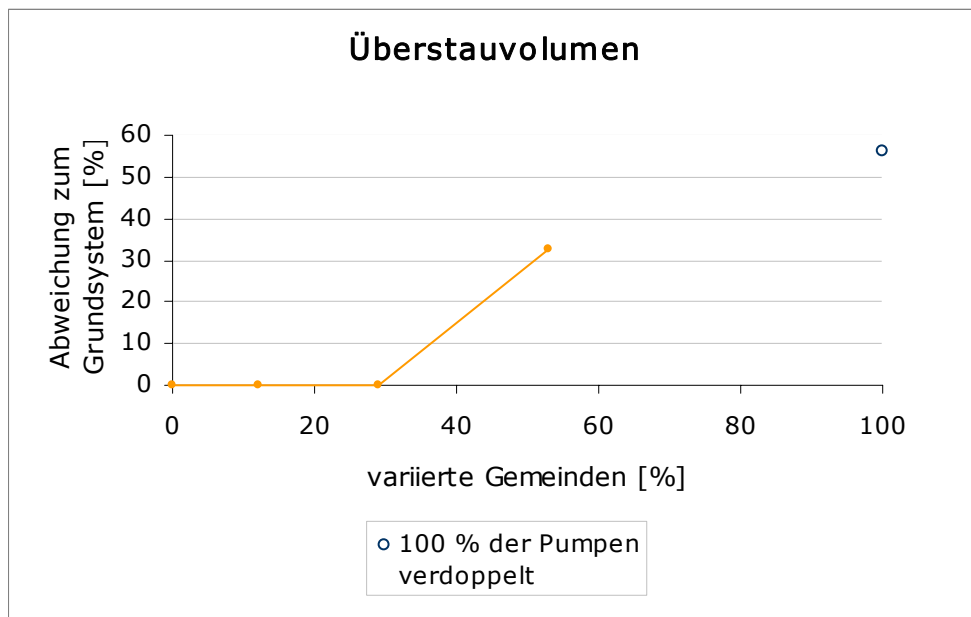


Abb. 6.16: Überstauvolumen in Linz

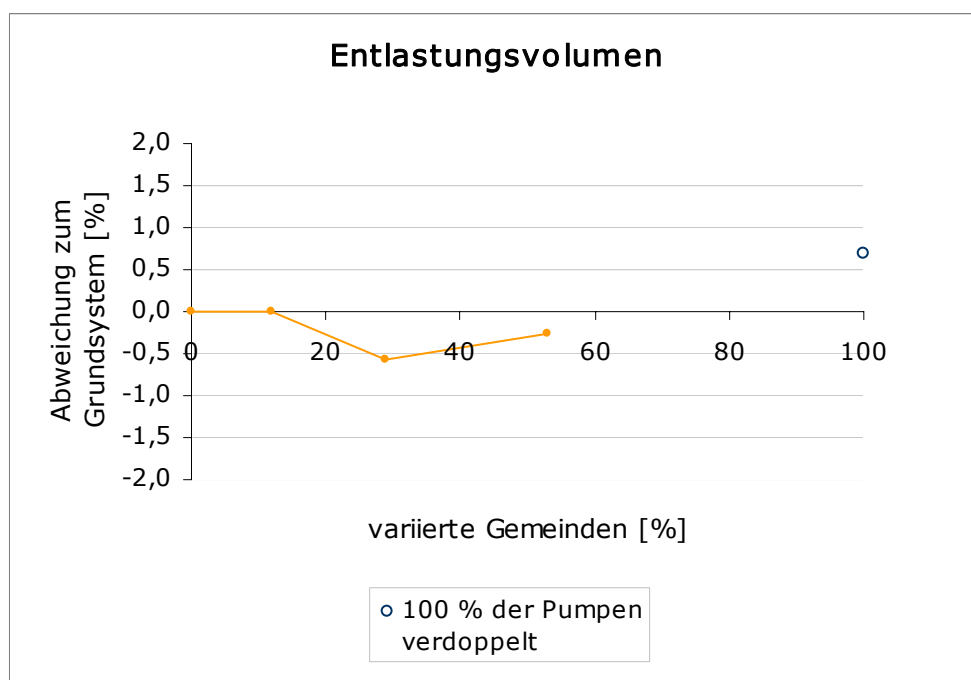


Abb. 6.17: Entlastungsvolumen Linz und Umlandgemeinden

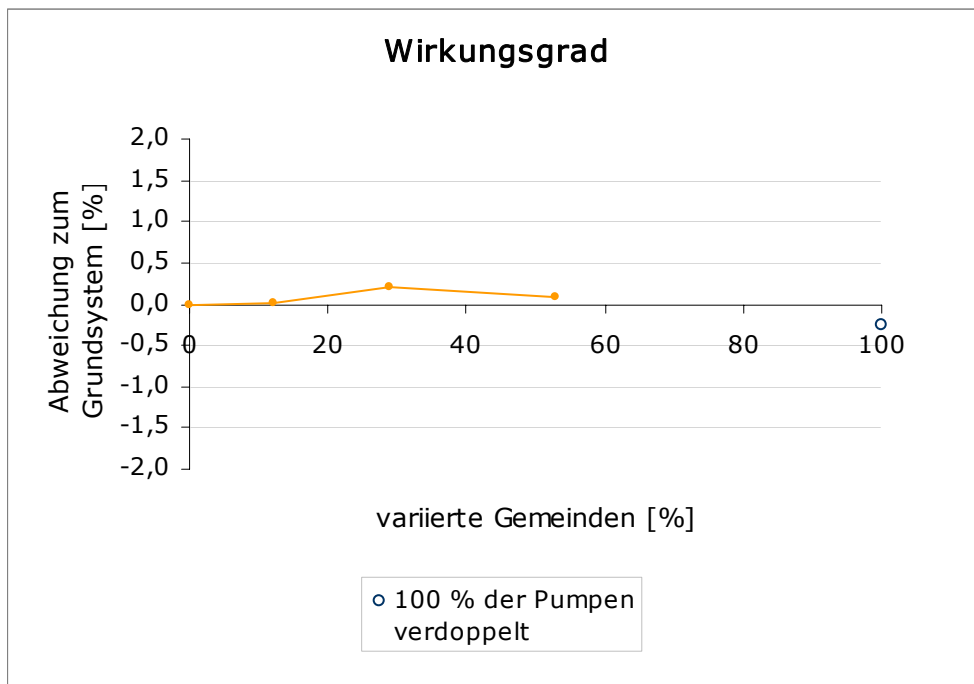


Abb. 6.18: hydraulischer Wirkungsgrad

7 Diskussion

7.1 SYSTEM A

7.1.1 Reihung der Einzugsgebiete

Wie bereits erwähnt, wurde zu Beginn der Untersuchung die Reihung der Umlandgemeinden nach deren Einfluss auf das Entwässerungssystem der Stadt vorgenommen (Abb. 6.1). Dies konnte mithilfe der Änderung der charakteristischen Eigenschaften der umliegenden Kommunen und anschließender Evaluierung der Abweichung, im Vergleich zum Grundsystem, unter Verwendung eines Modellregens vom Typ Euler II mit fünfjähriger Wiederkehrzeit erreicht werden.

Diese Arbeit wurde mit der Reihung nach dem Entlastungsvolumen durchgeführt, wobei die Gemeinde mit der größten Abweichung zum Grundsystem an erster Stelle steht. Weiters ist im Entlastungsvolumen auch der Abfluss der Umlandgemeinden inkludiert (Tab. C.3).

Wie erwartet, ist beim System A die Gemeinde mit dem größten Einfluss auf das Entlastungsvolumen auch diejenige mit der größten angeschlossenen Haltungsfläche. Diese vereinfachte Aussage kann allerdings nur für Systeme gelten, deren Drosselabfluss von der Größe des angeschlossenen Einzugsgebietes abhängig ist, wie es bei dem virtuellen System in dieser Arbeit der Fall ist (siehe auch Kapitel 5 Systembeschreibung).

7.1.2 Einfluss von Systemungenauigkeiten

7.1.2.1 Starkregenserie

Die Langzeitsimulation zeigte keinen erheblichen Einfluss auf das hydrodynamische Verhalten der Stadt (Abb. 6.2). Bei den Simulationen der 43 stärksten Regenereignisse der letzten 12,5 Jahre wurden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass zwischen den Gemeinden und dem Stadtkanalnetz jeweils eine Drossel angeordnet ist. Da die gedrosselte Abflussmenge geringer ist als die maximal mögliche, kommt nur ein kleiner Teil des Abwassers bei Starkregenereignissen wirklich im System der Stadt an, der Rest geht über die Regenentlastungen in die Vorfluter. Somit kann die Aussage getroffen werden, dass für die Überstauhäufigkeit der innerstädtischen Schächte fast ausschließlich die angeschlossene Fläche, die Art und der Umfang des Kanalnetzes in der inneren Stadt ausschlaggebend ist.

