Modellierung von Entlastungsfrachten an einem Mischwasserüberlaufbauwerk am Beispiel Graz-West

„Combined Sewer Overflow Emissions Modelling for the Sewer-Catchment Area Graz-West"

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

eingereicht von

PHILIPP HARING

am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz
Vorstand: Univ. -Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. HARALD KAINZ

Begutachter: Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. HARALD KAINZ
Betreuer: Univ.-Ass. Dipl.-Ing. MARTIN HOCHEDLINGER

Graz, im Mai 2004

Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, am 11.05.2004 .....

Philipp Haring

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium an der TU Graz ermöglicht haben.

Besonders danke ich dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschafts-wasserbau, insbesondere

Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz
Univ.Ass., Dipl.-Ing. Martin Hochedlinger
Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber

Weiters danke ich dem Kanalbauamt Graz, das mich bei meiner Arbeit unterstützt hat. Insbesondere Dipl.-Ing. Werner Sprung für die Betreuung und Unterstützung.

Graz, im Mai 2004 Philipp Haring

Kurzfassung
Diese Diplomarbeit hat die Aufgabe ein Einzugsgebiet (Graz-West) samt Mischwasserüberlaufbauwerk zu modellieren und zu kalibrieren. Mit einem kalibrierten Modell und langjährigen Regenreihen wurde eine Langzeitsimulation durchgeführt und anhand einer Sensitivitätsanalyse aufgezeigt, welchen Einfluss die Eingangsgrößen auf die Ergebnisse der Simulation haben. Im Rahmen der Langzeitsimulation und der Sensitivitätsanalyse wurden auch die Weiterleitungsgrade, laut Entwurf der AEV Mischwasser, untersucht.
Zur Modellierung dieses Einzugsgebietes kam das kontinuierliche Langzeitsimulationsprogramm KOSIM zur Anwendung. Die Eingangsdaten für die Modellerstellung wurden aus Messdaten der Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz und Daten des Kanalbauamtes Graz ermittelt. Die Schwierigkeit in der Modellierung lag darin, das Überlaufverhalten des Entlastungsbauwerks nachzubilden, da die Überlaufschwelle gekrümmt ist. Kalibriert und verifiziert wurde das Modell anhand einer Zeitspanne von drei Monaten, da sowohl Messdaten als auch Niederschlagsmessungen während dieser Zeit durchgehend vorhanden waren.
Die Ergebnisse der Langzeitsimulation zeigen Schwankungen in den Überlaufvolumen und –frachten der einzelnen Jahre und die Einhaltung der Weiterleitungsgrade laut Entwurf der AEV Mischwasser deutlich eingehalten wurden. Die Sensitivitätsanalyse ergab, dass die befestigte Fläche und der Endabflussbeiwert die maßgebenden Faktoren für die Genauigkeit eines Modells sind. Daher müssen diese Werte besonders genau ermittelt werden.

Abstract
The aim of this diploma thesis is the modelling and calibration of a CSO of the sewer-catchment area Graz-West. After the calibration a long-time simulation was calculated with long-time precipitation series. With the long-time simulation and its analysis the influences of the different input parameters on the result were shown. The influence of the minimum discharge rate in accordance with the Austrian draft of storm water regulation was analysed too.
The CSO was modelled with the software KOSIM. The input data are from the sewer-online-monitoring-station Graz. The main problem of the modelling was the right reproduction of the spill flow behaviour of the CSO. The verification of the model was realized by means of a three months period.
The long-time simulation showed results in a wide range compared each single year. The minimum values of discharge referred to the “AEV Mischwasser” draft could be kept. Analysis resulted paved area, end run off coefficient and rain weather concentrations as main influence factors. Therefore, these input values have to be determined exactly.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 1

1.1 Aufgabenstellung 1
1.2 Zielsetzung 1
1.3 Vorgehensweise 2

2 ABWASSER 4

2.1 Abwasserparameter 4
2.1.1 Abfiltrierbare Stoffe (AFS, TSS) 4
2.1.2 Ammonium-Stickstoff (NH_4-N) 4
2.1.3 Gesamter gebundener Stickstoff (TN_b) 5
2.1.4 Gesamt Phosphor (P_{tot}) 5
2.1.5 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, COD) 6
2.1.6 Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5) 6
2.2 Entwässerungssysteme 7
2.2.1 Mischkanalisation 7
2.2.2 Trennkanalisation 8
2.2.3 Qualifiziertes Mischsystem 8
2.2.4 Alternative Systeme und Sonderformen 9
2.3 Einzelabflüsse im Kanal 9
2.3.1 Schmutzwasserabfluss 9
2.3.2 Fremdwasserabfluss 9
2.3.3 Trockenwetterabfluss 10
2.3.4 Regenwasserabfluss 10
2.4 Mischwasserbehandlung 11
2.4.1 Aufgaben der Mischwasserbehandlung 11
2.4.1.1 Allgemein 11
2.4.1.2 AEV Mischwasser (Entwurf 02.01) 11
2.4.1.3 ÖWAV-Regelblatt 19 (Entwurf 10.03) 12

2.4.2 Mischwasserentlastungsbauwerke 14
2.4.2.1 Mischwasserüberlauf 14
2.4.2.2 Mischwasserüberlaufbecken 15

3 SCHMUTZFRACHTBERECHNUNGSMODELLE 18

3.1 Allgemein 18
3.1.1 Hydrologische Methoden 18
3.1.2 Hydrodynamische Methoden 18
3.2 Hydrologische Langzeitsimulation 19
3.2.1 Allgemein 19
3.2.2 Eingangsgrößen der hydrologischen Langzeitsimulation 20
3.2.2.1 Langjährige Regenreihen 20
3.2.2.2 Größe der abflusswirksamen Fläche: 21
3.2.2.3 Größe des vorhandenen Speichervolumens 22
3.2.2.4 Größe des Drosselabflusses 22
3.2.2.5 Durchschnittlicher Trockenwetterabfluss 22
3.2.2.6 Parameter der Abflussbildung 22
3.2.2.7 Parameter der Abflusskonzentration 23
3.2.3 Kalibrierung des Modells 23

4 MODELLIERUNG DES EINZUGSGEBIETES UND DES MISCHWASSERÜBERLAUFES 25

4.1 Vorgehensweise 25
4.2 Erklärung des Programms KOSIM 26
4.3 Erheben der Eingangsdaten 30
4.3.1 Regendaten 30
4.3.2 Flächendaten 32
4.3.3 $Q_{t,24}$, Konzentrationen und Trockenwetterganglinien 34
4.3.3.1 Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz 34
4.3.3.2 $Q_{t,24}$ und mittlere Konzentrationen 35
4.3.3.3 Trockenwetterganglinien 37
4.3.4 Parameter der Abflussbildung 45
4.3.5 Parameter der Abflusskonzentration 45

4.3.6 Bauwerksdaten ... 46
4.4 Kalibrierung ... 49
4.4.1 Kalibrierung des Einzugsgebietes ... 49
4.4.2 Kalibrierung des Mischwasserüberlaufs ... 50
4.5 Ergebnisse der Kalibrierung ... 54
4.6 Verifizierung von fünf Einzelereignissen ... 57

5 LANGZEITSIMULATION ... 62

5.1 Vorgangsweise ... 62
5.2 Verwendete Regendaten ... 62
5.3 Berechnung der Weiterleitungsgrade mit KOSIM ... 64
5.4 Ergebnisse ... 67

6 SENSITIVITÄTSANALYSE ... 71

6.1 Vorgangsweise ... 71
6.2 Ergebnisse ... 73

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN ... 79

7.1 Langzeitsimulation ... 79
7.2 Sensitivitätsanalyse ... 80
7.3 Weiterleitungsgrade ... 82

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK ... 85

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ... 87

TABELLENVERZEICHNIS ... 89

LITERATURVERZEICHNIS ... 90

ANHANG ... 92

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz (Bertha-von-Suttner-Friedens-Brücke), die nun seit September 2002 vom Institut Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz betrieben wird, liefert Online-Messdaten von Zulauf- und Entlastungsmengen und Konzentrationen verschiedener chemischer Parameter. Aus diesen Messdaten können Zulauf- und Entlastungsfrachten des Mischwasserüberlaufs errechnet werden. Weitere relevante Daten für die Diplomarbeit wie Luftbilder, Katasterpläne und Höhenschichtenpläne stellte das Kanalbauamt der Stadt Graz zur Verfügung.

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit ist, auf der Basis dieser Daten das Einzugsgebiet und den dazugehörigen Mischwasserüberlauf in Graz West modelltechnisch nachzurechnen. Dafür wird ein hydrologisches Schmutzfrachtsimulationsprogramm verwendet. Das Ergebnis der Berechnungen sind im Wesentlichen hydraulische und stoffliche Zulauf- und Entlastungsfrachten, die mit den gemessen Frachten verglichen werden.

Der nächste Schritt ist mit dem kalibrierten Modell eine Langzeitsimulation sowie eine Sensitivitätsanalyse wichtiger Eingangsparameter durchzuführen.

Abschließend sollen die gewonnenen Daten analysiert, dargestellt und interpretiert werden. In Hinblick auf die im Entwurf existierende AEV Mischwasser werden Aussagen über die Berechnung von Weiterleitungsgraden für die hydraulische Fracht sowie für die sechs angeführten Parameter gemacht.

1.2 Zielsetzung

Das Ergebnis diese Arbeit soll ein gut kalibriertes Modell des Einzugsgebietes und des Mischwasserüberlaufs sein. Das heißt, dass die berechneten Frachten für den Durchfluss, die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) sowie der gesamte chemische Sauerstoffbedarf (CSB_{ges}), als auch die Anzahl der Überlaufereignisse und die Überlaufdauer, mit den gemessenen Daten so weit wie möglich übereinstimmen.

Ein weiteres Ziel ist es, aus den Berechnungen mehrere Jahre, Weiterleitungsgrade für die hydraulische Fracht, abfiltrierbare Stoffe und den chemischen Sauerstoffbedarf zu errechnen. Diese Werte sind in Hinblick auf die AEV Mischwasser, die erst im Entwurf vorliegt, von Bedeutung. Aus den 8 Jahren der Langzeitsimulation, werden die einzelnen Jahre verglichen und es wird die Abweichung der einzelnen Jahre auf den Langzeitjahresmittelwert dargestellt.

Die Sensitivitätsanalyse untersucht genauer, welchen Einfluss die Änderung der Eingangswerte hat, wie z.B. die befestigte Fläche auf das Endergebnis, d.h. die Entlastungsfracht. Daraus wird abgeleitet, wie genau die einzelnen Parameter zu ermitteln sind, um ein Mischwasserentlastungsbauwerk richtig dimensionieren zu können. Außerdem wird auch der Einfluss auf die Weiterleitungsgrade aufgezeigt. Die Frage, ob ungenau erhobene Eingangswerte und dadurch schlechte Simulationsergebnisse überhaupt einen starken Einfluss auf die in der AEV Mischwasser (Entwurf) definierten Weiterleitungsgrade haben, wird beantwortet.

1.3 Vorgehensweise

Der erste Schritt war die für die Modellierung im hydrologischen Schmutzfrachtsimulationsprogramm KOSIM benötigten Daten so genau wie möglich zu erheben. Dazu gehörte eine händische Auswertung der befestigten Fläche anhand der vom Kanalbauamt Graz zur Verfügung gestellten Luftbilder und Katasterpläne, sowie eine Unterteilung des Einzugsgebietes in drei Teilgebiete nach der mittleren Geländeneigung, ermittelt aus dem Höhenschichtenplan. Weiters wurden Daten des Mischwasserentlastungsbauwerks erhoben, um dieses nachbilden zu können. Für den benötigten mittleren Trockenwetterabfluss, die einzelnen Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe und die Trockenwetterganglinien derselben wurde ein Zeitraum von drei Monaten, 1. Mai bis 31. Juni 2003, untersucht. Die ausgewerteten Daten der Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz wurden verwendet.

Um das erstellte Modell zu kalibrieren, benötigte man das Regenkontinuum des Einzugsgebietes für diese drei Monate. Es wurde überprüft, ob die Simulationsergebnisse wie zum Beispiel die gesamten Zulauf- bzw. Überlauffrachten, die Anzahl der Überlaufereignisse, die Gesamtdauer der Entlastungen sowie die Zeitpunkte der Entlastung mit den Messdaten vergleichbar sind. Für die genauere Verifizierung der Berechnung wurden fünf von einander unabhängige Entlastungen genauer untersucht. Dafür wurden die Zulauf- und Überlaufganglinien der Ereignisse für den

Durchfluss sowie für die Konzentrationen des chemischen Sauerstoffbedarfs und der afiltrierbaren Stoffe mit den gemessenen verglichen.

Nach einem iterativen Prozess des „Herantastens an die gemessenen Daten“ und einem zufrieden stellenden Endergebnis der Modellierung war der nächste Schritt die Durchführung einer Langzeitsimulation. Regendaten der TU Graz, die durchgehend über einen Zeitraum von 8 Jahren, von 1996 bis einschließlich 2003 vorhanden sind, bilden hierfür die Basis der Berechnung. Nach der Überprüfung der Repräsentativität dieser Niederschlagswerte für den Grazer Raum, mit einer mittleren Jahresniederschlagshöhe von 700 mm und dem Aufbereiten dieser in eine „KOSIM Regendatei“, wurde die Langzeitsimulation gestartet. Die Auswertung der Ergebnisse passierte einerseits als Summe über die gesamten Zeitspanne der 8 Jahre, um danach Langzeitjahresmittelwerte der Ergebnisgrößen errechnen zu können, und andererseits für jedes einzelne Jahr, um eine Aussage über die Schwankungen zu verifizieren.

Mit diesem Langzeitregenkontinuum und dem Model wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dafür wurden elf Eingangswerte der Simulation variiert. Für diese Berechnungen kam das Programm SENSOR zur Anwendung. Dieses setzt auf dem Simulationsprogramm KOSIM auf und erzeugt nach Einstellen der gewünschten Bandbreite der Schwankungen automatisch die einzelnen Ergebnisse. Spezielle Einstellungen in der Ausgangsdatei des Programms KOSIM konnte SENSOR aber nicht übernehmen. Außerdem fehlten ein paar der gewünschten zu variierenden Parameter in der SENSOR-Auswahl. So mussten die vom SENSOR erzeugten KOSIM-Dateien alle nachkorrigiert werden und die Auswertung wurde ebenfalls händisch in EXCEL durchgeführt.

Eine weitere Aufgabe stellte die Berechnung der Weiterleitungsgrade laut Entwurf der AEV Mischwasser dar. KOSIM konnte diese in der gewünschten Form nicht erzeugen, da das Programm auf die deutsche ATV-A 128 abgestimmt ist. Doch mit Vereinfachungen war die Berechnung möglich.

Am Ende der Arbeit stand die Darstellung der Ergebnisse der Langzeitsimulation, der Sensitivitätsanalyse und die Interpretation.

2 Abwasser

2.1 Abwasserparameter

Dieses Kapitel erklärt kurz die Abwasserparameter, die im Rahmen dieser Diplomarbeit Erwähnung finden. Es handelt sich um die gleichen, die auch im Entwurf der AEV Mischwasser angeführt und für die Mindestweiteleitungsgrade zur Kläranlage definiert sind. Die Beschreibung der Abwasserparameter orientiert sich großteils an der von W. Gujer 1999 und Kainz et al. 2002 gewählten Darstellung.

2.1.1 Abfiltrierbare Stoffe (AFS, TSS)

Die Größe abfiltrierbare Stoffe ist ein Summenparameter. Das heißt es werden darunter unterschiedliche Stoffe mit einer gemeinsamen Eigenschaft zusammengefasst. Im Fall der AFS handelt es sich um das Trockengewicht jener Stoffe, die auf einem Membranfilter mit definierter Porengröße zurückgehalten werden. Die Vorgehensweise zur Bestimmung sieht so aus, dass die Abwasserprobe durch eine dünne Filtermembran mit definierter Porenöffnung gefiltert und bis zur Massenkonstanz im Trockenschrank mit 105°C gelagert wird.

Die partikulären Stoffe umfassen die im Wasser vorhanden Schwimm-, Schwebe- und absetzbaren Stoffe. Sie sind teilweise als einzelne Partikel mit unterschiedlicher Zusammensetzung mit bloßem Auge sichtbar und verursachen eine Trübung. Die Auswirkung in den Gewässern kann eine Verschlammung des Sedimentes und eine dadurch bedingte Sauerstoffzehrung sein. Das Ziel der Mischwasserbewirtschaftung ist daher der Rückhalt dieser Stoffe im System und soll in Zukunft in Österreich durch den Entwurf der AEV Mischwasser für Kanalsysteme geregelt werden. Der dort definierte Mindestweiterleitungsgrad zur Kläranlage für die abfiltrierbaren Stoffe beträgt zwischen 70 und 80 Prozent.

2.1.2 Ammonium-Stickstoff (NH_4-N)

Der im häuslichen Abwasser enthaltene organisch gebundene Stickstoff wird teilweise schon im Kanalnetz zu Ammonium hydrolysiert. Das chemische Verfahren zur Bestimmung von Ammonium erfasst sowohl das Ammonium (NH_4^+) als auch das Ammoniak (NH_3) und wird meist unter der Bezeichnung NH_4-N angegeben. Das

Gleichgewicht zwischen diesen beiden Stoffen lässt sich über eine Gleichung, unter Berücksichtigung des pH-Wertes und der Temperatur errechnen.

$$\frac{[NH_3]}{[NH_3]+[NH_4^+]} = \frac{1}{1+10^{(pK_s-pH)}} \quad \text{mit} \quad pK_s = \frac{2706}{T+273{,}15} + 0{,}139 \quad (T \text{ in } °C)$$

Ammoniak in den Gewässern ist deswegen von Bedeutung, da es ab einer gewissen Konzentration auf Fische toxisch wirkt. Ammonium führt zu einem Sauerstoffverbrauch durch Nitrifikation. Diese bedingt einen Nährstoffeintrag, der zu einem vermehrten Algenwachstum führen kann. Dadurch entsteht eine sekundäre Sauerstoffzehrung.

Der Mindestweiterleitungsgrad zur Kläranlage beträgt für Ammonium-Stickstoff zwischen 55 und 65 Prozent und ist ein Maß für die weitergeleiteten gelösten Stoffe im Abwasser, da Ammonium ausschließlich in gelöster Form vorkommt.

2.1.3 Gesamter gebundener Stickstoff (TN_b)

Dieser ist laut Entwurf der AEV Mischwasser 02.01 definiert als Summe von organisch gebundenem Stickstoff, Ammonium-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff und Nitrat-Stickstoff. Dieser Summenparameter beinhaltet sowohl partikuläre als auch gelöste Stoffe und der definierte Weiterleitungsgrad beträgt 55 bis 65 Prozent.

2.1.4 Gesamt Phosphor (P_{tot})

Phosphor ist wie Stickstoff ein Nährstoff, der für das Algenwachstum in den Gewässern verantwortlich ist. In organisch gebundener Form ist er vor allem durch die menschlichen Ausscheidungen im Abwasser vorhanden. Eine weitere Phosphorquelle, vor allem in der Vergangenheit, waren Waschmittel. Sie beinhalteten Polyphosphate, die je nach Umbebung in Stunden bis Tagen zu Phosphat zerfallen.

Gesamt Phosphor ist ein Summenparameter und besteht so wie der gesamte gebundene Stickstoff aus partikulären und gelösten Anteilen. Der Mindestweiterleitungsgrad ist definiert mit 55 bis 65 Prozent.

2.1.5 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, COD)

Der chemische Sauerstoffbedarf ist ein Summenparameter, der Aussage darüber gibt, wie viel Sauerstoff zur vollständigen Oxidation von organischem Kohlenstoff zu CO_2 und Wasser erforderlich ist. Das Bestimmungsverfahren verwendet zur Oxidation Kaliumdichromat in einer kochenden, stark sauren Schwefelsäurelösung. Man kann davon ausgehen, dass die meisten organischen Verbindungen erfasst werden. Der CSB ist also eine Größe, um die Konzentration der organischen Stoffe im Abwasser, unabhängig von deren Zusammensetzung und biologischen Abbaubarkeit, zu bestimmen. Der chemische Sauerstoffbedarf kann weiters in einen gelösten und partikulären Anteil getrennt werden. Vom gelösten spricht man, wenn die Probe vor der Bestimmung des CSBs durch einen Membranfilter läuft und die Partikel zurückbleiben.

Die Auswirkung im Gewässer sind eine Sauerstoffzehrung und eine Akkumulation biologisch nicht abbaubarer Stoffe in der Biomasse. Der Mindestweiterleitungsgrad beträgt ebenfalls zwischen 55 und 65 Prozent, abhängig von den Einwohnergleichwerten und dem mittleren Jahresniederschlag.

2.1.6 Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5)

Der BSB_5 ist per Definition ein Maß für den Gehalt an biologisch abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, ausgedrückt durch den verbrauchten Sauerstoff bei der Kohlenstoffoxidation innerhalb von 5 Tagen, bei einer Temperatur von 20°C. Im kommunalen Abwasser sind die Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen für den Sauerstoffverbrauch maßgebend, während andere organische Stoffe mengenmäßig eine untergeordnete Rolle spielen. Um bei der Bestimmung des BSB_5s nur Kohlenstoffverbindungen zu oxidieren, wird zur Unterdrückung der Stickstoffoxidation ein Hemmstoff zugegeben. Dieser Wert spielt vor allem in der Dimensionierung von Kläranlagen eine wichtige Rolle. Im Verhältnis zum chemischen Sauerstoffbedarf ist er kleiner, da die biologisch abbaubaren Verbindungen erfasst werden.

Der BSB_5 beziehungsweise die dadurch quantifizierten biologisch abbaubaren Verbindungen bewirken eine Sauerstoffzehrung im Gewässer. Laut Entwurf der AEV Mischwasser müssen 55 bis 65 Prozent dieser Stoffe im Jahresmittel aus dem Einzugsgebiet zur Kläranlage weitergeleitet werden.

2.2 Entwässerungssysteme

Grundsätzlich ist hier zu erwähnen, dass sich in Europa die Schwemmkanalisation für den Abtransport von unerwünschten Stoffen aus den Siedlungsgebieten durchgesetzt hat. Die zwei vorherrschenden Schwemmkanalisationen sind das Mischverfahren und das Trennverfahren. Unter Berücksichtigung neuerer Grundsätze zum Umgang mit Regenwasser haben sich Mischformen ergeben.

2.2.1 Mischkanalisation

Das Mischsystem ist das historisch gewachsene Entwässerungssystem, in dem Schmutz- und Regenwasser gemeinsam in einem ausreichend tiefen Kanal abgeleitet werden. Bei Trockenwetter ist der Kanalquerschnitt gering ausgenützt. Das erforderliche Profil wird im Prinzip nur vom Regenwasserabfluss bestimmt. Um für Starkregen nicht zu große Querschnitte zu bekommen bzw. die Kläranlage nicht hydraulisch zu überlasten, muss der Regenwasserabfluss reduziert werden. Dies geschieht mit der Anordnung von Mischwasserentlastungsbauwerken. Hier kommt es zu einem Einleiten von ungereinigtem, oder nur schlecht gereinigtem (Mischwasserüberlaufbecken) Mischwasser in die Vorflut.

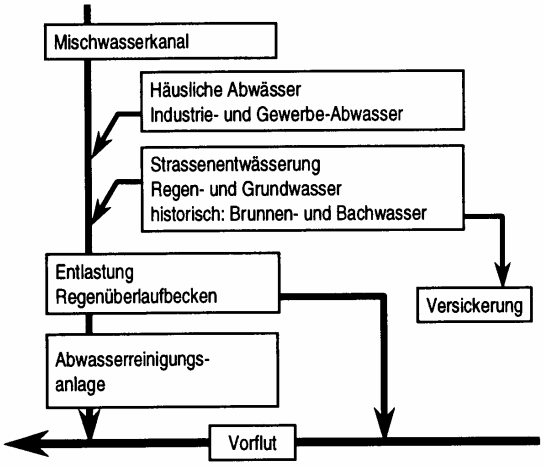


Abb. 1: Schematische Darstellung der Elemente eines Mischsystems (Gujer 1999)

Kainz et al. 2002 führt als Vorteile des Mischsystems im Vergleich mit dem Trennverfahren die geringeren Herstellungskosten, die einfacheren Bauwerke wie z.B. Einmündungen und Kreuzungen, den geringeren Platzbedarf, vor allem in engen Straßen von Bedeutung, und keine Fehlanschlussmöglichkeiten an. Angeführte Nachteile sind wiederum mögliche Ablagerungen im Kanalnetz, vor allem in den Anfangssträngen durch die geringe Fülltiefe während des Trockenwetterabflusses, und die Gefahr, dass diese Ablagerungen bei Starkregen ungereinigt in die Vorflut gelangen können.

2.2.2 Trennkanalisation

Bei der Trennkanalisation wird das Schmutz- und Regenwasser getrennt erfasst und abgeleitet. Der Schmutzwasserkanal kann daher mit kleineren Durchmessern gebaut werden. Dies hat den Vorteil, dass es in den Anfangssträngen des Systems infolge der größeren Fülltiefe weniger zur Bildung von Ablagerungen kommt als im Mischverfahren. Der Regenwasserkanal kann im Trennsystem höher verlegt werden und erfasst Dachwasser, Straßenwasser, Sickerwasser und eventuell Bachwasser, das meist direkt, oder auch über Regenrückhaltebecken, in die Vorflut gelangt. Der Vorteil dabei ist, dass durch den höher liegenden Kanal auch bei hohem Wasserstand im Vorfluter noch ein freier Abfluss des Wassers möglich ist.

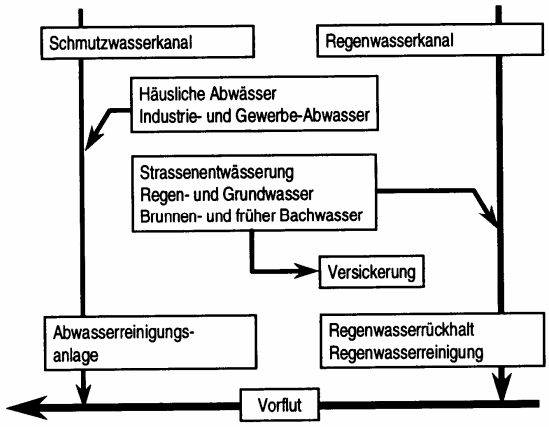


Abb. 2: Schematische Darstellung der Elemente eines Trennsystems (Gujer 1999)

Die wesentlichen Nachteile des Trennsystems im Vergleich mit dem Mischsystem sind laut Kainz et al. 2002 die höheren Bau- und Wartungskosten, wegen des längeren Kanalnetzes und der komplizierteren Bauwerke. Weiters müssen Anschlüsse genauer überwacht werden, um Fehlanschlüsse zu verhindern. Diese können zu einer hydraulischen Überlastung führen.

2.2.3 Qualifiziertes Mischsystem

Qualifizierte Mischsysteme ergeben sich aus der Intention, von der vollständigen Ableitung des Niederschlagswassers abzurücken und nach dessen Beschaffenheit über eine Ableitung zu entscheiden. Das heißt, dass Wasser von stark verschmutzten Flächen (Lagerflächen, landwirtschaftliche Hofflächen, usw.) in die Kanalisation gelangen soll und Wasser von gering verschmutzten Flächen (wie Dächern, usw.) an Ort und Stelle versickert wird oder ohne besondere bauliche Maßnahmen zur nächsten Vorflut abfließt.

Laut Kainz et al. 2002 wird das qualifizierte Mischsystem zunehmend an Bedeutung gewinnen. Durch die geplanten steigenden Anforderungen an die Mischwasserbehandlung wird die Menge des zu behandelten Wassers eine Rolle

spielen. Der Entwurf der AEV Mischwasser stellt eine zukünftige Regelung dar. In ihr werden jährliche Mindestweiterleitungsgrade zur Kläranlage für sechs Abwasserparameter definiert, die eingehalten werden müssen. Werden sie nicht erfüllt, ist die Konsequenz entweder eine Speicherung des Mischwassers oder wenn möglich ein Abkoppeln von gering verunreinigten und versiegelten Flächen. Letzteres stellt eindeutig die billigere Lösung dar, da keine Speicherbauwerke gebaut werden müssen.

2.2.4 Alternative Systeme und Sonderformen

In speziellen Fällen, z.B. bedingt durch das Gelände, kommen solche Formen zur Anwendung. Es handelt sich hier vor allem um Vakuum- oder Drucksysteme, die für kleine Siedlungsgebiete gebaut werden. In ersten Fall wird das Abwasser durch Vakuum transportiert, im zweiten durch Druckleitungen.

2.3 Einzelabflüsse im Kanal

Um in der fortlaufenden Arbeit die einzelnen Abflussarten nicht jeweils erklären zu müssen, sind diese in diesem Kapitel zusammengefasst und kurz beschrieben.

2.3.1 Schmutzwasserabfluss

Das Schmutzwasser setzt sich im Wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen. Diese sind der häusliche bzw. der betriebliche Anteil. Der erst Genannte ist hauptsächlich von den Lebensgewohnheiten und dem Lebensstandard abhängig und ist zeitlichen Schwankungen unterworfen. Er beinhaltet das Abwasser aus den Haushalten und aus öffentlichen Einrichtungen wie z.B. Schulen. Der zweite hängt wiederum von der Art des Betriebes ab und stammt aus größeren gewerblichen und industriellen Betrieben sowie öffentlichen Einrichtungen, wie z.B. Krankenhäusern mit großem Schmutzwasseranfall.

2.3.2 Fremdwasserabfluss

Fremdwasser ist jener Abfluss, der eigentlich nicht im Kanal vorhanden sein sollte. Durch verschiedenste Fehlanschlüsse wie z.B. von Drainageleitungen oder undichten

Abwasserkanälen (Grundwasserinfiltration) kann man diesen Abfluss aber nie ganz verhindern. Er muss somit bei der Bemessung von Kanalsystemen und Mischwasserentlastungsbauwerken berücksichtigt werden.

2.3.3 Trockenwetterabfluss

Als Trockenwetterabfluss wird die Summe aus Schmutzwasser- und Fremdwasserabfluss bezeichnet. Er ist je nach Art des angeschlossenen Gebietes verschiedenen zeitlichen Schwankungen unterworfen und hat dementsprechende charakteristische Abflussganglinien.

2.3.4 Regenwasserabfluss

Der Regenwasseranfall hängt vor allem mit der Niederschlagsintensität und der Größe der abflusswirksamen, an das Kanalnetz angeschlossenen Fläche zusammen. Da bei Mischsystemen, für die Bemessung, der Niederschlagsabfluss im Kanal maßgebend ist, sollte der Ermittlung dieser beiden Werte besondere Aufmerksamkeit zukommen. Für die Bestimmung des maßgebenden Regenwasserabflusses gibt es eine Vielzahl von Berechnungsverfahren, angefangen bei noch händisch Durchführbaren, bis hin zu aufwendigen Computerberechnungen, die auch Einflussgrößen wie Versickerung, Muldenverluste, Benetzungsverluste und Verdunstung berücksichtigen. Ein noch anzuführender Punkt ist, dass durch das Regenwasser je nach Grad und Art der Verschmutzung der Oberflächen weitere Schmutzstoffe in die Kanalisation eingetragen werden.

2.4 Mischwasserbehandlung

2.4.1 Aufgaben der Mischwasserbehandlung

2.4.1.1 Allgemein

Gujer (1999) beschreibt die Aufgaben der Mischwasserbehandlung folgendermaßen:

„Mischwasser soll so in die Gewässer eingeleitet werden, dass diese nicht nachteilig beeinflusst werden. Dazu sind Konzepte erarbeitet worden, die mit den anfallenden Regenwassermengen, je nach deren Häufigkeit, unterschiedlich verfahren. Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken sind die hauptsächlichen Bauwerke.“ (Seite 227)

Die vorrangige Aufgabe ist also der Gewässerschutz. Dieser kann über eine Reduzierung der Gesamtemissionen aus dem System erfolgen. In Mischsystemen sind die Gesamtemissionen, der Ablauf der Kläranlage und die Mischwasserentlastungen im Kanalnetz. Hier wird nun auf Letzteres eingegangen. Um bei Regenereignissen einerseits den Kanal nicht zu überlasten bzw. für diese Ereignisse nicht bemessen zu müssen und andererseits die Kläranlage nicht hydraulisch zu überlasten, besteht die Möglichkeit, an bestimmten Stellen im Kanalnetz Mischwasserentlastungsbauwerke anzuordnen. Bei Anspringen dieser wird Abwasser ungeklärt bzw. gering geklärt in den Vorfluter eingeleitet. Dies sollte, wie oben im Zitat erwähnt, das Gewässer nicht nachteilig beeinflussen. Bei dieser Betrachtung ist auch die Art und Beschaffenheit des Gewässers von Bedeutung, da nicht jedes Gewässer die gleiche Menge und Häufigkeit an Schmutzstoffen verträgt. Hierfür sind in Österreich Regeln geschaffen worden, die momentan noch im Entwurf vorliegen.

2.4.1.2 AEV Mischwasser (Entwurf 02.01)

Diese Verordnung stellt eine Regelung über die Begrenzung von Emissionen über Mischwasserentlastungen aus Mischkanalisationen dar. Sie liegt im Entwurf vom 02.01 vor und definiert die zur Kläranlage weiterzuleitenden Schmutzfrachten eines

Jahres über Mindestweiterleitungsgrade. Die Definition laut AEV Mischwasser lautet wie folgt:

„Der Wirkungsgrad der Weiterleitung für einen Parameter bezieht sich auf die Summe der während des Zeitraumes von einem Jahr bei Niederschlagereignissen von der (den) Mischwasserentlastung(en) zur Abwasserreinigungsanlage ***weitergeleitete(n)*** *Fracht(en) an Inhaltstoffen des Mischwassers abzüglich des dem Trockenwetterabfluss im Tagesmittel zuzurechnenden Frachtenanteiles und die Summen der während des Zeitraumes eines Jahres bei Niederschlagsereignissen der (den) Mischwasserentlastung(en)* ***zufließende(n)*** *Fracht(en) an Inhaltsstoffen abzüglich des dem Trockenwetterabfluss zuzurechnenden Frachtenanteiles.“*

In Tabelle 1 sind diese Weiterleitungsgrade für die jeweiligen Abwasserinhaltstoffe angeführt. Die sechs Parameter wurden bereits in Kapitel 2.1 erläutert. In der AEV Mischwasser werden auch Maßnahmen vorgeschlagen, die bei Nichteinhaltung dieser Mindestweiterleitungsgrade eingesetzt werden können, um die geforderten Grenzwerte zu erreichen. Das sind zum Beispiel: Flächenentsiegelung; ein Versickern oder Direktableiten von nicht reinigungsbedürftigem Regenwasser; ein technisch sinnvoller Einsatz von Rohrprofilen mit erhöhter Schleppspannung (z.B. Eiprofil), um Kanalablagerungen zu verringern; die richtige Situierung von Mischwasserentlastungsbauwerken oder die wiederkehrenden Kontrollen des Bauzustandes und der Dichtheit der Kanäle sowie die Kontrolle auf Fehlanschlüsse.

Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation anfallenden Schmutzfrachten (Entwurf AEV Mischwasser 02.01)

		Größe der Kläranlage (EW) zu der die Mischkanalisation entwässert		
		< 5.000	5.000 – 50.000	> 50.000
1	NH_4-N, ges.N, ges.P, CSB, BSB_5	55	60	65
2	AFS	70	75	80

2.4.1.3 ÖWAV-Regelblatt 19 (Entwurf 10.03)

Dieses Regelblatt ist eine Richtlinie für die Bemessung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen und wird zur Zeit neu überarbeitet. Sie liegt daher im Entwurf vor. Laut Entwurfsstand 10.03 wird der Stand der Technik in diesem Regelblatt nicht mehr in Form von konstruktiven Vorgaben ausgedrückt, sondern durch die

Zielvorgabe der in der AEV Mischwasser definierten Mindestweiterleitungsgrade. Weiters werden darin auch weitergehende Anforderungen im Immissionsfall angeführt und damit wird auf die Größe, Art und Beschaffenheit des Vorfluters eingegangen.

In dieser Richtlinie wird die Formel für die Berechung der Weiterleitungsgrade angegeben. Da im Laufe dieser Diplomarbeit diese zur Anwendung kommt, wird diese hier angeführt. Für die Berechung der Weiterleitungsgrade werden außerdem Vereinfachungen im Regelblatt 19 getroffen. Es wird von einer vollständigen Durchmischung von Trockenwetterabfluss und Regenwetterabfluss sowie von einer zeitlichen Konstanz der Konzentrationen im Mischwasser ausgegangen. Die Berechung muss mit langjährigen Regenreihen durchgeführt werden.

$$\eta = \frac{(VQ_m - VQ_t)\cdot c_m - VQ_e \cdot c_e}{(VQ_m - VQ_t)\cdot c_m} \cdot 100 = \frac{VQ_r \cdot c_m - VQ_e \cdot c_e}{VQ_r \cdot c_m} \cdot 100$$

η ..... Wirkungsgrad (%)
VQ_m ..... Summe der Mischwassermengen eines Jahres (m³/a)
VQ_t..... Summe der Trockenwettermengen eines Jahres (m³/a)
VQ_r..... Summe der Regenabflussmengen eines Jahres (m³/a)
VQ_e ..... Summe der entlasteten Mischwassermengen eines Jahres (m³/a)
c_m..... Konzentration im Mischwasserabfluss (mg/l)
c_e ..... Konzentration im entlasteten Mischwasserabfluss (mg/l)

Im diesem Entwurf wird weiters ein Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für den Regenabfluss (η_r) definiert. Es wird davon ausgegangen, dass, wenn der Wirkungsgrad η_r erfüllt ist, die geforderten Mindestwirkungsgrade für NH_4-N, ges.N, ges.P, CSB und BSB_5 laut Tabelle 1 auch eingehalten werden. Dabei wird vereinfacht angenommen, dass die Schmutzfracht dieser fünf Inhaltsstoffe mit der Wassermenge korreliert. Für die Gleichung ergibt sich mit dieser Annahme, dass c_m gleich c_e ist. Dies führt zu folgender Gleichung für η_r.

$$\eta_r = \frac{VQ_r - VQ_e}{VQ_r} \cdot 100$$

η_r ..... Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
VQ_r ..... Summe der Regenabflussmengen eines Jahres (m³/a)
VQ_e..... Summe der entlasteten Mischwassermengen eines Jahres (m³/a)

Laut Regelblatt trifft diese Annahme (c_m gleich c_e) für gelöste Stoffe wie NH_4-N zu. Weil ges.N, ges.P, CSB und BSB_5 auch teilweise partikulär vorliegen, kann davon ausgehen werden, dass ihre tatsächlich erreichten Wirkungsgrade über jenem für NH_4-N liegen. Diese Art des Nachweises der Weiterleitungsgrade gilt für die fünf angeführten Inhaltsstoffe für alle Mischwasserentlastungsbauwerke. Für die AFS gilt sie nur bei Mischwasserüberläufen, da weder eine Speicher- noch eine Sedimentationswirkung gegeben ist.

2.4.2 Mischwasserentlastungsbauwerke

Wichtig für die Wirksamkeit eines solchen Bauwerks sind neben der Größe der Überlaufbecken bzw. Überläufe auch die richtige Situierung im Kanalnetz und die konstruktive Gestaltung. Die Aufgabe besteht darin, durch Zwischenspeicherung und Entlastung hohe Abflussspitzen und Konzentrationsspitzen abzumindern und damit das darunter liegende Kanalnetz und die Kläranlage hydraulisch zu entlasten und kleiner dimensionieren zu können.