Deshalb hat die Flächenvariation alleine nur geringe Auswirkung. Vielmehr übt die Kombination aus Flächenvariation und Drosselabfluss großen Einfluss aus. Ein Einzugsgebiet mit kleiner Fläche und keiner Drosselung des Abflusses kann eher einen Einfluss auf das Überstauverhalten der Stadt haben, als ein umfangreiches Gebiet mit starkem Drosselabfluss. Somit ist die Fläche innerhalb der Stadtgrenzen von größter Bedeutung für die Überstauhäufigkeit der Schächte.

Um diese Ergebnisse überprüfen bzw. ergänzen zu können, wurden zusätzliche Rechenläufe mit variierten Drosselmengen gemacht. Dazu wurden jeweils die 20, 40, 60, 80 und 100 % der größten Pumpmengen verdoppelt. Auch bei diesen Kalkulationen konnte kein signifikanter Einfluss auf das Überstauverhalten des Kanalsystems der Stadt beobachtet werden.

Weiters wurden beim System A alle Drosseln aus dem Simulationsmodell genommen, um den gesamten Abfluss der Gemeinden weiterzuleiten. Daraus ergab sich eine wesentlich höhere Anzahl an überstauten Schächten im Stadtgebiet. Diese Resultate zeigen deutlich, dass die Überstauhäufigkeit primär von der Beziehung des Drosselabflusses, zum maximal möglichen Abfluss des Kanals unterhalb, abhängig ist.

7.1.2.2 Kontinuierliche Simulation

Zusätzlich wurden alle Berechnungen mit einer kontinuierlichen Zeitspanne von einem Monat durchgeführt. Der Entschluss fiel vorerst auf das repräsentative Regenintervall vom Mai 1994. Später wurde aufgrund des fehlenden Überstaus beim einfachen System eine weitere Kalkulation für den Juli 1997 gemacht. Bei diesen Berechnungen wurden das Überstauvolumen der Stadt, das totale Entlastungsvolumen (Abb. 6.3) und zusätzlich der hydraulische Wirkungsgrad (Abb. 6.4) verglichen.

Da zwischen den beiden Regenereignissen bei den Flächenvariationen nur marginale Unterschiede beim Entlastungsvolumen und beim Wirkungsgrad festgestellt werden konnten, wurden die weiteren Vergleiche mit den Ergebnissen aus dem Regenintervall vom Juli 1997 durchgeführt.