2.4.2.1 Mischwasserüberlauf

Dies sind Entlastungsbauwerke ohne Speicher- und Reinigungsfunktion. Sie dürfen laut ATV-Arbeitsblatt 128 (April 1992) nur dort angeordnet werden, wo der kritische Mischwasserabfluss, bestehend aus dem mittleren Tagestrockenwetterabfluss und dem kritischen Regenabfluss, weitergeleitet und die Regenwasserbehandlung weiter unten in einem nachfolgenden Speicherbauwerk durchgeführt werden kann. Anzustreben ist ein Bauwerk dort, wo das entlastete Mischwasser die geringste Verschmutzung aufweist. Es ist jedoch sinnvoll, für eine mögliche spätere Nachrüstung von Becken ausreichend Platz freizuhalten. Weiters muss ein Mindestmischungsverhältnis von 7:1 zwischen Trockenwetterabfluss und Regenwasserabfluss eingehalten werden.

2.4.2.2 Mischwasserüberlaufbecken

Im Gegensatz zu einem reinen Mischwasserüberlauf haben diese Bauwerke eine Speicher-, und je nach Ausführung, auch eine mechanische Reinigungsfunktion. Laut ATV-Arbeitsblatt 128 (April 1992) wird der größte wasserwirtschaftliche Effekt dann erzielt, wenn Regenüberlaufbecken insbesondere unterhalb von stark ablagerungsbehafteten Haltungen oder Teileinzugsgebieten angeordnet werden. Sie können als Stauraumkanäle oder als Fang-, Durchlauf- und Verbundbecken im Haupt- oder Nebenschluss ausgeführt werden. Hauptschluss bedeutet, dass der zur Kläranlage weitergeleitete Abfluss durch das Becken geht, Nebenschluss, dass er am Becken vorbeigeleitet wird. Die grundsätzliche Entscheidung, ob das Bauwerk im Haupt- oder Nebenschluss errichtet wird, hängt von den örtlichen Höhen- und Lageverhältnissen ab. Wenn es nur einen geringen Höhenunterschied zwischen Zu- und Ablauf gibt, ist die Anordnung im Nebenschluss von Vorteil, da das Becken über Pumpen entleert werden muss und dadurch auch gesteuert entleert werden kann. Der Nachteil dabei ist aber, dass mehr verbindende Leitungen als beim Hauptschluss und ein zusätzliches Trennbauwerk erforderlich sind. Die Anordnung im Hauptschluss hingegen wird bei ausreichendem Höhenunterschied zwischen Zu- und Ablauf und geringen Freiheiten in der Lageanordnung bevorzugt gebaut. Hauptschluss hat betriebliche und konstruktive Vorteile.

Fangbecken:
Bei kleinen nicht vorentlasteten Einzugsgebieten mit kurzer Fließzeit ist in der Regel ein ausgeprägter Spülstoß zu erwarten. In solchen Fällen ist ein Fangbecken, laut ATV-A128, anzuordnen. Diese speichern den Spülstoß, wenn er kurz vor der Spitze des Mischwasserabflusses auftritt. Das Entlastungsbauwerk ist vor dem Becken angeordnet. Das Überlaufwasser durchfließt das Becken nicht und kann dadurch auch nicht mechanisch durch einen Absetzvorgang im Becken gereinigt werden. Der gespeicherte Inhalt muss zur Abwasserreinigungsanlage abgeführt werden.

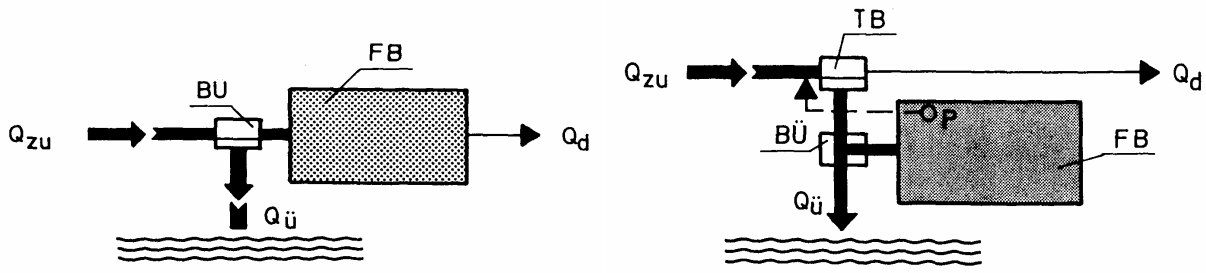


Abb. 3: Fangbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992)

Durchlaufbecken:
Durchlaufbecken werden bei größeren Einzugsgebieten vorgesehen. Die Gründe dafür sind laut ATV-A 128 gleichmäßigere Verschmutzungskonzentrationen und geringer ausgeprägte Spülstöße. Da Durchlaufbecken auf eine mechanische Reinigung des Mischwassers abzielen, wirken sie bis zur Füllung des Beckens als Speicher und danach für einen Teilzufluss als Absetzbecken mit Klärüberlauf in den Vorfluter. Um den maximalen Zufluss zu begrenzen, wird dem Becken in der Regel ein Entlastungsbauwerk vorgeschaltet. Der gespeicherte Beckeninhalt muss am Ende des Ereignisses der Kläranlage zugeführt werden.

Durch die Tatsache, dass sich zu Beginn und am Ende eines Regenereignisses der Trockenwetterabfluss mit dem verhältnismäßig niedrigen Regenwasserabfluss mischt, ist das Abwasser zu dieser Zeit stärker verschmutzt als zu anderen Zeiten des Regenabflusses. Daher werden Durchlaufbecken wenn möglich im Nebenschluss angeordnet. Bis zur Größe des Drosselabflusses, des vorgeschalteten Trennbauwerks, wird der Abfluss am Becken vorbei geleitet und dieses stärker verschmutzte Abwasser gelangt nicht ins Becken. Die Folge daraus ist, dass die entlastete Schmutzfracht in Gegensatz zu Durchlaufbecken im Hauptschluss geringer ist.

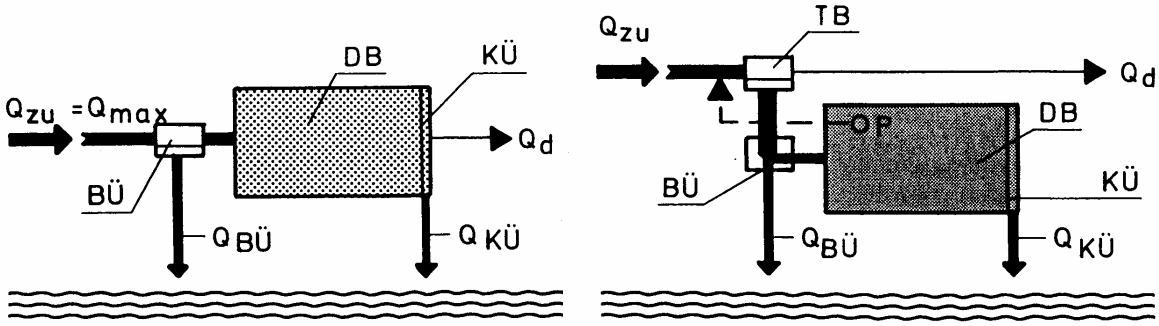


Abb. 4: Durchlaufbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992)

Verbundbecken:
Verbundbecken sind eine Kombination aus Fang- und Durchlaufbecken. Sie werden dort angeordnet, wo sowohl ein Spülstoß aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet zu erwarten ist, als auch ein Abfluss mit gleichmäßiger Verschmutzung aus den Gebieten mit längerer Fließzeit vorkommt. Sie bestehen aus einem Fang- und einem Klärteil. Das ankommende Mischwasser wird als erstes in den Fangteil geleitet. Nach der Vollfüllung dieses Beckens fließt das Wasser in den Klärteil. Der Vorteil ist, dass man Fang- und Klärwirkung in einem Bauwerk vereint hat. Der Nachteil ist aber, dass man eine geringere Klärwirkung als beim Durchlaufbecken hat.

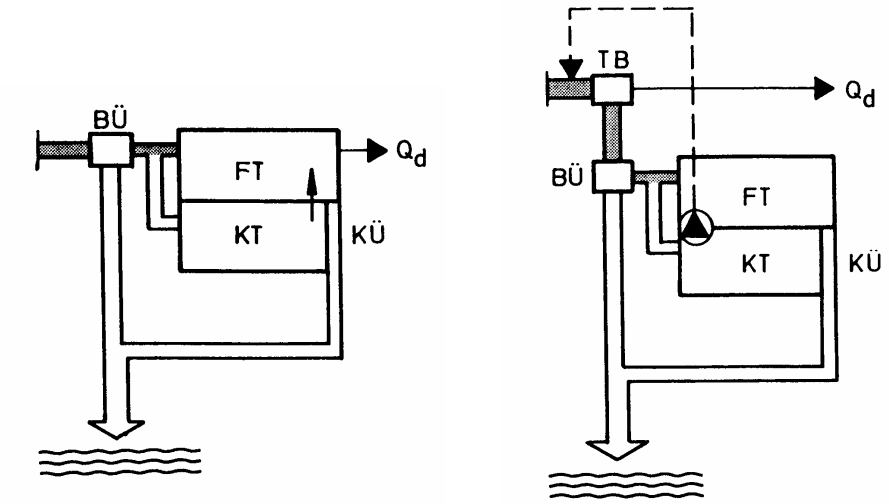


Abb. 5: Verbundbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992)

Stauraumkanäle:
Es werden zwei Arten von Stauraumkanälen unterschieden. Erstens, Stauraumkanäle mit oben liegender Entlastung, die wie Fangbecken im Hauptschluss wirken, und zweitens Stauraumkanäle mit unten liegender Entlastung, die wie Durchlaufbecken im Hauptschluss wirken. Angeordnet wird ein Stauraumkanal dann, wenn gewährleistet ist, dass genügend Schleppspannung vorhanden ist, um Ablagerungen zu verhindern oder zu beseitigen.

Untenliegende Entlastungen haben den Nachteil, dass bei großen Wassermengen die im Stauraumkanal enthaltenen Sedimente durch das nachdrängende weniger verunreinigte Wasser ausgespült werden. Stauraumkanäle mit unten liegender Entlastung müssen daher größer dimensioniert werden als solche mit oben liegender und springen daher weniger oft an.

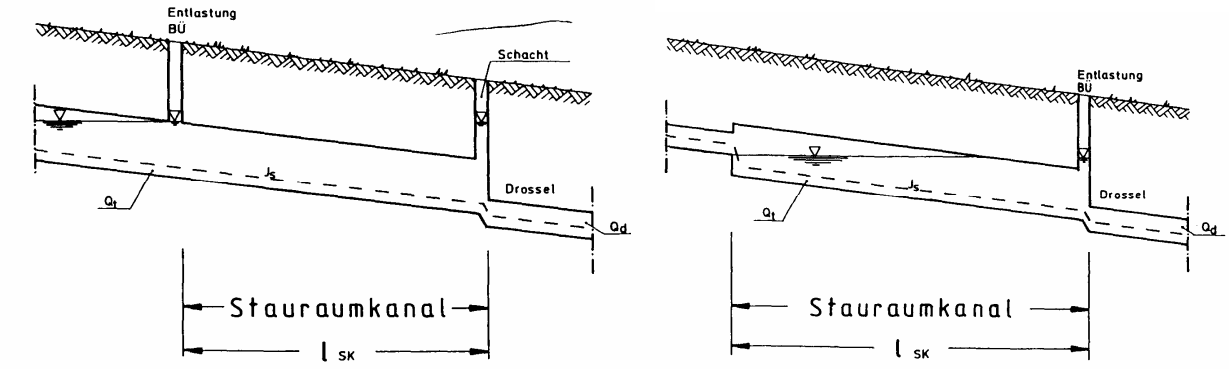


Abb. 6: Stauraumkanal mit oben und unten liegender Entlastung (ATV-A 128 1992)

3 Schmutzfrachtberechnungsmodelle

3.1 Allgemein

Schmutzfrachtberechnungsmodelle haben die Aufgabe den Niederschlag-, Abfluss-, und Stofftransportprozess zu simulieren. Grundsätzlich können daher Stoffbilanzierungen als auch Abflussbilanzierungen vorgenommen werden. Je nach Anwendungsziel oder Detaillierungsgrad der Eingangsgrößen können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden. Laut ATV-A118 unterscheidet man im Wesentlichen zwei grundsätzliche Methoden zur Berechnung des Abflusses im Kanal. Die einen wären die hydrologischen Methoden und die anderen die hydrodynamischen Methoden.

3.1.1 Hydrologische Methoden

Das Abflussgeschehen auf der Oberfläche und im Kanal wird getrennt simuliert. Der Oberflächenabfluss wird mit Übertragungsfunktionen aus den Regendaten gebildet. Die Ansätze können je nach Modell unterschiedlich sein. Der Abfluss im Kanal, der sich aus einer Überlagerung der verschiedenen Einzelabflüsse ergibt, wird an einem Punkt im Kanalnetz nachgebildet. Das Kanalnetz wird grob vereinfacht und Abflussprozesse im Kanal ebenfalls mit Übertragungsfunktionen modelliert. Das Translations- und Retentionsverhalten im System kann auch berücksichtigt werden. Probleme mit dieser Methode der Berechnung ergeben sich, wenn Fließumkehr oder Rückstau auf Entlastungsbauwerke vorliegen. Es können keine Wasserstände errechnet werden, sondern nur Abflüsse.

3.1.2 Hydrodynamische Methoden

Diese Modelle unterscheiden sich zu den hydrologischen im Wesentlichen durch die Simulation des Abflusses im Kanal. Man benötigt einen genauen Detaillierungsgrad des Systems, um diese Berechnungen durchführen zu können. Neben dem Abfluss können diese Modelle auch Wasserstände ermitteln. Dadurch kann die Situation an Sonderbauwerken erfasst, das verfügbare Kanalvolumen berücksichtigt oder Überlastungen im Netz dargestellt werden. Die Basis dieser Methode bildet die Lösung der Saint-Venant'schen Differentialgleichung.

3.2 Hydrologische Langzeitsimulation

3.2.1 Allgemein

Die ATV Arbeitsgruppe 1.2.6 – Hydrologie der Stadtentwässerung schlägt für die Bezeichnung Langzeitsimulation im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft folgende Bezeichnung vor.

„ Mit der Langzeitsimulation wird der Abflussprozess in Kanalsystemen, der sich aus einer Folge von Einzelregen ergibt, mathematisch nachgebildet. Dabei ist Voraussetzung, dass als Belastungsdaten für ein verwendetes Berechnungsmodell gemessene Regenereignisse in ihrem natürlichen zeitlichen Verlauf Verwendung finden.
Es besteht die Möglichkeit, die zeitliche Abfolge verschiedener Ereignisse zu verändern, wenn die Ereignisse hinsichtlich der Berechnungsergebnisse unabhängig voneinander sind. Der Intensitätsverlauf der Einzelereignisse darf hingegen nicht verändert werden.“

Der Wortlaut „in ihrem natürlichen zeitlichen Verlauf“ spielt hier eine besondere Rolle. In Hinblick auf die Entlastungstätigkeit von Mischwasserüberlaufbecken sind dafür zwei wesentliche Gründe anzuführen. Der erste Grund ist, dass Anfangsverluste des Regenabflusses, wie Benetzungs- und Muldenverluste, noch nicht ganz abgetrocknet sind und es erneut regnet. Dies hat zur Folge, dass es wegen dieser verringerten Anfangsverluste zu einem größeren Niederschlagsabfluss kommt. Geht man immer von den vollen Anfangsverlusten aus und wird die zeitliche Abfolge nicht berücksichtigt, wird von zu günstigen Annahmen ausgegangen und zu geringe Überlaufmengen simuliert. Dies spiegelt sich dann in zu gering dimensionierten Becken wider.

Der zweite Grund ist, dass Becken nach Ende eines Regenabflusses noch Teilfüllungen enthalten und diese zu Beginn der darauf folgenden Trockenwetterphase abgeben. Die Entleerung kann bei Drosselorganen mit geringer Leistung oder bei Speichern mit großem Volumen sehr lange dauern. Tritt während der Entleerungsphase ein weiterer Niederschlagabfluss auf, kann nicht das gesamte, sondern nur das verbleibende Volumen genützt werden.

Diese Langzeitsimulationen werden dafür eingesetzt, um Mischwasserbauwerke zu dimensionieren und Nachweis über Entlastungshäufigkeiten und –menge bereits

bestehender Überlaufbauwerke zu führen. In Österreich können diese Simulationsrechnungen in Zukunft für die Überwachung der Einhaltung der Mindestweiterleitungsgrade, laut Entwurf der AEV Mischwasser, verwendet werden. Die klassischen Probenahme- und Analysestrategien, wie sie bei kontinuierlich getätigten Abwassereinleitungen üblich sind, werden hier bei den stochastisch auftretenden Entlastungsereignissen nicht oder nur mit unvertretbar hohem Aufwand zum Einsatz kommen können. Es müssen über längere Zeiträume Zu- und Abflüsse sowie die Konzentrationen der Schmutzparameter gemessen werden, um diese Mindestweiterleitungsgrade zu überprüfen. Daher ist es besser, diese Zu-, Abflüsse und Konzentrationen nachzubilden und indirekt über die Simulation zu kontrollieren, wie es die AEV Mischwasser vorschlägt. Im ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf Stand 10.03) ist angeführt, dass dies mit Hilfe einer hydrologischen Langzeitsimulation durchgeführt wird. Der Vorteil dieser Art der Nachbildung ist, dass der Detaillierungsgrad des Kanalnetzes nicht zu genau sein muss und dadurch der Aufwand in Grenzen gehalten wird.

3.2.2 Eingangsgrößen der hydrologischen Langzeitsimulation

Laut ÖWAV Regelblatt 19 sind folgende Eingangsgrößen für die Berechnung des Wirkungsgrades der Mischwasserbehandlung erforderlich.

3.2.2.1 Langjährige Regenreihen

Um dem Begriff „Langzeit“ gerecht zu werden, sollten mehrjährige Zeiträume herangezogen werde. Für die Verwendung von durchgehenden Jahresreihen (für die Kontinuumssimulation) wären zumindest 10 Jahre ein gute Basis. Außerdem sollte die Repräsentativität der Daten gewährleistet sein. Das heißt, dass zumindest die mittlere jährliche Niederschlagssumme dem langjährigen Mittel entsprechen sollte und die zeitliche Aufschlüsselung in zumindest 10-Minuten-Intervallen vorzuliegen hat.

Laut Fenz und Rauch 2004 ist für Österreich ein Projekt zur Generierung repräsentativer Regenreihen geplant. Das Resultat wird eine Karte von Österreich, gegliedert in voraussichtlich 10 bis 15 Niederschlagsregionen, sein. Jede dieser Regionen wird durch eine weitgehend einheitliche Niederschlagscharakteristik gekennzeichnet sein, sodass mit einer repräsentativen Niederschlagsreihe für jede Region die Wirkungsgrade der Weiterleitung in allen Orten dieser Region hinreichend genau berechnet werden kann.

Im Rahmen der Projektes ÖKOSTRA (**Ö**sterreichische **ko**ordinierte **St**arkniederschlags**r**egionalisierung und –**a**uswertung) ist laut Krall 2004 die Auswertung von langjährigen Niederschlagsreihen unter Projektleitung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau geplant, mit dem Ziel für den dichter besiedelten Raum (Orte mit mehr als 5.000 Einwohnern) lokale Niederschlagsreihen zu finden. Diese Niederschlagsreihen sollen die durchschnittliche Niederschlagscharakteristik (Jahresniederschlagshöhe, Anzahl der Tage mit Niederschlag) für den Zweck der Ermittlung der in Mischkanalisationen jährlich entlasteten Mischwassermengen hinreichend genau widerspiegeln. Der örtliche Bereich, für den die ausgewählte Regenreihe jeweils gilt, soll abgegrenzt werden.

3.2.2.2 Größe der abflusswirksamen Fläche:

Eine sorgfältige Ermittlung der Flächendaten ist die Vorraussetzung für ein qualitativ hochwertiges Gesamtergebnis. Hier werden im Wesentlichen zwei Arten der Ermittlung unterschieden. Das wären einerseits die flächendeckende Digitalisierung der Oberfläche und andererseits die Extrapolation von Musterflächen. Bei beiden Methoden wird überprüft werden, ob die erfassten Flächen auch tatsächlich an das betreffende Kanalnetz angeschlossen sind. Weiters kann man bei den meisten hydrologischen Abflussmodellen zumindest in einen Abfluss von befestigter und unbefestigter Oberfläche unterscheiden und falls notwendig auch in Abflüsse von durchlässigen und teildurchlässigen Oberflächen.

Bei der flächendeckenden Digitalisierung werden die Oberflächen über das gesamte Einzugsgebiet lagemäßig erfasst. Geografische Informationssysteme (GIS) helfen den Arbeitsaufwand in Grenzen zu halten. Der Mindeststandard für diese Art der Ermittlung ist zumindest die Verwendung des Grundstückskatasters. Besser geeignet sind Kartengrundlagen, die den tatsächlichen Zustand abbilden, wie Luftbilder oder Naturbestandsaufnahmen.

Bei der Extrapolation von Musterflächen wird als erstes der relative Anteil der befestigten Oberfläche (Befestigungsgrad) ermittelt, um sie danach auf Gebiete mit ähnlicher Oberflächenbedeckung extrapolieren zu können. Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt stark davon ab, wie sorgfältig bei der Bestimmung der Musterflächen und bei der Abgrenzung von Gebieten ähnlicher Oberflächenbedeckung gearbeitet wird. Durch die Aufnahme von mehreren Probeflächen pro Klasse soll die Güte der Gebietseinteilung überprüft werden. Im Vergleich zur flächendeckenden Digitalisierung ist die Extrapolation ungenauer. Daher müssen zur Analyse der Musterflächen mindestens Luftbilder oder

Naturbestandsaufnahmen als Ergänzung zu den Katasterplänen herangezogen werden.

3.2.2.3 Größe des vorhandenen Speichervolumens

Dieses beinhaltet einerseits das Speichervolumen existierender Mischwasser-überlaufbecken und Kanalstauräume und andererseits das so genannte „statische“ Kanalvolumen. Dies ist das Volumen, welches im Kanal als Speicher oberhalb von Mischwasserentlastungen aktiviert werden kann.

3.2.2.4 Größe des Drosselabflusses

Für die Langzeitsimulation benötigt man zumindest die Größe des Drosselabflusses bei jeder Mischwasserentlastung. Weitere Daten des Mischwasserüberlaufbauwerks sind je nach verwendeter Methode unterschiedlich.

3.2.2.5 Durchschnittlicher Trockenwetterabfluss

Für die Ermittlung der Weiterleitungsgrade zur Kläranlage wird der mittlere tägliche Trockenwetterabfluss für die Simulation benötigt. Weiters können je nach verwendetem Simulationsprogramm oder auch gewünschten Ergebnissen weitere Daten über den Trockenwetterabfluss notwendig sein. Diese können z.B. Trockenwetterganglinien des Abflusses, aber auch der Abwasserinhaltstoffe sowie mittlere Konzentrationen verschiedener Inhaltsstoffe sein.

3.2.2.6 Parameter der Abflussbildung

Die Abflussbildung ist eine Phase des Oberflächenabflusses. Es werden abflusswirksame Niederschläge ermittelt. Dies geschieht durch ein Umwandeln des gefallenen Niederschlags durch physikalische Prozesse in einen Abfluss von der Oberfläche. Bei einem Regenereignis kommt nicht die gesamte Niederschlagsmenge zum Abfluss. Die Anteile des Niederschlags, die aufgrund von Benetzung, Muldenauffüllung, Verdunstung und Versickerung nicht zum Abfluss gelangen, werden abgezogen. Diese Verluste werden bei den Simulationsprogrammen mit unterschiedlichen Methoden berücksichtigt. Sie können detailliert, aber auch einfach nachgebildet werden und sind dadurch vor allem hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs

verschieden. Als Beispiele werden hier die Grenzwertmethode oder die Schwellenwertmethode angeführt.

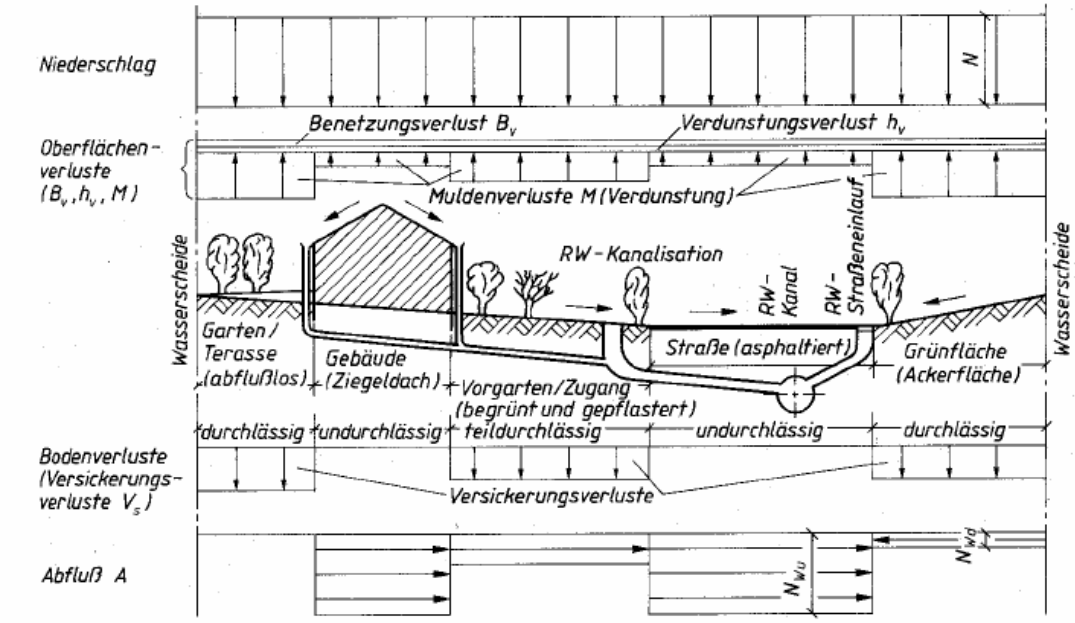


Abb. 7: Schema der Abflussbildung (Hosang/Bischof 1998)

3.2.2.7 Parameter der Abflusskonzentration

Die Abflusskonzentration ist jene Phase des Oberflächenabflusses, der nach der Abflussbildung kommt. Sie beschreibt das Zusammenfließen der abflusswirksamen Niederschläge über Oberflächen, Rinnen, Gräben oder Kanäle zum Tiefpunkt (im Extremfall das Entlastungsbauwerk) des betrachteten Einzugsgebietes. Im Wesentlichen ist dabei die Fließzeit sowohl auf der Oberfläche als auch im Kanalabschnitt für die Berechnung wichtig. Gleich wie bei der Abflussbildung gibt es mehrere Methoden der Ermittlung, angefangen von einfachen bis hin zu detaillierten.

3.2.3 Kalibrierung des Modells

Im ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf 10.03) wird darunter die Bestimmung der Modellparameter durch den Vergleich von berechneten und realen Systemverhalten verstanden. Daher müssen Messungen vom Niederschlag als auch vom Abfluss im Entwässerungssystem über die gleiche Zeitspanne vorliegen. Durch die Veränderung der Modellparameter wird versucht, eine möglichst weitgehende Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung zu erzielen.

Es wird immer eine Abweichung von den gemessenen Daten geben, da den verwendeten Berechnungsmodellen immer Vereinfachungen der tatsächlichen Zusammenhänge zugrunde liegen. Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass die Modellparameter durch Messungen nicht immer exakt bestimmbar sind.

Im ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf 10.03) sind Mindestanforderungen für die zu verwendenden Daten definiert (siehe Tabelle 2). Die Kalibrierung und die Überprüfung der Genauigkeit des erstellten Modells kann anhand von Jahresreihen oder Einzelereignissen erfolgen. Diese Mindestanforderungen beziehen sich auf Simulationen, die als Ziel das Berechnen der Weiterleitungsgrade nach AEV Mischwasser haben und sich daher auf das ganze Einzugsgebiet einer Kläranlage beziehen. Werden nur Teileinzugsgebiete modelliert, sind die Messdaten dementsprechend zu ermitteln.

Tabelle 2: Mindestanforderungen für die Kalibrierung

Kalibrierung anhand von:	Eingangsdaten für Simulation	Messwerte
Jahresreihen	mindestens 1-jährige Niederschlagsreihe, gemessen parallel zu den Abflussmessungen ***oder*** mindestens 1-jährige Niederschlagsreihe, übernommen von einer Station mit vergleichbarer Jahresniederschlagshöhe	Zuflussmenge auf der Kläranlage **und** Jahressumme der Entlastungsdauer und Häufigkeit der Entlastungsvorgänge ***oder*** Jahresentlastungsmenge
Einzelereignissen	mindestens 3 relevante, voneinander unabhängige Niederschlagsereignisse mit signifikantem Regenabfluss und Überschreitung des Drosselabflusses zur ARA	Wasserspiegelhöhe im Stauraum und/oder Wasserspiegelhöhe an der Überlaufschwelle, Drosselabflussmenge

4 Modellierung des Einzugsgebietes und des Mischwasserüberlaufes

4.1 Vorgehensweise

Der erste rechnerische Teil dieser Diplomarbeit war das Modellieren des Einzugsgebietes in Graz West und des Mischwasserüberlaufes dieses Gebietes bei der Bertha-von-Suttner-Friedens-Brücke. Hierfür wurde das hydrologische Schmutzfrachtberechnungsprogramm KOSIM verwendet. Genauere Erklärungen zu KOSIM werden in Kapitel 4.2 gemacht.

Die Modellierung wurde folgendermaßen durchgeführt: Zuerst wurden die benötigten Daten erhoben. Diese Daten waren Bauwerksdaten, Parameter der Abflussbildung, Parameter der Abflusskonzentration und Flächendaten. Außerdem wurden Regen- bzw. Abflussgrößen über dieselbe Zeitspanne benötigt. Diese wurden in eine vom Programm KOSIM einlesbare Form gebracht. Die detaillierte Vorgehensweise bei der jeweiligen Erhebung bzw. Aufbereitung von Eingangsgrößen wird im Kapitel 4.3 erläutert. Dem Ziel, ein möglichst genaues Abbild der Wirklichkeit bzw. der gemessenen Daten zu bekommen, wurde durch eine sorgfältige Ermittlung aller Eingangswerte Rechnung getragen. Aus den zur Verfügung gestellten Daten konnte ein Optimum an Informationen bzw. Eingangsgrößen für die Modellierung herausgefiltert werden, wie z. B. das Erstellen von Trockenwettertagesganglinien für dieses Einzugsgebiet, um nicht von KOSIM vordefinierte Einheitsganglinien verwenden zu müssen.

Das Kalibrieren des Modells war ein Hauptpunkt. Dies geschah im Wesentlichen durch einen Vergleich der Messdaten mit den von KOSIM errechneten Ergebnissen. Ein Verbessern der Berechnungsergebnisse geschah über ein Verändern der Eingangswerte. Über ein Abändern der Randbedingungen wurde die „Wirklichkeit“ angenähert. Es handelte sich um einen iterativen Prozess, bis das Ergebnis dem Modell der „Wirklichkeit“ entsprach. Die genaue Vorgehensweise der Kalibrierung wird in Kapitel 4.4 erklärt.

Der Kalibrierung folgte die Verifizierung von Einzelereignissen. Hier wurden fünf von einander unabhängige Regenereignisse ausgewählte. Es wurde überprüft, welche Abweichungen sich bei den Bilanzen als auch bei den errechneten Abflussganglinien ergaben. Auf die Verifizierung wird in Kapitel 4.6 genauer eingegangen.

4.2 Erklärung des Programms KOSIM

Das für diese Modellierung verwendete Programm KOSIM (**KO**ntinuierliches Langzeit**SIM**ulationsmodell) in der Version 6.3 wurde ursprünglich am Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover entwickelt und hatte das Ziel, Niederschlag-Abfluss-Ereignisse nachzubilden. Eine verstärkte Diskussion über Schmutzfrachtberechnungen in Deutschland führte zu einer Modifikation und Erweiterung für diese Aufgabenstellung. Das Ergebnis war ein hydrologisches Langzeit-Kontinuums-Schmutzfrachtberechnungsmodell, das kontinuierlich Abflussganglinien an einem Punkt im Kanalnetz simulieren konnte. Die Auswertung dieser Ganglinien ist eine statistische Analyse der einzelnen simulierten Jahre als auch des gesamten Simulationszeitraumes. Neben diversen Summen- und Mittelbildungen werden vor allem die an den Entlastungsbauwerken auftretenden Überlaufereignisse hinsichtlich ihrer Menge, Schmutzfracht und Häufigkeit erfasst und dargestellt.

Für die kontinuierliche Simulation von Abflussganglinien werden durchgehende, in ihrer zeitlichen Abfolge unveränderte Niederschlagsdaten (Niederschlagskontinuum) benötigt. Hierfür müssen sie für KOSIM in 5-Minuten-Intervallen diskretisiert sein. Die Überregnung des Gebietes kann sowohl gleichmäßig, als auch räumlich variabel gewählt werden. Für eine räumliche Variabilität des Niederschlags müssen aber mehrere Niederschlagsmessstellen in diesem Gebiet vorhanden sein, um diese in der Berechnung berücksichtigen zu können.

Die realen Gegebenheiten im untersuchten Gebiet werden mit Hilfe von Systemelementen nachgebildet. Dabei wird in Gebietselemente, Verbindungselemente und Speicherbauwerke unterschieden.

Gebietselement
Das Gebietselement ergibt sich aus den Flächenkomponenten und den Trockenwetterkomponenten. Die Flächenkomponenten sind maßgebend für den Regenwetterabfluss. Das Programm KOSIM unterscheidet drei Flächenarten: die durchlässigen, undurchlässigen und natürlichen Flächen. Diese Arten werden mit Parametersätzen definiert. Sie enthalten Angaben über die einzelnen Verluste wie z.B. den Muldenverlust. Weiters gehen hier auch die Größe der jeweiligen Flächenart und die mittlere Neigung des Geländes in die Berechnung ein.

Die Trockenwetterkomponenten definieren den Trockenwetterabfluss. Dieser setzt sich aus dem Schmutz- und Fremdwasserabfluss zusammen. Der Fremdwasseranteil wird als konstanter Zuschlag zum mittleren Schmutzwasserabfluss angegeben und

unterliegt in diesem Modell keinen zyklischen Schwankungen. Der Schmutzwasserabfluss kann zyklischen Schwankungen unterliegen, die in KOSIM mit Hilfe von Trockenwetterganglinien nachgebildet werden können. Diese setzen sich wiederum aus Tages-, Wochen-, und Jahresganglinien zusammen. Alle Ganglinien im KOSIM sind Relativganglinien, die Schwankungen um einen Mittelwert beschreiben. Es muss also für jede Berechnungsgröße (Durchfluss und Stoffgrößen) ein Mittelwert (mittlerer täglicher Trockenwetterabfluss Q_{t24} und mittlere tägliche Trockenwetterkonzentrationen) und die dazugehörige Relativganglinie definiert werden. Die Summe der Relativwerte einer solchen Ganglinie muss der Anzahl der Ordinaten entsprechen. Für die Tagesganglinie bedeutet das, dass die Summe 24 ist, und damit schwanken die Ordinatenwerte um 1. Der Grund dafür ist, dass KOSIM volumen- bzw. frachtentreu ist. Das heißt, dass aus der Überlagerung von Ganglinien (Tages-, Wochen- und Jahresganglinien) das errechnete Trockenwetterabflussvolumen eines Jahres gleich dem Trockenwettervolumen. errechnet aus $Q_{t,24}$ mal 24 Stunden mal Anzahl der Tage, in der Regel 365, sein muss.

Für den Wochengang können für Werktag, Samstag und Sonntag verschiedene Tagesrelativganglinien definiert werden. Da diese einzelnen Tage unterschiedliche Tagesmittelwerte haben und dadurch vom definierten abweichen, gibt es wieder Relativfaktoren, die dies ausgleichen. Als Beispiel soll das an der Formel für den aktuellen Trockenwetterabfluss gezeigt werden.

$$Q_{TW,t} = Q_{TW} \bullet C_{J,t} \bullet C_{W,t} \bullet C_{T,t}$$

Q_{TW} ..... mittlerer Trockenwetterabfluss
$Q_{TW,t}$ ..... aktueller Trockenwetterabfluss
$C_{J,t}$ ..... aktueller Relativfaktor Jahresgang
$C_{W,t}$ ..... aktueller Relativfaktor Wochengang
$C_{T,t}$ ..... aktueller Relativfaktor Tagesgang

Verbindungselemente

Die errechneten Abflüsse der Gebiete werden dem Bauwerk entweder direkt oder über Verbindungselemente wie Transportstrecken (z.B. große Sammler) oder Verzweigungen zugeführt. Da in der Diplomarbeit dies direkt erfolgt, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Speicherbauwerke

Da das Programm KOSIM in Deutschland entwickelt wurde, sind in Anlehnung an die ATV-A 128 die in Kapitel 2.4.2 dieser Arbeit angeführten Bauwerke berücksichtigt. Hier wird kurz auf den Mischwasserüberlauf eingegangen. Bei diesem Bauwerk wird entsprechend der hydraulischen Leistungsfähigkeit (Q_{krit}) der Durchfluss in einen Abfluss durch die Drossel (Q_{Dr}) und einen Abfluss über den Überlauf (Q_{ue}) aufgeteilt. Durch die Eingabe eines funktionalen Zusammenhanges zwischen Zu- und Abfluss kann eine Abflussgröße errechnet werden. Danach ergibt sich der Überlauf als Differenz aus Zu- und Ablauf. Dieser funktionale Zusammenhang ist die Abflusskennlinie, wie diese in KOSIM genannt wird. Sie kann direkt eingegeben werden oder sie wird aus den eingegebenen geometrischen Daten des Mischwasserüberlaufes automatisch generiert. In Abb. 8 sieht man den Aufbau und die möglichen Verknüpfungen, die im Programm KOSIM zur Verfügung stehen und in Abb. 9 die einfache Struktur, die in dieser Arbeit verwendet wurde.