Auf die Darstellung des Überstauvolumens wurde an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum Grundsystem nur sehr gering sind. Dies ist vermutlich auf die Auslegung der Pumpen auf die Einwohneranzahl und die Festlegung einer konstanten Siedlungsdichte (siehe Kapitel 5 Systembeschreibung) zurückzuführen. Deshalb wird bereits in den Umlandgemeinden das zusätzlich anfallende Wasser entlastet und kann somit nicht zu einem erhöhten Überstauvolumen in der Stadt führen.

Beim Entlastungsvolumen (Abb. 6.3) kann eine gegensätzliche Tendenz beobachtet werden. Es steigt stetig, vom Grundsystem über die 20, 40 und 60 %, bis hin zur Veränderung der Flächen bei 80 % der Gemeinden. Durch die Änderung der Fläche bei 80 % der Umlandgemeinden kann bereits eine relative Abweichung zum Grundsystem von rund 20 % beobachtet werden. Das heißt, dass bei einer Fehleinschätzung der Fläche ($\pm 20\%$) von 80 % der Umlandgemeinden, der Fehler ca. 20 % beträgt.

Der hydraulische Wirkungsgrad zeigt sich, im Vergleich zum entlasteten Volumen, nahezu unempfindlich auf die Veränderungen bei den Umlandgemeinden. Wobei man durch die signifikante Zunahme des Entlastungsvolumens auf einen erheblichen Abfall des Wirkungsgrades schließen könnte. Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Der Grund liegt vermutlich darin, dass auch das Überstauvolumen simultan zunimmt. Ein weiterer Grund dafür ist der Rücklauf des überstauten Wassers in die Kanalisation nach Ende des Starkregenereignisses. Somit entsteht ein Puffer, der die Verzögerung des Abflusses zur Folge hat.

Das Überstauvolumen bei der Variation der Pumpen steigt mit der Erhöhung der Anzahl der Drosseln (siehe Abb. 6.6). Da durch die Verdoppelung der Pumpleistung nun mehr Wasser weitergeleitet wird, ist das Kanalnetz der Stadt immer mehr überlastet, woraus die größeren Überstauvolumina resultieren.

Beim Entlastungsvolumen und auch beim Wirkungsgrad konnte wie in Abb. 6.7 und Abb. 6.8 ersichtlich, kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden. Dies kann vermutlich auf die Vergrößerung des Überstauvolumens zurückgeführt werden. Dadurch fließt das überschüssige Abwasser erst nach Ende des Regenereignisses in die Kanalisation der Stadt und kann somit in die Kläranlage weitergeleitet werden. Durch den direkten Zusammenhang von Entlastungsvolumen und Wirkungsgrad (siehe Formel 4.2) kann auch dessen geringe Änderung auf den Überstau zurückgeführt werden.

7.2 SYSTEM B

7.2.1 Reihung der Einzugsgebiete

Beim Vergleichssystem Linz wurde zusätzlich zur Reihung nach dem Entlastungsvolumen auch die nach dem Überstauvolumen durchgeführt. Die ersten 29 % der Gemeinden waren für beide Reihungen identisch. Zwischen den 29 und 52 % sind kleine Abweichungen vorhanden, wobei diese zu vernachlässigen sind.

Wie bereits beim fiktiven System wurde auch hier, aufgrund der Vergleichbarkeit und des geringen Unterschiedes, die Reihung nach dem Entlastungsvolumen durchgeführt (Abb. 6.9).

Im Gegensatz zum System A kann bei einem realen System B nicht nur von der Größe des Einzugsgebietes auf die Entlastungsmenge geschlossen werden. Bei bestehenden Netzen ist die Drosselmenge meist von anderen Parametern abhängig, da sich die versiegelte Fläche, die Einwohnerzahl und somit auch der Abfluss im Laufe der Jahre ändert. Allerdings wurde beim Vergleichssystem Linz festgestellt, dass die Gemeinde mit dem größten Einfluss ungedrosselt an das Kanalnetz der Stadt angeschlossen ist und den umfangreichsten Abfluss bei Regenwetter hat.

7.2.2 Einfluss von Systemungenauigkeiten

7.2.2.1 Starkregenserie

Wie in Abb. 6.11 dargestellt, zeigte die Langzeitsimulation auch beim Vergleichssystem Linz keinen wesentlichen Einfluss auf das hydrodynamische Verhalten der Stadt. Die Überstauhäufigkeit wurde hier mit der Variation der Flächen der ersten 10, 29 und 52 % der Gemeinden ermittelt.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden zusätzliche Kalkulationen mit variierten Pumpmengen durchgeführt (Abb. 6.15). Dazu wurden die 12, 29 und 53 % der größten Drosselmengen verdoppelt. Dies aber nur bei denen, die direkt ins Stadtkanalnetz führen. Auch hier konnte kein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Bei einem weiteren Rechenlauf wurden alle Drosseln im System, außerhalb der Stadtgrenze um 100 % erhöht. Für die Anzahl der überstauten Schächte war diese Verdoppelung jedoch von geringer Bedeutung. Wie schon beim fiktiven System zeigen auch diese Ergebnisse, dass die Überstauhäufigkeit wesentlich vom Vorhandensein von Drosseln und der entwässernden Fläche im Stadtgebiet abhängig ist.

7.2.2.2 Kontinuierliche Simulation

Wie schon zuvor, wurden auch hier die Berechnungen durch eine kontinuierliche Simulation ergänzt. Dies geschah wiederum mit der Kalkulation des Mai 1994. Zu den Ergebnissen zählen erneut das Überstauvolumen (Abb. 6.12), das Entlastungsvolumen (Abb. 6.13) und der hydraulische Wirkungsgrad des Systems (Abb. 6.14).