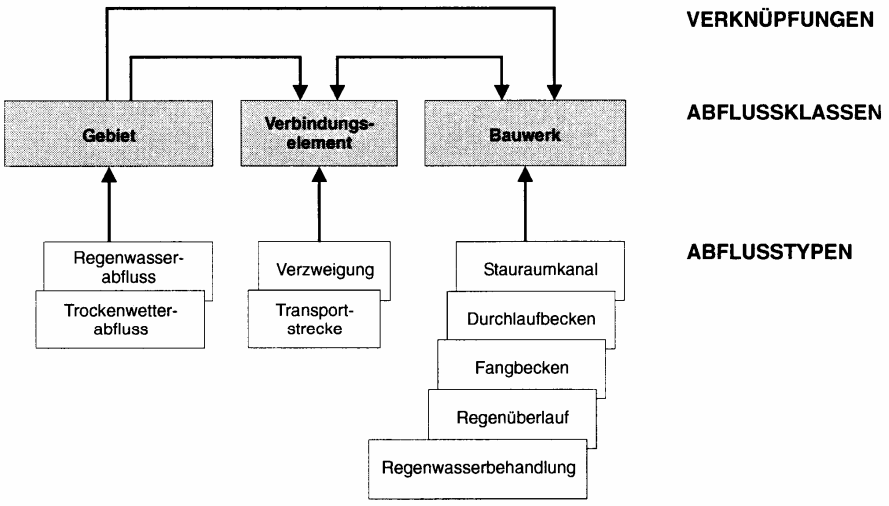


Abb. 8: Aufbau und mögl. Verknüpfungen in KOSIM (KOSIM Anwenderhandbuch 2002)

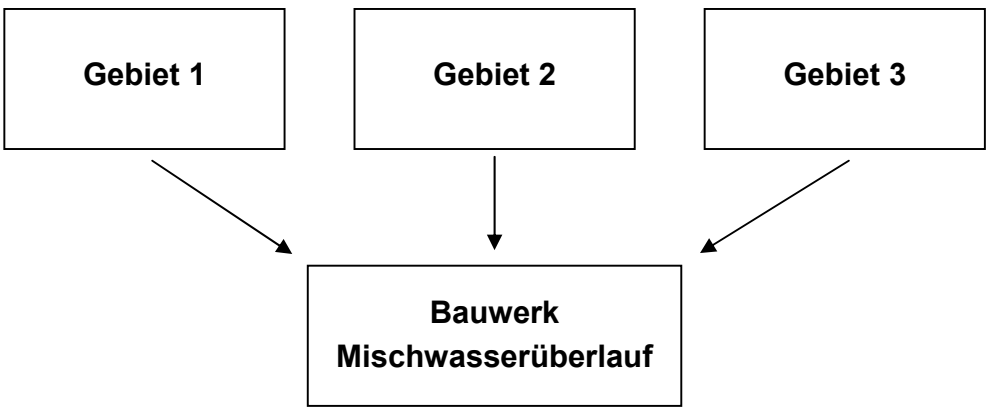


Abb. 9: verwendete Struktur

Abflussbildung und Abflusskonzentration

Als letzter Punkt in diesem Kapitel wird erläutert, welche Ansätze KOSIM für diese beiden Punkte verwendet.

Für die **Abflussbildung** auf undurchlässigen Flächen wird die Grenzwertmethode, die in der speziellen Art nach Paulsen (1987) entwickelt und von Verworn und Kenter (1993) verbessert wurde, verwendet. Sie geht davon aus, dass bei einsetzendem Regen als erstes die Benetzung der Oberfläche erfolgt und dabei noch kein Abfluss stattfindet. Diese Phase wird mit den Benetzungsverlusten (V_{ben}) beschrieben. Ist diese Benetzung abgeschlossen, wird bei anhaltendem Niederschlag ein Muldenspeicher gefüllt. Maximal kann dabei eine Regenhöhe von V_{muld} in mm darin gespeichert werden. Die Grenzwertmethode geht aber davon aus, dass schon am Beginn der Muldenauffüllphase ein bestimmter Flächenanteil abflusswirksam ist. Dieser Flächenanteil wird mit Ψo (Anfangsabflussbeiwert) bezeichnet. In dieser Phase nimmt mit zunehmender Niederschlagssumme die abflusswirksame Fläche, beginnend mit Ψo, e-funktional zu, bis nach Abdecken aller Muldenverluste der Endabflussbeiwert Ψe erreicht ist. Dauerverluste werde in diesem Modell so berücksichtigt, dass, falls Ψe kleiner 1 ist, nie die gesamte befestigte Fläche abflusswirksam ist. Für durchlässige und natürliche Flächen, wie sie im KOSIM definiert sind, gibt es ebenfalls Ansätze. Auf deren Erklärung wird hier aber verzichtet, da in der Simulation für diese Diplomarbeit angenommen wurde, dass nur von undurchlässigen Flächen ein Abfluss auftritt.

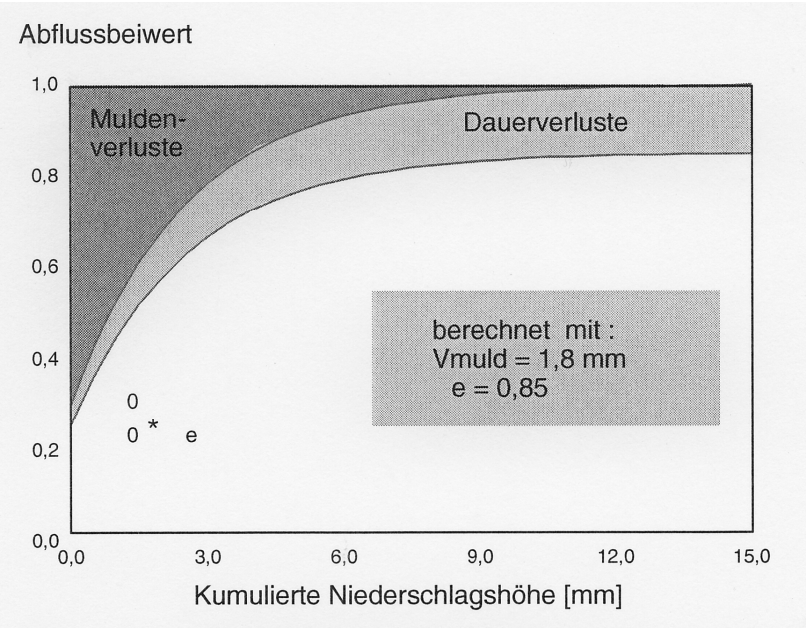


Abb. 10: Verlauf des Abflussbeiwertes mit und ohne Dauerverluste bei konstantem Niederschlagsverlauf nach Grenzwertmethode (Verworn und Kenter, 1993)

Die **Abflusskonzentrationsberechnung** in KOSIM basiert auf linearen Speicherkaskaden. Das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes wird bei einem Niederschlag anhand der mathematischen Funktion der eingesetzten Speicher beschrieben. Über den Einfluss der Modellparameter, wie Anzahl der Speicher und die Speicherkonstante (beschreibt die Aufenthaltszeit im Gebiet), können die erzeugten Abflussganglinien der tatsächlichen angepasst werden. Treffen Abflussganglinien von mehreren Einzugsgebieten zusammen, so werden diese linear superponiert. Das heißt, dass jene Ordinatenwerte der Abflussganglinien, die zur selben Zeit im Kanal zusammen kommen, aufaddiert werden. In KOSIM besteht die Möglichkeit der Angabe der Anzahl der Speicher, sowie die Speicherkonstante nicht direkt eingeben zu müssen und diese automatisch über die Eingabe der Fließzeit auf der Oberfläche und der längsten Fließzeit im Kanal berechnen zu lassen. Diese Möglichkeit wurde auch in dieser Arbeit genutzt. Angaben zu den gewählten Fließzeiten findet man in Kapitel 4.3.5. Bei dieser Annahme geht KOSIM für urbane Gebiete prinzipiell von drei Speichern aus und variiert nur die Speicherkonstante. Es ist eine Änderung der Speicheranzahl in KOSIM möglich, um in der Kalibrierung bessere Ergebnisse zu bekommen. Die Anzahl der Speicher wurde aber in dieser Arbeit nicht verändert.

4.3 Erheben der Eingangsdaten

Ein wichtiger Punkt für die Genauigkeit des Modells war die das sorgfältige Erheben der Daten. Daher war ein großer Teil des Arbeitsaufwandes dieser Diplomarbeit das Erheben der Eingangsdaten. Da nur ungefähre Abschätzungen vorlagen, welche Parameter einen großen bzw. welche einen kleinen Einfluss auf das Ergebnis haben, wurden alle so genau wie möglich erhoben. Das Aufzeigen des genauen Einflusses der einzelnen Größen wird im Kapitel der Sensitivitätsanalyse behandelt. Dass Eingangsdaten wie die befestigte Fläche oder der Abflussbeiwert größere Auswirkungen auf das Ergebnis haben, war aus der Literatur bekannt, sollte aber anhand dieser Arbeit nochmals überprüft und durch Ergebnisse genau bestätigt werden.

4.3.1 Regendaten

Als Regendaten für die Modellierung bzw. Kalibrierung wurden Messwerte der Station Klusemanngasse verwendet. Sie liegt am südlichen Rand des Einzugsgebietes (Lageplan siehe Anhang). Das dortige Niederschlagsmessgerät ist eine Waage. Als

Zeitraum für die Kalibrierung wurden drei Monate, 1. Mai bis 31. Juli 2003, gewählt. Der Grund dafür war, dass sowohl Regendaten als auch Abflussdaten im Kanal von dieser Zeitspanne bekannt waren und dies eine Voraussetzung für eine Kalibrierung darstellt. Ein längerer Zeitraum stand leider nicht zur Verfügung, da entweder nur Abflussdaten oder Niederschlagsdaten vorhanden waren. Daher wurde die Mindestanforderung des Entwurfes des ÖWAV Regelblattes 19 hinsichtlich der geforderten einjährigen Niederschlagsreihe nicht erfüllt. Doch gibt es auch die Möglichkeit anhand von mindestens drei relevanten, voneinander unabhängigen Einzelereignissen zu kalibrieren. Diese Anforderung wird von den untersuchten drei Monaten erfüllt. Es wurden insgesamt 19 Überlaufereignisse gemessen, von denen drei wegen unplausibler Messergebnisse nicht für die Kalibrierung verwendet werden konnten. Von den 16 verbleibenden sind nun 13 unabhängige Regenereignisse, die zu einem Anspringen des Überlaufes geführt haben. Diese doch bedeutend größere Anzahl erscheint für eine genaue Kalibrierung ausreichend.

Für die Modellierung wurde in dieser Diplomarbeit von einer gleichmäßigen Überregnung des Gebietes ausgegangen, da nur Regendaten von einer Messstation vorhanden waren. Für eine räumlich variable Überregnung müssten Werte aus mindestens zwei Stationen in diesem Gebiet vorliegen.

Das Programm KOSIM rechnet prinzipiell mit einjährigen Niederschlagskontinua. Da für die Kalibrierung nur diese drei Monate zur Verfügung standen, wurde so vorgegangen, dass zwar ein einjähriges Niederschlagskontinuum erzeugt wurde, aber bis auf die Werte der drei Monate alle auf null gesetzt wurden. Die Summe der Regenabflüsse wurde zwar als Jahresergebnis ausgewiesen, entsprach aber der der drei Monate.

Eine weitere Schwierigkeit stellte zu Beginn das Umrechen der Messdaten der Niederschlagswaage dar. Es waren Regenintensitäten in Millimeter, in Minutenabständen vorhanden, die in eine KOSIM gewünschte Form gebracht werden mussten. Diese Form ist eine KOSIM-Niederschlagsdatei (Abb. 11), in der Regenintensitäten in Hundertstel Millimeter in 5-Minutenintervallen angeführt sind. Dieses Problem konnte durch eine Umrechung gelöst werden (Sprung 2003).

```
klu9  0 0   0 1 0 0 Station klu9              2574.20005701.4000GKK   56.00
klu9  0 0   0 2 0 0     5   -2 1 12003 0 0 031122003 0 0 0    2    N     N1
klu9  0 0   0 3 0 0
klu9  0 0   0 4 0 0
klu9  1 52003 0 0 0     0    0    0    0    0    0    0   0   0   0   0   0
klu9  1 52003 6 0 0     0    0    0    0    0    0    0   0   0   0   0  40
klu9  1 52003 7 0 0    30    0    0   10   10    0    0   0   0   0   0   0
klu9  2 52003 0 0 0     0    0    0    0    0    0    0   0   0   0   0   0
```

Abb. 11: KOSIM Niederschlagsdatei

4.3.2 Flächendaten

Die Ermittlung der Flächeneingangsgrößen für die Berechnung basierte auf den vom Kanalbauamt Graz zur Verfügung gestellten Daten. Dies waren der Kanalkataster, der Grundstückskataster, Luftbilder und Höhenschichtenpläne. Weiters wurden bereits vom Kanalbauamt digital ausgewertete Daten mitgeliefert, wie die Gesamtfläche ($A_{E,k}$) des Einzugsgebietes sowie die abflusswirksame befestigte Fläche (A_{und}). Diese Werte wurden aber in dieser Diplomarbeit nicht verwendet, da diese Werte genauer erhoben wurden.

Ziel war es, das Einzugsgebiet „Graz West“ (Abb. 12 und Lageplan im Anhang) mit seinen 963 kleinen Teileinzugsgebieten, in denen rund 13.000 Einwohner leben, nachzubilden. Dabei wurden die Abflussganglinien am tiefsten Punkt des Einzugsgebietes, dem Mischwasserüberlauf, denen der Messung angenähert. Um den Arbeitsaufwand und die Rechenleistung in Grenzen zu halten, musste eine Vereinfachung in der Berechnung getroffen werden. Diese war, dass es nur von befestigten Flächen zu einem Abfluss von Regenwasser kommt und kein Abfluss von nicht befestigten, durchlässigen Flächen stattfindet. Daher wurde nur die befestigte Fläche ermittelt.

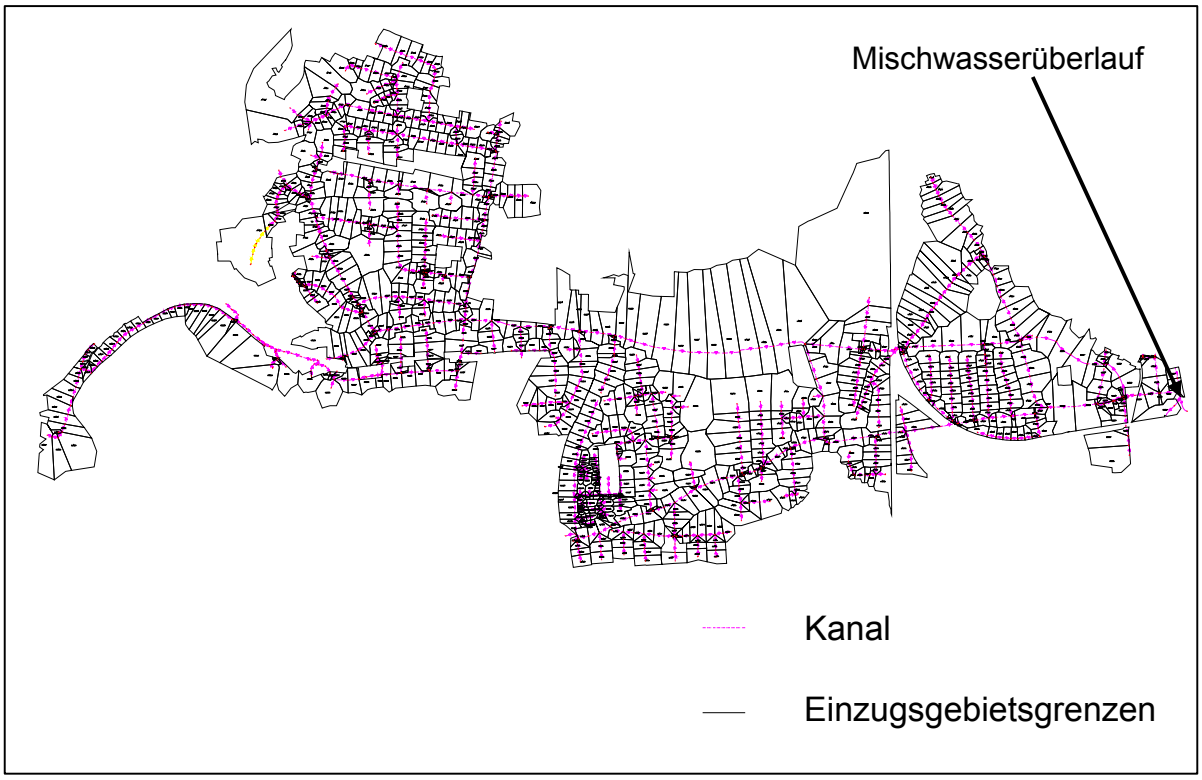


Abb. 12: Kanalkataster (Kanalbauamt Graz, 2004)

Der erster Schritt war die Ermittlung der befestigten Fläche ($A_{E,b}$). Diese wurde händisch aus dem Gründstückskataster und unter zu Hilfenahme der Luftbilder, für jedes der 963 Teileinzugsgebiete bestimmt. Die Luftbilder erwiesen sich hierbei als sehr wertvoll, da sich öfters der tatsächliche Hausbestand mit dem im Kataster angeführten nicht deckte und Grundstücksflächen von Straßen mit den wirklichen befestigten Straßenflächen nicht übereinstimmten. Diese langwierige Ausarbeitung der Flächen hat als Ergebnis: ca. 351 ha Gesamtfläche ($A_{E,k}$) und davon 118,4 ha befestigte Fläche ($A_{E,b}$).

Im nächsten Schritt wurde die Geländeneigung untersucht. Anhand des Höhenschichtenplans wurde das Gebiet in drei Regionen von unterschiedlicher mittlerer Neigung unterteilt. Diese sind in Abb. 13 zu sehen. Blau stellt dabei eine mittlere Neigung von 0 bis 1 Prozent, gelb eine von 1 bis 4 Prozent und rot eine von 4 bis 10 Prozent dar. Die befestigte Fläche der 963 Teileinzugsgebiete wurde je nach ihrer Lage einer der drei Regionen zugewiesen. Die ergab eine befestigte Fläche für Einzugsgebiet BLAU von 72,4 ha, für GELB von 29,9 ha und für ROT von 16,1 ha. Das Teileinzugsgebiet ROT liegt am westlichen Rand und weist eine teilweise noch deutlich geringere Besiedelung auf als die zwei anderen, dem Stadtzentrum näheren Gebiete. Für die KOSIM Berechung wurden diese drei Regionen als Teileinzugsgebiete herangezogen, da KOSIM auch die mittlere Neigung für ein Gebiet in die Berechung mit einbeziehen kann.

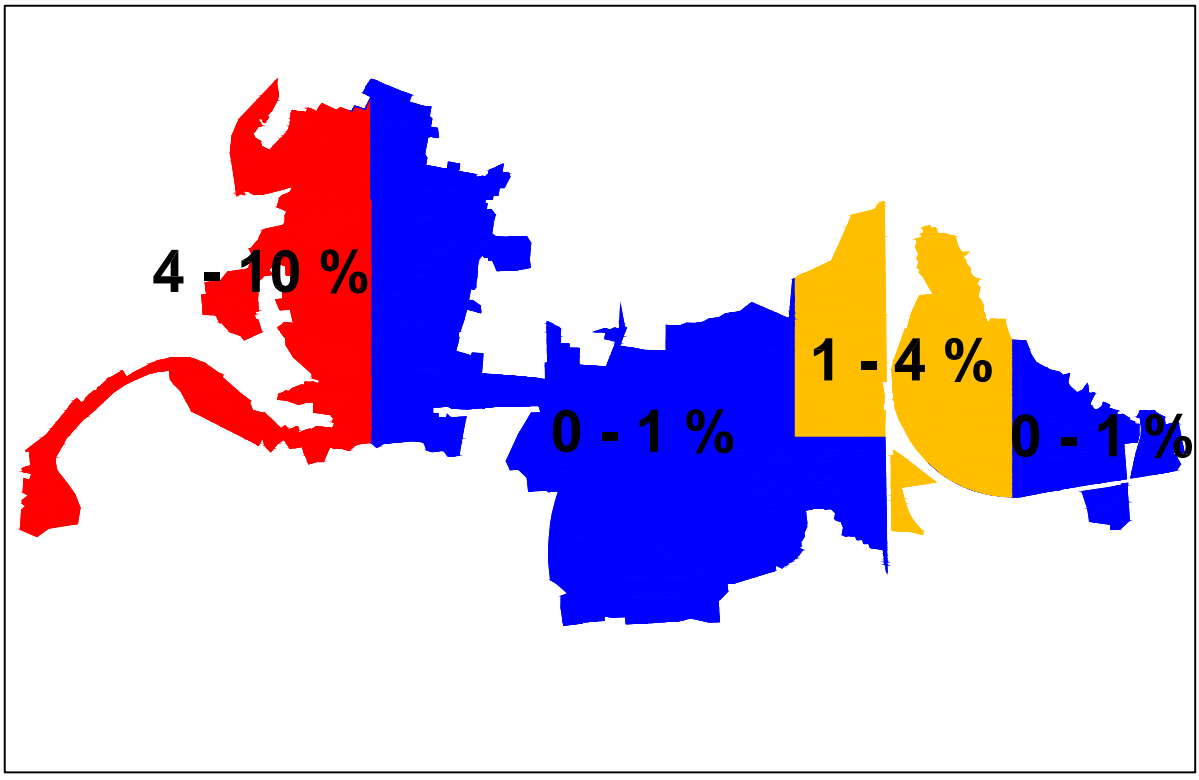


Abb. 13: Einteilung in Teileinzugsgebiete für KOSIM nach der mittleren Geländeneigung

4.3.3 $Q_{t,24}$, Konzentrationen und Trockenwetterganglinien

Alle in diesem Kapitel angeführten Daten, angefangen vom $Q_{t,24}$, dem täglichen mittleren Trockenwetterabfluss, bis hin zu den einzelnen Stoffkonzentrationen, wurden aus Messwerten der Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz des Institutes erarbeitet. Daher soll hier diese Messstation kurz erklärt werden.

4.3.3.1 Kanal-Online-Monitoring-Messstation Graz

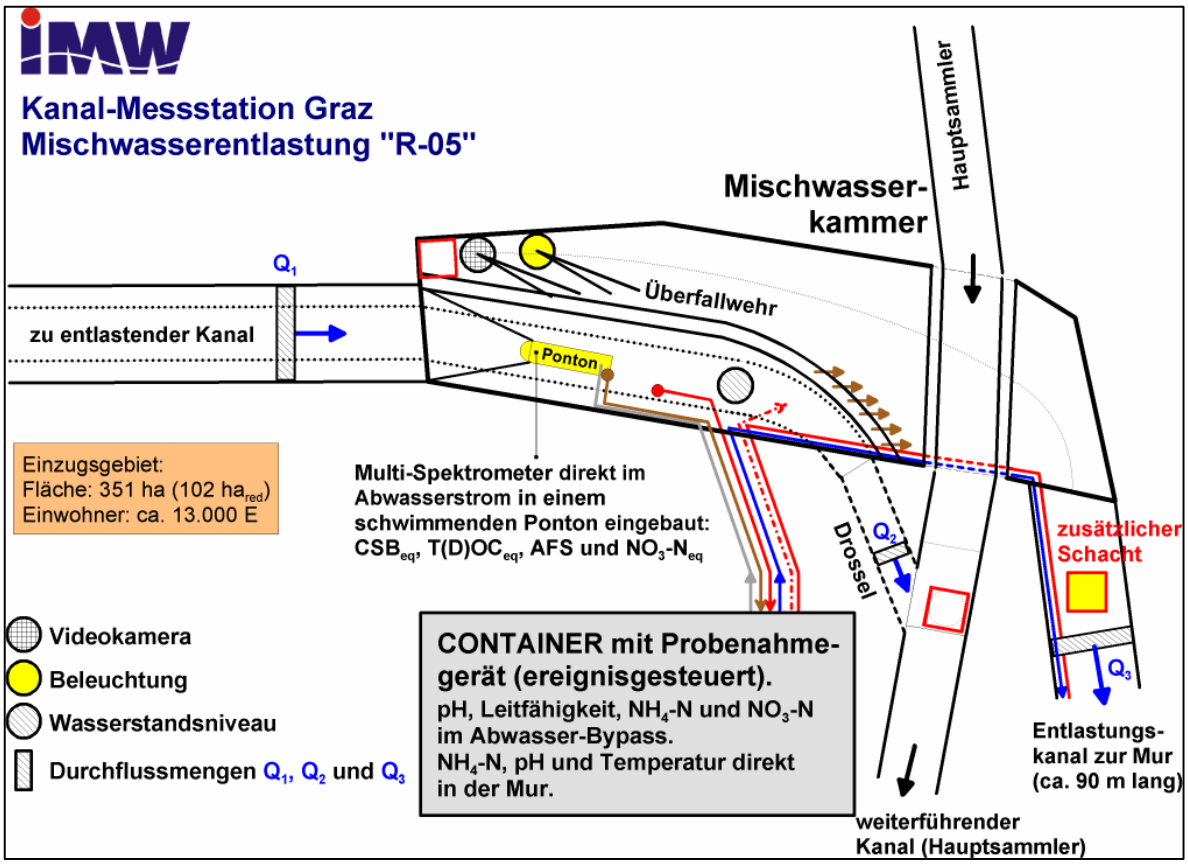


Abb. 14: Übersicht über die eingebauten Mess- bzw. Überwachungssysteme in der Kanal-Monitoring-Messstation Graz (Mischwasserentlastung) (Gruber et al. 2003)

Bei dieser Messstelle handelt es sich um einen Mischwasserüberlauf, bei dem Messungen Daten in 3- bzw. 1-Minutenabständen online liefern und dies seit September 2002 aufzeichnen. Für diese Diplomarbeit relevante Daten waren der Zu- und Überlauf sowie die Konzentrationen für die abfiltrierbaren Stoffe und den chemischen Sauerstoffbedarf.

Der Zulauf zum Mischwasserüberlauf wird mit einem berührungslosen Radarmessverfahren (Q_1) ermittelt und die entlastete Wassermenge (Q_3) mit einem Ultraschall-Korrelationsmessverfahren mit getrennter Wasserstandsmessung erhoben. Für den Drosselabfluss (Q_2) konnte kein geeignetes Messsystem gefunden werden. Die benötigten Parameter CSB und AFS werden über ein Multi-Spektrometer direkt über Absorption im Abwasserstrom gemessen. Dafür wurde das Messgerät in ein Ponton eingebaut, das in der Schmutzwasserrinne des Zulaufkanals schwimmt. Der Multi-Spektrometer ermittelt die gesuchten Konzentrationen über einen funktionellen Zusammenhang zwischen UV-VIS-Absorptionen (200-750 nm) und der vorherrschenden Abwassermatrix. Um repräsentative Messergebnisse zu bekommen, wurde das Spektrometer einer sog. „globalen" Kalibrierung unterzogen. Dafür dienten bis jetzt drei 24-Stunden Trockenwettermesskampagnen. Daher sind alle für diese Modellierung verwendeten Konzentrationen Äquivalentwerte (CSB_{eq}, AFS_{eq}), da sie nicht direkt über die herkömmlichen Verfahren (Normverfahren) bestimmt wurden, sondern über die Multi-Spektrometermessung.

4.3.3.2 $Q_{t,24}$ und mittlere Konzentrationen

Die für diese Modellierung erforderlichen Daten wurden einerseits vom Institut und hier im Besonderen von Martin Hochedlinger zur Verfügung gestellt und andererseits selbst erarbeitet.

Bereitgestellte Daten waren der mittlere tägliche Trockenwetterabfluss mit 55,9 l/s, der sich in 45,9 l/s Schmutzwasserabfluss und 10 l/s Fremdwasserabfluss aufteilt, und die mittleren täglichen Trocken- und Regenwetterkonzentrationen für die in der Simulation berücksichtigten Abwasserparameter, abfiltrierbare Stoffe und chemischer Sauerstoffbedarf. Der Untersuchungszeitraum für diese Berechnungen ist gleich wie bei den Regendaten der 1. Mai bis einschließlich 31. Juli 2003. Es muss hier also erwähnt werden, dass es sich nicht um Größen handelt, die aus dem jeweiligen Jahresmittel errechnet wurden, sondern nur diese drei Monate als Berechnungsbasis haben. Einen Überblick über diese Werte, die als Eingangsgrößen in KOSIM dienen, sind in Tabelle 5 dargestellt. Für die jeweiligen Regenwetterkonzentrationen werden zwei Werte angeführt. Sie wurden beide nach der Zwei-Komponeten-Methode (Macke et al. 2002) (Tabelle 3) errechnet. Der Unterschied zwischen den zwei Werten ist der, dass jeweils beim ersten der gesamte Regenabfluss in die Berechung einging und beim zweiten nur jener Regenabfluss, der zu einer Entlastung führte, berücksichtigt wurde. Das System wurde jeweils mit beiden Werten gerechnet und überprüft, welcher der beiden Werte die „Wirklichkeit" besser abbildet.

Die hier verwendeten CSB Regenwetterkonzentrationen sind im Vergleich zu dem in der ATV-A 128 angeführten Wert deutlich höher. Dieses ATV Regelblatt geht von einer Konzentration im Regenabfluss von 107 mg/l aus. Doch Studien (Macke et al. 2002) zeigen, dass dies für flache Einzugsgebiete ein zu geringer Wert ist. Diese Untersuchungen ergaben eine Regenwetterkonzentration zwischen 282 und 321 mg/l je nach untersuchtem Gebiet. Die mittlere Geländeneigung der Einzugsflächen beträgt 0,1%. Diese Ergebnisse bestätigen hiermit auch die für diese Simulation ermittelten CSB Regenwetterkonzentrationen aus Tabelle 5. Die mittlere Geländeneigung des Grazer Einzugsgebietes liegt aber mit 1,5 % deutlich höher.

Die mittleren Trockenwetterkonzentrationen für CSB und AFS wurden mit einer Kombination aus arithmetischem Mittel und frachtgewichtetem Mittel (Kombinationsmethode, Schulz 1995) bestimmt. Dabei wurde der Quotient aus Trockenwetterfrachtsumme und Trockenwetterabflusssumme eines Tages gebildet und danach der arithmetische Mittelwert aus diesen Quotienten gerechnet. Die Formel ist in Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 3: Zwei-Komponenten-Methode zur Berechung von Abwasser-inhaltsstoffkonzentrationen (Macke et al. 2002)

$$c_R = \frac{c_{MWA} \cdot VQ_{MWA} - c_{TWA} \cdot VQ_{TWA}}{VQ_{MWA} - VQ_{TWA}}$$

c_R : mittl. Konzentration des Regenwasseranteils in mg/l

c_{MWA} : mittl. Mischwasserkonzentration in mg/l

VQ_{MWA} : Mischwasser-Abflussvolumen in m^3

c_{TWA} : mittl. Konzentration des Trockenwetter-abflusses in mg/l

VQ_{TWA} : Trockenwetter-Abflussvolumen in m^3

Tabelle 4: Kombination aus arithmetischem Mittel und frachtgewichtetem Mittel zur Bestimmung von Abwasserinhaltsstoffkonzentrationen (Schulz 1995)

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\int \left(c(t) \cdot Q(t) \right) dt}{\int Q(t)\, dt}$$

Tabelle 5: mittlerer Trockenwetterabfluss und mittlere Konzentrationen

		Methode
Mittlerer täglicher Trockenwetterabfluss ($Q_{t,24}$)	55,9 l/s	
Mittlere Trockenwetterkonzentration CSB ($c_{t,CSB}$)	680 mg/l	Kombinationsm.
Mittlere Regenwetterkonzentration CSB 1 ($c_{r,CSB,1}$)	310 mg/l	Zwei-Komp.-M.
Mittlere Regenwetterkonzentration CSB 2 ($c_{r,CSB,2}$)	285 mg/l	Zwei-Komp.-M.
Mittlere Trockenwetterkonzentration AFS ($c_{t,AFS}$)	305 mg/l	Kombinationsm.
Mittlere Regenwetterkonzentration AFS 1 ($c_{r,AFS,1}$)	195 mg/l	Zwei-Komp.-M.
Mittlere Regenwetterkonzentration AFS 2 ($c_{r,AFS,2}$)	175 mg/l	Zwei-Komp.-M.

4.3.3.3 Trockenwetterganglinien

Ein weiterer Punkt war das Erstellen von Tagesganglinien für den Trockenwetterabfluss sowie für die Trockenwetterkonzentrationen für AFS und CSB. Dabei mussten die Eingabevorgaben des Programms KOSIM berücksichtigt werden. Wie in Kapitel 4.2 bereits erklärt, rechnet KOSIM mit Relativganglinien. Diese können für Tages-, Wochen- und Jahresgang definiert werden. Der aktuelle Trockenwetterabfluss oder die aktuelle Trockenwetterstofffracht wird dann aus einer Multiplikation des mittleren Trockenwetterabflusses mit den einzelnen Relativfaktoren und bei den Frachten auch noch mit der mittleren Trockenwetterkonzentration errechnet.

Bei dieser Modellierung wurde kein Jahresgang der drei Berechnungsgrößen CSB, AFS und Trockenwetterabfluss berücksichtigt, da der Jahresgang aus den drei Monaten nicht bestimmbar war. Daher wurde er konstant auf 1 gesetzt. Der Wochen- und Tagesgang ist aber in die Berechung eingeflossen und ist wie folgt bestimmt worden:

Wochen- und Tagesgang für den Trockenwetterabfluss
Die Woche wird in KOSIM in drei Zeitabschnitte eingeteilt: Werktage, Samstag und Sonntag. Da diese Zeitabschnitte unterschiedliche mittlere Trockenwetterabflüsse haben und sich diese von dem gesamten mittleren Trockenwetterabfluss ($Q_{t,24}$) unterscheiden, werden diese Abweichungen durch Wochenrelativfaktoren ausgeglichen. Diese Relativfaktoren werden für Werktag, Samstag und Sonntag bestimmt und müssen in Summe 7 ergeben.

$$7 = 5 \bullet C_{W,t,Werk} + C_{W,t,Sa} + C_{W,t,So}$$

$C_{W,t,Werk}$ .....Relativfaktor Werktag
$C_{W,t,Sa}$.....Relativfaktor Samstag
$C_{W,t,So}$.....Relativfaktor Sonntag

In den untersuchten drei Monaten standen insgesamt 92 Tage für die Untersuchung zur Verfügung. Von diesen 92 waren 66 Werktage und je 13 Samstage bzw. Sonntage. Für die Auswertung der Werktagsganglinien wurden alle Montage, Dienstage, Mittwoche und Donnerstage, also insgesamt 53 Werktage, untersucht. Es gab einzelne Tage, an denen die Messstelle keine Werte lieferte. Daher wurden effektiv 52 Werktage sowie je 12 Samstage und Sonntage ausgewertet. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Berechung. Da die errechneten Relativfaktoren nicht 7 als Prüfsumme ergaben, mussten diese korrigiert werden. Diese Korrektur ergibt in der Berechung ein Abweichen von den Messdaten. Die größte Abweichung ergibt der Samstag mit einem um 4 % zu groß simulierten Trockenwetterabfluss.

Tabelle 6: Berechung der Wochenrelativfaktoren für den Trockenwetterabfluss

	Werktag	**Samstag**	**Sonntag**	
Anzahl der untersuchten Tage	52	12	12	
$Q_{t,24,x}$ [l/s]	55,83	53,91	55,25	
$Q_{t,24}$ [l/s]	55,9			**Prüfsumme**
errechneter $C_{W,t,x}$ [-] (=$Q_{t,24,x}/Q_{t,24,}$)	1,00	0,96	0,99	6,95
korrigierte $C_{W,t,x}$ [-]	1,00	1,00	1,00	7,00

$Q_{t,24,x}$..... mittlerer täglicher Trockenwetterabfluss errechnet aus den 52 Werktagen bzw. 12 Samstagen bzw. 12 Sonntagen
$Q_{t,24}$..... mittlerer täglicher Trockenwetterabfluss errechnet aus den gesamten drei Monaten
$C_{W,t,x}$..... Wochenrelativfaktor

Die Tagesganglinien, für KOSIM diskretisiert in Stundenwerten, müssen ebenfalls in Relativfaktoren dargestellt werden. Dieser 24 Werte ergeben sich aus der Division des mittleren zur vollen Stunde herrschenden Trockenwetterabflusses ($Q_{t,h,x}$) mit dem mittleren täglichen Trockenwetterabfluss errechnet aus den jeweiligen Werktagen, Samstagen oder Sonntagen ($Q_{t,24,x}$). Dies soll kurz an einem Beispiel gezeigt werden. Mit der Annahme, dass zur vollen Stunde der Trockenwetterabfluss werktags um 12 Uhr 70,18 l/s beträgt. Damit ist $Q_{t,12,Werk}$ gleich 70,18 l/s. Der Relativfaktor ergibt sich

somit aus 70,18 l/s dividiert durch 55,83 l/s ($Q_{t,24,\ Werk}$). Er beträgt in diesem Fall 1,257.

Wie wurde nun bei der Bestimmung dieses mittleren, Trockenwetterabflusses vorgegangen?

Dieser Wert ist einer von 24 Ordinatenwerten der Trockenwettertagesganglinie. Daher wurden Tagesganglinien bestimmt. Zu ermitteln waren diese für Werktag, Samstag und Sonntag. Als Basis dienten die Messdaten der Onlinemessstelle.

Für alle 12 untersuchten Samstage aus den zeitgleich herrschenden Abflüssen wurde der Mittelwert gerechnet. War an einem Tag zu dieser Zeit gerade ein Regenabfluss, so wurde dieser Tag nicht berücksichtigt. Messausfälle und nicht plausible Messdaten wurden auch nicht berücksichtigt. Das Ergebnis stellte eine mittlere Trockenwetter-tagesganglinie für Samstag dar. Das Gleiche wurde auch für Werktage und Sonntage gemacht. Da die Messstelle Werte für den Trockenwetterabfluss in 3-Minuten-Intervallen liefert, hatte auch die Ganglinie eine Diskretisierung von 3 Minuten (Abb. 15). Für die KOSIM Berechnung wurden aber Stundenwerte benötigt. Daher wurden die Ganglinien so vereinfacht, dass die berechneten Werte zur vollen Stunde, die vorhanden waren, übernommen worden sind. Diese 24 zur vollen Stunde herrschenden Trockenwetterabflüsse wurden mit dem jeweiligen mittleren täglichen Trockenwetterabfluss ($Q_{t,24,x}$) dividiert und als Ergebnis kam die vom KOSIM gewünschten Trockenwettertagesrelativganglinien heraus (Abb. 16).

Als Beispiel, wie sich das Programm KOSIM nun einen aktuellen Trockenwetterabfluss errechnet, soll der Abfluss um 9 Uhr werktags, nach der Formel in Kapitel 4.2 errechnet, beschrieben werden. Der Korrekturfaktor ($C_{J,t}$) für den Jahresgang beträgt 1. Der Relativfaktor für den Wochengang werktags ($C_{W,t,Werk}$) aus Tabelle 3 ist ebenfalls 1. Der Tagesrelativwert ($C_{T,9,Werk}$) für Werktags 9 Uhr lautet 1,472, abzulesen in Abb. 16 oder im Anhang. Mit einem mittleren Trockenwetterabfluss von 55,9 l/s ergibt sich ein simulierter Abfluss von 82,29 l/s im Kanal.