Im Gegensatz zum einfachen System konnte beim Kanalnetz der Stadt Linz ein bedeutender Unterschied beim Überstauvolumen beobachtet werden. Der Unterschied der Überstauvolumina zwischen dem 29 und 53 % Ereignis ist kleiner als 3 %. Daraus lässt sich schließen, dass mit den ersten 29 % die einflussreichsten Gemeinden abgedeckt sind.

Die Ergebnisse für den Vergleich des Entlastungsvolumens sind ausgeprägter. Wie Abb. 6.13 zeigt, liegt die Abweichung vom Grundsystem bei 52 % der Gemeinden bei ± 15 %. Bei 30 % beträgt dieser Unterschied 10 – 11 %. Daraus folgt eine Abweichung zwischen 29 und 52 % der Kommunen von 4 %.

Beim hydraulischen Wirkungsgrad ist ebenfalls ein geringer Anstieg der Kurve zu beobachten. Dies liegt vermutlich auch hier an der simultanen Zunahme des Überstauvolumens und zusätzlich am großen Puffer des Systems.

Die Pumpenvariation wurde bei den 12, 29 und 53 % der leistungsstärksten Pumpen durchgeführt. Das Überstauvolumen (siehe Abb. 6.16) ändert sich bis zu den 29 % nicht merklich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die ersten 29 % an Stellen ins Kanalnetz von Linz einleiten, die noch genügend Ressourcen aufweisen. Danach steigt das Überstauvolumen stark an, da an diesen Stellen das Netz bereits beim Grundsystem überlastet war.

Das Entlastungsvolumen (Abb. 6.17) ändert sich bis zu den ersten 12 % kaum, was wiederum auf die Lage der verdoppelten Pumpen zurückzuführen ist. Anschließend wird das Entlastungsvolumen geringer, da das System Linz, wie bereits beim Überstauvolumen, die größere Wassermenge an dieser Stelle ohne Probleme aufnehmen kann und von den Umlandgemeinden mehr Wasser abtransportiert werden kann. Ab den 29 % fällt die Kurve wieder ab, folglich kann das System nicht mehr so viel Abwasser aufnehmen und entlastet mehr. Bei der Verdoppelung aller Pumpen in den Umlandgemeinden ist ein wesentlich größeres Entlastungsvolumen als beim Grundsystem gegeben. Für den hydraulischen Wirkungsgrad (Abb. 6.18) gilt auch hier dasselbe wie für das Entlastungsvolumen.

7.3 SYSTEM A VS. SYSTEM B

7.3.3 Starkregenserie

Bei der Langzeitsimulation von 43 Regenereignissen sind bei beiden Systemen nahezu keine Unterschiede bei den Variationen erkennbar. Wie bereits erwähnt, konnte nur für den Fall des Austausches der Drosselstrecke durch eine Haltung eine relevante Erhöhung der Überstauhäufigkeit beobachtet werden.

7.3.4 Kontinuierliche Simulation

Die kontinuierliche Simulation wurde für den Mai 1994 und zusätzlich beim einfachen System mit dem Juli 1997 durchgeführt.

(a) Flächenvariation

Wie bereits erwähnt, konnte beim einfachen System im Gegensatz zum Vergleichssystem Linz keine Veränderung des Überstauvolumens durch die Änderung der Flächen der Umlandgemeinden festgestellt werden. Dieser Unterschied liegt vermutlich an dem exakt bemessenen einfachen System. Im Gegensatz dazu sind beim Vergleichssystem Linz die Drosselabflüsse zum Großteil auf zukünftige Werte bemessen und können somit bei größerem Abwasseranfall auch mehr weiterleiten.

Wie in Abb. 7.1 dargestellt kann beim Entlastungsvolumen durch den Vergleich der prozentuellen Abweichung beider Systeme kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden. Der flachere Verlauf der Kurven beim einfachen System kann aus der geringeren Anzahl der Gemeinden geschlossen werden. Zusätzlich ist bei realen Systemen das Kanalnetz komplizierter aufgebaut als bei dem einfachen System in dieser Arbeit. Die unterschiedlichen Abstufungen bei der Relevanz ξ_C (siehe Formel 4.3) des Einzugsgebietes dürften ebenfalls einen Einfluss auf diesen geringen Unterschied haben (siehe Abb. 6.1 und Abb. 6.9).

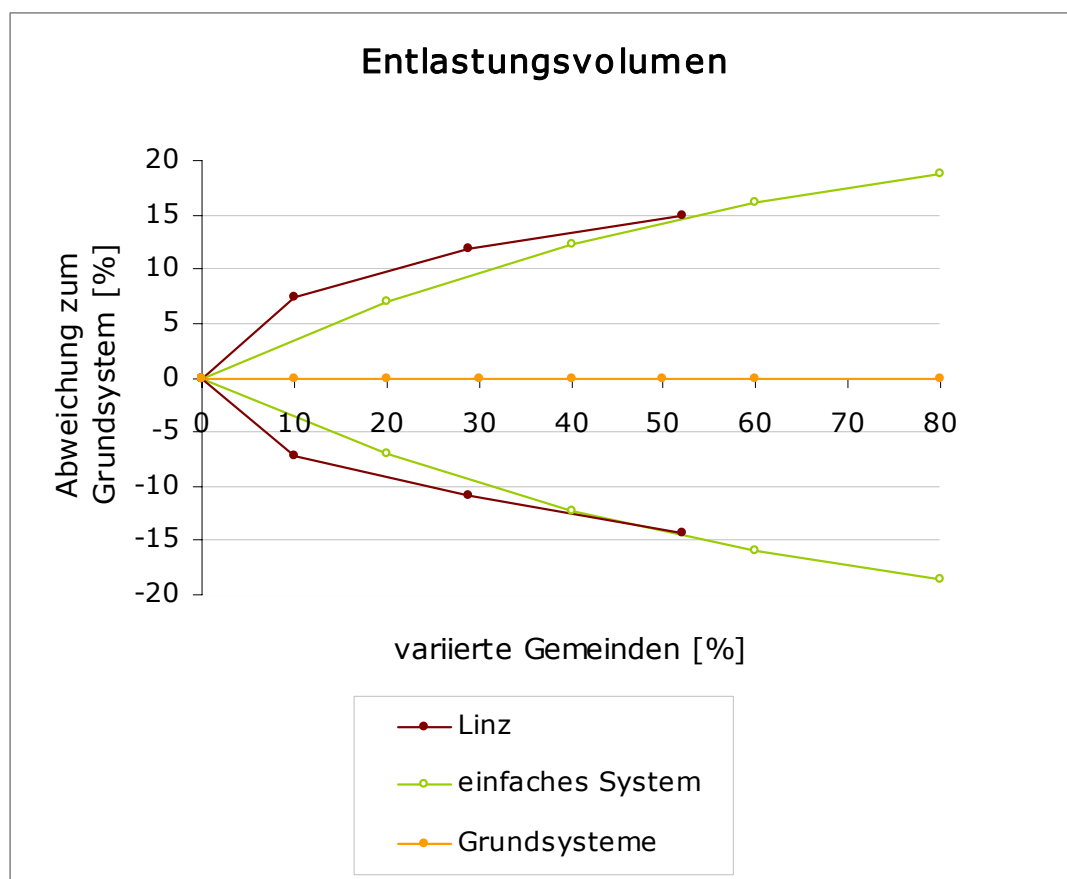


Abb. 7.1: Vergleich des Entlastungsvolumens

Der hydraulische Wirkungsgrad zeigt sowohl beim einfachen System als auch beim Vergleichssystem eine geringe Abweichung zum Grundsystem. Wie beim Entlastungsvolumen ist die Kurve des erfundenen Systems etwas flacher (Abb. 7.2). Bei der Effizienz der Mischwasserweiterleitung ist der geringe Unterschied der beiden Systeme auf dieselben Gründe zurückzuführen, wie beim Entlastungsvolumen.

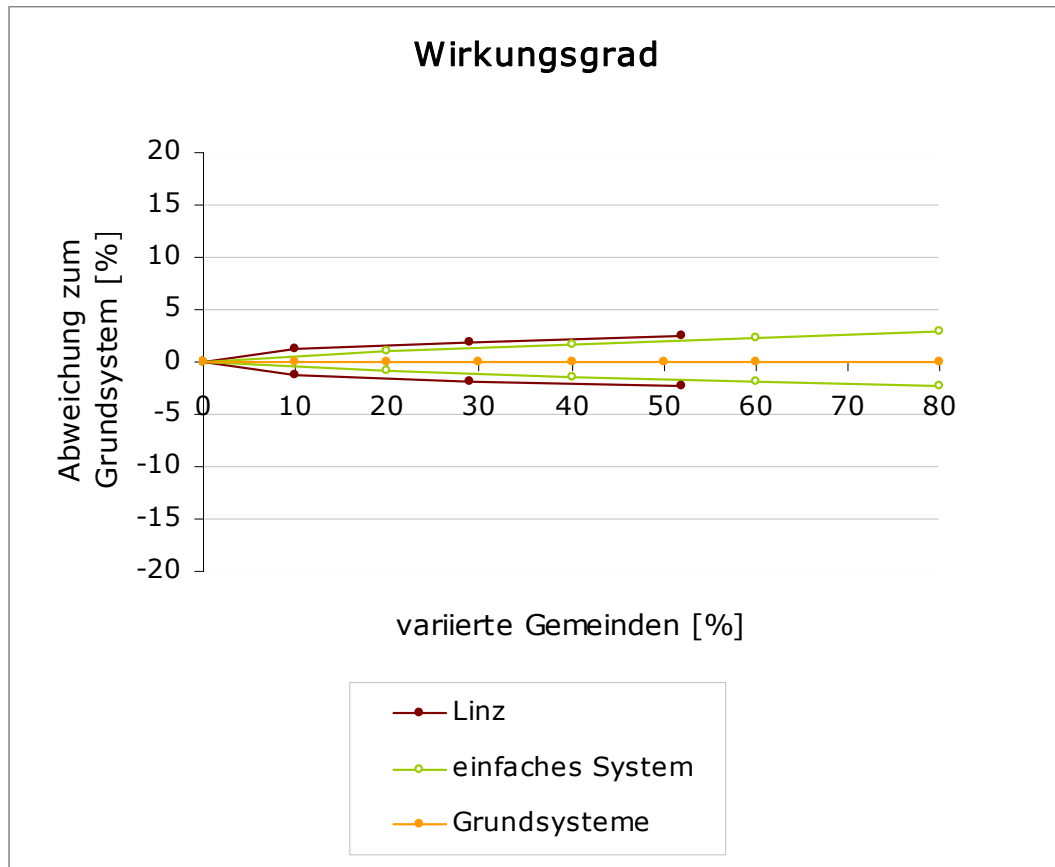


Abb. 7.2: Vergleich des Wirkungsgrades

(b) Variation der Pumpen

Das Überstauvolumen des einfachen Systems steigt kontinuierlich an, während das des Vergleichssystems Linz vorerst unverändert bleibt und ab 29 % stark ansteigt (Abb. 7.3). Dies liegt, wie bereits erwähnt, an der Größe und an der unterschiedlichen Auslastung des Kanalnetzes Linz.