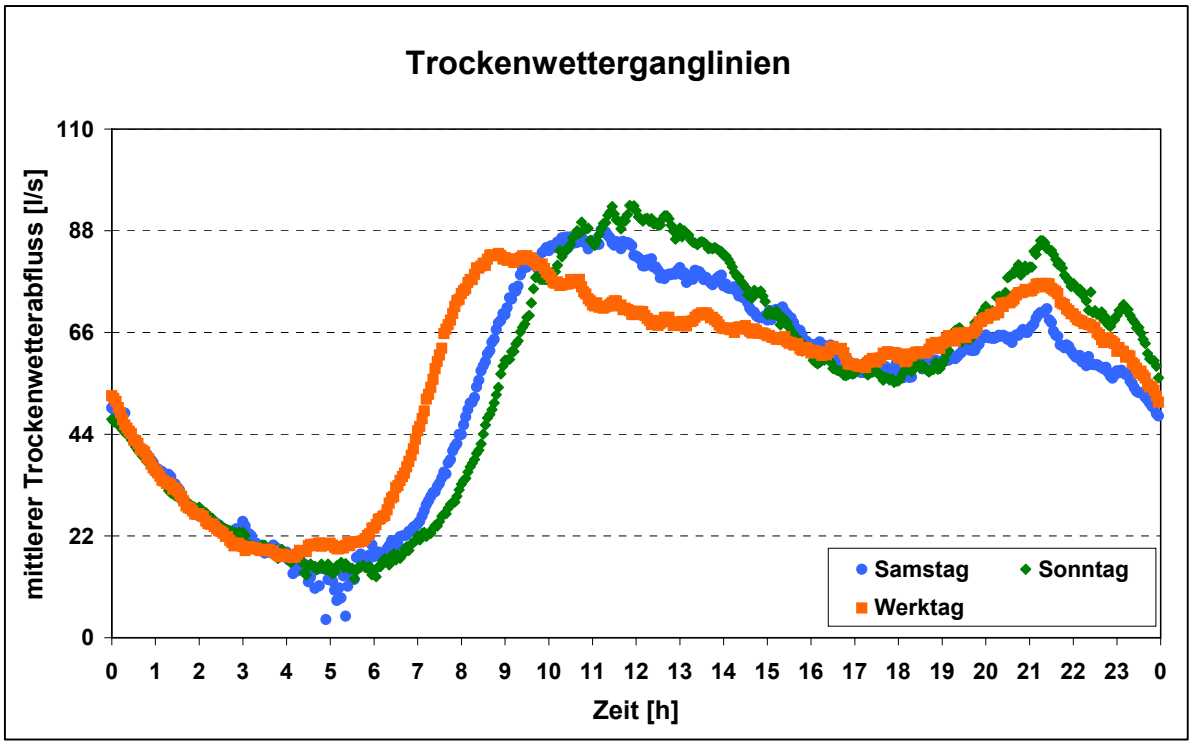


Abb. 15: Trockenwetterabflussganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag

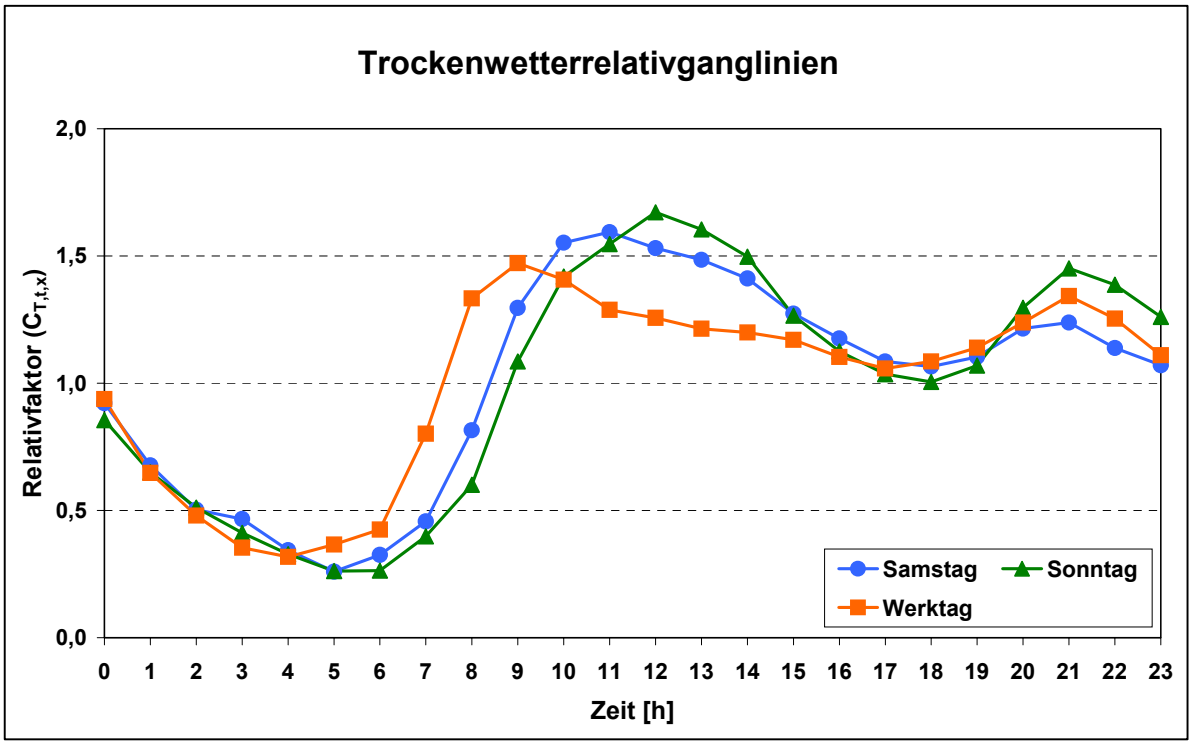


Abb. 16: Für KOSIM generierte Trockenwetterabflussrelativganglinien

Wochen- und Tagesgang für den chemischen Sauerstoffbedarf

Die Ermittlung der Relativfaktoren für diese Stoffgröße ist analog zur der oben genau erklärten Ermittlung der Relativfaktoren für den Trockenwetterabfluss durchgeführt worden. Der einzige Unterschied ist der, dass es sich hier um CSB-Konzentrationen im Abwasser, angegeben in mg/l, handelt und nicht um Durchflussgrößen in l/s. Daher ist die Vorgehensweise nicht mehr erklärt und es werden nur mehr die Berechnungstabelle mit den Wochenrelativfaktoren (Tabelle 7) und die Tagesganglinien (Abb. 17 und Abb. 18) dargestellt.

Die Korrektur der Relativfaktoren (Tabelle 7) für Werktag und Samstag stimmt gut mit den nicht korrigierten überein. Der korrigierte Sonntagswert weicht stärker ab. Der Grund dafür ist, dass sonntags die wenigsten Überlaufereignisse stattfanden und daher bei der Kalibrierung des Systems und dem Berechnen der Überlauffracht die kleinste Abweichung erzielt wurde. Für die Langzeitsimulationen ist aber zu beachten, dass falls Sonntag eine Entlastung stattfindet, diese für CSB Frachten falsche Werte liefern kann. Welchen Einfluss die Trockenwetterkonzentration tatsächlich auf die Entlastungsfracht hat, wird später in der Sensitivitätsanalyse veranschaulicht. Auffällig ist, dass am Wochenende deutlich höhere Konzentrationen gemessen wurden. Eine Erklärung konnte bisher nicht gefunden werden. Eine Betrachtung über einen längeren Zeitraum als drei Monate kann mehr Aufschluss geben.

Tabelle 7: Berechung der Wochenrelativfaktoren für die CSB Trockenwetterkonzentration

	Werktag	Samstag	Sonntag	
Anzahl der untersuchten Tage	52	12	12	
$c_{t,CSB,x}$ [mg/l]	596	640	686	
$c_{t,CSB}$ [mg/l]	680			**Prüfsumme**
errechneter $C_{W,t,x}$ [-] (=$c_{t,CSB,x}/c_{t,CSB}$)	0,88	0,94	1,01	6,33
korrigierte $C_{W,t,x}$ [-]	0,83	0,85	2,00	7,00

$c_{t,CSB,x}$..... mittlere CSB Trockenwetterkonzentration errechnet aus den 52 Werktagen bzw. 12 Samstagen bzw. 12 Sonntagen

$c_{t,CSB}$..... mittlere CSB Trockenwetterkonzentration errechnet aus den gesamten drei Monaten

$C_{W,t,x}$..... Wochenrelativfaktor

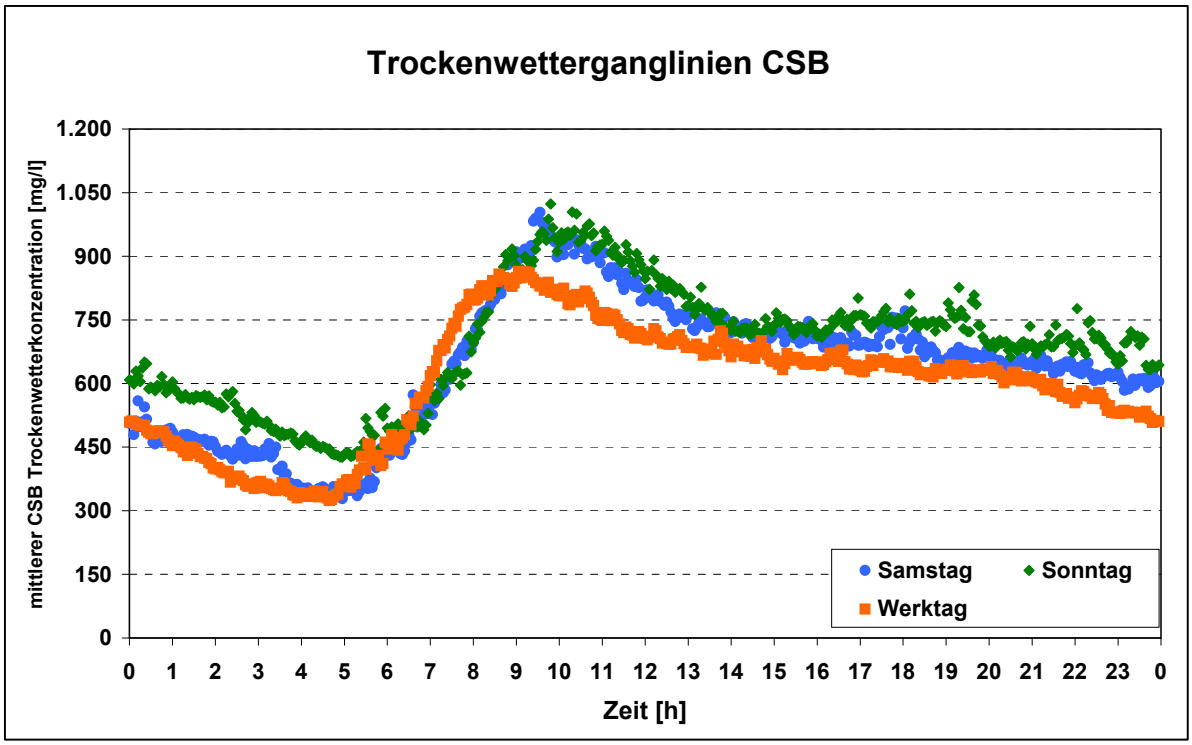


Abb. 17: CSB Trockenwetterkonzentrationsganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag

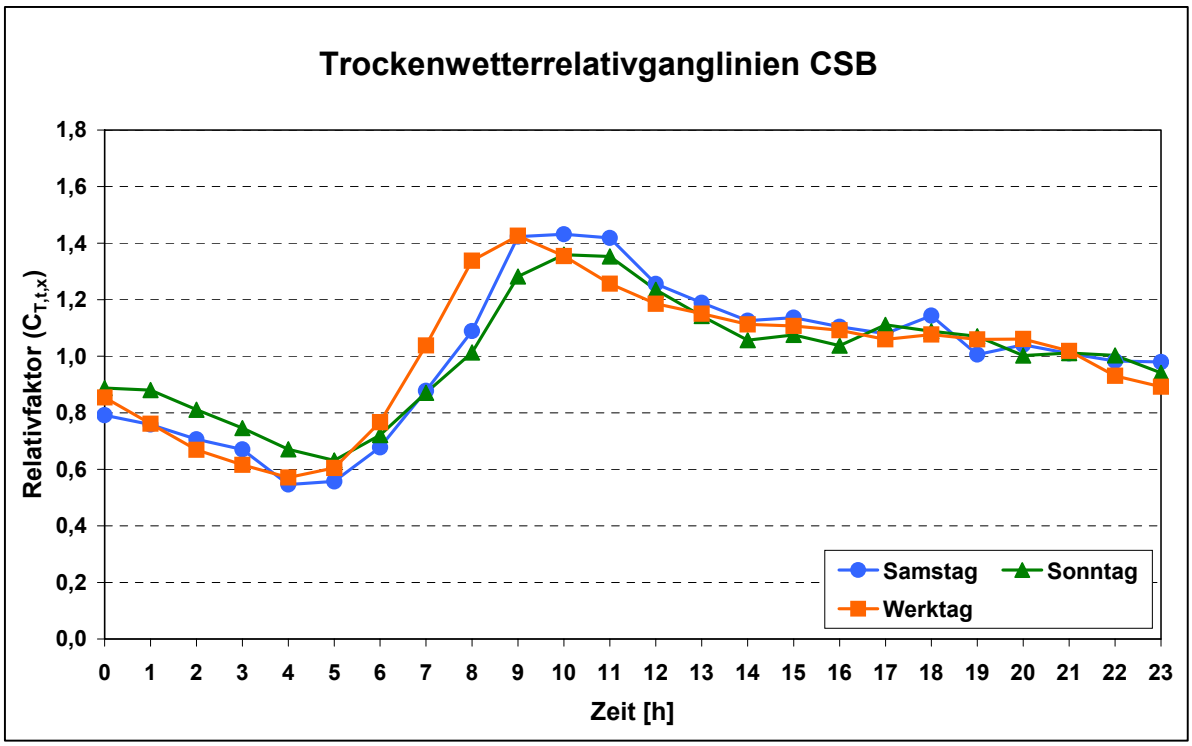


Abb. 18: Für KOSIM generierte CSB Trockenwetterkonzentrationsrelativganglinien

Wochen- und Tagesgang für die abfiltrierbaren Stoffe

Auch für diese Stoffgröße wurde die Berechung analog zu den zwei vorangegangen beschriebenen Parametern durchgeführt. Daher werden nur mehr die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 8: Berechung der Wochenrelativfaktoren für die AFS Trockenwetterkonzentration

	Werktag	Samstag	Sonntag	
Anzahl der untersuchten Tage	52	12	12	
$c_{t,AFS,x}$ [mg/l]	259	322	375	
$c_{t,AFS}$ [mg/l]	305			**Prüfsumme**
errechneter $C_{W,t,x}$ [-] ($=c_{t,AFS,x}/c_{t,AFS}$)	0,85	1,05	1,23	6,53
korrigierte $C_{W,t,x}$ [-]	0,90	1,15	1,35	7,00

$c_{t,AFS,x}$..... mittlere AFS Trockenwetterkonzentration errechnet aus den 52 Werktagen bzw. 12 Samstagen bzw. 12 Sonntagen

$c_{t,AFS}$..... mittlere AFS Trockenwetterkonzentration errechnet aus den gesamten drei Monaten

$C_{W,t,x}$..... Wochenrelativfaktor

Auch in dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die gemessenen Konzentrationen am Wochenende deutlich über dem Wert für Werktage liegen. Eine Erklärung konnte noch nicht gefunden werden.

Wie in Abb. 19 dargestellt, weisen die Ganglinien für Samstag und Sonntag größere Streuungen auf. Da für Samstag und Sonntag nur je 12 Tage untersucht wurden und unplausible Messdaten zu eliminieren sind, ist eine Repräsentativität dieser Ganglinien nur bedingt gegeben. Bei der Werktagsganglinie wiederum kann von einer guten Repräsentativität ausgegangen werden, da 52 Tage untersucht wurden. Diese schlechte Repräsentativität für das Wochenende spiegelt sich auch in den Relativganglinien für KOSIM wider (Abb. 20). Für die Berechung wurden diese aber trotzdem verwendet.

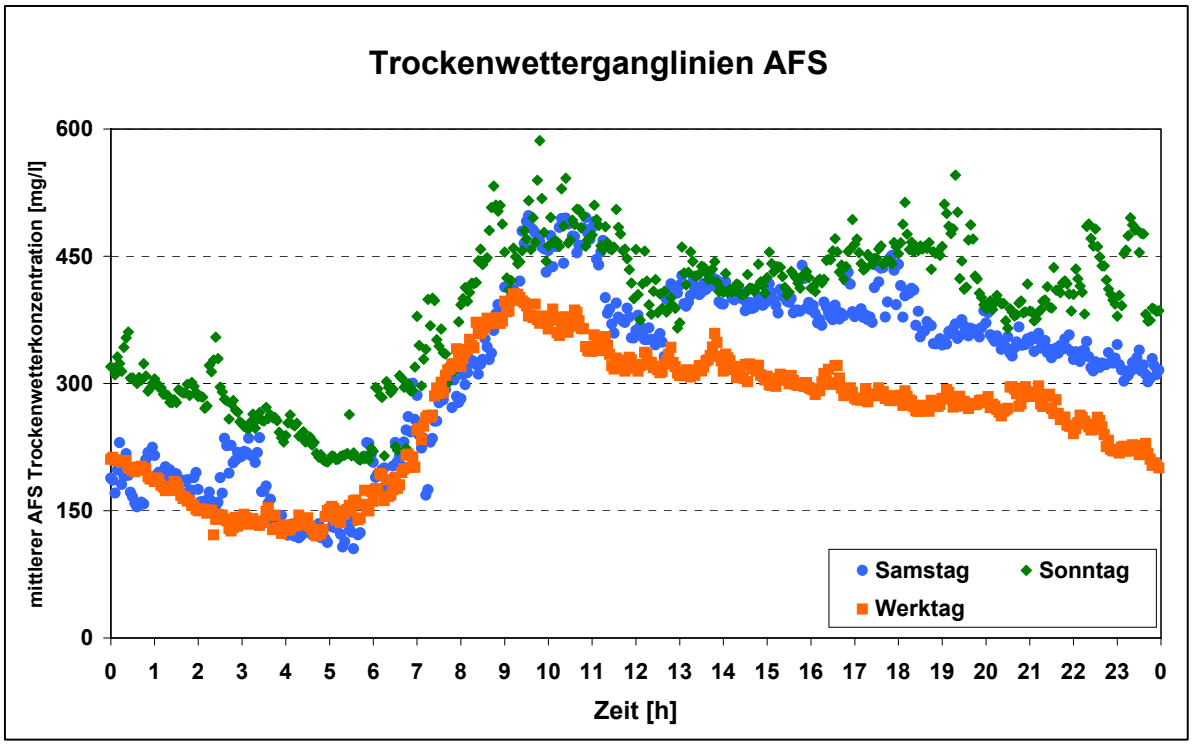


Abb. 19: AFS Trockenwetterkonzentrationsganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag

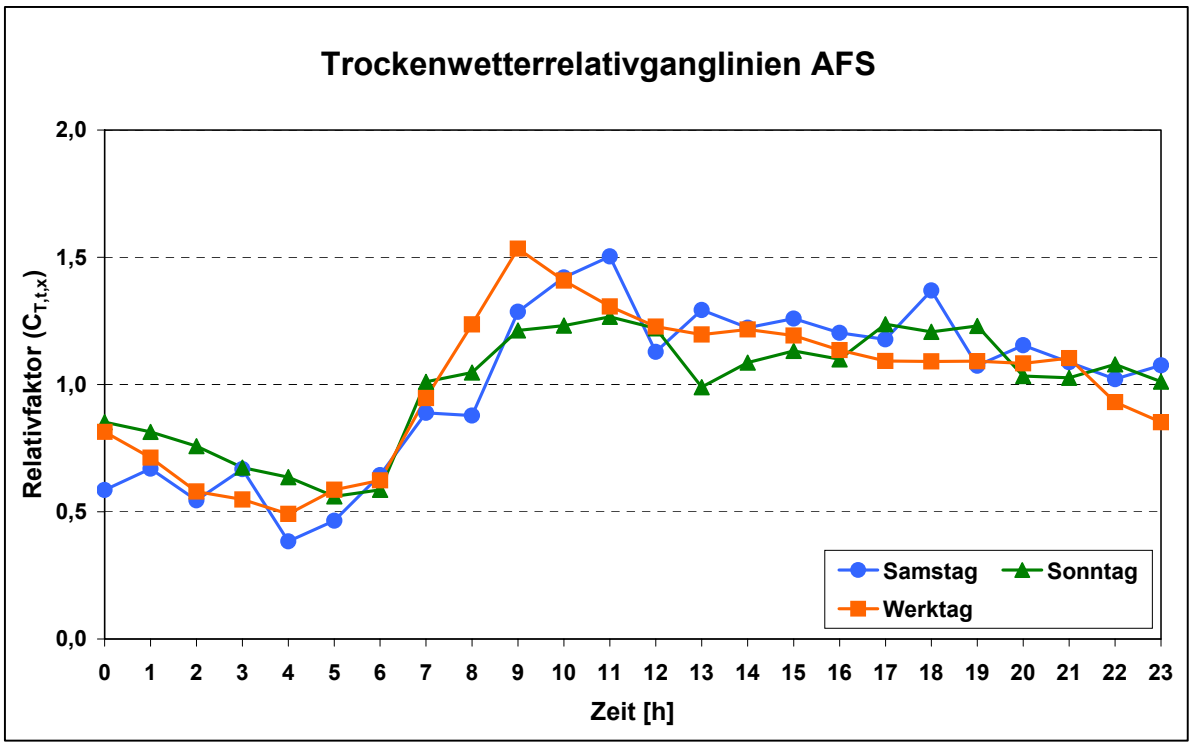


Abb. 20: Für KOSIM generierte AFS Trockenwetterkonzentrationsrelativganglinien

4.3.4 Parameter der Abflussbildung

Das Modell, das in KOSIM hinter der Abflussbildung steht, wurde bereits in Kapitel 4.2 erklärt. Hier wird auf die Ermittlung der einzelnen Parameter eingegangen.

Die Bestimmung war im Wesentlichen ein iterativer Prozess, der im Kapitel 4.4 Kalibrierung genauer erläutert wird. Benötigt für die Kalibrierung wurden Ausgangswerte für diese Parameter, die der Benetzungsverlust (V_{Ben}), der Muldenverlust (V_{Muld}), der Anfangs- und Endabflussbeiwert (Ψ_o und Ψ_e) sind. Dafür wurde ein in KOSIM definierter Standard gewählt. Die Werte dafür sind in Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9: Abflussparameter des KOSIM Standards

	KOSIM Standard
V_{Ben} [mm]	0,5
V_{Muld} [mm]	1,8
Ψ_o [-]	0,3
Ψ_e [-]	0,85

4.3.5 Parameter der Abflusskonzentration

Wie in Kapitel 4.2 erwähnt, basiert das KOSIM Modell für die Abflusskonzentrationsberechnung auf linearen Speicherkaskaden. Um nicht die Anzahl der Speicher und die Speicherkonstanten für jedes der drei definierten Einzugsgebiete (Abb. 13) angeben zu müssen, können diese Werte auch automatisch errechnet werden. Benötigt wird dafür die jeweilige längste Fließzeit im Kanal (t_f) aus dem Gebiet und die Fließzeit auf der Oberfläche (t_o). Für die Fließzeit auf der Oberfläche wurde für alle Teileinzugsgebiete 3 Minuten gewählt. Dieser Wert wurde aus dem KOSIM Benutzerhandbuch übernommen und ist repräsentativ für flaches bis mittleres Gefälle. Für die Bestimmung von t_f wurde wie folgt vorgegangen: Zuerst wurde für jedes Gebiet die längste Kanalstrecke vom Überlaufbauwerk bis zum weitest entfernten Punkt im Kanal aus dem Kanalkataster ermittelt. Danach wurde mit einer angenommenen durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s die Zeit berechnet. Diese Werte dienten gleich wie bei der Abflussbildung als Ausgangsgrößen für die Kalibrierung und werden sich im Laufe dieser ändern.

Tabelle 10: Abschätzung der längsten Fließzeiten im Kanal

Teileinzugsgebiet	**Längste Kanalstrecke**	**Geschwindigkeit**	**t_f**
	[m]	**[m/s]**	**[min]**
BLAU	4651	1,5	52
GELB	1641	1,5	18
ROT	5475	1,5	61

4.3.6 Bauwerksdaten

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei diesem Entlastungsbauwerk um einen Mischwasserüberlauf. Es gibt keine Speicherbauwerke im Einzugsgebiet. Die Anordnung und Geometrie des Überlaufs ist in Abb. 14 dargestellt. Die relativ kurze Drosselstrecke hat einen Durchmesser von 600 mm und mündet nach drei Metern in den Hauptsammler. Die Überlaufschwelle ist gekrümmt.

In KOSIM bestehen zwei Möglichkeiten einen Mischwasserüberlauf zu modellieren. Erstens durch Eingeben der Geometrie. Hierfür sind alle Daten vorhanden. Doch erste Berechnungen zeigten unbrauchbare Simulationsergebnisse, höchstwahrscheinlich dadurch, dass die Krümmung im Überlauf nicht berücksichtigt werden konnte.

Die zweite Möglichkeit bestand darin direkt eine, wie in KOSIM bezeichnete, Abflusskennlinie einzugeben. Die Abflusskennlinie definiert die kritische Zulaufmenge (Q_{krit}), bei dem die Entlastung anspringt, und gibt danach für Zulaufmengen, die über dieser kritischen liegen, die jeweilige Überlaufmenge an. Es handelt sich also um Wertepaare vom Zulauf und dazugehörigen Überlauf. Maximal können 20 von diesen in KOSIM definiert werden.

Als Basis der Ermittlung der Überlaufdaten dienten wieder Messdaten der Onlinemessstation vom 1. Mai bis 31. Juli 2003. In diesem Zeitraum gab es, wie schon erwähnt, 19 Überlaufereignisse. Von diesen Entlastungen waren 1038 Zulauf- und die dazugehörigen 1038 Überlaufmessungen, prinzipiell gemessen in 1-Minutenabständen, bekannt. Es standen also 1038 Wertepaare für die Bestimmung der Abflusskennlinie zur Verfügung. Davon mussten 138 eliminiert werden, da die Messung des Zulaufs bei ungefähr 2200 l/s abgeschnitten wurde und daher falsche Ergebnisse lieferte. Dabei handelte es sich um drei Starkregenereignisse, die am 18.6., am 17.7. und am 23.7.2003 stattfanden.

Die verbleibenden 900 Wertepaare wurden nun der Größe des Zulaufs nach, vom kleinsten bis zum größten, sortiert. Das Ergebnis war eine der Größe nach sortierte Zulauflinie und, in Abb. 21 ersichtlich, die mitsortierten Überlaufwerte. In diese „Wertewolke“ der Überläufe wurde nun versucht eine Überlaufkennlinie (ÜLK) hineinzugenerieren. Dies geschah in 1. Näherung durch eine Polynomfunktion 5. Grades, die mittels des Programms EXCEL errechnet wurde. Der kritische Zufluss zur Entlastung wurde dabei mit 620 l/s ermittelt.

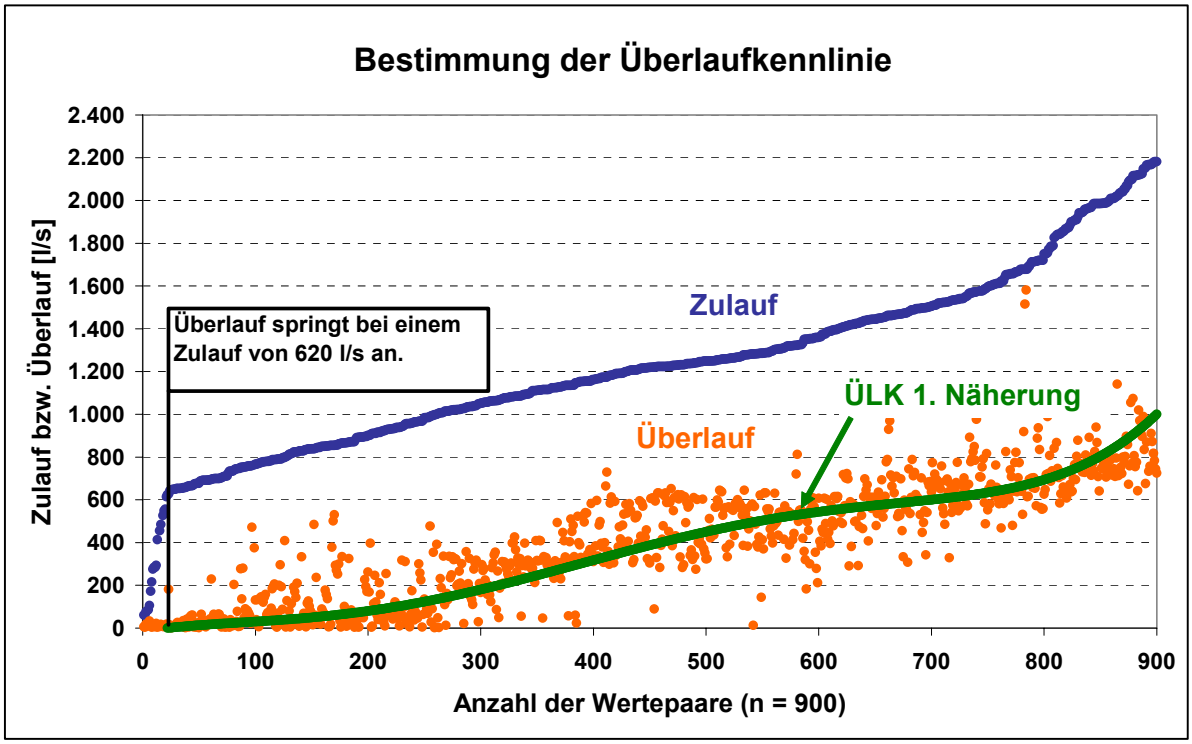


Abb. 21: Bestimmung der Überlaufkennlinie in 1. Näherung

Diese Zulauflinie und dazugehörige Überlaufkennlinie mussten weiters noch für KOSIM aufbereitet und in eine Abflusskennlinie umgewandelt werden. Dabei wurden die ermittelten Zuläufe der Wertepaare auf der Abszisse und die dazugehörigen Werte der Überlaufkennlinie auf der Ordinate aufgetragen. Das Ergebnis war die Abflusskennlinie in 1. Näherung. In KOSIM wurde sie diskretisiert in 20 Wertepaare eingegeben (siehe Abb. 22). Diese Wertepaare sind in Tabellenform im Anhang enthalten.

In Abb. 22 stellt die durchgehend blaue Kurve das Ergebnis der Abflusskennlinie für die KOSIM-Modellierung dar. Orange eingezeichnet die 20 Wertepaare. In Wirklichkeit würde der Überlauf ab ungefähr 1300 l/s im Zulauf stärker ansteigen und eher der gestrichelten Linie folgen als der ermittelten Abflusskennlinie. Es ist anzunehmen, dass bei steigendem Zulauf der Überlauf zunimmt und der Drosselabfluss nur geringfügig ansteigt. Doch zeigte sich, dass diese ermittelte Abflusskennlinie in 1. Näherung den Überlauf des Entlastungsbauwerks in KOSIM gut nachbildete und daher als Ausgangslinie für die Kalibrierung verwendet wurde. Im Laufe der Kalibrierung wird sie aber noch abgeändert, angepasst und verbessert.

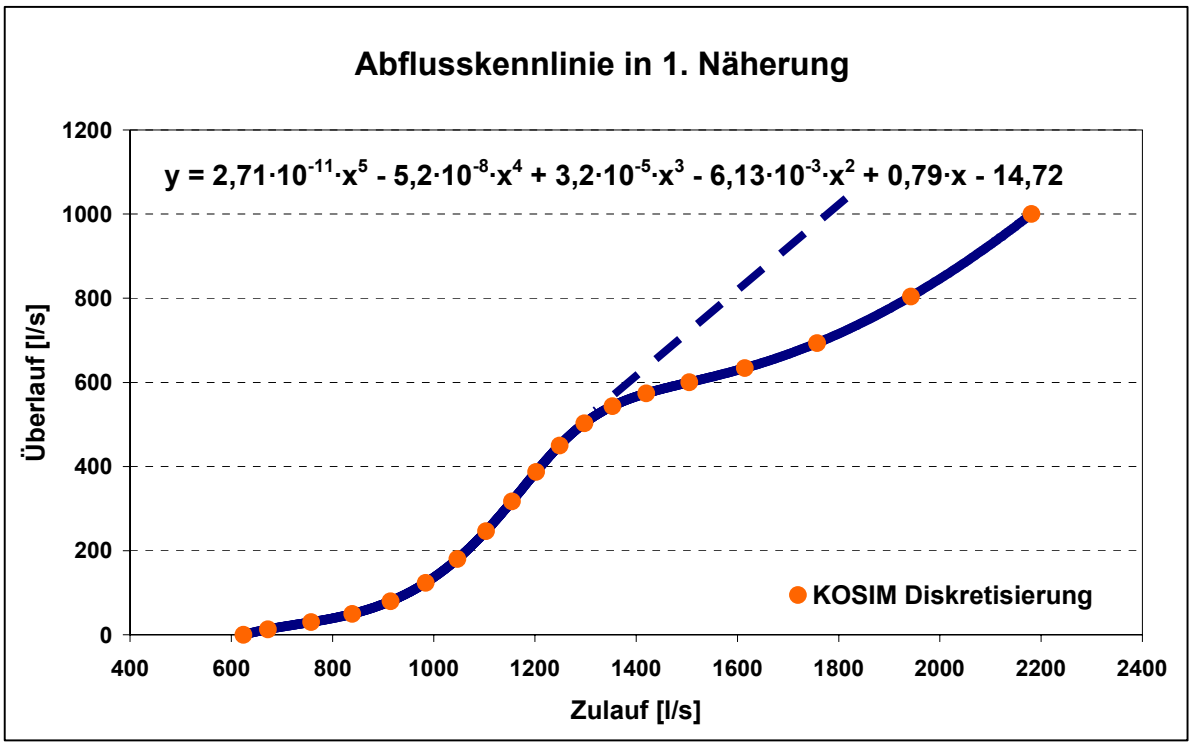


Abb. 22: Abflusskennlinie in 1. Näherung

4.4 Kalibrierung

Die Kalibrierung wurde im Wesentlichen in zwei Schritten durchgeführt. Der erste war die Anpassung der Eingangsdaten des Einzugsgebietes an die Messdaten. Beim zweiten Schritt handelte es sich um die Kalibrierung des Entlastungsbauwerks. Die Vorgehensweise wird genauer in den Kapiteln 4.4.1 und 4.4.2 erklärt. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4.5 dargestellt.

4.4.1 Kalibrierung des Einzugsgebietes

Um in weiterer Folge Überlaufergebnisse mit den Messdaten vergleichen zu können, mussten als erstes die Zuflüsse und Zulauffrachten zum Mischwasserbauwerk auf die Messwerte abgestimmt werden. Dies geschah durch einen Vergleich der errechneten Gesamtfrachten und –volumen für Regenwasserabfluss, Trockenwetterabfluss und der Summe daraus, dem Mischwasserabfluss mit den Messergebnissen.

Das Regenwasserabflussvolumen konnte durch ein Verändern der Parameter der Abflussbildung (Kapitel 4.3.4) exakt nachmodelliert werden, sodass die Abweichung nur 0,1 Prozent betrug. Bei den Frachten für CSB und AFS, die sich aus der Multiplikation des Regenabflussvolumens mit der jeweiligen Konzentration ergeben, wurden mit den größeren Regenwetterkonzentrationen ($c_{r,CSB,1}$, $c_{r,AFS,1}$), errechnet aus dem gesamten Regenwasserabfluss, die besseren Ergebnisse erzielt. Sie wurden für CSB um 6,8 Prozent und für AFS um 2,6 Prozent zu klein simuliert und stellen durchaus gute Simulationsergebnisse dar.

Die Parameter der Abflussbildung, die schlussendlich verwendet wurden, sind in Tabelle 11 angeführt. Der Benetzungsverlust wurde mit 0,5 mm gleich belassen, der Muldenverlust verkleinerte sich auf 1,3 mm und der Anfangsabflussbeiwert vergrößerte sich auf 0,65 und ergibt damit eine anfänglich abflusswirksame Fläche von 77 ha. Da der Endabflussbeiwert sich auf 1 verändert hat, wird im Laufe eines Regenereignisses die gesamte befestigte Fläche (118,4 ha) abflusswirksam.

Tabelle 11: Verwendete Abflussparameter

	Parameter d. Abflussbildung
V_{Ben} [mm]	0,5
V_{Muld} [mm]	1,3
Ψ_o [-]	0,65
Ψ_e [-]	1

Auch das Trockenwetterabflussvolumen konnte mit einer Abweichung von plus 2,8 Prozent gut nachgebildet werden. Die Frachten sind mit 1,3 Prozent für CSB und mit 7,7 Prozent für AFS zu klein modelliert worden, stellen aber wiederum akzeptable Simulationsergebnisse dar. Bei der Kalibrierung des Trockenwetterabflusses hängt die Genauigkeit der Ergebnisse allein von der Sorgfalt bei der Erhebung der Daten und von der Genauigkeit der Messdaten ab. Der Grund dafür liegt in den fix vorgegebenen Werten für den mittleren Trockenwetterabfluss und für die mittleren Konzentrationen (Tabelle 5).

Das Ergebnis für das Mischwasserabflussvolumen und die Frachten für CSB und AFS kann man in Kapitel 4.5 sehen. Es muss nicht genauer interpretiert werden, da es sich aus dem Trockenwetter- und Regenwasseranteil ergibt.

4.4.2 Kalibrierung des Mischwasserüberlaufs

Nachdem die Zulaufvolumen und -frachten aus dem Einzugsgebiet ausreichend nachgebildet wurden, war der nächste Schritt der Vergleich der Entlastungsgrößen über den Gesamtzeitraum der drei Monate. Diese Größen waren das Entlastungsvolumen bzw. die Entlastungsfrachten und die Anzahl und Dauer der Überlaufereignisse. Auch eine Nachmodellierung von Einzelereignissen wurde versucht. Diese funktionierte bei einigen Ereignissen sehr gut und bei manchen nur bedingt. Der Grund dafür liegt in den getroffenen Vereinfachungen für diese Modellierung, am Modell selbst und darin, dass die Natur nie eins zu eins nachbildbar ist. Hauptaufgabe war aber das Modellieren der Gesamtfrachten, um für eine Langzeitsimulation eine gute Basis zu haben, damit mit diesen Langzeitwerten weitere Aussagen getroffen werden konnten.

Die Vorgehensweise der Kalibrierung war folgendermaßen: Prinzipiell wurde die erstellte Abflusskennlinie abgeändert und die einzelnen Fließzeiten im Kanal der drei Teileinzugsgebiete modifiziert. Das Variieren der Fließzeit (t_f) hatte zu Folge, dass sich die Abflussganglinien der Teileinzugsgebiete veränderten und dadurch auch die Gesamtabflussganglinie, die eine Überlagerung der drei Einzelganglinien darstellt. Da KOSIM im verwendeten Speicherkaskadenmodell von drei Speichern (auch bei dieser Modellierung) ausgeht, hat eine Änderung der Fließzeit nur mehr eine Änderung der Speicherkonstanten zur Folge. Dabei bedeutet eine längere Fließzeit einen größere Konstante und dies einen längeren Aufenthalt des Wassers im Einzugsgebiet. Dadurch wird wiederum die

Tabelle 12: Verwendete Fließzeiten

Teileinzugsgebiet	t_f [min]
BLAU	40
GELB	15
ROT	55

Abflussganglinie aus diesem Gebiet stärker gedämpft. Dieser Sachverhalt gilt natürlich nur wenn der Berechnung die gleiche Niederschlagshöhe zu Grunde liegt. In Tabelle 12 sind die endgültigen aus der Kalibrierung ermittelten längsten Fließzeiten (t_f) im Kanal ersichtlich.

Gleichzeitig mit dem Variieren der Abflussganglinie wurde auch die Abflusskennlinie des Überlaufs variiert. Es handelte sich hier um einen iterativen Prozess. Durch ein Ändern der Fließzeiten änderte sich die Intensität und der Zeitpunkt des Auftretens der Abflussspitzen. Darauf musste die Abflusskennlinie des Überlaufs angepasst werden. Durch ein Hinaufsetzen des kritischen Zuflusses (Q_{krit}) springt der Überlauf, je nach Anstieg der Zulaufganglinie zum Entlastungsbauwerk, mit unterschiedlicher zeitlicher Versetzung an. Durch ein Verändern der Wertepaare wurden die simulierte Überlaufganglinie und auch das Überlaufvolumen angepasst.