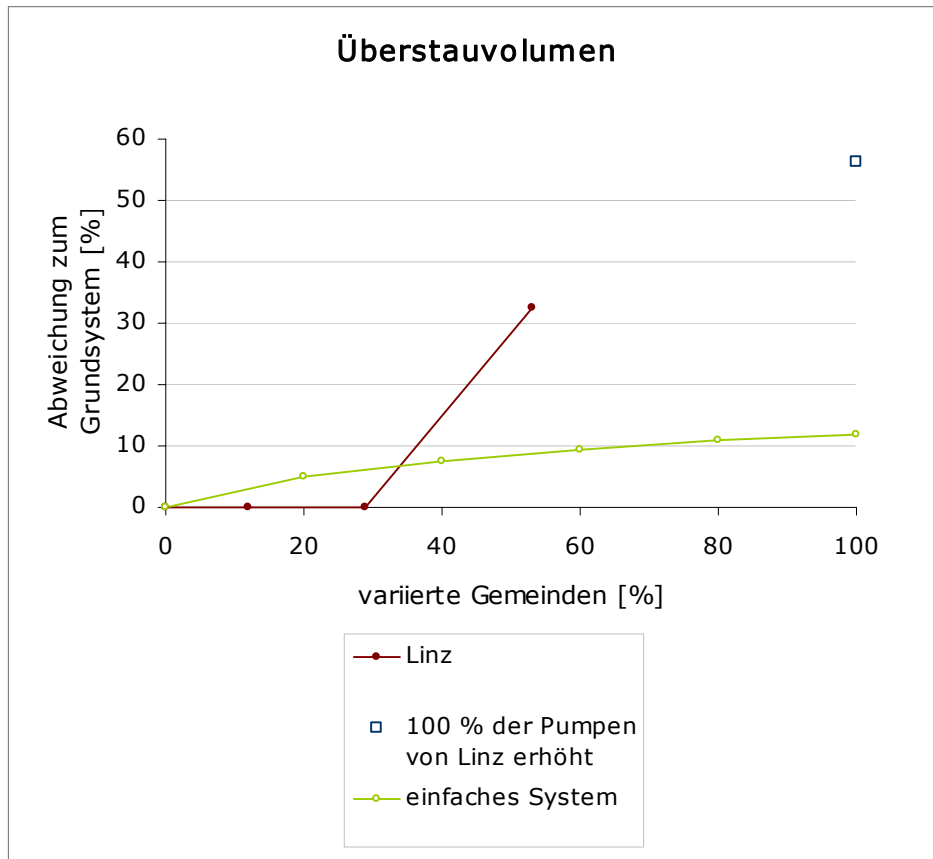


Abb. 7.3: Vergleich des Überstauvolumens

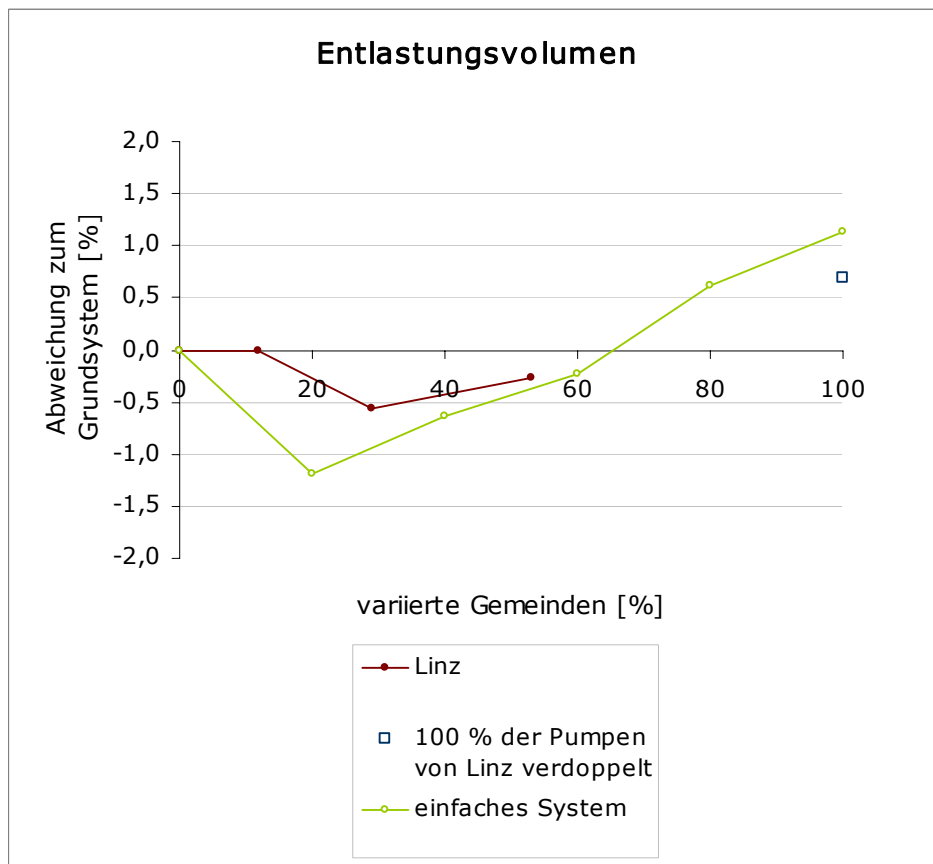


Abb. 7.4: Vergleich des Entlastungsvolumens

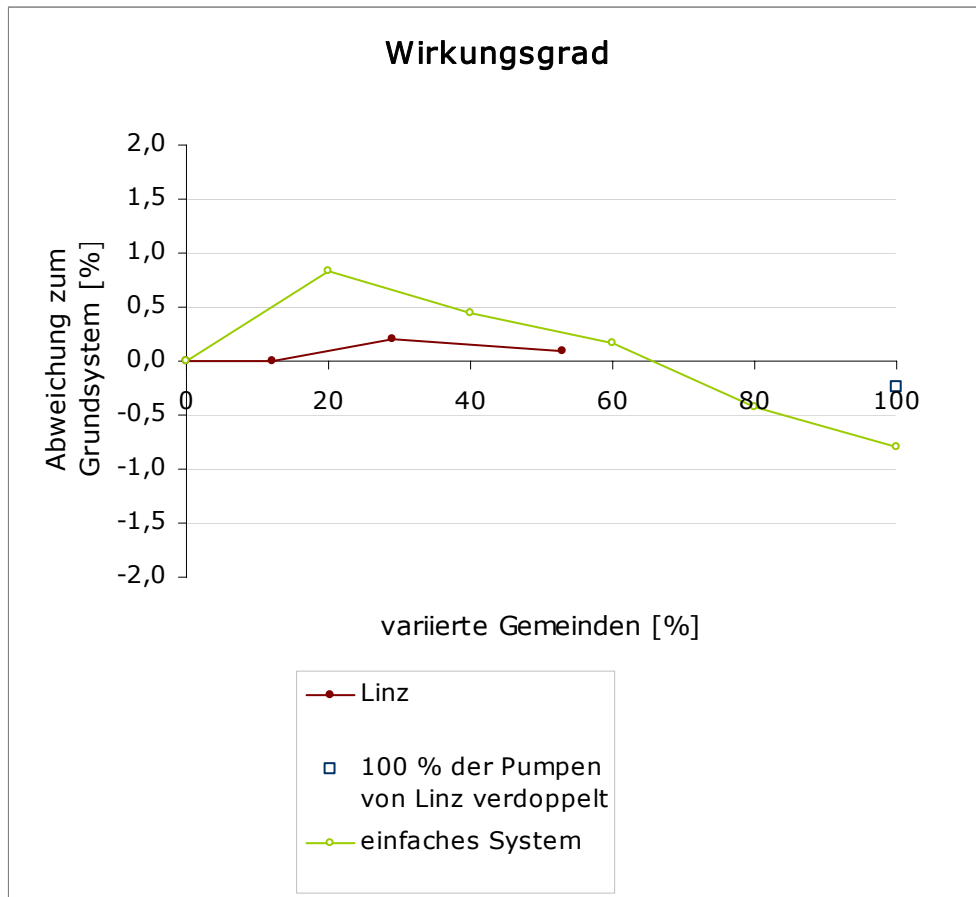


Abb. 7.5: Vergleich des Wirkungsgrades

Das Entlastungsvolumen (Abb. 7.4) und der hydraulische Wirkungsgrad (Abb. 7.5) zeigen sowohl beim erfundenen System, als auch beim realen System einen ähnlichen Verlauf. Beim einfachen System sind die Spitzen etwas ausgeprägter, was wiederum auf den geringeren Puffer im einfachen System zurückzuführen sein dürfte.

8 Schlussfolgerungen

Bei großen Siedlungsentwässerungssystemen fehlt es, speziell in den Randgebieten, häufig an detaillierten Informationen der Systemcharakteristika. Eine detaillierte Evaluation der gesamten Kanalnetzwerkdaten mit allen Umlandgemeinden ist sehr arbeitsintensiv und kostspielig. Diese Studie zeigte eine einfache Methode zum Erkennen der Umlandgemeinden, die zur Beurteilung im Detail benötigt werden und auch exakt kalibriert werden sollten.

Es wurde gezeigt, dass eine Über- oder Unterdimensionierung der angeschlossenen Einzugsgebiete keinen signifikanten Effekt auf die Überstauhäufigkeit in der Stadt hat. Dasselbe gilt für die gedrosselten Zuflüsse, sofern diese klein gegenüber dem Maximalabfluss des Kanals sind.