Prinzipiell war die Vorgehensweisefolgende: Als erstes wurden die vier Entlastungsgrößen, das Entlastungsvolumen, die Entlastungsfrachten, die Anzahl und Dauer der Überlaufereignisse für den Gesamtzeitraum der drei Monate übereingestimmt und die Zeitpunkte der Entlastungen angenähert. Der nächste Schritt bestand darin, die Entlastungsgrößen der Einzelereignisse mit den Messwerten abzustimmen. Dies wurde über eine Veränderung der Wertepaare der Abflusskennlinie versucht. Ziel war es, eine Abflusskennlinie zu finden, bei der alle Einzelereignisergebnisse die geringsten Abweichungen von den Messwerten hatten. Das Problem bestand darin, dass wenn die Abflusskennlinie so modifiziert wurde, dass ein Ereignis gut modelliert werden konnte, sich die anderen meistens so änderten, dass sie größere Abweichungen aufwiesen als vorher. Der Grund ist der, dass sich eine Variation der Abflusskennlinie und der Fließzeiten auf alle Überlaufereignisse auswirkt. In einem iterativen Kalibrierungsversuch wurde die Abflusskennlinie 15-mal modifiziert, bis eine Abstimmung des Bauwerks gefunden wurde, die den gewünschten Ergebnissen entsprach. Die modifizierten Ausgangsgrößen dieses Prozesses sind die oben angeführten Fließzeiten und eine abgeänderte Abflusskennlinie. In dieser Diplomarbeit wird nur die endgültige Abflusskennlinie präsentiert und mit Abflusskennlinie in 2. Näherung bezeichnet (Abb. 23 und im Anhang).

Die ermittelte Kennlinie teilt sich in zwei Abschnitte, die jeweils durch eine Polynomfunktion 2. Grades beschrieben werden. Der Überlauf springt in der Simulation bei einem Zulauf von 780 l/s an. Dieser ermittelte Wert liegt deutlich höher als bei der Überlaufkennlinie in 1. Näherung (Vergleich siehe Abb. 24). Danach steigt die Abflusskennlinie (Abb. 23) bis zu einem Zufluss von 1650 l/s stark an. Wie schon bei der Abflusskennlinie in 1. Näherung (Abb. 22) würde die gestrichelte Linie den

tatsächlichen Überläufen bei so hohen Zuläufen besser entsprechen als die Abflusskennlinie, die sich für die KOSIM-Modellierung (blau) ergeben hat. Doch wurde mit dieser, aus einem iterativen Prozess ermittelten Abflusskennlinie in 2. Näherung, die bessere Übereinsstimmung der Simulationsergebnisse mit den Messdaten erzielt und wurde daher für die weiteren Berechnungen verwendet.

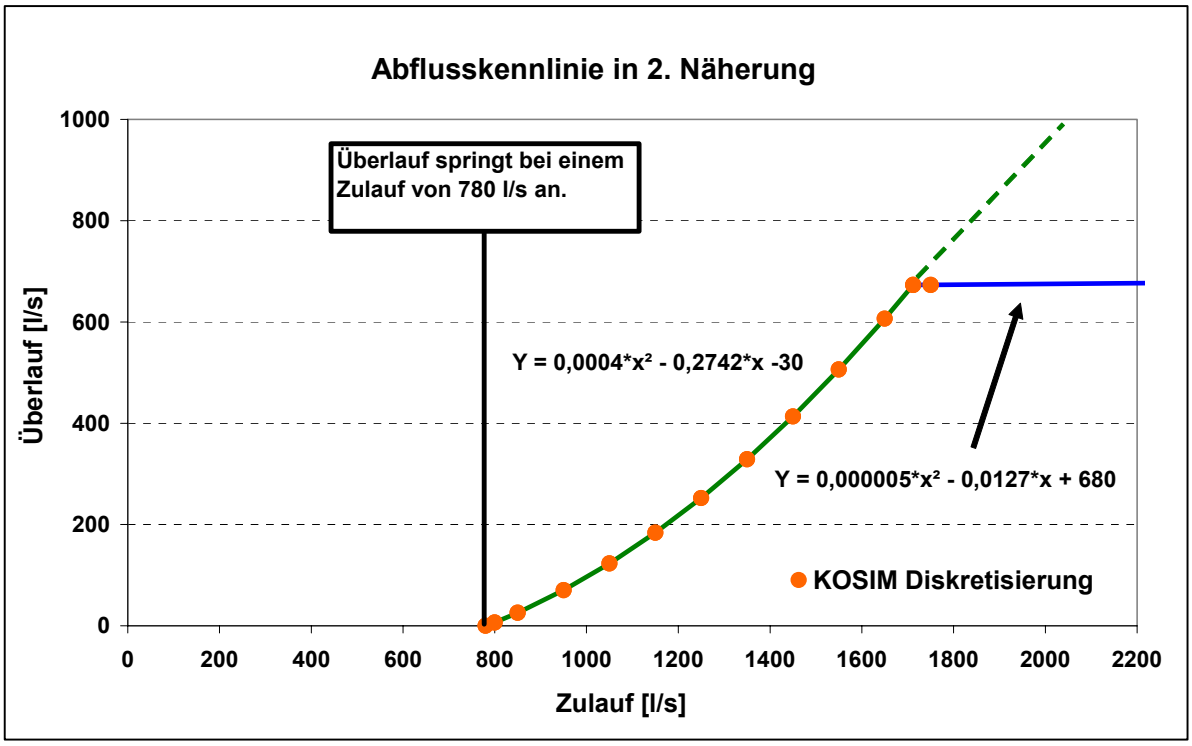


Abb. 23: Abflusskennlinie in 2. Näherung

Weiters zeigt Abb. 24, dass sich die Lage der Überlaufkennlinie gegenüber der 1. Näherung von der Mitte an den unteren Rand der „Wertewolke“ der Messdaten verschoben hat. Der Grund dafür liegt darin, dass bei der Berechung mit der für KOSIM erstellten Abflusskennlinie in 1. Näherung zu große Überlauffrachten simuliert wurden und mit einem Herabsetzen der 2. Näherung bessere Ergebnisse erzielt werden konnten. Auch der Knick in der Überlaufkennlinie in 2. Näherung wird in Wirklichkeit nicht so ausgeprägt auftreten, doch war diese Form der Kennlinie für die Modellierung die geeignetste.

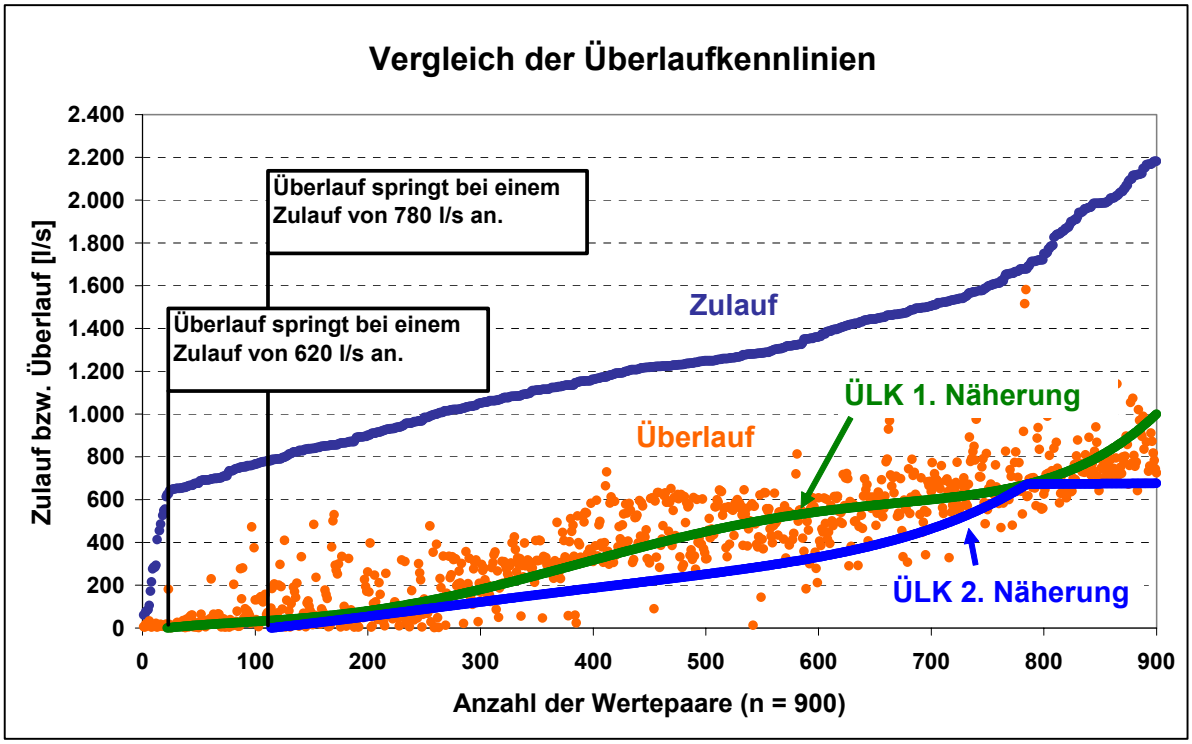


Abb. 24: Vergleich der Überlaufkennlinien

4.5 Ergebnisse der Kalibrierung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kalibrierung präsentiert und mit den Messdaten verglichen, also verifiziert. Es lagen die Ergebnisse für die Zulauffrachten und –volumen aus dem Einzugsgebiet vor den Entlastungsdaten vor. Daher wurden sie auch vor der Bestimmung der Entlastungsgrößen verifiziert, um eine Aussage über die Genauigkeit machen zu können. Vereinfacht werden hier die Zulauf- und Entlastungsergebnisse für die gesamten drei Monate gemeinsam in einer Tabelle jeweils für Durchfluss, CSB und AFS dargestellt. Die genaue Berechnung der Bilanzen findet sich im Anhang.

Tabelle 13: Gesamtergebnisse für den Durchfluss

	Ergebnisse Durchfluss		**Messung**	**KOSIM**	**Abweichung v. d. Messung [%]**
Zulaufgrößen	**Regenabflussvolumen VQ_{RW}**	**[m³]**	134 000	133 900	-0,1
	Trockenwetterabflussvol. VQ_{TW}	**[m³]**	432 300	444 300	2,8
	Mischwasserabflussvol. VQ_{MW}	**[m³]**	566 400	578 200	2,1
Überlaufgrößen	**Anzahl der Entlastungen n_{UE}**	**[-]**	16	19	
	Anzahl d. vergleichbaren Entl. $n_{UE,v}$	**[-]**	14	14	
	Dauer der vergl. Entlastungen $T_{UE,v}$	**[min]**	932	885	-5,0
	Entlastungsvolumen $VQ_{UE,v}$	**[m³]**	23 800	24 600	3,2

Tabelle 14: Gesamtergebnisse für den CSB

	Ergebnisse CSB		**Messung**	**KOSIM**	**Abweichung v. d. Messung [%]**
Zulaufgrößen	**Regenabflussfracht SF_{RW1} ($c_{r,CSB,1}$)**	**[t]**	44,5	41,5	-6,8
	Regenabflussfracht SF_{RW2} ($c_{r,CSB,2}$)	**[t]**	44,5	38,2	-14,3
	Trockenwetterabflussfracht SF_{TW}	**[t]**	306,0	302,2	-1,3
	Mischwasserabflussfracht SF_{MW1}	**[t]**	350,5	343,7	-2,0
	Mischwasserabflussfracht SF_{MW2}	**[t]**	350,5	340,3	-2,9

Ergebnisse CSB			Messung	KOSIM	Abweichung v. d. Messung [%]
Überlaufgrößen	Anzahl der Entlastungen n_{UE}				
	Anzahl d. vergleichbaren Entl. $n_{UE,v}$	[-]	14	14	
	Dauer der vergl. Entlastungen $T_{UE,v}$	[min]	932	885	-5,0
	Entlastungsfracht $SF_{UE,v1}$ ($c_{r,CSB,1}$)	[t]	7,1	7,9	10,3
	Entlastungsfracht $SF_{UE,v2}$ ($c_{r,CSB,2}$)	[t]	7,1	7,3	1,9

Tabelle 15 Gesamtergebnisse für den AFS

Ergebnisse AFS			Messung	KOSIM	Abweichung v. d. Messung [%]
Zulaufgrößen	Regenabflussfracht SF_{RW1} ($c_{r,AFS,1}$)	[t]	26,8	26,1	-2,6
	Regenabflussfracht SF_{RW2} ($c_{r,AFS,2}$)	[t]	26,8	23,4	-12,6
	Trockenwetterabflussfracht SF_{TW}	[t]	146,9	135,5	-7,7
	Mischwasserabflussfracht SF_{MW1}	[t]	173,7	161,6	-7,0
	Mischwasserabflussfracht SF_{MW2}	[t]	173,7	158,5	-8,8
Überlaufgrößen	Anzahl der Entlastungen n_{UE}	[-]	16	19	
	Anzahl d. vergleichbaren Entl. $n_{UE,v}$	[-]	14	14	
	Dauer der vergl. Entlastungen $T_{UE,v}$	[min]	932	885	-5,0
	Entlastungsfracht $SF_{UE,v1}$ ($c_{r,AFS,1}$)	[t]	4,8	4,9	2,5
	Entlastungsfracht $SF_{UE,v2}$ ($c_{r,AFS,2}$)	[t]	4,8	4,4	-7,5

In den Tabellen für CSB und AFS wurden jeweils noch die Ergebnisse für beide Regenwetterkonzentrationen nach Tabelle 5 angegeben. Die Entscheidung, welcher nun für die weitere Langzeitsimulation und Sensitivitätsanalyse verwendet werden sollte, war für AFS einfach. Wie in Tabelle 15 ersichtlich, weisen die mit der Regenwetterkonzentration 1 für AFS von 195 mg/l simulierten Frachten, in allen drei Größen für Zu- und Überlauf, die kleineren Abweichungen von der Messung auf. Als logische Konsequenz wurde dieser Wert für weiteren Berechungen verwendet.

Beim CSB konnte die Entscheidung nicht so einfach getroffen werden. Wie Tabelle 14 zeigt, wird mit $c_{r,CSB,1}$ für die Regen- und Mischwasserabflussfracht das besser übereinstimmende Ergebnis erzielt, mit $c_{r,CSB,2}$ konnten die Entlastungsfrachten besser nachmodelliert werden. Im Endeffekt fiel die Entscheidung auf die zweite Konzentration mit 285 mg/l, da für die weiteren Berechnungen die Entlastungsfracht maßgebend war und außerdem die Abweichung der Mischwasserfracht sich nur um 0,9 Prozent vergrößert.

KOSIM simulierte mit dem in Kapitel 4.3.1 beschrieben Regendaten 19 Überlaufereignisse. Im Gegensatz dazu sprang der Überlauf 16-mal laut Messung an. Dabei wird nicht unterschieden, ob es sich um voneinander abhängige oder unabhängige Entlastungen handelt. Sobald Mischwasser über die Überlaufkante lief bzw. das simuliert wurde, wurde das als Ereignis gewertet. Von diesen 19 simulierten bzw. 16 gemessenen Entlastungen waren nun 14 vom Zeitpunkt des Einsetzens des Überlaufes vergleichbar. KOSIM simulierte dieses Einsetzen um 15 bis 90 Minuten früher als die Messungen. Es wurde zwar in der Kalibrierung versucht dies zu berücksichtigen, doch ein genaueres Ergebnis konnte nicht erzielt werden. Durch die in KOSIM gegebene Möglichkeit der Veränderung der Anzahl der Speicher kann der Zeitpunkt des Einsetzens der Entlastung noch besser modelliert werden. Diese Möglichkeit wurde aber in dieser Arbeit nicht genutzt.

Im Anhang sind die Ergebnisse der einzelnen Ereignisse und deren Abweichungen dargestellt. Wie dort ersichtlich ist, wurde ein Großteil der vergleichbaren Ereignisse größenordnungsmäßig in Hinblick auf die Dauer und Menge durchaus zufrieden stellend nachgebildet. Die Ausreißer können durch die für die Berechung getroffenen Vereinfachungen der Daten und die Vereinfachungen des Models selbst begründet werden. Eine detaillierte Betrachtung der jeweiligen Abweichungen in Prozent von den Messdaten ergibt größere Abweichungen als die der Gesamtergebnisse, die in Tabelle 13 bis Tabelle 15 dargestellt sind. Daher kann KOSIM Gesamtvolumen und -frachten sehr gut nachmodellieren, bei der Nachbildung von Einzelereignissen ist dies teilweise schwierig. KOSIM ist ein Langzeitsimulationsprogramm und wird für die Ermittlung von Jahresfrachten eingesetzt. Einzelereignisse mit KOSIM exakt nachzubilden war auch ein Versuch in dieser Diplomarbeit.

4.6 Verifizierung von fünf Einzelereignissen

Nach dem Vergleich der vier erwähnten Überlaufgrößen und des Zeitpunktes des Anspringens des Bauwerks für die Einzelereignisse wurden auch die simulierten Überlaufganglinien mit den gemessenen verifiziert. Dafür wurden fünf von einander unabhängige Entlastungen aus den drei Monaten gewählt. Diese Ereignisse fanden am 14. Juni, 16. Juni, 24. Juni, 1. Juli und am 28. Juli 2003 statt. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ganglinien wurde der Zeitunterschied von 15 bis 90 Minuten, der sich aus der Simulation ergab, auf Null gesetzt. Das heißt, dass für den Vergleich der Überlauf zur selben Zeit angesprungen ist.

Für diese Überlaufereignisse wurden jeweils die Ganglinien für die hydraulische Fracht (Q) und die Überlaufkonzentrationen für CSB und AFS von KOSIM simuliert. Weiters wurden daraus noch die Frachtganglinien für diese zwei Abwasserinhaltsstoffe ermittelt. Dies ergibt damit insgesamt eine Anzahl von 20 Diagrammen, die im Anhang dargestellt sind. Hier werden anhand des Beispiels vom 16. Juni 2003 die Ergebnisse der Verifizierung erläutert.

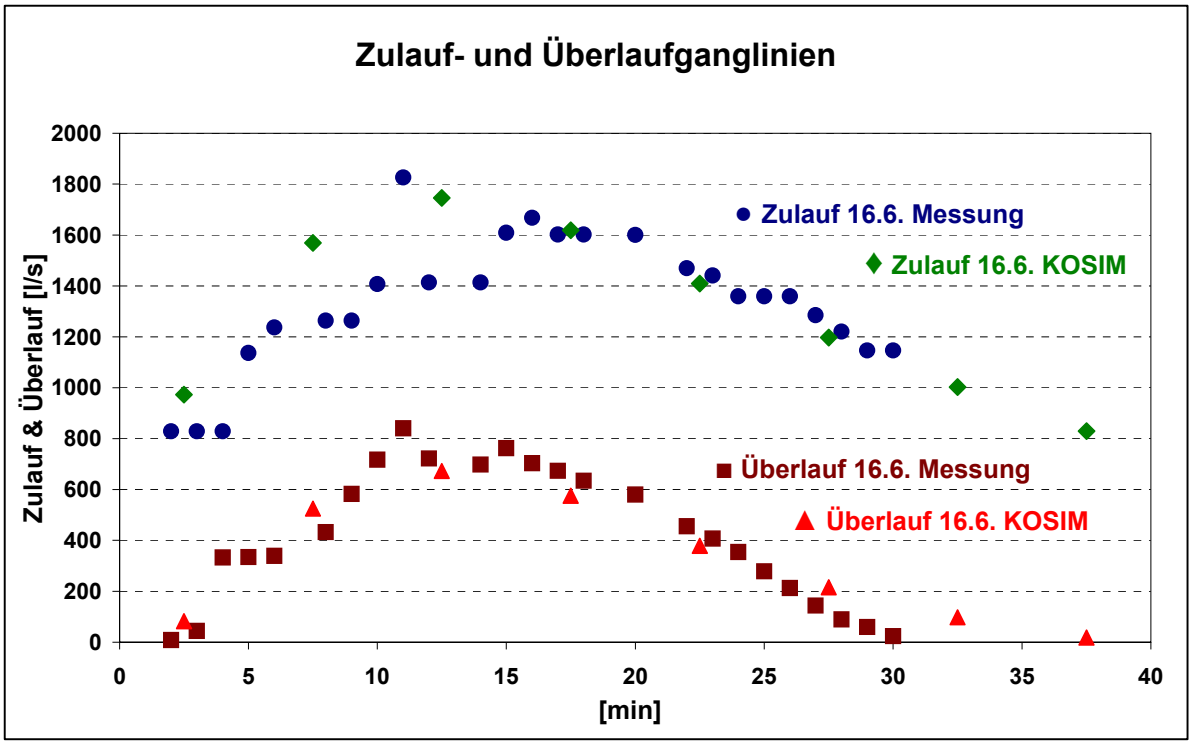


Abb. 25: Zulauf- und Überlaufganglinien für den 16. Juni 2003

Die Entlastung am 16. Juni 2003 konnte sehr gut nachmodelliert werden. Das Anspringen wurde zwar mit 71 Minuten zu früh simuliert, die Abweichung bei der Überlaufdauer war jedoch nur 7 Minuten. Die hydraulische Fracht wurde um 2 Prozent zu groß berechnet und bei den Frachten war ein zu kleiner Unterschied von 12 Prozent bei CSB und von 27 Prozent bei AFS feststellbar. Die andern vier Ereignisse zeigen deutlich größere Abweichungen.

In Abb. 25 ist der Vergleich zwischen Messung und KOSIM Berechung für die Zulauf- bzw. Überlaufganglinie dargestellt. Durch das gute Nachbilden des Zulaufes konnte auch eine gute Übereinstimmung im Überlauf erzielt werden. Bei anderen Ereignissen (siehe Anhang), bei denen die Zulaufganglinie durch zwei Abflussspitzen oder länger anhaltenden gleichförmigen Zulauf charakterisiert ist, erreicht die Simulation nicht so gute Übereinstimmungen. Der Grund dafür liegt darin, dass KOSIM, das ein hydrologisches Schmutzfrachtsimulationsprogramm ist, keine dynamischen Effekte, wie z. B. Rückstau, im Kanal berücksichtigten kann.

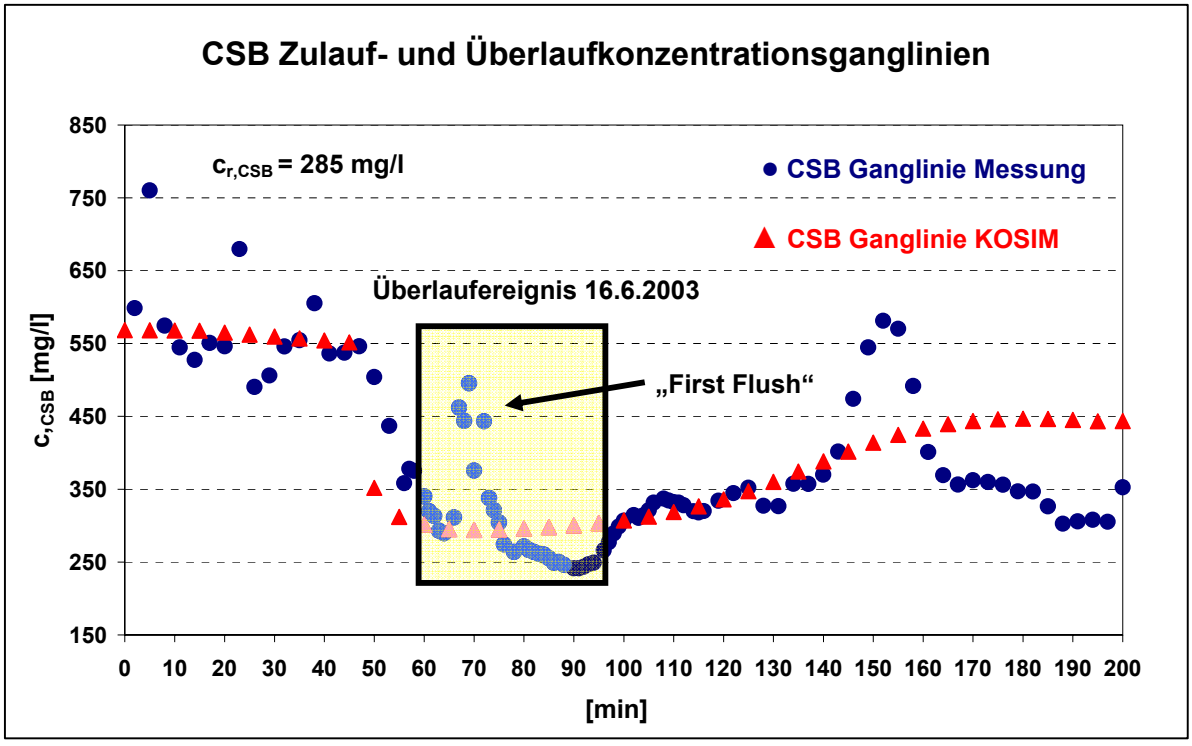


Abb. 26: CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 16. Juni 2003

In Abb. 26 sind die Konzentrationsganglinien für CSB dargestellt. Klar ersichtlich ist, dass beim Einsetzen des Regenabflusses, durch die Verdünnung des Trockenwetterabflusses mit dem Niederschlagswasser, die Konzentration abnimmt. Der Grund dafür ist, dass das Niederschlagswasser eine geringere Konzentration als der Trockenwetterabfluss hat. Daher wurde die Art der Abbildung so gewählt, dass

nicht nur die Überlaufdauer, sondern auch 60 Minuten davor und eine gewisse Zeit danach gezeigt werden. Dadurch konnte auch überprüft werden, wie KOSIM diese Abnahme simuliert. Wie nun in Abb. 26 ersichtlich, funktioniert das sehr gut. Auch in den anderen untersuchten Ereignissen wurde die Abnahme der Konzentration simuliert.

Das Problem, das sich hier ergab, war der „First Flush“. Darunter versteht man ein kurzes Ansteigen der Konzentrationsganglinie für gewisse Abwasserinhaltsstoffe, nachdem bereits der Regenabfluss eingesetzt hat. Der Grund dafür ist eine Remobilisierung von Kanalablagerungen. Diese Ablagerungen sammeln sich während der Trockenwetterphase an. Durch das Einsetzen des Niederschlags-abflusses steigt die Fülltiefe im Kanal und dadurch auch die Schleppkraft an. Dies hat zur Folge, dass die Ablagerungen remobilisiert werden und vor der Abflussspitze des Regenabflusses die Wellenfront des Regenabflusses bilden. Diese Ablagerungen ergeben dann den „First Flush“ oder Spülstoß (Krebs et al. 1999). Wie die Abb. 26 zeigt, kann KOSIM diesen Spülstoß nicht simulieren. Der Grund dafür ist, dass keine dynamischen Prozesse simuliert werden können. Weiters ist ersichtlich, dass die gemessenen Konzentrationen nach dem „First Flush“ unter die, die KOSIM errechnet hat, absinken und erst nach Ende des Regenwasserabflusses wieder ansteigen. Diese Beobachtung ist auch bei den anderen vier untersuchten Entlastungen erkennbar.

Geht man von der Annahme aus, dass die Zulauf- und Überlaufganglinien von KOSIM perfekt nachmodelliert werden können, so führt obige Aussage zu folgendem Ergebnis: Da die Zulauf- bzw. Überlaufganglinie multipliziert mit der Konzentrationsganglinie die Zulauf- bzw. Überlauffrachtenganglinie ergibt, wird bei einem kurzen Überlaufereignis, bei dem nach dem „First Flush“ der Überlauf gleich wieder vorbei ist, eine zu kleine simulierte Überlauffracht errechnet. Bei einer sehr langen Entlastung wird durch die zu groß simulierten Konzentrationen nach dem „First Flush“ die Überlauffracht zu groß errechnet. Das Beispiel vom 16. Juni 2003, bei dem die Zulauf- und Überlaufganglinie, wie in Abb. 25 zu sehen, sehr gut nachmodelliert wurde, stellt den Grenzfall zwischen zu großer oder zu kleiner Überlauffracht dar. Hier halten sich der Anteil des „First Flushs“, der zu klein, und der Anteil der stärker abgesunkenen Konzentrationen, der zu groß simuliert wurde, die Waage. Der Vergleich der Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien des 16. Juni 2003 ist in Abb. 27 dargestellt.

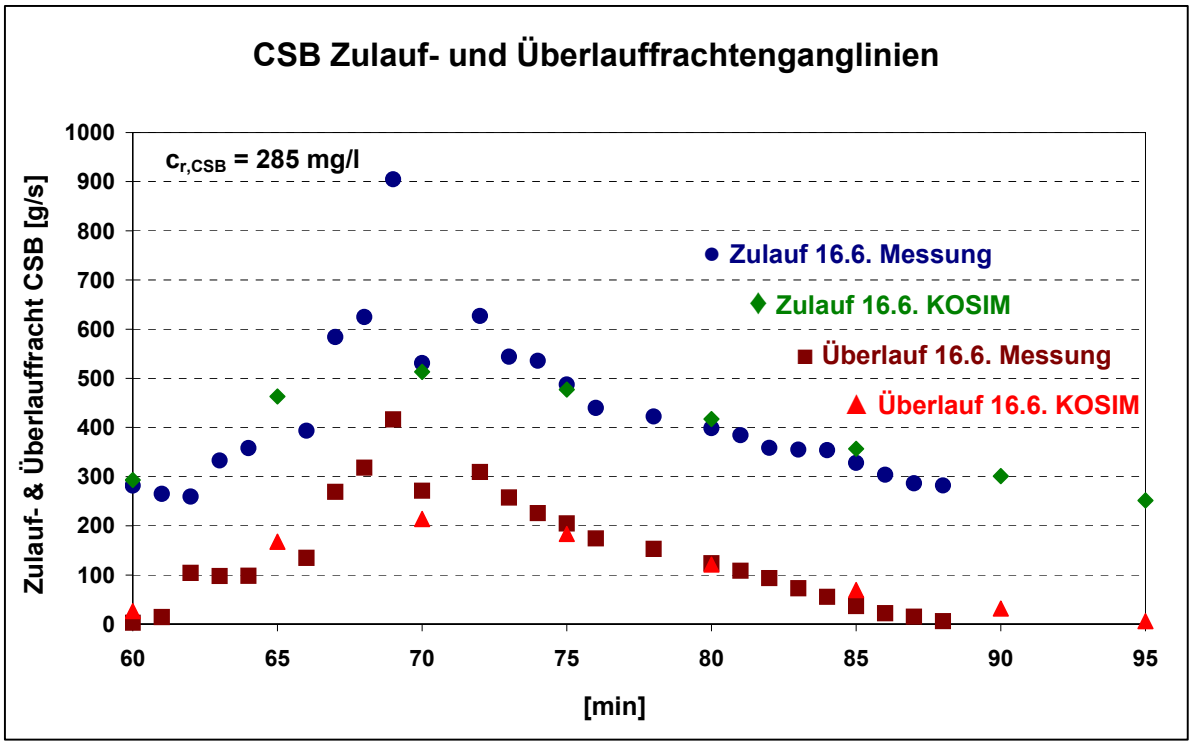


Abb. 27: CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 16. Juni 2003

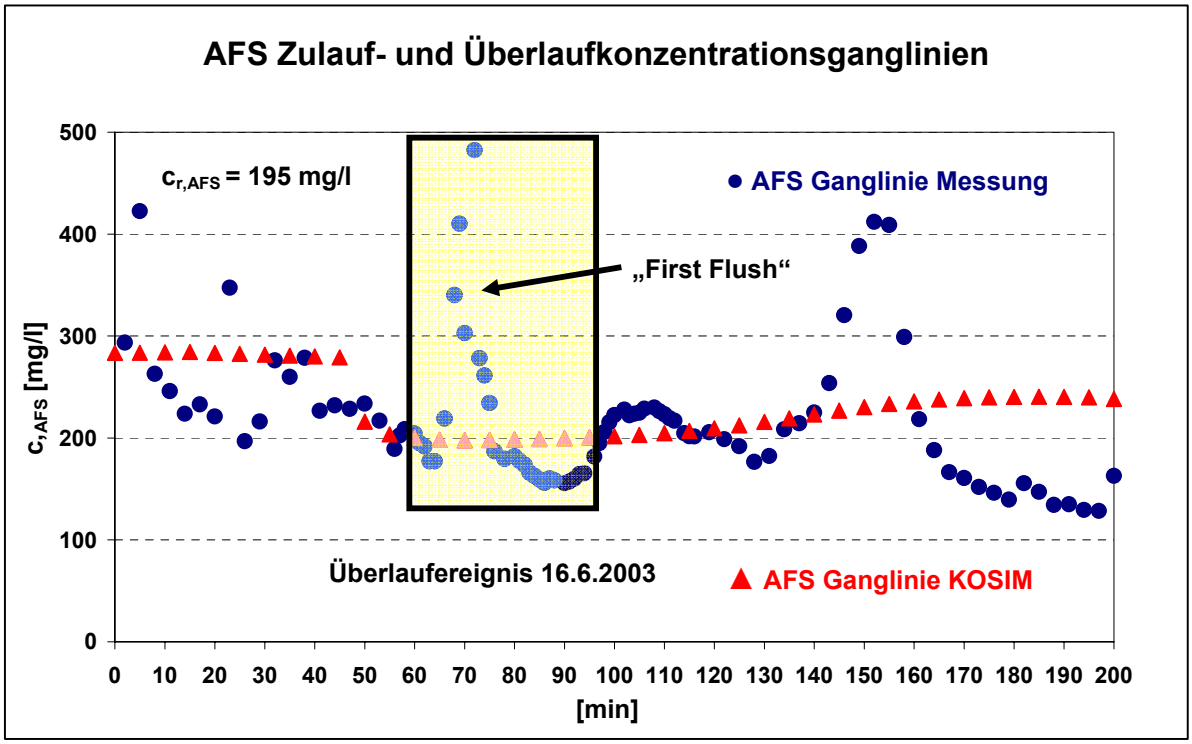


Abb. 28: AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 16. Juni 2003

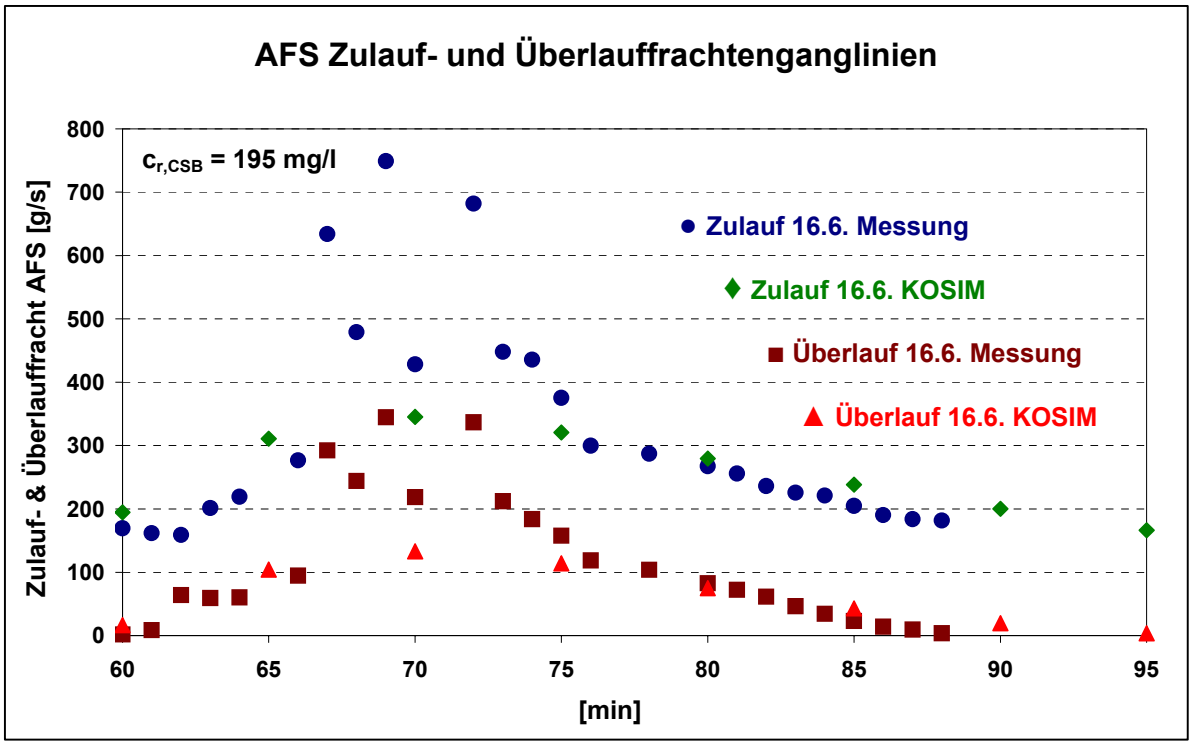


Abb. 29: AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 16. Juni 2003

Die Schlussfolgerungen und Erkenntnisse, die aus den Konzentrations- und Frachtganglinien für AFS gewonnen werden konnten, sind im Prinzip gleich denen aus den CSB Ganglinien. In Abb. 28 ist das simulierte Abfallen der Konzentrationsganglinie bei Einsetzen des Regenabflusses ersichtlich. Beim AFS fällt dieser Abfall nicht so deutlich aus wie beim CSB, da der Unterschied zwischen Trockenwetter- und Regenwetterkonzentration nicht so hoch ist wie beim CSB. Weiters ist der ausgeprägte Spülstoß, der gemessen wurde, zu erkennen und dass KOSIM diesen nicht nachmodellieren kann. Abb. 29 zeigt ein respektables Ergebnis für die modellierten Frachtenganglinien.

5 Langzeitsimulation

5.1 Vorgangsweise

Die Basis für die Langzeitsimulation bildet das in Kapitel 4.4 kalibrierte Modell. Weiters wurden Regendaten benötigt, die durchgehend über mehrere Jahre vorhanden sind. Diese mussten repräsentativ für den Grazer Raum sein, damit auch die Ergebnisse der Simulation repräsentativ sind, um Aussagen über entlastete Frachten und die Weiterleitungsgrade machen zu können. Die verwendeten Regendaten werden genauer in Kapitel 5.2 beschrieben.

Zuerst wurde mit KOSIM der gesamte Zeitraum der verwendeten acht Jahre simuliert, um aus diesen Jahren einen Jahresmittelwert für alle von KOSIM errechneten Ergebnisgrößen zu bekommen. Danach wurden die Jahre einzeln simuliert und als Ergebnis bekam man Einzeljahresergebnisse. Mit dem bereits errechneten Jahresmittelwert und den Einzeljahresergebnissen wurden dann die Schwankungen der verschiedenen Ergebnisgrößen errechnet. Diese Größen waren: das Regenabflussvolumen, das Trockenwetterabflussvolumen, das Mischwasser-abflussvolumen, das Überlaufvolumen, die Überlaufdauer, die Anzahl der Entlastungen, Regenwasserfracht, Mischwasserfracht, Entlastungsfracht, Mischwasserkonzentration, Überlaufkonzentration für AFS und CSB sowie Weiterleitungsgrade für Durchfluss, CSB und AFS.

Als letzter Punkt in diesem Kapitel wurde aus diesen Ergebnissen der Weiterleitungsgrad laut Entwurf AEV Mischwasser (siehe Kapitel 2.4.1.3) berechnet. Die genaue Vorgehensweise dafür wird in Kapitel 5.3 beschrieben.