Aus den Vergleichen und Berechnungen konnte festgestellt werden, dass für eine genügend genaue Häufigkeitsbeurteilung ca. die wichtigsten 15 % der angeschlossenen Gemeinden (nach der spezifischen Relevanz ξ_C , Tab. C.3, Tab. C.4) im Detail erfasst werden müssen, der Rest kann geschätzt werden. Bezüglich des beurteilten Volumens (Überstau und Entlastung) sollten ca. die wichtigsten 30 % der Umlandgemeinden gründlich betrachtet werden.

Der Einfluss der Flächenvariation auf das totale Entlastungsvolumen ist signifikant. Dieser Effekt ist beim Wirkungsgrad nur schwach ausgeprägt. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in der komplexen Abflussdynamik des Systems, welches große Abflusspuffer enthält.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in dieser Untersuchung keine einfache und generell einsetzbare Methode auf Basis der Gemeindecharakteristika zum Ordnen von Umlandgemeinden gefunden wurde. Die Reihung der Untersuchungen dieser Arbeit basiert auf einfachen hydrodynamischen Berechnungen. Für Systeme von unterschiedlicher Größe und Charakteristika kann eine einfachere Klassifikationsmethode gefunden werden und auch von Vorteil sein.

Die Methode liefert trotzdem eine sehr hilfreiche und Kosten sparende Information für den Betreiber:

- welche der Umlandgemeinden als erstes im Detail betrachtet werden muss und
- wie viele Einzugsgebiete zu beurteilen sind.

Literaturverzeichnis

- Land Oberösterreich (2005). *Regionaldatenbank*. Source: <http://www2.land-oberoesterreich.gv.at/statregionaldb/StartGemeindeauswahl.jsp?SessionID=SID-3DCFCFC3-72379533>
- ATV-118 (1999). *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*.
- Butler D. und Davies J. W. (2004). *Urban Drainage*. Spon Press,
- Flögl W. (2002). *Studie zur Verbesserung der Gesamtsituation beim RÜB-Weikerlsee*.
- Flögl W. (2003). *Wasserrechtliches Einreichprojekt RÜB-Weikerlsee*.
- Gujer W. (2002). *Siedlungswasserwirtschaft*. Springer Verlag,
- ITWH (2002). *Hystem-Extran 6, Modellbeschreibung*. Hannover: Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH,
- Loiskandl W. (2005). *Vorlesung Hydraulik und Hydromechanik*. Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien,
- ÖWAV-RB-11 (1982). ÖWAV Regelblatt 11: Richtlinie für die abwassertechnische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanäle.
- ÖWAV-RB-19 (1987). ÖWAV Regelblatt 19: Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen.
- ÖWAV-RB-19 (in Druck, 2006). ÖWAV Regelblatt 19: Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen.
- Rauch W. und De Toffol S. (2004). *Studie zur Erhebung der Randbedingungen für die hydraulische Berechnung des Kanalisationssystems Innsbruck*. Institut für Umwelttechnik, Universität Innsbruck,
- Rauch W. und De Toffol S. (2005). *Vom Zeitbeiwertverfahren zur Hydrodynamischen Simulation - Einführung in die Methodik*. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Institut für Umwelttechnik, Universität Innsbruck,

- Rauch W., Gujer W. und Kerbs P. (2002). *Grundlagen der Siedlungsentwässerung*. Institut für Umwelttechnik, Innsbruck,
- Rutschmann P. (2002). *Vorlesung Hydraulik I*. Institut für Wasserbau, Universität Innsbruck,
- Wett B., De Toffol S., Achleitner S. und Rauch W. (2004). *Wasserrechtliches Einreichprojekt zur nachträglichen wasserrechtlichen Bewilligung des PW 14, Pumpwerk Raffelstetten*.

Tab. A.1: verwendete Sonderprofile

Tab. B.2: Regenauswahl Langzeit

Abb. B.1: Euler Typ II, 5-jährig, 60 min

Abb. B.2: Euler Typ II, 5-jährig, 150 min

Tab. C.3: Reihung der Umlandgemeinden des einfachen Systems nach dem Entlastungsvolumen

Tab. C.4: Reihung der Umlandgemeinden von Linz nach dem Entlastungsvolumen

Tab. C.5: Reihung der Pumpen des einfachen Systems

Tab. C.6: Reihung der Pumpen von Linz, die direkt ins Stadtkanalnetz führen

Abb. 2.1: Generelle Darstellung einer Siedlungsentwässerung 4

Abb. 4.1: System: Einzugsgebiet mit Entlastung.....	14
Abb. 4.2: Rang der Gemeinden am Beispiel Linz.....	16
Abb. 4.3: Einfluss der Gemeinden am Beispiel Linz	17
Abb. 5.1: einfaches System.....	18
Abb. 5.2: System: Einzugsgebiet mit Entlastung.....	18
Abb. 5.3: Systemerstellung im Modell	18
Abb. 5.4: Überfallformen.....	21
Abb. 5.5: vereinfachtes System von Linz mit Umlandgemeinden	22
Abb. 6.1: Einfluss der Gemeinden.....	25
Abb. 6.2: kumulative Überstauhäufigkeit in der Stadt.....	26
Abb. 6.3: Entlastungsvolumen	27
Abb. 6.4: Wirkungsgrad	27
Abb. 6.5: kumulative Überstauhäufigkeit in der Stadt.....	28
Abb. 6.6: Überstauvolumen	28
Abb. 6.7: Entlastungsvolumen	29
Abb. 6.8: Wirkungsgrad	29
Abb. 6.9: Einfluss der Umlandgemeinden von Linz	30
Abb. 6.10: System: Einzugsgebiet ohne Entlastung.....	30
Abb. 6.11: kumulative Überstauhäufigkeit in Linz	31
Abb. 6.12: Überstauvolumen in Linz	32
Abb. 6.13: Entlastungsvolumen Linz und Umlandgemeinden	32
Abb. 6.14: hydraulischer Wirkungsgrad.....	33
Abb. 6.15: kumulative Überstauhäufigkeit in Linz	33
Abb. 6.16: Überstauvolumen in Linz	34
Abb. 6.17: Entlastungsvolumen Linz und Umlandgemeinden	34
Abb. 6.18: hydraulischer Wirkungsgrad.....	35
Abb. 7.1: Vergleich des Entlastungsvolumens.....	41
Abb. 7.2: Vergleich des Wirkungsgrades.....	42
Abb. 7.3: Vergleich des Überstauvolumens	43
Abb. 7.4: Vergleich des Entlastungsvolumens.....	43
Abb. 7.5: Vergleich des Wirkungsgrades.....	44
Abb. B.1: Euler Typ II, 5-jährig, 60 min	48
Abb. B.2: Euler Typ II, 5-jährig, 150 min.....	48
Tab. 2.1: Schmutzwasser (ÖWAV-RB-11, 1982)	5
Tab. 3.1: Neigungsklassen	12
Tab. 4.1: Empfohlene Überstauhäufigkeiten (ÖWAV-RB-11, 1982)	15
Tab. 5.1: Werte einfaches System	19
Tab. 5.2: Überfallsbeiwerte nach Poleni in Abhängigkeit von der Überfallform	20
Tab. 5.3: Elemente einfaches System	21
Tab. 5.4: Elemente Vergleichssystem Linz	24
Tab. A.1: verwendete Sonderprofile.....	48
Tab. B.2: Regenauswahl Langzeit.....	48
Tab. C.3: Reihung der Umlandgemeinden des einfachen Systems nach dem Entlastungsvolumen	48
Tab. C.4: Reihung der Umlandgemeinden von Linz nach dem Entlastungsvolumen	48
Tab. C.5: Reihung der Pumpen des einfachen Systems.....	48
Tab. C.6: Reihung der Pumpen von Linz, die direkt ins Stadtkanalnetz führen.....	48