5.2 Verwendete Regendaten

KOSIM ist, wie schon beschrieben, ein Langzeit-Kontinuum-Simulationsprogramm. Es werden somit Regendaten benötigt, die durchgehend über mehrere Jahre vorhanden sind. Im KOSIM Anwenderhandbuch (Stand 18.01.2002) werden als Richtgröße mindestens zehn Jahre vorgeschlagen. Der Grund, warum eine so große Zeitspanne verwendet werden soll, wird wie folgt erläutert:

„Wird ein ausreichend langer Zeitraum betrachtet, so wird das statistische Niederschlagsverhalten in der Zukunft genauso sein, wie es in der Vergangenheit war.“

Von diesem Richtwert der zehn Jahre kann in Ausnahmefällen abgegangen werden. Solche Ausnahmefälle stellen Entlastungsbauwerke dar, die mehrmals im Jahr anspringen. Dazu gehört auch der in dieser Diplomarbeit modellierte Mischwasserüberlauf, der, wie es die Kalibrierung zeigte, in den untersuchten drei Monaten 19-mal ansprang.

Für die Langzeitsimulation wurden Regendaten der Niederschlagsmessstation TU Graz des Institutes Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau verwendet. Als Niederschlagsmessgerät wird eine Wippe verwendet. Diese Station liegt nicht direkt im Einzugsgebiet „Graz West“, sondern ungefähr 1,5 Kilometer von der östlichen Grenze des Einzugsgebietes entfernt (siehe Lageplan im Anhang). Es waren Daten von Anfang 1983 bis Ende 2003 vorhanden, aber teilweise fehlten Messwerte. Aus diesen 21 Jahren konnten acht durchgehende Jahre für die Simulation gewonnen werden. Dieser Zeitraum erstreckt sich von 1996 bis einschließlich 2003. Es konnten leider keine zehn durchgehenden Jahre ermittelt werden. Dies sollte aber durch den im vorigen Absatz angeführten Grund für Ausnahmefälle keine Auswirkungen auf die Aussagekraft der Ergebnisse dieser Simulation haben.

Der nächste Schritt war die Überprüfung der Repräsentativität dieser Messdaten. Durch die räumliche Nähe der Messstation TU Graz konnte davon ausgegangen werden, dass die Niederschläge in Hinblick auf ihre Dynamik (Intensität, Abfolge, Dauer,…) dem Grazer Raum entsprechen. Weiters wurde die mittlere Jahresniederschlagshöhe für diese acht Jahre aus den Daten der TU Graz errechnet. Sie beträgt 697,5 mm und ist im Vergleich mit dem von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) angegeben Mittelwert von rund 840 mm gering. Dieser Wert der ZAMG wurde aus Messdaten der Messstation Graz Thalerhof aus den Jahre 1961 bis 1990 ermittelt. Ein Grund für diesen Unterschied ist sicher, dass die acht Jahre großteils niederschlagsarme Jahre waren. Dies belegen die in den Jahresberichten der ZAMG von 2000 bis 2003 angegeben Jahres-niederschlagshöhen für Graz Thalerhof, von 611 mm bis 826 mm, die ebenfalls unter den 840 mm liegen.

Vergleicht man die in Tabelle 16 angeführten einzelnen Jahresniederschlagshöhen der verwendeten acht Jahre, ermittelt aus den TU Graz Daten, mit den ZAMG Daten,

so ist ersichtlich, dass diese ebenfalls in dieser Größenordnung von 611 mm bis 826 mm liegen. Daher kann bei dem verwendeten Regenkontinuum der acht Jahre durchaus von einer Repräsentativität für Graz in diesem Zeitraum ausgegangen werden. Das Jahr 2001 mit einer sehr niedrigen Jahresniederschlagshöhe von 504,6 mm muss als extrem niederschlagarmes Jahr gesehen werden.

Tabelle 16: Übersicht über die Jahresniederschlagshöhen der für die Simulation verwendeten Regendaten der acht Jahre.

Jahr	Jahresniederschlagshöhe	Jahr	Jahresniederschlagshöhe
1996	795,0 mm	2000	681,1 mm
1997	627,7 mm	2001	504,6 mm
1998	873,3 mm	2002	688,6 mm
1999	820,3 mm	2003	589,2 mm
		Mittelwert	**697,5 mm**

5.3 Berechnung der Weiterleitungsgrade mit KOSIM

Ein Ziel dieser Diplomarbeit war es, Weiterleitungsgrade für die in der Simulation berücksichtigten Abwasserinhaltsstoffe AFS und CSB zu ermitteln. Da KOSIM nach dem deutschen ATV Arbeitsblatt A128 rechnet, kann es nicht die gewünschten Weiterleitungsgrade laut österreichischer AEV Mischwasser (Entwurf) berechnen. Die Formel der Weiterleitungsgrade ist im Kapitel 2.4.1.3 beschrieben. Ein Ergebnis, das den Weiterleitungsgraden nahe kommt, ist die Jahresentlastungsrate (e_0). Sie errechnet sich aus der Division des Überlaufvolumens (VQ_{UE}) mit dem Regenabflussvolumen (VQ_r) eines Jahres. Die Summe aus Jahresentlastungsrate und dem Wirkungsgrad der Weiterleitung für den Regenabfluss (η_r) laut ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf 10.03) muss 100 Prozent ergeben. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\eta_r = 100 - e_0$$

η_r Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung für Regenabfluss (%)
e_0 Entlastungsrate (%)

Der Nachweis, dass der Wirkungsgrad η_r die geforderten Mindestwirkungsgrade für CSB (η_{CSB}) und auch AFS (η_{AFS}) laut Tabelle 1 (Seite 12) erfüllt, macht ein einzelnes Nachweisen dieser, laut ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf), überflüssig, doch war es ein

Anliegen dieser Diplomarbeit, diese Weiterleitungsgrade für CSB und AFS zu ermitteln, um aufzuzeigen, inwieweit sie sich von η_r unterscheiden. Daher musste ein Weg gefunden werden, diese mit KOSIM zu errechnen.

Das Problem dabei war, dass KOSIM alle Daten für die Berechnung von η_{CSB} und η_{AFS} nach der Gleichung in Kapitel 2.4.1.3 lieferte, nur den Wert für die Konzentration im Mischwasser (c_m) nicht. Diese Konzentration kann nach folgender Formel berechnet werden, da von einer vollständigen Durchmischung des Mischwassers ausgegangen wird:

$$c_m = \frac{SF_r + SF_{t_r}}{VQ_r + VQ_{t_r}} \cdot 1000 = \frac{SF_r + Q_{t,24} \cdot T_r \cdot c_t \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{VQ_r + Q_{t,24} \cdot T_r \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 1000$$

SF_r	Summe der Regenwasserabflussfracht eines Jahres (kg/a)
SF_{tr}	Summe der Trockenwetterabflussfracht eines Jahres zur Zeit des Regenabflusses (kg/a)
VQ_r	Summe der Regenwasserabflussmengen eines Jahres (m³/a)
VQ_{tr}	Summe der Trockenwetterabflussmengen eines Jahres zur Zeit des Regenabflusses (m³/a)
c_m	Konzentration im Mischwasserabfluss (mg/l)
c_t	Konzentration im Trockenwetterabfluss (mg/l)
$Q_{t,24}$	mittlerer täglicher Trockenwetterabfluss (l/s)
T_r	Dauer des Regenwasserabfluss eines Jahres (min)

Für die Berechung der Konzentration c_m fehlten die Summe der Trockenwetterabflussfracht und –menge eines Jahres zur Zeit des Regenwasserabflusses. Durch die Aufspaltung dieser Größen in Einzelkomponenten konnten die Unbekannten auf eine einzige Unbekannte reduziert werden. Diese Unbekannte war die Dauer des Regenabflusses eines Jahres (T_r). Um diese Dauer in KOSIM berechnen zu können, musste ein Trick angewandt werden (Fenz 2004). Als erstes wurden alle Trockenwetterganglinien konstant gesetzt und danach der kritische Zulauf zum Überlaufbauwerk (Q_{krit}) mit $Q_{t,24}$ (55,9 l/s) begrenzt. Daher ist der Zulauf bei Trockenwetter mit 55,9 l/s konstant. Sobald es zu einem Regenabfluss im Kanal kam, wurde das Q_{krit} überschritten und der Überlauf sprang an. Somit war das gesamte Regenabflussvolumen gleichzeitig das Entlastungsvolumen und damit die vom KOSIM angegebene Entlastungsdauer gleichzeitig die benötigte Regenabflussdauer.

Die Vereinfachung, die dabei gemacht wurde, ist diejenige, dass bei der Berechnung der Trockenwetterabflussfracht und -menge zur Zeit des Regenabflusses (SF_{tr} und VQ_{tr}) die Zeit des Auftretens des Regenabflusses eine Rolle spielt. Erklärt an einem Beispiel (Abb. 30) bedeutet das, dass bei einem Mischwasserereignis um 3 Uhr in der Früh sicher weniger Trockenwetterabfluss herrscht als beim selben um 12 Uhr zu Mittag. Hier wurde aber mit einem konstanten mittleren täglichen Trockenwetterabfluss gerechnet und daher, egal ob das Ereignis in der Früh oder zu Mittag stattfand, immer der gleiche Trockenwetterabfluss simuliert. Doch durch den langen Zeitraum der Betrachtung (8 Jahre) und dadurch, dass die Ereignisse nicht immer zur gleichen Zeit stattfanden, darf angenommen werden, dass der Fehler in der Berechnung nicht zu groß ist bzw. sich die positiven und negativen Fehlerabweichungen ausgleichen.

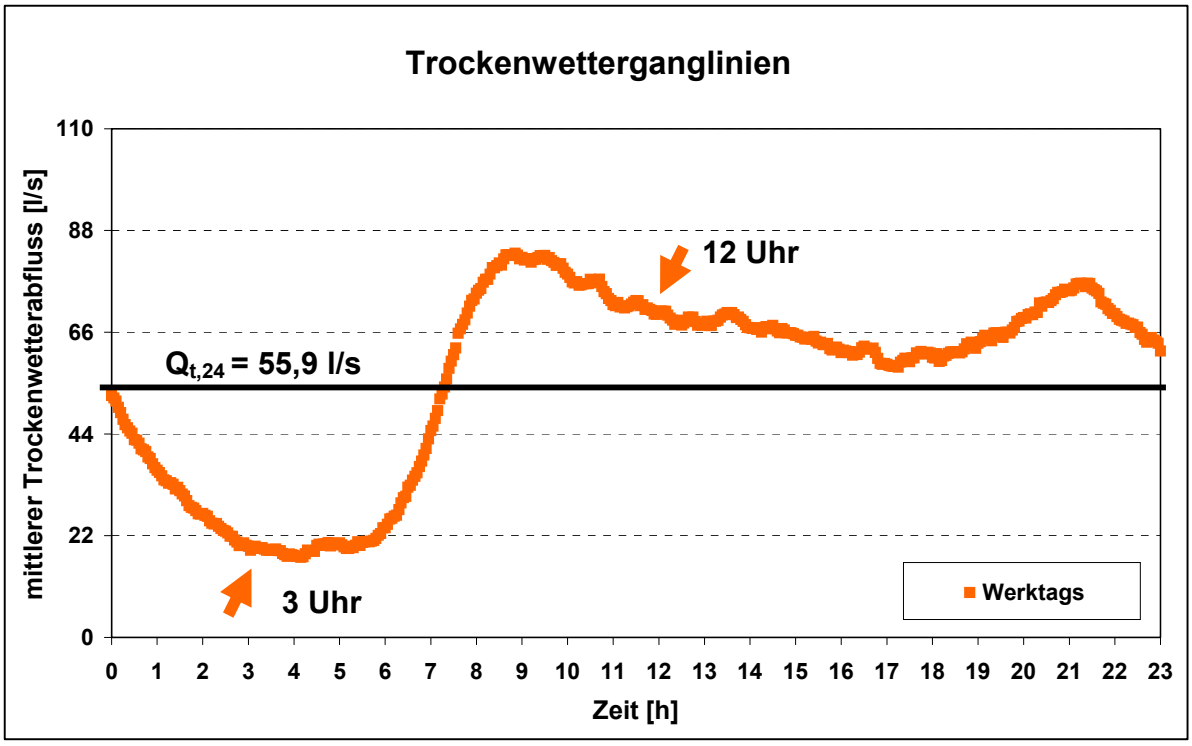


Abb. 30: Vereinfachung in der Trockenwettertagesganglinie

Die Ergebnisse der Weiterleitungsgrade für Regenabfluss, CSB und AFS sind in Kapitel 5.4 angeführt.

5.4 Ergebnisse

Tabelle 17: Ergebnisse der KOSIM Langzeitsimulation

			Jahresfrachten 1996 -2003			
			Min	**Max**	**Mittel**	**Summe**
Q	**Regenabflussvolumen VQ_r**	[m³]	456 500	833 600	653 400	5 228 000
	Trockenwetterabflussvol. VQ_t	[m³]	1 763 000	1 768 000	1 764 000	14 113 000
	Mischwasserabflussvol. VQ_{mw}	[m³]	2 219 000	2 597 000	2 418 000	19 340 000
	Überlaufvolumen VQ_{ue}	[m³]	60 500	116 000	82 500	660 000
	Weiterleitungswirkungsgrad η_r	[%]	86,1	89,7	87,4	
CSB	**Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$**	[t]	130	238	186	1 490
	Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$	[t]	1 328	1 436	1 386	11 085
	Entlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	[t]	18	34	25	196
	Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$	[mg/l]	294,8	301,2	297,5	
	Mischwasserkonzentration $c_{m,CSB}$	[mg/l]	361,8	389,6	373,9	
	Weiterleitungswirkungsgrad η_{CSB}	[%]	88,7	92,1	90,0	
AFS	**Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$**	[t]	89	163	127	1 019
	Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$	[t]	627	700	665	5 323
	Entlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	[t]	12	23	16	131
	Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$	[mg/l]	197,9	199,1	198,5	
	Mischwasserkonzentration $c_{m,AFS}$	[mg/l]	216,4	224,1	219,8	
	Weiterleitungwirkungsgrad η_{AFS}	[%]	87,3	90,9	88,6	
	Anzahl Überlaufereignisse n_{ue}	[-]	43,0	79,0	62,1	497,0
	Überlaufdauer T_{ue}	[h]	50,0	96,2	68,0	544,2
	Regenabflussdauer T_r	[h]	704,3	1290,3	943,3	7546,0

In Tabelle 17 sind die Minimal-, die Maximal-, die Jahresmittel- und die Summenwerte der betrachteten acht Jahre angeführt. Um weitere Aussagen und Schlussfolgerungen aus den Daten treffen zu können, wurde noch eine zweite Darstellungsart gewählt. Bei dieser wird der Mittelwert als 100 Prozent dargestellt und

die Minimal- und Maximalwerte als Prozentsatz des Mittelwertes angegeben. Dadurch lassen sich die Schwankungen der einzelnen berechneten Größen aufzeigen. In den Balken sind die Jahreszahlen des Auftretens des Minimal- bzw. Maximalwertes angeführt. Über den Balken ist der Prozentsatz in Zahlen ausgedrückt. Zur Kontrolle ist VQ_t angeführt, da in KOSIM das Jahrestrockenwetterabflussvolumen für alle Jahre gleich sein muss. Die Ausnahme sind Schaltjahre, weil ein Tag mehr simuliert wird. Der Grund dafür ist die Volumentreue von KOSIM, die in Kapitel 4.2 erklärt wurde.

Q:

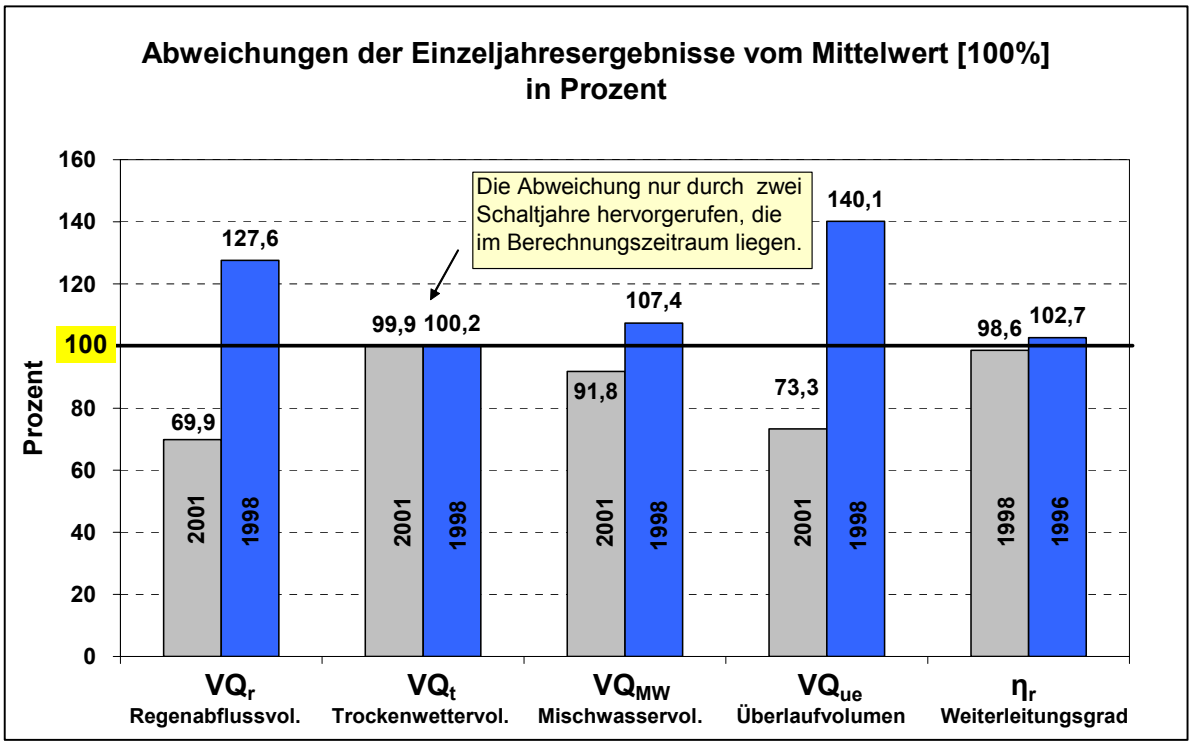


Abb. 31: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussvolumen und η_r

Klar aus der Abb. 31 ersichtlich ist die Schwankung des Regenabflussvolumens (VQ_r) und die daraus resultierende Schwankung des Überlaufvolumens (VQ_{ue}). Durch den großen Anteil des Trockenwetterabflussvolumens am Mischwasserabflussvolumen sind die prozentuellen Schwankungen bei diesem Wert deutlich geringer. Es zeigt sich, dass das niederschlagschwächste Jahr auch das Jahr mit dem kleinsten Überlaufvolumen ist und das niederschlagstärkste Jahr das mit dem größten Überlaufvolumen. Genauere Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Langzeitsimulation sind in Kapitel 7.1 angeführt. Die Abweichungen des

Weiterleitungsgrades des Durchflusses vom Mittelwert sind ebenfalls klein. Der Grund dafür wird in Kapitel 7.3 genauer erklärt.

CSB:

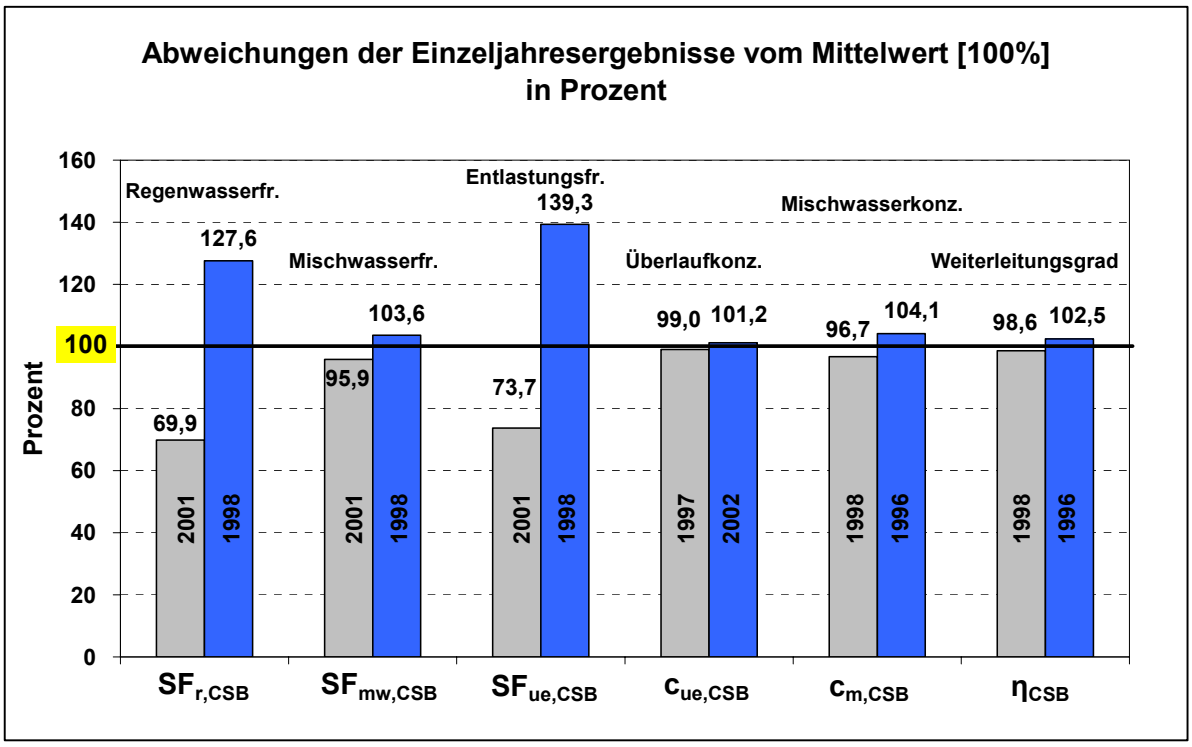


Abb. 32: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussfrachten von CSB und η_{CSB}

Abb. 32 zeigt die Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert, errechnet aus den acht Jahren, für CSB. Die Schwankungen der Regenabfluss-fracht ($SF_{r,CSB}$) sind identisch mit denen des Regenabflussvolumens. Der Grund dafür ist der, dass das Regenabflussvolumen eines Jahres mal der mittleren Regenwetterkonzentration (Tabelle 5) die Regenabflussfracht ergeben muss, da KOSIM mit einer konstanten mittleren Regenabflusskonzentration rechnet. Daher ist auch die Abweichung für die Regenabflussfracht für AFS in Abb. 33 die gleiche. Sowohl in Abb. 32 als auch in Abb. 33 ist zu sehen, dass die Überlaufkonzentrationen nur minimale Schwankungen aufweisen. Warum dies so ist, wird in Kapitel 7.1 genau erläutert. Weitere Interpretationen und Schlussfolgerungen auch zu Abb. 34 sind in Kapitel 7.1 angeführt. Aussagen zu den Weiterleitungsgraden für CSB und AFS finden sich in Kapitel 7.3.

AFS:

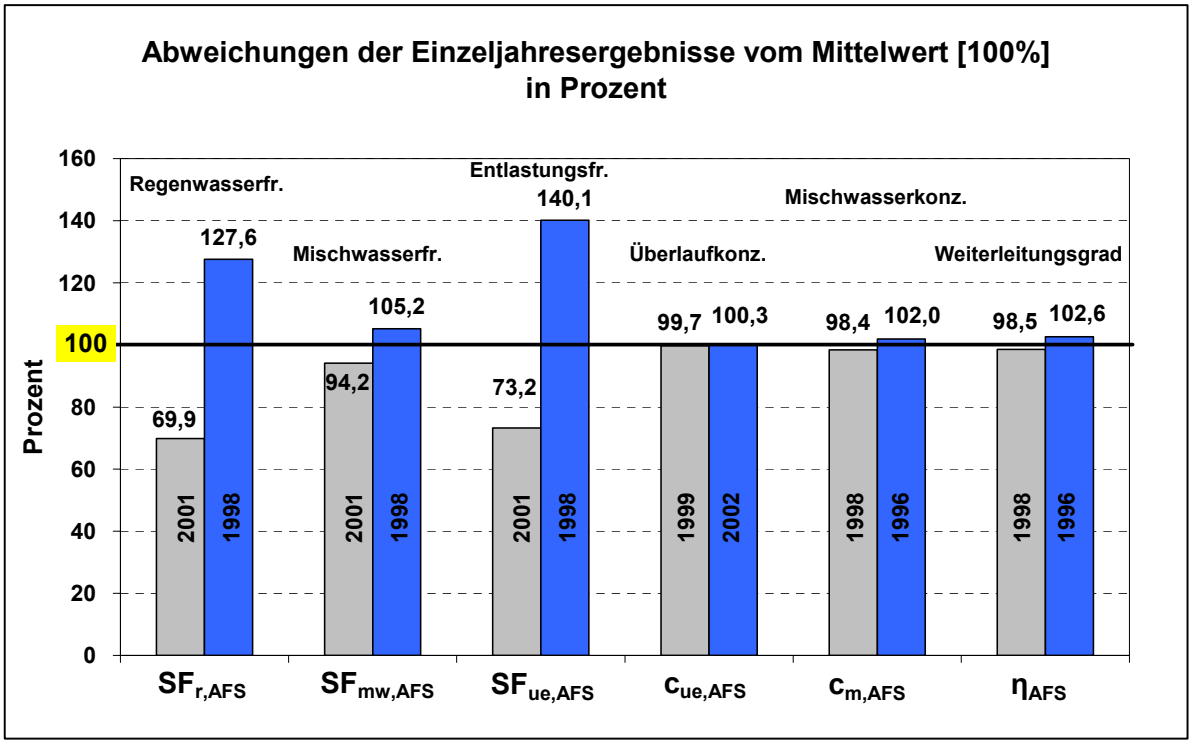


Abb. 33: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussfrachten von AFS und η_{AFS}

Sonstige Ergebnisse:

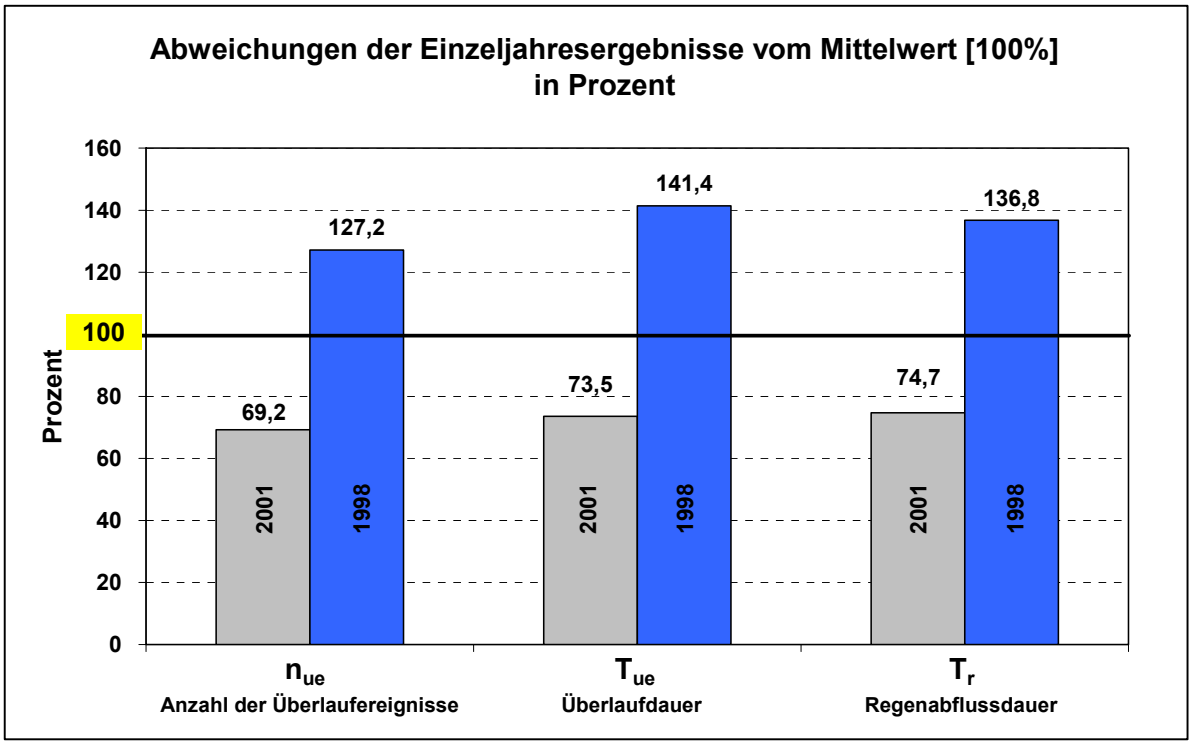


Abb. 34: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Anzahl und Dauer der Überlaufereignisse und die Dauer des Regenabflusses

6 Sensitivitätsanalyse

6.1 Vorgangsweise

Die Basis dieser Sensitivitätsanalyse war das in Kapitel 4 erstellte und kalibrierte KOSIM Modell und die Regendaten der Langzeitsimulation. Es wurde untersucht, ob eine Änderung der Eingangsgrößen dieses kalibrierten Modells Auswirkungen auf die Langzeitsimulationsergebnisse (Tabelle 17) hat. Der Grund für die Durchführung der Sensitivitätsanalyse war, dass ermittelt werden sollte, welche Eingangsgrößen einen stärkeren und welche einen schwächeren Einfluss auf die Ergebnisgrößen haben. Dadurch können Erkenntnisse gewonnen werden, mit welchen Genauigkeiten die Eingangsgrößen in die Simulation eingehen werden müssen.

Für diese Aufgabe kam das Programm SENSOR zur Anwendung. SENSOR hat die Aufgabe Sensitivitätsanalysen an KOSIM Modellierungen durchzuführen. Die zu variierenden Eingangsgrößen sowie die jeweiligen Bandbreiten der Schwankungen und deren Diskretisierungen müssen dafür definiert werden. Es wurden elf Eingangsgrößen für die Sensitivitätsanalyse ausgewählt. Diese sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Eingangsgrößen der Sensitivitätsanalyse

		Ursprungs-wert	Min	Max	Diskretisierung
Benetzungsverlust V_{Ben}	**[mm]**	0,5	0,2	1	0,1
Muldenverlust V_{Muld}	**[mm]**	1,3	0,5	3	0,5
Anfangsabflussbeiwert Ψ_o	**[-]**	0,65	0,3	1	0,1
Endabflussbeiwert Ψ_e	**[-]**	1	0,5	1	0,1
Befestigte Fläche $A_{E,b}$	**[ha]**	118,4	100	135	5
Schmutzwasserabfluss $Q_{s,24}$	**[l/s]**	45,9	35	55	5
Fremdwasserabfluss $Q_{f,24}$	**[l/s]**	10,0	5	25	5
CSB Trockenwetterkonz. $c_{t,CSB}$	**[mg/l]**	680	400	800	25
CSB Regenwasserkonz. $c_{r,CSB}$	**[mg/l]**	285	100	400	25
AFS Trockenwetterkonz. $c_{t,AFS}$	**[mg/l]**	305	150	450	25
AFS Regenwasserkonz. $c_{r,AFS}$	**[mg/l]**	195	50	350	25

Es wurde immer nur ein Wert verändert, um eine repräsentative Aussage zu bekommen.

Bei der genaueren Analyse der ersten Ergebnisse wurde herausgefunden, dass die Daten des Mischwasserüberlaufes wie Entlastungsvolumen, –frachten, Anzahl und Dauer der Entlastungen nicht korrekt waren. Der Grund dafür war schnell gefunden und lag darin, dass SENSOR die selbst definierte Abflusskennlinie in 2. Näherung (siehe Kapitel 4.4.2) nicht in die erzeugten KOSIM-Dateien übernommen hat. Daher mussten alle erzeugten KOSIM-Dateien nachgebessert und neu simuliert werden. Ein weiteres Problem mit SENSOR ergab sich dadurch, dass nicht alle der gewünschten Eingangsgrößen für die Sensitivitätsanalyse zur Verfügung standen. Die Regenwasserkonzentration für CSB und AFS konnten mit SENSOR nicht variiert werden. So musste diese Analyse händisch durchgeführt werden. Dies bedeutete, dass für jede Diskretisierung eine KOSIM-Datei erstellt und danach simuliert werden musste.

Durch diese durchgeführten Änderungen konnte auch keine Auswertung mit SENSOR gemacht werden. Daher wurden die Ergebnisse in EXCEL übertragen und dort analysiert. Die Auswertung in SENSOR wäre außerdem für die auferlegten Ziele nicht aussagekräftig und unübersichtlich gewesen.

In EXCEL wurde für jede der 11 Eingangsgrößen eine Tabelle erstellt, in der die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der einzelnen Ergebnisgrößen in Zahlen und deren Abweichungen von den Langzeitsimulationsergebnissen, aus Tabelle 17, in Prozent ersichtlich sind. Die Tabellen sind im Anhang beigelegt. Abb. 35 verdeutlicht, welche Ergebnis- mit welchen Eingangsgrößen kombiniert wurden. Als Beispiel wird das für die Parameter im schwarzen Kasten gezeigt. Es wurden die Einflüsse des Anfangsabflussbeiwertes (Ψ_A), des Endabflussbeiwertes (Ψ_E), des Benetzungsverlustes (V_{Ben}), des Muldenverlustes (V_{Muld}) und der befestigten Fläche ($A_{E,b}$) auf die Ergebnisgrößen Regenabflussvolumen, Anzahl der Entlastungen (n_{ue}), Überlaufdauer (T_{ue}), Entlastungsvolumen (VQ_{ue}), Entlastungsfracht für CSB ($SF_{ue,CSB}$) und AFS ($SF_{ue,AFS}$) und die Weiterleitungsgrade (η_r, η_{CSB}, η_{AFS}) untersucht. Zusätzlich zu dieser Abbildung muss erklärt werden, dass die vier Ergebnisgrößen $SF_{ue,CSB}$, $SF_{ue,AFS}$, η_{CSB} und η_{AFS} der Übersichtlichkeit halber doppelt angeführt sind. Die Abhängigkeiten von $SF_{r,CSB}$ und $SF_{r,AFS}$ von den Parametern im schwarzen und roten Kasten sind die gleichen wie von VQ_r und werden daher nicht angeführt.

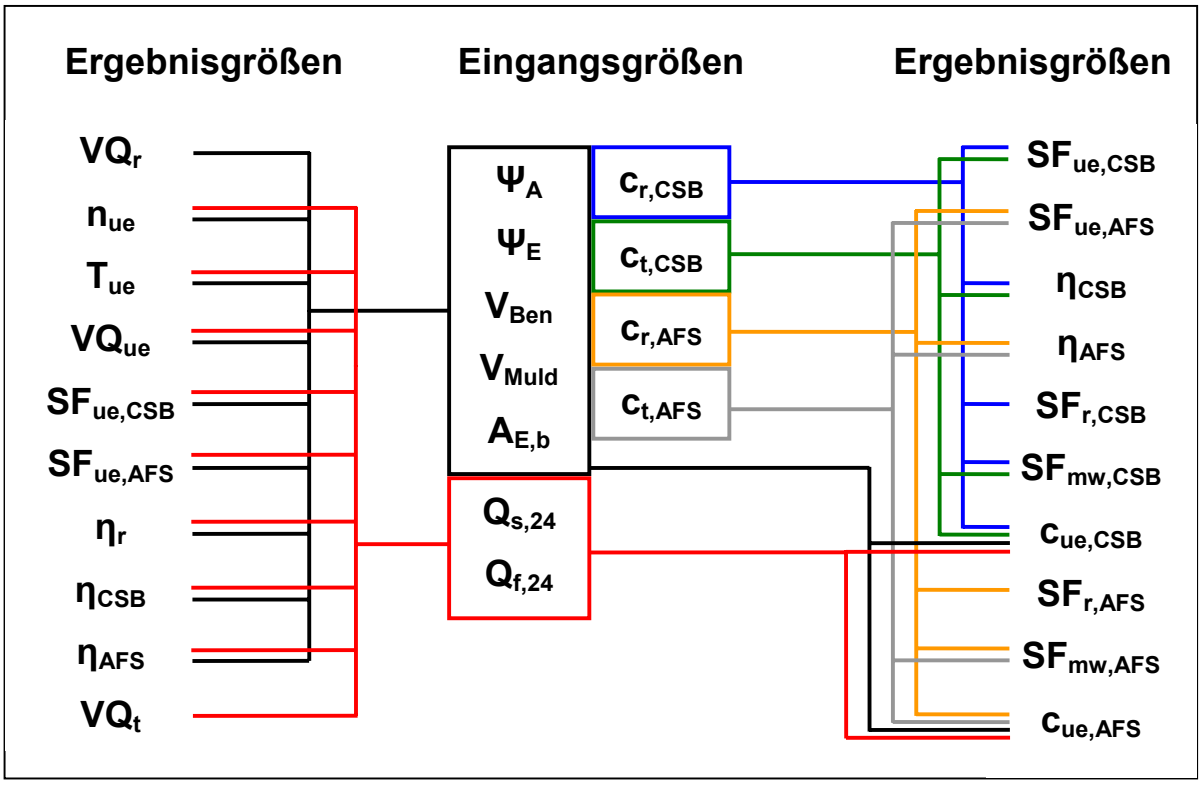


Abb. 35: Kombination der Eingangsgrößen mit den Ergebnisgrößen der Sensitivitätsanalyse

6.2 Ergebnisse

Werden die Kombinationen nach Abb. 35 grafisch dargestellt, ergibt das 40 Diagramme. Diese große Anzahl war für die weitere Auswertung unübersichtlich. Daher werden die Ergebnisse in folgender Darstellungsart präsentiert: Auf der Abszisse des Diagramms werden die Änderungen der Eingangsgrößen in Prozent vom Ursprungswert aufgetragen. Die Ursprungswerte sind in Tabelle 18 angeführt. Auf der Ordinate wird die Änderung der untersuchten Ergebnisgröße in Prozent aufgetragen. Die blauen schräg verlaufenden Linien stellen das 1:1 Verhältnis von Ergebnis- und Eingangsgröße dar. Steigt eine Kurve steiler an, nimmt die Ergebnisgröße überproportional zur Eingangsgröße zu. Als Beispiel sind die Abb. 36 bis Abb. 43 angeführt.

Durch diese Art der Abbildung kann für eine Ergebnisgröße die Abhängigkeit von allen Eingangsgrößen wie in Abb. 35 dargestellt in einem Diagramm gezeigt werden. Für das Überlaufvolumen VQ_{ue} zum Beispiel sind das die 7 Parameter im schwarz und rot eingerahmten Kasten. Die Anzahl der Diagramme verringert sich von 40 auf 16; ein Diagramm je Ergebnisgröße. Nachteilig bei dieser Darstellung ist, dass keine

absoluten Zahlen gezeigt werden. Diese sind in den Tabellen im Anhang nachzulesen. In weiterer Folge sind nun die wichtigsten Ergebnisgrößen dargestellt. Weitere Diagramme finden sich im Anhang.

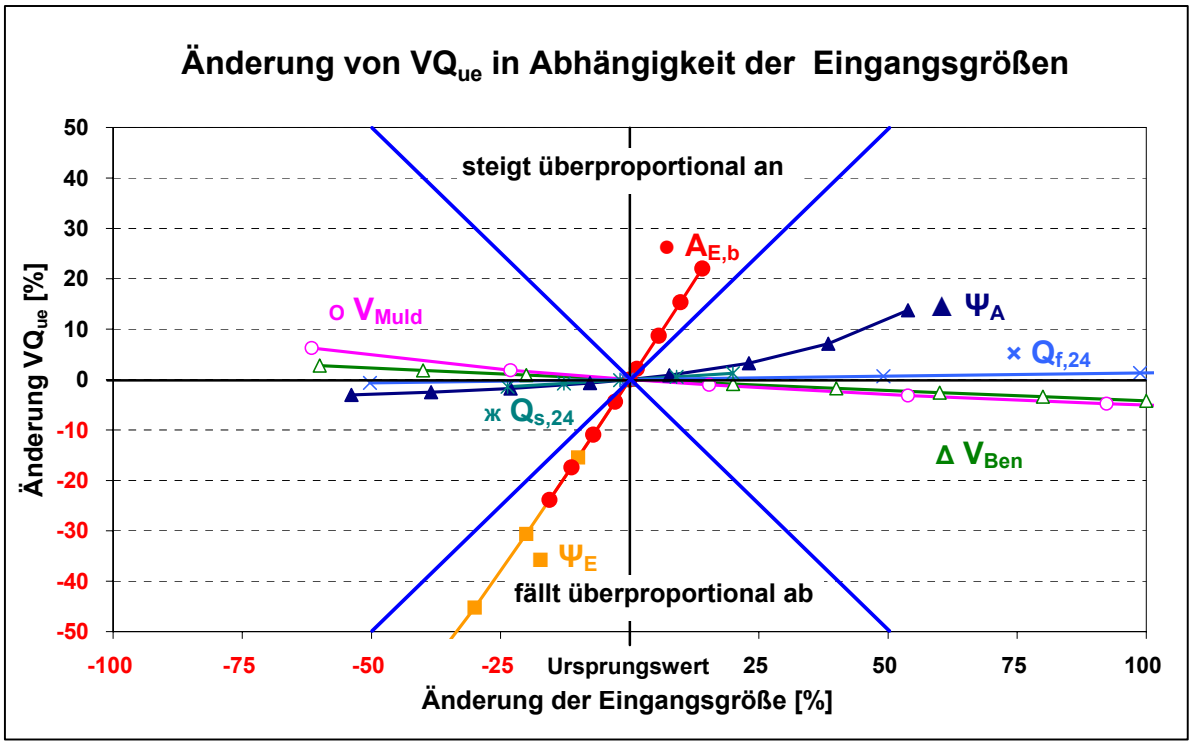


Abb. 36: Änderung des Überlaufvolumens in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

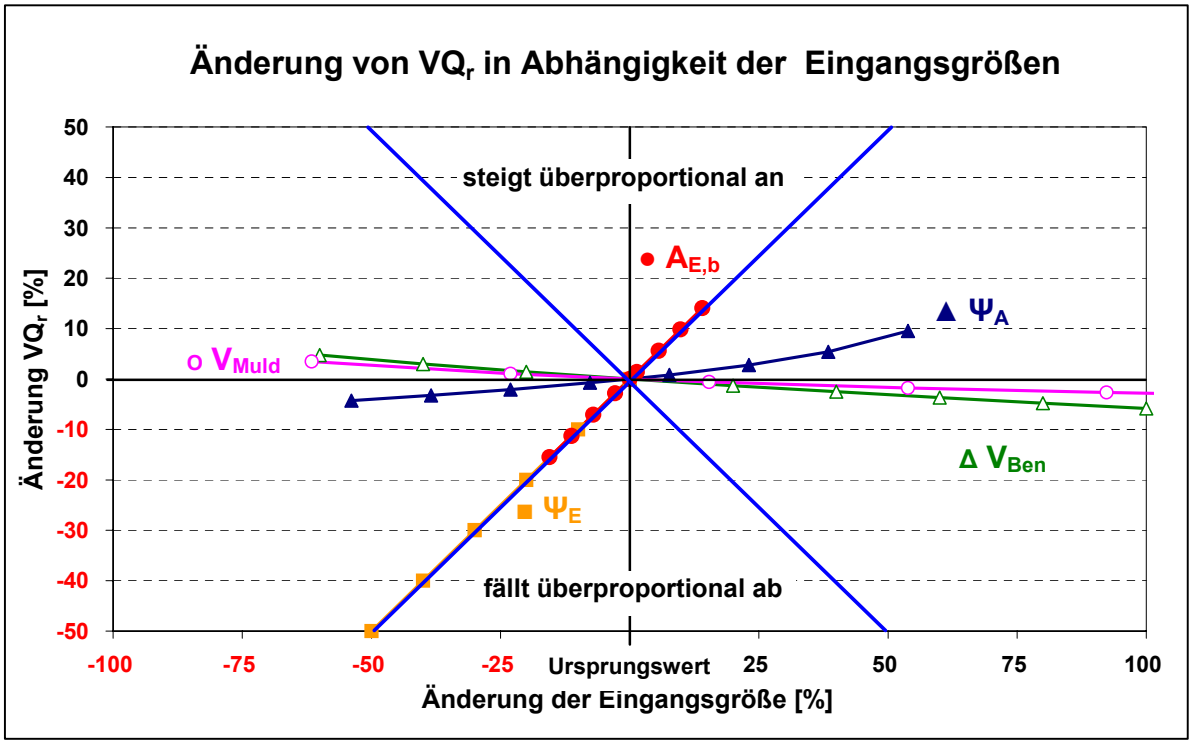


Abb. 37: Änderung des Regenwasservolumens in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

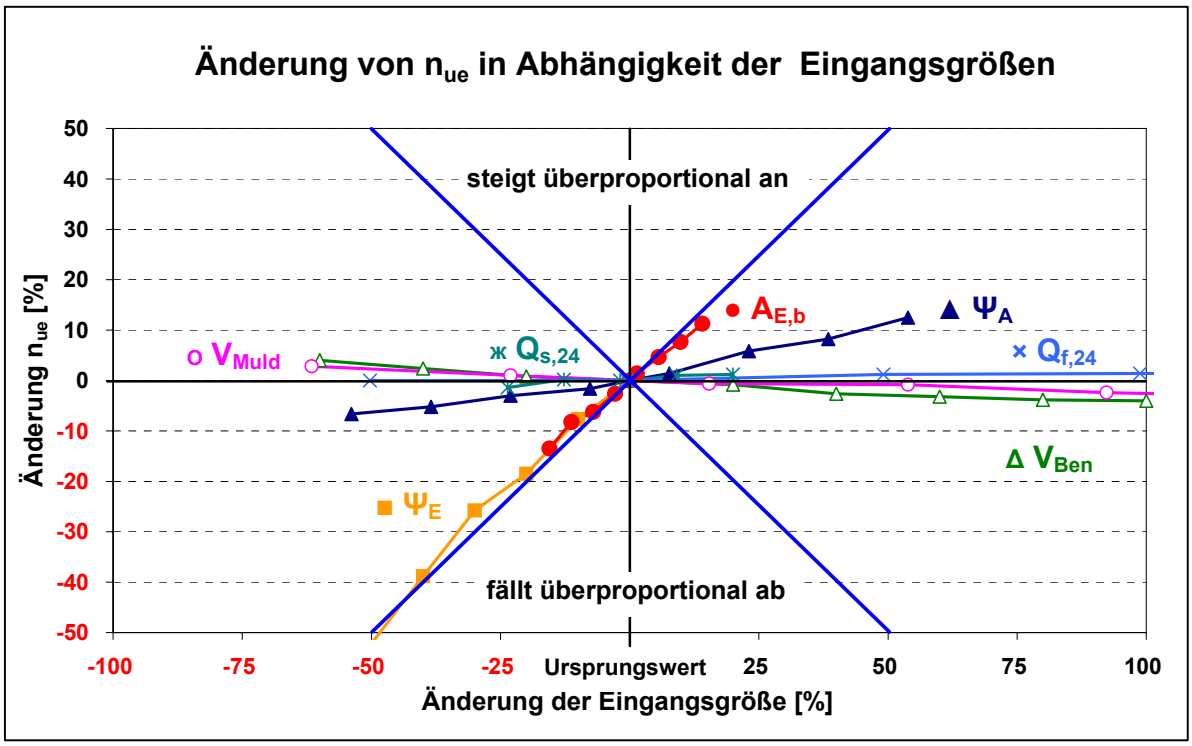


Abb. 38: Änderung der Anzahl der Überlaufereignisse in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

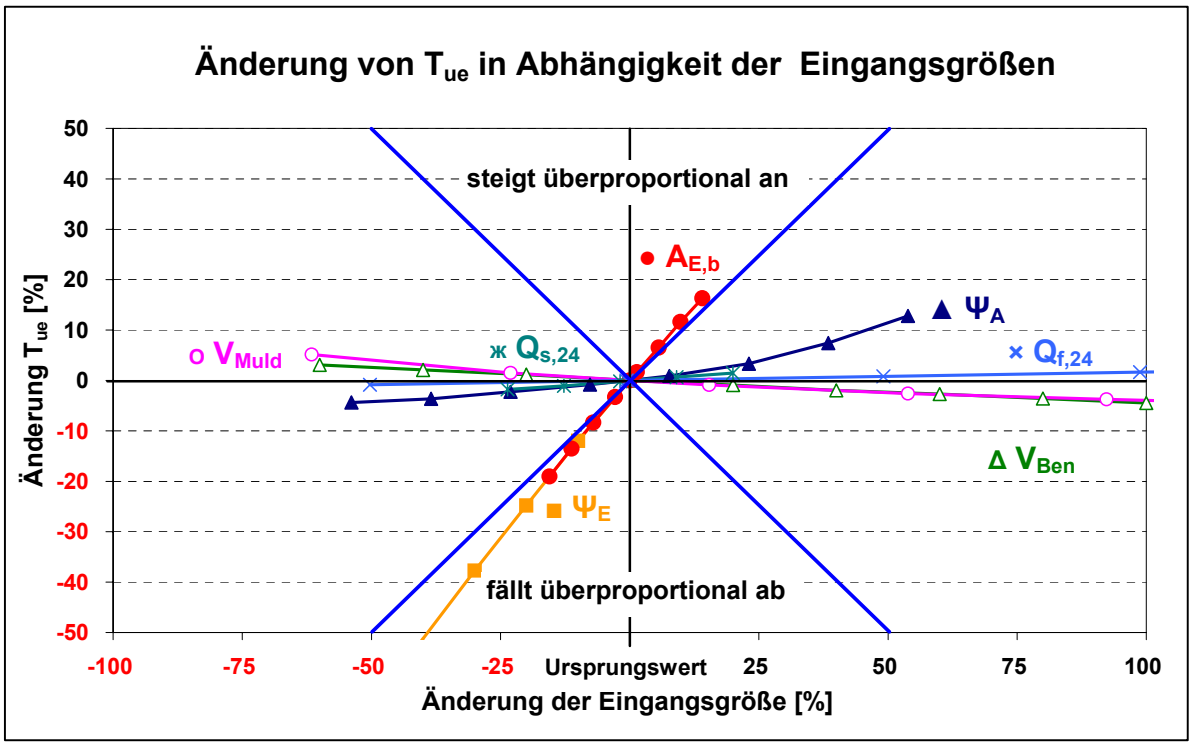


Abb. 39: Änderung der Dauer der Überlaufereignisse in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

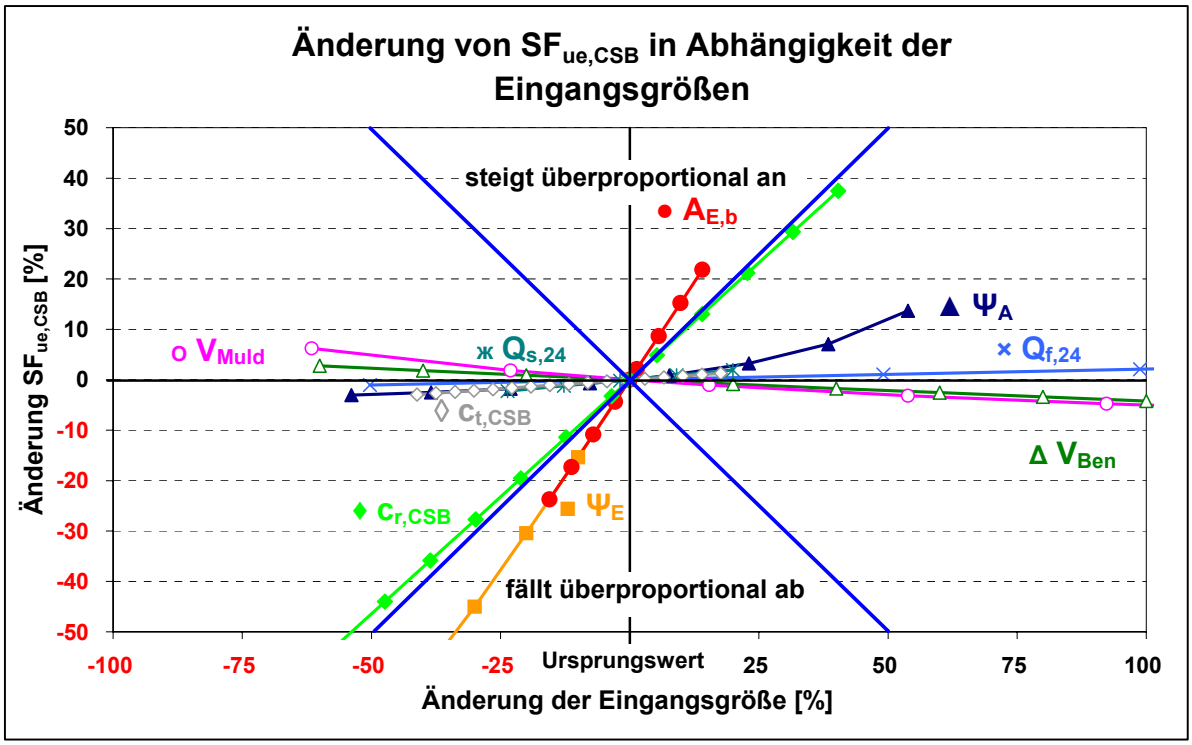


Abb. 40: Änderung der CSB Überlauffracht in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

Aus den Abb. 36 bis Abb. 40 ist ersichtlich, dass die befestigte Fläche ($A_{E,b}$) und der Endabflussbeiwert (Ψ_E) den größten Einfluss auf die Ergebnisgrößen haben. Dadurch, dass die Kurven für die befestigte Fläche und den Endabflussbeiwert in allen Diagrammen die gleiche Steigung aufweisen, sind sie gleich bedeutend. Das Regenwettervolumen und annähend auch die Anzahl der Überlaufereignisse steigen oder fallen eins zu eins mit einer Änderung dieser beiden Eingangsgrößen. Beim Überlaufvolumen, der Überlaufdauer und den Überlauffrachten ist die Änderung sogar überproportional zu einer Änderung der befestigten Fläche und des Endabflussbeiwertes. Den nächst größeren Einfluss auf die Ergebnisse hat der Anfangsabflussbeiwert (Ψ_A). Hier zeigt sich, dass die Ergebnisse nicht linear mit einer Änderung des Wertes steigen oder fallen. Wird der Anfangsabflussbeiwert kleiner ändern sich die Ergebnisse nicht so stark, als wenn er größer wird. Der Einfluss ist aber nicht groß, denn die Ergebnisse ändern sich um 10 bis 15 Prozent bei einer Änderung des Anfangsabflussbeiwertes von 55 bis 60 Prozent. Eine wichtige Eingangsgröße für die Überlauffrachten ist die Regenwasserkonzentration. Wie in Abb. 40 zu sehen, liegt die Steigung dieser Größe knapp unter 1. Das bedeutet z.B., dass, wenn eine Konzentration mit einem 25 prozentigen Fehler in die Berechnung eingeht, auch im Ergebnis ein Fehler mit nahezu 25 Prozent entsteht. Die restlichen untersuchten Eingangsgrößen, wie Mulden-, Benetzungsverlust, Trockenwetter-

konzentration, mittlerer täglicher Schmutz- und Fremdwasserabfluss, weisen geringe Einflüsse auf die Ergebnisse auf. Ihr Einfluss liegt immer unter 10 Prozent.

Für die Weiterleitungsgrade wurde das Diagramm etwas modifiziert, um die geringen prozentuellen Änderungen, die sich ergaben, darstellen zu können.

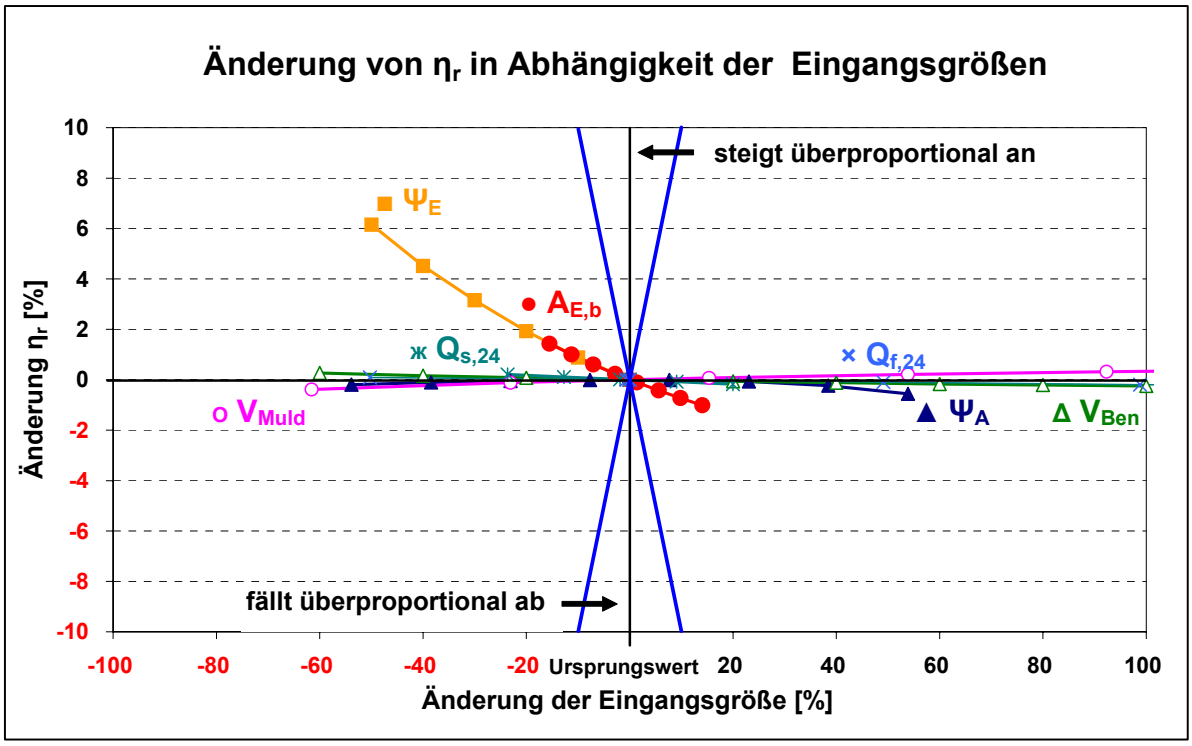


Abb. 41: Änderung des Weiterleitungsgrades für Q in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

Die Abb. 41 bis Abb. 43 zeigen die Abhängigkeiten der Weiterleitungsgrade. Es stellte sich heraus, dass die Einflüsse sämtlicher Eingangsgrößen in den untersuchten Bandbreiten immer unter 10 Prozent lagen. Den größten Einfluss haben noch die befestigte Fläche und der Endabflussbeiwert auf alle drei errechneten Weiterleitungsgrade, und die Regenwasserkonzentration auf die zwei für die Abwasserinhaltsstoffe. Schlussfolgerungen aus diesen Ergebnissen werden in Kapitel 7.2 erläutert.

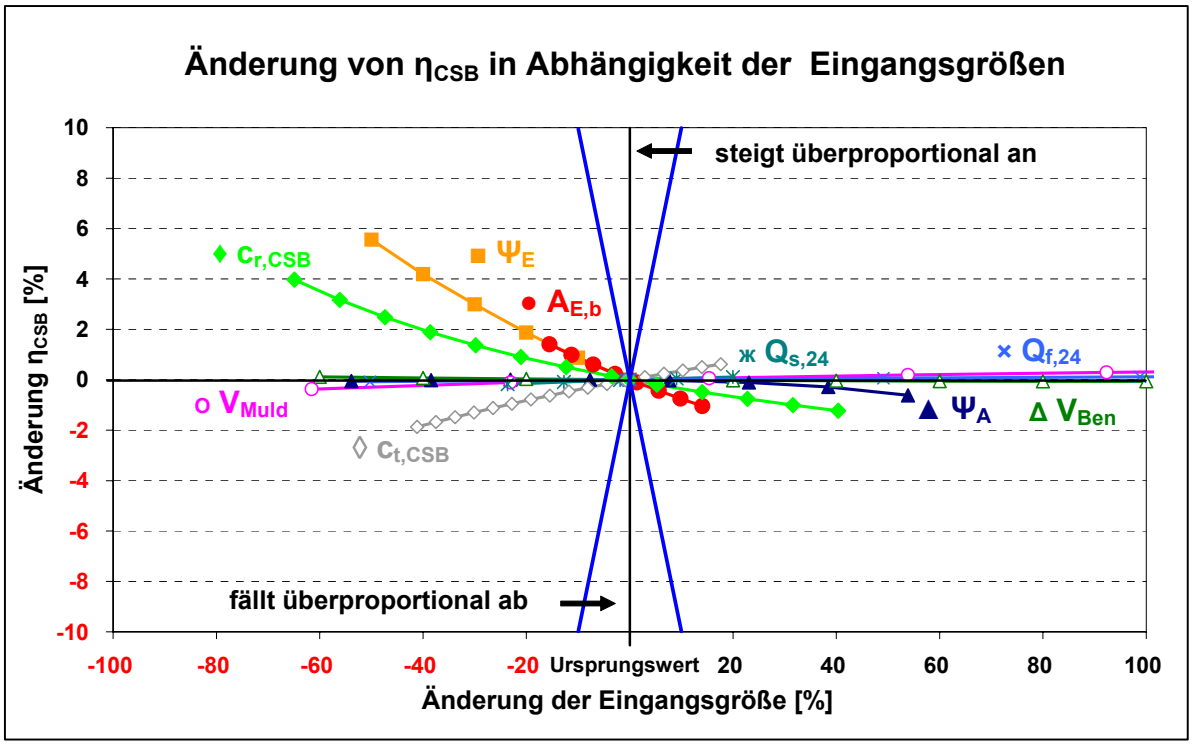


Abb. 42: Änderung des Weiterleitungsgrades für CSB in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

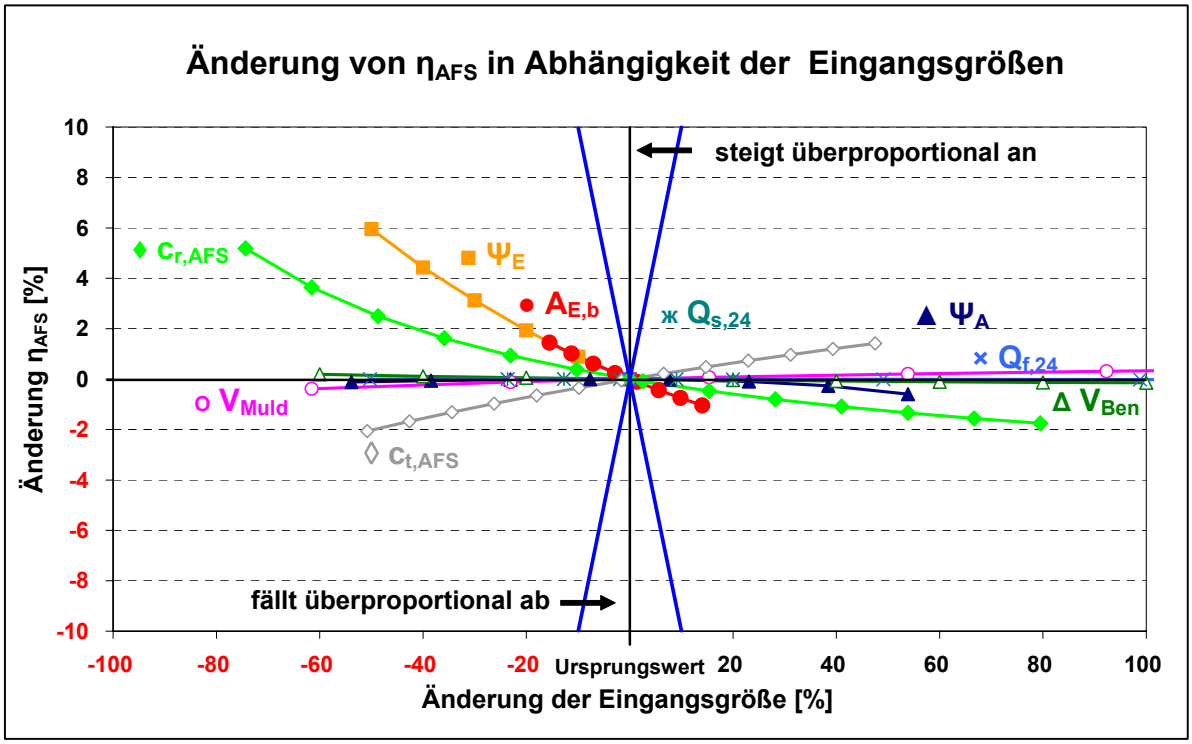


Abb. 43: Änderung des Weiterleitungsgrades für AFS in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

7 Schlussfolgerungen

7.1 Langzeitsimulation

Die Analyse der Ergebnisse der Langzeitsimulation zeigte, dass das Regenwasservolumen (VQ_r) und die Regenwasserfrachten für CSB und AFS ($SF_{r,CSB}$ und $SF_{r,AFS}$) linear über die Regenwasserkonzentrationen zusammenhängen, da KOSIM die Frachten aus der Multiplikation von VQ_r und der jeweiligen Regenwasserkonzentration errechnet. Die Anzahl der Entlastungsereignisse (n_{ue}) verhält sich gleich wie die Regenwasservolumen und –frachten. Abb. 34 zeigt, dass n_{ue} im niederschlagärmsten Jahr 2001 69,2 Prozent vom Mittelwert und im niederschlagreichsten Jahr 1998 127,2 Prozent vom Mittelwert abweicht. Im Vergleich dazu ergibt VQ_r 69,9 Prozent im Jahr 2001 und 127,6 Prozent im Jahr 1998 Eine genauere Untersuchung der einzelnen Jahre (siehe Anhang) ergab, dass nicht auf eine Linearität zwischen Regenvolumen bzw. –fracht und der Anzahl der Entlastungen geschlossen werden konnte. Das gleiche Verhalten gilt auch für die Überlaufdauer. Obwohl Abb. 31 bis Abb. 34 auf einen linearen Zusammenhang zwischen Überlaufvolumen bzw. -frachten und der Gesamtdauer der Überläufe (T_{ue}) mißinterpretiert werden können, kann nach genauerer Analyse der lineare Zusammenhang ausgeschlossen werden.

Ein weiteres Ergebnis stellen die mittlere Überlaufkonzentrationen für CSB und AFS ($c_{ue,CSB}$ und $c_{ue,AFS}$) dar. Sie zeigen in den Jahresergebnissen keine Schwankungen, obwohl die Überlauffrachten von minus 26,3 bis plus 39,7 Prozent um den Mittelwert schwanken (siehe Abb. 32 und Abb. 33). Ein Grund dafür ist die große Anzahl an Überlaufereignissen in einem Jahr mit durchschnittlich 62 Entlastungen. Diese Anzahl bewirkt, dass bereits ein Jahr genügt, um eine repräsentative mittlere Überlauf-konzentration für weitere Berechungen zu bekommen.

Eine Schlussfolgerung, die sich aus diesen geringen Schwankungen noch ergibt, ist, dass die für die Berechung der Weiterleitungsgrade für CSB und AFS in Kauf genommene Ungenauigkeit für die Berechung der Mischwasserkonzentrationen ($c_{m,CSB}$ bzw. $c_{m,AFS}$) für CSB und AFS (Kapitel 5.3), gerechtfertigt war. Es wurde angenommen, dass der Trockenwetterabfluss im Kanal konstant ist und daher die täglichen, wöchentlichen und jährlichen Schwankungen der Trockenwetterganglinie nicht berücksichtigt werden. Bei der Berechung von $c_{ue,CSB}$ und $c_{ue,AFS}$ wurden die Ganglinien berücksichtigt und es ergaben sich geringe Schwankungen. Daher darf diese Vereinfachung gemacht werden.

Der „First Flush“ Effekt kann von KOSIM nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.6), obwohl dieser einen Einfluss auf die Überlaufkonzentrationen hat. Dieser Einfluss kann sich sowohl in einer größeren Schwankung der Einzeljahresergebnisse um den Langzeitmittelwert als auch in einer Änderung des Mittelwertes selber niederschlagen. Letzteres hängt von der durchschnittlichen Dauer einer Entlastung ab. Wie am Ende des Kapitels 4.6 erklärt, simuliert KOSIM für kurze Ereignisse zu wenig und für lange Ereignisse zu viel Überlauffracht. Die mittlere Überlaufdauer für ein Ereignis errechnet sich aus der mittleren Anzahl und Dauer der Entlastungen eines Jahres aus Tabelle 17 mit 66 min. Die Annahme, dass die Entlastung am 16.6.2003 mit einer Dauer von ungefähr 45 min genau der Ausgleich zwischen zu viel und zu wenig Überlauffracht ist, lässt darauf schließen, dass das Langzeitergebnis etwas zu hoch ist. Diese Aussage kann durch eine Analyse nicht bestätigt werden, da die Genauigkeit der einzelnen Zu- und Überlaufganglinien des Durchflusses der acht Jahre nicht errechenbar ist.

Die errechneten Weiterleitungsgrade sind eher zu niedrig als zu hoch. Diese Aussage lässt sich durch ein Übertragen der Abweichungen der Kalibrierung (siehe Tabelle 13 bis Tabelle 15) auf die Langzeitwerte begründen. Das Entlastungsvolumen bzw. die Entlastungsfrachten wurden in der Kalibrierung um 3,2 bzw. um 1,9 für CSB und 2,5 Prozent für AFS zu groß und das Regenvolumen mit 0,1 Prozent zu klein nachgebildet. Wenn diese Prozentsätze auf die Langzeitsimulationsergebnisse übertragen werden und die Weiterleitungsgrade nach der Formel in Kapitel 2.4.1.3 errechnet werden, ergibt das einen höheren Wert. Für η_r z.B. ergibt es 87,8 statt 87,4 Prozent. Man kann also sagen, für die Berechung von Weiterleitungsgraden liegt diese Simulation auf der „sicheren“ Seite.

7.2 Sensitivitätsanalyse

Ziel der Sensitivitätsanalyse war es die Eingangsgrößen zu bestimmen, die das Ergebnis maßgebend beeinflussen.

Aus den Ergebnissen konnten zwei Größen herausgefiltert werden, die auf alle Ergebnisgrößen den größten Einfluss haben. Diese waren die befestigte Fläche ($A_{E,b}$) und der Endabflussbeiwert (Ψ_E). Es ist ratsam bei der Ermittlung dieser Größen Zeit zu investieren und diese Ermittlung so detailliert wie möglich durchzuführen. Insbesondere bei der befestigten Fläche sollen für die Auswertung aktuelle Luftbilder als Unterstützung zum Grundstückskataster verwendet werden. Die Bestimmung des

Endabflussbeiwertes ist schwierig, da nur schwer nachgewissen werden kann, welcher Prozentsatz der befestigten Fläche im Laufe eines Niederschlagsereignisses auch tatsächlich abflusswirksam ist. In dieser Diplomarbeit wurde so vorgegangen, dass dieser über das Regenabflussvolumen bestimmt wurde. In der Kalibrierung wurde dieser Wert so lange verändert, bis gemessenes mit simuliertem Volumen übereinstimmte.

In Abb. 37 ist ersichtlich, dass das Regenwasservolumen (VQ_r) eins zu eins mit der Größe der befestigten Fläche und dem Endabflussbeiwert steigt bzw. fällt. Beim Überlaufvolumen (VQ_{ue}) (Abb. 36) ist der Einfluss dieser Parameter noch größer. Zum Beispiel ergibt eine um 9,8 Prozent zu groß ermittelte befestigte Fläche ein um 15,4 Prozent größeres Überlaufvolumen.

Die Abb. 38 zeigt, dass auch die Anzahl der Überlaufereignisse ungefähr eins zu eins mit diesen beiden Werten steigt oder fällt und die Überlaufdauer in Abb. 39 sich ähnlich wie das Überlaufvolumen verhält.

Der Eingangsparameter der Simulation mit dem nächst größtem Einfluss auf alle Ergebnisgrößen ist der Anfangsabflussbeiwert (Ψ_A). Sein Einfluss ist aber deutlich geringer als der der befestigten Fläche und des Endabflussbeiwertes und spielt sich im Bereich bis 15 Prozent ab, bei einer Änderung von 60 Prozent. Andere Eingangsgrößen wie der Muldenverlust, der Benetzungsverlust, der tägliche Schmutzwasserabfluss und der Fremdwasserabfluss spielen für die Entlastungsgrößen wie Entlastungsvolumen, Anzahl und Dauer der Entlastungen eine untergeordnete Rolle und verändern das Ergebnis nur geringfügig. Daher müssen diese Größen nicht mit einer so hohen Genauigkeit wie die befestigte Fläche ermittelt werden. Viele kleine Ungenauigkeiten können sich aber summieren und das Ergebnis ebenfalls deutlich beeinflussen.

Eine sehr wichtige Größe in Hinblick auf die Genauigkeit bei der Erhebung ist die Regenwetterkonzentration von Abwasserinhaltsstoffen. Sie wirkt sich nur auf die Frachten und hier im Speziellen auf die Regenwasserfracht, Überlauffracht und Überlaufkonzentration aus. Dieser Parameter hat nach der befestigten Fläche und dem Endabflussbeiwert den nächst größten Einfluss auf die Frachten und einen größeren Einfluss auf die Überlaufkonzentration. Bei Einsetzen eines Regenabflusses im Kanal kommt es zur Durchmischung von Regen- und Trockenwetterabfluss. Von diesem Mischwasserabfluss können der Durchfluss und die Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe gemessen werden und daraus das Volumen und die Frachten des Mischwassers bestimmt werden. Der Trockenwetterabfluss bzw. die Trockenwetterfrachten sind durch diese Durchmischung nicht quantifizierbar. Es tritt

dasselbe Problem wie bei der Bestimmung der Mischwasserkonzentration für die Berechnung der Weiterleitungsgrade auf. Der Anteil des Trockenwetterabflusses am Mischwasserabfluss ist je nach Tageszeit verschieden (Abb. 30). Da für die Regenwetterkonzentrationsberechnung der Trockenwetteranteil von der Mischwasserfracht abgezogen wird (siehe Formel in Tabelle 3), und dieser Anteil aber nicht bestimmbar ist, wurde er für diese Diplomarbeit konstant über einen mittleren täglichen Trockenwetterabfluss multipliziert mit der mittleren Trockenwetterkonzentration und der Dauer der Regenereignisse errechnet. Die Ungenauigkeit liegt in der Annahme, dass sich über einen längeren Betrachtungszeitraum die Mischwasserereignisse mit viel und wenig Trockenwetteranteil durch ein zeitlich unterschiedliches Auftreten ausgleichen. Diese Annahme scheint durch die geringen Schwankungen der Ergebnisse der Überlaufkonzentrationen gerechtfertigt, sollte aber, um sicherere Aussagen machen zu können, genauer untersucht werden. Ein längerer Untersuchungszeitraum als die drei Monate wäre wünschenswert.

7.3 Weiterleitungsgrade

Da das Ermitteln der Weiterleitungsgrade für den Durchfluss, CSB und AFS ein Ziel dieser Arbeit darstellt, werden die Erkenntnisse aus der Langzeitsimulation und der Sensitivitätsanalyse in diesem Kapitel gesondert angeführt.

Nach ÖWAV Regelblatt 19 (Entwurf) gelten, wie bereits in Kapitel 2.4.1.3 erklärt, die Mindestweiterleitungsgrade nach AEV Mischwasser (Entwurf, siehe Tabelle 1) als eingehalten, wenn der Weiterleitungsgrad des Durchflusses (η_r) diese Prozentsätze für den jeweiligen Abwasserinhaltsstoff erfüllt. Für Mischwasserüberläufe gilt dieser vereinfachte Nachweis für alle sechs angeführten Parameter. Die Mischwasserkonzentration wird gleich der Überlaufkonzentration gesetzt. Unter einer vollständigen Durchmischung wird die Mischwasserkonzentration höher liegen, da vor und nach einem Überlaufereignis sich der geringere Regenwasserabfluss mit dem Trockenwetterabfluss mischt. Aufgrund dieser Tatsache werden die Weiterleitungsgrade der Abwasserinhaltsstoffe höher liegen als der des Durchflusses. Tabelle 17 zeigt, dass die Weiterleitungsgrade für CSB und AFS über dem des Durchflusses liegen. Auch in der Sensitivitätsanalyse sind die ermittelten Werte für η_{CSB} und η_{AFS} immer über dem des $\eta_{r,}$ unabhängig von der Variation der Eingangsgröße. Wird die Regenwasserkonzentration größer als die Trockenwetterkonzentration, was in der Regel nicht vorkommt, sind die Weiterleitungsgrade für CSB und AFS kleiner als die für η_r. Der Grund liegt darin, dass die Mischwasserkonzentration kleiner wird als die Überlaufkonzentration.

Führt man den Nachweis mit dem errechneten Weiterleitungsgrad des Durchflusses und vergleicht ihn mit den für Graz ermittelten Mindestwirkungsgraden der Weiterleitung, zeigt sich folgendes: Für Graz muss ein Mindestweiterleitungsgrad für NH_4-N, ges.N, ges.P, CSB und BSB_5 von 55 Prozent eingehalten werden. Für AFS liegt der Mindestweiterleitungsgrad bei 70 Prozent. Der aus der KOSIM-Simulation ermittelte Weiterleitungsgrad η_r liegt mit 87,4 Prozent (Tabelle 13) über diesen Grenzwerten. Der Grund dafür liegt im großen Durchmesser der Drossel. Die Mindestweiterleitungsgrade nach Entwurf der AEV Mischwasser beziehen sich auf das gesamte Einzugsgebiet und nicht auf einzelne Überlaufbauwerke, daher müssen Teileinzugsgebiete den weiterzuleitenden Mischwasserabfluss nicht einhalten. In Graz gibt es mehrere Vorentlastungen und ein großes Mischwasserüberlaufbecken, das der Kläranlage vorgeschaltet ist. Daher kann auf den tatsächlichen Weiterleitungsgrad des gesamten Einzugsgebietes Graz aus diesem Einzelergebnis nicht geschlossen werden.

Eine weitere Erkenntnis aus der Langzeitsimulation ist die, dass, obwohl die für die Berechung des Weiterleitungsgrades η_r maßgebenden Größen, das Regenwasservolumen und das Überlaufvolumen, stark um den Langzeitmittelwert streuen, der Weiterleitungsgrad η_r der einzelnen Jahre nur eine sehr geringe Ergebnisbandbreite zeigt. Ähnliche Erkenntnisse können auch für η_{CSB} und η_{AFS} beobachtet werden. Der Grund dafür ist, dass für die Weiterleitungsgrade nicht vorrangig die Absolutwerte der oben erwähnten Größen wichtig sind, sondern die Differenz zwischen diesen entscheidend ist. Zum Beispiel ergibt eine kleine Differenz zwischen Regenwasser- und Überlaufvolumen einen niedrigen Weiterleitungsgrad η_r, eine große Differenz einen hohen. Streut diese Differenz in den einzelnen Jahren, streut auch der Weiterleitungsgrad. Dies ist aber in den simulierten acht Jahren nicht der Fall. Die Differenz zwischen Regenwasservolumen und Überlaufvolumen eines Jahres steigt oder fällt linear mit dem Regenwasservolumen eines Jahres. Aufgrund dessen weist der Weiterleitungsgrad kaum Schwankungen auf.

Welche Eingangswerte haben für eine Simulation einen großen Einfluss auf die Größe der Differenz zwischen Regenwasser- und Überlaufvolumen? Bei der Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss auf die Weiterleitungsgrade untersucht. Die Ergebnisse sind in den Abb. 41 bis Abb. 43 dargestellt. Prinzipiell zeigt sich, dass die befestigte Fläche, der Endabflussbeiwert und bei den Weiterleitungsgraden für CSB und AFS auch noch die Regenwasserkonzentration den größten Einfluss haben. Der Einfluss ist prozentuell geringer als bei den anderen Ergebnissen. Zum Beispiel ergibt eine um 20 Prozent kleinere befestigte Fläche einen um 2 Prozent größeren Weiterleitungsgrad η_r. Der Einfluss aller anderen Eingangsgrößen, wie z.B. der

Muldenverlust oder der Benetzungsverlust, haben kaum einen Einfluss. Diese Ergebnisse lassen darauf schießen, dass bei Mischwasserüberläufen die Differenz von Regenwasser- und Überlaufvolumen, durch ein Verändern der Parameter der Modellierung des Einzugsgebietes, nahezu gleich mit dem Regenwasservolumen steigt oder fällt. Das Regenwasser- und Überlaufvolumen selbst schwankt aber deutlich durch ein Verändern der befestigten Fläche und des Endabflussbeiwertes.

Die Schlussfolgerung, die sich aus diesen Erkenntnissen ergibt, ist, dass die Größe der Weiterleitungsgrade für Mischwasserüberläufe durch konstruktive Maßnahmen verändert werden kann. Durch ein Ändern der Gestalt des Bauwerks, wie z. B. die Wehrhöhe oder der Durchmesser der Drossel, wird das Überlaufvolumen verändert. Das Regenabflussvolumen hingegen bleibt gleich, da an den anderen Eingangswerten nichts verändert wird. Damit ergibt sich eine andere Differenz zwischen diesen zwei Volumen und damit auch ein anderer Weiterleitungsgrad. Für das in dieser Diplomarbeit modellierte Überlaufbauwerk ergibt sich daraus, dass nur ein Verändern der ermittelten Abflusskennlinie in 2. Näherung (Abb. 23) einen Einfluss auf die Weiterleitungsgrade hat. Die Schwierigkeiten bei der Ermittlung dieser Abflusskennlinie im Bereich ab 1650 l/s im Zulauf wurden in Kapitel 4.4.2 genauer erklärt. Eine falsch angenommen Abflusskennlinie in diesem Bereich hätte natürlich Auswirkungen auf die Weiterleitungsgrade. Daher muss dieser Bereich ab 1650 l/s Zulauf durch weitere Zulauf- und Überlaufmessungen noch besser untersucht werden, um präzisere Aussagen über die Kennlinie machen zu können.

Auf Speicherbauwerke der Mischwasserbewirtschaftung kann diese Schlussfolgerung nicht übertragen werden, da durch den Einfluss der Speicherwirkung sich ganz andere Zusammenhänge ergeben können.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Einzugsgebiet und der Mischwasserüberlauf konnten mit dem Programm KOSIM und mit den erhobenen Eingangsdaten gut nachmodelliert werden. Die Ergebnisse der Kalibrierung zeigen, dass die Abweichungen für den Betrachtungszeitraum 1.5.2003 bis 31.7.2003 für alle untersuchten Größen unter zehn Prozent liegen. Damit ist das verwendete Modell respektabel für die weitere Langzeitsimulation.

Eine Nachmodellierung von Einzelereignissen konnte mit KOSIM teilweise bewerkstelligt werden. Die fünf in der Kalibrierung betrachteten Einzelereignisse ergaben im Vergleich Messung zu Simulation teilweise deutlich abweichende Ergebnisse. Der Grund dafür liegt in dem verwendeten hydrologischen Ansatz zur Abflusskonzentration (lineare Speicherkaskaden), der dynamische Prozesse im Kanal nicht nachbilden kann. Der „First Flush“ Effekt kann nicht modelliert werden. Die Untersuchung der Auswirkungen dieses Spülstoßes auf die Entlastungsfrachten und die Weiterleitungsgrade mit hydrodynamischen Modellansätzen kann auf den gewonnen Erkenntnisse dieser Arbeit aufbauen.

Die verwendeten Regendaten müssen zuerst auf ihre Repräsentativität untersucht werden. Das heißt, sie müssen das Niederschlagsgeschehen in dem simulierten Gebiet widerspiegeln. Die Repräsentativität in dieser Arbeit wurde mittels der örtlichen Nähe der Niederschlagsmessstation zum Einzugsgebiet und mit Hilfe des Vergleichs der mittleren Jahresniederschlagshöhe der verwendeten Daten zu der in Graz herrschenden nachgewiesen. Für die Weiterleitungsgrade ergab sich aus den Ergebnissen der Langzeitsimulation, dass sie die nach der AEV Mischwasser definierten Mindestweiterleitungsgrade einhielten. Außerdem kann für Mischwasserüberläufe vereinfachend angenommen werden, dass, wenn der Weiterleitungsgrad des Durchflusses die geforderten nicht unterschreitet, auch die Weiterleitungsgrade der sechs Abwasserinhaltstoffe eingehalten werden können und daher nicht extra nachgewissen werden müssen.

Die Sensitivitätsanalyse wurde sehr umfangreich durchgeführt. Insgesamt wurden 11 Eingangsgrößen der Simulation verändert, um zu sehen, welche Auswirkungen diese auf die einzelnen Ergebnisgrößen haben. Im Wesentlichen kristallisierten sich vier Parameter heraus, deren Einfluss auf die Ergebnisse maßgebend war. Diese Größen waren der Endabflussbeiwert, die befestigte Fläche, die mittlere Regenwasser-konzentration für CSB und AFS. Im Hinblick auf die Weiterleitungsgrade des Teileinzugsgebietes hat der Durchmesser der Drossel des Mischwasserüberlaufes

die größte Auswirkung, gefolgt von der befestigten Fläche, dem Endabflussbeiwert und den Regenwasserkonzentrationen.

Wird die AEV Mischwasser in Kraft treten und das neu überarbeitet ÖWAV Regelblatt 19 veröffentlicht, wird ein Nachweis der Weiterleitungsgrade mit Langzeitsimulationen erfolgen. Um repräsentative Ergebnisse dieser Simulation zu bekommen, muss ein besonderer Wert auf die genaue Ermittlung der befestigten Fläche, des Abflussbeiwertes und der mittleren Regenwetterkonzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe gelegt werden. Der genauen Eingabe der Geometrie des Mischwasserbauwerks kommt große Bedeutung zu. Diese Diplomarbeit zeigte, dass eine genaue Ermittlung der befestigten Fläche durch den Grundstückskataster und Luftbilder möglich ist. Auch das Nachbilden des Bauwerkes ist bei einfachen geometrischen Verhältnissen kein Problem. Wird die Geometrie komplizierter, wie es in dieser Diplomarbeit der Fall war, wird die Modellierung des Bauwerks schwieriger. Sind Messwerte vom Zu- und Überlauf über einen längeren Zeitraum vorhanden, kann im Programm KOSIM die Modellierung über eine Abflusskennlinie erfolgen.

Schwierigkeiten bei der Ermittlung zeigten sich bei der Bestimmung der mittleren Regenwetterkonzentrationen und des Abflussbeiwertes. In dieser Diplomarbeit wurde die Regenwetterkonzentration nach der Zwei-Komponentenmethode nach Macke et al. 2002 bestimmt. Der Trockenwetteranteil errechnete sich aus dem mittleren Trockenwetterabfluss mal der mittleren Trockenwetterkonzentration und der Regenabflussdauer. Der Tages-, Wochen- und Jahresgang des Trocken-wetterabflusses wurde nicht berücksichtigt bzw. es wurde angenommen, dass sich die unterschiedlichen Trockenwetterabflüsse und Konzentrationen über den untersuchten Zeitraum von drei Monaten ausgleichen. Hier wäre eine Untersuchung des Einflusses der Trockenwetterabfluss- und Konzentrationsschwankungen auf die errechnete mittlere Regenwetterkonzentration interessant bzw. wäre der nötige Untersuchungszeitraum, in dem sich diese Schwankungen ausgleichen und dadurch mit der mittleren Regenwetterkonzentration gerechnet werden kann, interessant.

Der in die Simulation eingehende Abflussbeiwert stellt den am schlechtesten zu ermittelten Parameter dar. Aus Luftbildern und dem Grundstückskataster lässt sich der abflusswirksame Anteil der befestigten Fläche nur sehr ungenau ermitteln. In dieser Diplomarbeit wurde der Abflussbeiwert über das Kalibrieren des Einzugsgebietes bestimmt. Er wurde so lange verändert, bis das Regenabflussvolumen aus der Messung mit dem der Simulation übereinstimmte. Für diese Ermittlung des Abflussbeiwerts sind Durchflussmessungen im Kanal über einen längeren Zeitraum nötig. Daher wäre eine Methode für eine genauere und schnellere Bestimmung des Abflussbeiwertes sinnvoll.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der Elemente eines Mischsystems (Gujer 1999) .. 7
Abb. 2: Schematische Darstellung der Elemente eines Trennsystems (Gujer 1999) .. 8
Abb. 3: Fangbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992)..... 15
Abb. 4: Durchlaufbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992) 16
Abb. 5: Verbundbecken im Haupt- und Nebenschluss (ATV-A 128 1992) 17
Abb. 6: Stauraumkanal mit oben und unten liegender Entlastung (ATV-A 128 1992) 17
Abb. 7: Schema der Abflussbildung (Hosang/Bischof 1998) 23
Abb. 8: Aufbau und mögl. Verknüpfungen in KOSIM (KOSIM Anwenderhandbuch 2002) 28
Abb. 9: verwendete Struktur 28
Abb. 10: Verlauf des Abflussbeiwertes mit und ohne Dauerverluste bei konstantem Niederschlagsverlauf nach Grenzwertmethode (Verworn und Kenter, 1993)..... 29
Abb. 11: KOSIM Niederschlagsdatei 31
Abb. 12: Kanalkataster (Kanalbauamt Graz, 2004) 32
Abb. 13: Einteilung in Teileinzugsgebiete für KOSIM nach der mittleren Geländeneigung..... 33
Abb. 14: Übersicht über die eingebauten Mess- bzw. Überwachungssysteme in der Kanal-Monitoring-Messstation Graz (Mischwasserentlastung) (Gruber et al. 2003)..... 34
Abb. 15: Trockenwetterabflussganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag 40
Abb. 16: Für KOSIM generierte Trockenwetterabflussrelativganglinien 40
Abb. 17: CSB Trockenwetterkonzentrationsganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag 42
Abb. 18: Für KOSIM generierte CSB Trockenwetterkonzentrationsrelativganglinien 42
Abb. 19: AFS Trockenwetterkonzentrationsganglinien für Werktag, Samstag und Sonntag 44
Abb. 20: Für KOSIM generierte AFS Trockenwetterkonzentrationsrelativganglinien 44
Abb. 21: Bestimmung der Überlaufkennlinie in 1. Näherung 47
Abb. 22: Abflusskennlinie in 1. Näherung..... 48
Abb. 23: Abflusskennlinie in 2. Näherung..... 52
Abb. 24: Vergleich der Überlaufkennlinien 53
Abb. 25: Zulauf- und Überlaufganglinien für den 16. Juni 2003..... 57
Abb. 26: CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 16. Juni 2003 . 58

Abb. 27: CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 16. Juni 2003 60
Abb. 28: AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 16. Juni 2003 . 60
Abb. 29: AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 16. Juni 2003..... 61
Abb. 30: Vereinfachung in der Trockenwettertagesganglinie 66
Abb. 31: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussvolumen und η_r..... 68
Abb. 32: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussfrachten von CSB und η_{CSB} 69
Abb. 33: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Abflussfrachten von AFS und η_{AFS}..... 70
Abb. 34: Abweichungen der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert für die Anzahl und Dauer der Überlaufereignisse und die Dauer des Regenabflusses 70
Abb. 35: Kombination der Eingangsgrößen mit den Ergebnisgrößen der Sensitivitätsanalyse 73
Abb. 36: Änderung des Überlaufvolumens in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen..... 74
Abb. 37: Änderung des Regenwasservolumens in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen..... 74
Abb. 38: Änderung der Anzahl der Überlaufereignisse in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen 75
Abb. 39: Änderung der Dauer der Überlaufereignisse in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen 75
Abb. 40: Änderung der CSB Überlauffracht in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen..... 76
Abb. 41: Änderung des Weiterleitungsgrades für Q in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen 77
Abb. 42: Änderung des Weiterleitungsgrades für CSB in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen..... 78
Abb. 43: Änderung des Weiterleitungsgrades für AFS in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen..... 78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mindestwirkungsgrade η der Weiterleitung in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation anfallenden Schmutzfrachten (Entwurf AEV Mischwasser 02.01) 12

Tabelle 2: Mindestanforderungen für die Kalibrierung 24

Tabelle 3: Zwei-Komponenten-Methode zur Berechung von Abwasser-inhaltsstoffkonzentrationen (Macke et al. 2002) 36

Tabelle 4: Kombination aus Arithmetischem Mittel und Frachtgewichtetem Mittel zur Bestimmung von Abwasserinhaltsstoffkonzentrationen (Schulz 1995) 36

Tabelle 5: mittlerer Trockenwetterabfluss und mittlere Konzentrationen 37

Tabelle 6: Berechung der Wochenrelativfaktoren für den Trockenwetterabfluss 38

Tabelle 7: Berechung der Wochenrelativfaktoren für die CSB Trockenwetterkonzentration 41

Tabelle 8: Berechung der Wochenrelativfaktoren für die AFS Trockenwetterkonzentration 43

Tabelle 9: Abflussparameter des KOSIM Standards 45

Tabelle 10: Abschätzung der längsten Fließzeiten im Kanal 45

Tabelle 11: Verwendete Abflussparameter 49

Tabelle 12: Verwendete Fließzeiten 50

Tabelle 13: Gesamtergebnisse für den Durchfluss 54

Tabelle 14: Gesamtergebnisse für den CSB 54

Tabelle 15 Gesamtergebnisse für den AFS 55

Tabelle 16: Übersicht über die Jahresniederschlagshöhen der für die Simulation verwendeten Regendaten der acht Jahre. 64

Tabelle 17: Ergebnisse der KOSIM Langzeitsimulation 67

Tabelle 18: Eingangsgrößen der Sensitivitätsanalyse 71

Literaturverzeichnis

Abwasseremissionsverordnung über die Begrenzung von Emissionen aus Mischwasserentlastungen in Mischkanalisationen (AEV Mischwasser), Entwurf des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, März 2001, [CELEX-Nr.: 376L0464, 391L0271].

Abwassertechnische Vereinigung ATV (Hrsg.): Arbeitsblatt ATV-A 118 - *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*, Hennef,1999

Abwassertechnische Vereinigung ATV (Hrsg.): Arbeitsblatt ATV-A 128 - *Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*, St. Augustin,1992

Abwassertechnische Vereinigung ATV (Hrsg.): Merkblatt ATV-DVWK-M 177 - *Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen – Erläuterungen und Beispiele*, Hennef, 2001

Fenz, R.(2004): mündliche Mitteilung über die Berechnung der Weiterleitungsgrade der Abwasserinhaltsstoffe mit KOSIM

Fenz, R.; Rauch, R (2004): *Ermittlung von Bemessungsgrundlagen für Mischwasserentlastungen*, Wiener Mitteilungen, Band 187, S 409-424

Geiger, W. F.; Nafo, I. (1999): Skriptum Teil 1 *Grundlagen der Wasserversorgung und Abwassertechnik*, Universität Essen Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft; www.siwi.uni-essen.de

Gruber, G.; Hochedlinger, M.; Kainz, H. (2004): *Quantifizierung von Schmutzfrachten aus Mischwasserentlastungen mit Online-Messtechnik, Datengewinnung, -verwaltung und –nutzung in der Wassergütewirtschaft*, Wiener Mitteilungen, Band 187, S 93-118

Gujer, W. (1999): *Siedlungswasserwirtschaft*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Institut für technisch–wissenschaftliche Hydrologie GmbH ITWH (Hrsg.): *Mikrocomputer in der Stadtentwässerung*, KOSIM Anwenderhandbuch, Mischwasserentlastung, Mulden-Rigolen-Systeme, Regenrückhaltebecken, Hannover, 2002

Kainz, H.; Kauch, E.-P.; Renner, H. (2002): *Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft*, 1. Auflage, Manz - Verlag, Wien

Krall, E. (2004): mündliche Mitteilung über des Projekt ÖKOSTRA und dem darin verfolgtem Ziel der Datenbereitstellung für die hydrologische Langzeit-simulation, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschafts-wasserbau der TU Graz

Krebs, P.; Holzer, P.; Huisman, J.; Rauch W. (1999): *First Flush of dissolved compounds*, Water Science and Technology, Volume 39 (9), S 55-62

Macke, E. et al. (2002): Zur Schmutzfracht von Regenwasser in großen flach verlegten Mischwassernetzen, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (49) Nr.1, S 40-48

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband ÖWAV (Hrsg.): Entwurf des überarbeiteten ÖWWV-Regelblatts 19 - *Richtlinien für die Bemessung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen*, Wien, Entwurf 10.2003

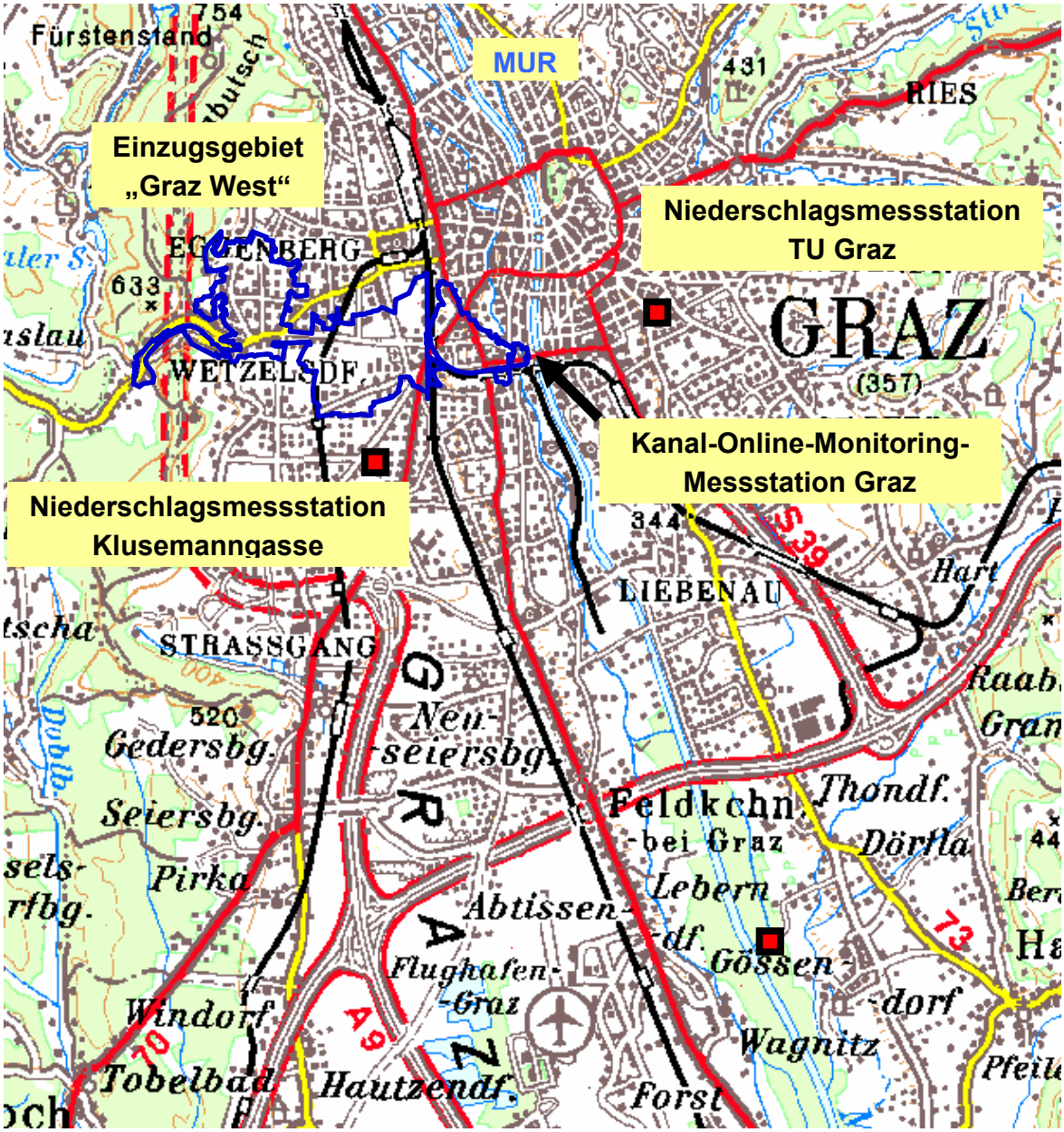
Schulz, O. (1995): *Gebietsspezifische Schmutzfrachtpotentiale flach verlegter und vorentlasteter Mischwassernetze*, Mitteilungen des Leichtweiss – Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 137

Sprung, W. (2004): mündliche Mitteilung über die Erstellung von KOSIM-Niederschlagsdateien, Kanalbauamt Graz

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, www.zamg.ac.at, Niederschlagsdaten Graz Thalerhof, Jahresübersicht 2000 -2003, Erstellt am 28.04.2004

Anhang

Lageplan



Trockenwetterrelativganglinien in Zahlen

Q:

	[l/s]	[l/s]	[l/s]		[l/s]	[l/s]	[l/s]
Uhrzeit	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**	**Uhrzeit**	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**
0:00	0,937	0,922	0,855	**12:00**	1,257	1,531	1,672
1:00	0,648	0,677	0,650	**13:00**	1,214	1,485	1,604
2:00	0,480	0,503	0,511	**14:00**	1,199	1,411	1,497
3:00	0,353	0,466	0,411	**15:00**	1,170	1,273	1,265
4:00	0,318	0,343	0,329	**16:00**	1,103	1,176	1,125
5:00	0,366	0,260	0,262	**17:00**	1,058	1,085	1,036
6:00	0,425	0,325	0,263	**18:00**	1,085	1,066	1,005
7:00	0,802	0,457	0,398	**19:00**	1,140	1,103	1,069
8:00	1,333	0,815	0,601	**20:00**	1,239	1,215	1,297
9:00	1,472	1,295	1,086	**21:00**	1,342	1,238	1,451
10:00	1,407	1,552	1,419	**22:00**	1,254	1,138	1,387
11:00	1,288	1,594	1,547	**23:00**	1,110	1,070	1,261
				Summe:	24,000	24,000	24,000

CSB:

	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Uhrzeit	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**	**Uhrzeit**	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**
00:00	0,854	0,792	0,887	**12:00**	1,186	1,256	1,235
01:00	0,761	0,758	0,881	**13:00**	1,151	1,189	1,142
02:00	0,669	0,706	0,811	**14:00**	1,113	1,126	1,057
03:00	0,616	0,670	0,746	**15:00**	1,107	1,136	1,075
04:00	0,571	0,546	0,671	**16:00**	1,092	1,104	1,037
05:00	0,605	0,557	0,632	**17:00**	1,059	1,080	1,111
06:00	0,767	0,678	0,721	**18:00**	1,076	1,143	1,088
07:00	1,038	0,878	0,871	**19:00**	1,059	1,006	1,071
08:00	1,338	1,089	1,013	**20:00**	1,061	1,040	1,003
09:00	1,426	1,423	1,282	**21:00**	1,018	1,010	1,011
10:00	1,354	1,431	1,359	**22:00**	0,931	0,983	1,003
11:00	1,257	1,418	1,353	**23:00**	0,892	0,980	0,941
				Summe:	24	24	24

AFS

	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Uhrzeit	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**	**Uhrzeit**	**Werktags**	**Samstag**	**Sonntag**
00:00	0,814	0,585	0,852	**12:00**	1,228	1,128	1,221
01:00	0,713	0,669	0,814	**13:00**	1,196	1,293	0,990
02:00	0,579	0,545	0,758	**14:00**	1,216	1,223	1,086
03:00	0,548	0,667	0,673	**15:00**	1,193	1,259	1,132
04:00	0,492	0,383	0,636	**16:00**	1,135	1,203	1,099
05:00	0,586	0,465	0,560	**17:00**	1,092	1,177	1,237
06:00	0,623	0,644	0,587	**18:00**	1,091	1,370	1,207
07:00	0,947	0,889	1,010	**19:00**	1,092	1,074	1,230
08:00	1,236	0,878	1,047	**20:00**	1,083	1,155	1,033
09:00	1,534	1,286	1,212	**21:00**	1,104	1,088	1,027
10:00	1,408	1,420	1,232	**22:00**	0,931	1,021	1,080
11:00	1,306	1,503	1,266	**23:00**	0,852	1,075	1,011
				Summe:	24,000	24,000	24,000

Abflusskennlinie in 1. Näherung in Zahlen

	[l/s]	[l/s]		[l/s]	[l/s]
Wertepaare	Zulauf	Überlauf	Wertepaare	Zulauf	Überlauf
1	0,00	0,00	11	1218,44	386,78
2	623,84	0,00	12	1248,75	450,00
3	676,88	13,10	13	1285,16	502,74
4	766,75	30,00	14	1359,88	543,39
5	838,91	49,58	15	1444,22	573,74
6	901,38	79,67	16	1505,00	600,00
7	984,06	123,36	17	1595,47	633,82
8	1052,03	180,00	18	1750,31	693,30
9	1112,03	246,25	19	1985,94	804,00
10	1161,88	317,08	20	2181,09	1000,00

Abflusskennlinie in 2. Näherung in Zahlen

	[l/s]	[l/s]	
Wertepaare	Zulauf	Überlauf	
1	0	0	
2	780	0	
3	800	6,64	
4	850	25,93	
5	950	70,51	
6	1050	123,09	
7	1150	183,67	$Y=0,0004*x^2-0,2742*x-30$
8	1250	252,25	
9	1350	328,83	
10	1450	413,41	
11	1550	505,99	
12	1650	606,57	
13	1712	672,91	
14	1750	673,09	
15	2300	677,24	
16	3000	686,9	$Y=0,000005*x^2-0,0127*x+680$
17	4000	709,2	
18	4500	724,1	
19	5200	749,16	
20	6000	783,8	

Bilanz der 3 Monate Mai bis Juli 2003

3 Überlaufereignisse konnten auf Grund von falschen Messwerten nicht in die Berechnung mit einbezogen werden. Diese waren der 18.06., der 17.07. und der 23.07. 2003.
Für die KOSIM Berechnung wurden diese Ereignisse aus der Regendatei gelöscht. Daher musste das Regenwasservolumen dieser 3 Ereignisse (VQ_{RW3}) von dem gesamten Volumen (VQ_{MWges}) abgezogen werden. Nur das Regenwasservolumen wurde abgezogen, da KOSIM für diese 3 Ereignisse, sehrwohl den Trockenwetterabfluss simulierte.

MESSUNG			Vergleichb. Ereignisse	KOSIM			Abweichung v. der Messung
3 Ereignisse:							[%]
Q:							
VQ_{MW3}:	44645,80	[m³]					
Dauer des Regenabflusses t3:	1038,00	[min]					
$Q_{t,24}$:	55,90	[l/s]					
VQ_{TW3} = t3 * Qt24*60/1000	3481,45	[m³]					
VQ_{RW3}:	41164,35	[m³]					
CSB:							
ct,CSB:	682,00	[mg/l]					
SF_{MW3}:	12356,70	[kg]					
SF_{TW3} = ct,csb * t3 * Qt24*60/1000000	2374,35	[kg]					
SF_{RW3}:	9982,35	[kg]					
AFS:							
ct,AFS:	304,00	[mg/l]					
SF_{MW3}:	8163,10	[kg]					
SF_{TW3} = ct,csb * t3 * Qt24*60/1000000	1058,36	[kg]					
SF_{RW3}:	7104,74	[kg]					
Bilanz Q:							
VQ_{MWRges} gesamter Mischwasserabfluss zur Zeit des Regenabflusses							
gesamtes VQ_{MWRges} aus der Messung	208114,30	[m³]					
gesamtes VQ_{MWges} aus der Messung	607548,00	[m³]					
VQ_{TWR} Trockenwetterabfluss zur Zeit des Regenabflusses = Qt24 * (9812 - t3 *60/1000)	29428,00	[m³]					
Regenwasserabflussvolumen ohne die 3 Ereignisse VQ_{RW}= VQ_{MWRges} - VQ_{TWR} - VQ_{MW3}	134040,50	[m³]	16	VQ_{RW}	133878,30	[m³]	**-0,1**
VQ_{MW} = VQ_{MWges} - VQ_{RW3}	566383,65	[m³]	16	VQ_{MW}	578216,00	[m³]	**2,1**

Trockenwettervolumen VQ_{TW}	432343,15	[m³]	16	VQ_{TW}		444337,92	[m³]	**2,8**
Überlaufvolumen VQ_{UE}	23874,70	[m³]	14	VQ_{UE}		24630,40	[m³]	**3,2**
Bilanz CSB:								
gesamtes SF_{MWRges} aus der Messung	76952,10	[kg]						
gesamtes SF_{MWges} aus der Messung	360489,00	[kg]						
				$c_{r,CSB1}$		310 mg/l		
SF_{TWR} Trockenwetterabfluss zur Zeit des Regenabflusses				$c_{r,CSB2}$		285 mg/l		
= ct,CSB * Qt24 * (9812 - t3 *60/10^6)	20069,89	[kg]						
Regenwasserabflussfracht ohne die 3 Ereignisse								
SF_{RW}= SF_{MWRges} - SF_{TWR} - SF_{MW3}	44525,51	[kg]	16	SF_{RW}	$c_{r,CSB1}$	41502,20	[kg]	**-6,8**
					$c_{r,CSB2}$	38155,30	[kg]	**-14,3**
SF_{MW} = SF_{MWges} - SF_{RW3}	350506,65	[kg]	16	SF_{MW}	$c_{r,CSB1}$	343652,00	[kg]	**-2,0**
					$c_{r,CSB2}$	340305,00	[kg]	**-2,9**
Trockenwetterfracht SF_{TW}	305981,14	[kg]	16	SF_{TW}		302150,00	[kg]	**-1,3**
Überlauffracht SF_{UE}	7121,70	[kg]	14	SF_{UE}	$c_{r,CSB1}$l	7853,60	[kg]	**10,3**
					$c_{r,CSB2}$	7258,70	[kg]	**1,9**
Bilanz AFS:								
gesamtes SF_{MWRges} aus der Messung	43925,40	[kg]						
gesamtes SF_{MWges} aus der Messung	180820,00	[kg]						
				$c_{r,AFS1}$		195 mg/l		
SF_{TWR} Trockenwetterabfluss zur Zeit des Regenabflusses				$c_{r,AFS2}$		175 mg/l		
= ct,AFS * Qt24 * (9812 - t3 *60/10^6)	8946,11	[kg]						
Regenwasserabflussfracht ohne die 3 Ereignisse								
SF_{RW}= SF_{MWRges} - SF_{TWR} - SF_{MW3}	26816,19	[kg]	16	SF_{RW}	$c_{r,AFS1}$	26106,00	[kg]	**-2,6**
					$c_{r,AFS2}$	23429,00	[kg]	**-12,6**
SF_{MW} = SF_{MWges} - SF_{RW3}	173715,26	[kg]	16	SF_{MW}	$c_{r,AFS1}$	161629,00	[kg]	**-7,0**
					$c_{r,AFS2}$ l	158507,70	[kg]	**-8,8**
Trockenwetterfracht SF_{TW}	146899,07	[kg]	16	SF_{TW}		135523,00	[kg]	**-7,7**
Überlauffracht SF_{UE}	4758,20	[kg]	14	SF_{UE}	$c_{r,AFS1}$	4877,40	[kg]	**2,5**
					$c_{r,AFS2}$	4401,50	[kg]	**-7,5**

Überlaufvolumen:

Ergebnisse der KOSIM Berechung:

Ergebnisse der Messung im Kanal:

Datei: GrazWestohneGeländemitKanal Fließzeit: 40 vergleichbare Ereignisse
Nierdschlag: NKlu903.dat 15 fünf untersuchte Einzelereignisse
Überlauf: ALK 2.Näherung 55

	Datum [Tag, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	Vque [m³]	VQ_{ue_Kosim} - $VQue_{_Mess.}$ [m³]	Abweichung v. Messung [%]	Datum [Tag, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	Vque [m³]
1	Dienstag, 20. Mai 2003	6:50	7:10	20	215,2							
2	Dienstag, 20. Mai 2003	11:45	12:50	65	432,6	162,7	60,3	Dienstag, 20. Mai 2003	13:06	13:59	53	269,9
3	Dienstag, 20. Mai 2003	13:05	13:35	30	297,0							
4								Dienstag, 20. Mai 2003	14:26	14:36	10	14,9
5	Samstag, 7. Juni 2003	21:40	22:40	60	2.453,7	447,9	22,3	Samstag, 7. Juni 2003	22:51	23:56	65	2.005,8
6	Montag, 9. Juni 2003	17:05	17:45	40	943,4	667,9	242,4	Montag, 9. Juni 2003	18:26	18:50	24	275,5
7	Freitag, 13. Juni 2003	15:35	16:10	35	688,3	-628,7	-47,7	Freitag, 13. Juni 2003	16:30	17:19	49	1.316,9
8	Freitag, 13. Juni 2003	19:50	20:10	20	160,3							
9	Samstag, 14. Juni 2003	22:30	0:45	135	4.822,1	-1271,5	-20,9	Samstag, 14. Juni 2003	22:48	01:53	185	6.093,5
10	Montag, 16. Juni 2003	13:45	14:15	30	749,7							
11	Montag, 16. Juni 2003	18:50	19:25	35	770,2	14,8	2,0	Montag, 16. Juni 2003	20:01	20:29	28	755,3
12	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:10	10:25	15	77,3	64,6	509,6	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:21	10:28	7	12,7
13								Mittwoch, 18. Juni 2003	11:30	12:05	35	704,1
14								18.Juni 19:00 bis 19:54 entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
15	Dienstag, 24. Juni 2003	19:30	20:10	40	1.209,2	-602,3	-33,2	Dienstag, 24. Juni 2003	20:30	21:27	57	1.811,5
16	Freitag, 27. Juni 2003	11:15	11:55	40	895,0	882,7	7145,9	Freitag, 27. Juni 2003	12:45	12:52	7	12,4
17	Dienstag, 1. Juli 2003	22:45	0:55	130	2.454,5	-468,2	-16,0	Dienstag, 1. Juli 2003	23:56	01:47	111	2.922,7
18	Dienstag, 22. Juli 2003	23:55	0:15	20	253,6			17.Juli entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
19								23.Juli 1:16 bis 2:30 entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
20	Mittwoch, 23. Juli 2003	14:50	17:20	150	5.255,4	1217,9	30,2	Mittwoch, 23. Juli 2003	15:42	18:18	156	4.037,6
21	Freitag, 25. Juli 2003	1:10	1:50	40	410,0	-766,7	-65,2	Freitag, 25. Juli 2003	02:09	02:59	50	1.176,7
22	Montag, 28. Juli 2003	17:55	18:55	60	2.055,8	205,8	11,1	Montag, 28. Juli 2003	19:04	20:03	59	1.850,0
23	Montag, 28. Juli 2003	19:40	20:55	75	2.163,0	828,9	62,1	Montag, 28. Juli 2003	20:46	22:07	81	1.334,1
24												
	SUMME:			**1.040**	**26.306,2**			**SUMME:**			**977,0**	**24.593,7**
	SUMME der übereinstimmenden Ereignisse:			**885**	**24.630,4**	**755,7**	**3,2**				**932,0**	**23.874,7**

CSB Überlauffracht:

Ergebnisse der KOSIM Berechung:

Ergebnisse der Messung im Kanal:

Datei: GrazWestohneGeländemitKanal Fließzeit: 40 vergleichbare Ereignisse
Nierdschlag: NKlu903.dat 15 fünf untersuchte Einzelereignisse
Überlauf: ALK 2.Näherung 55 $c_{R,CSB}$= 285 mg/l

	Datum [day, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	SF_{ue} [kg]	SF_{ue_Kosim} - $SF_{ue_Mess.}$ [kg]	Abweichung v. Messung [%]	Datum [day, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	SF_{ue} [kg]
1	Dienstag, 20. Mai 2003	6:50	7:10	20	64,9							
2	Dienstag, 20. Mai 2003	11:45	12:50	65	130,3	20,0	18,2	Dienstag, 20. Mai 2003	13:06	13:59	53	110,30
3	Dienstag, 20. Mai 2003	13:05	13:35	30	89,2							
4								Dienstag, 20. Mai 2003	14:26	14:36	10	5,00
5	Samstag, 7. Juni 2003	21:40	22:40	60	710,6	-171,9	-19,5	Samstag, 7. Juni 2003	22:51	23:56	65	882,56
6	Montag, 9. Juni 2003	17:05	17:45	40	279,3	147,8	112,4	Montag, 9. Juni 2003	18:26	18:50	24	131,46
7	Freitag, 13. Juni 2003	15:35	16:10	35	204,3	-110,6	-35,1	Freitag, 13. Juni 2003	16:30	17:19	49	314,85
8	Freitag, 13. Juni 2003	19:50	20:10	20	47,9							
9	Samstag, 14. Juni 2003	22:30	0:45	135	1.440,6	135,8	10,4	Samstag, 14. Juni 2003	22:48	1:53	185	1.304,75
10	Montag, 16. Juni 2003	13:45	14:15	30	222,0							
11	Montag, 16. Juni 2003	18:50	19:25	35	227,6	-30,6	-11,8	Montag, 16. Juni 2003	20:01	20:29	28	258,22
12	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:10	10:25	15	23,8	18,4	344,7	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:21	10:28	7	5,34
13								Mittwoch, 18. Juni 2003	11:30	12:05	35	171,86
14								18.Juni 19:00bis19:54 entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
15	Dienstag, 24. Juni 2003	19:30	20:10	40	354,5	-406,5	-53,4	Dienstag, 24. Juni 2003	20:30	21:27	57	761,01
16	Freitag, 27. Juni 2003	11:15	11:55	40	267,2	260,7	3991,9	Freitag, 27. Juni 2003	12:45	12:52	7	6,53
17	Dienstag, 1. Juli 2003	22:45	0:55	130	718,8	-186,4	-20,6	Dienstag, 1. Juli 2003	23:56	1:47	111	905,26
18	Dienstag, 22. Juli 2003	23:55	0:15	20	74,8			17.Juli entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
19								23.Juli1:16 bis 2:30 entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
20	Mittwoch, 23. Juli 2003	14:50	17:20	150	1.544,1	426,8	38,2	Mittwoch, 23. Juli 2003	15:42	18:18	156	1.117,31
21	Freitag, 25. Juli 2003	1:10	1:50	40	121,1	-116,0	-48,9	Freitag, 25. Juli 2003	2:09	2:59	50	237,13
22	Montag, 28. Juli 2003	17:55	18:55	60	602,6	-214,9	-26,3	Montag, 28. Juli 2003	19:04	20:03	59	817,46
23	Montag, 28. Juli 2003	19:40	20:55	75	633,9	364,4	135,2	Montag, 28. Juli 2003	20:46	22:07	81	269,49
24												
	SUMME:			**1.040**	**7.757,5**			**SUMME:**			**977,0**	**7.298,5**
	SUMME der Übereinstimmenden Ereignisse			**950**	**7.258,7**	**137,1**	**1,9**				**932,0**	**7.121,7**

AFS Überlauffracht:

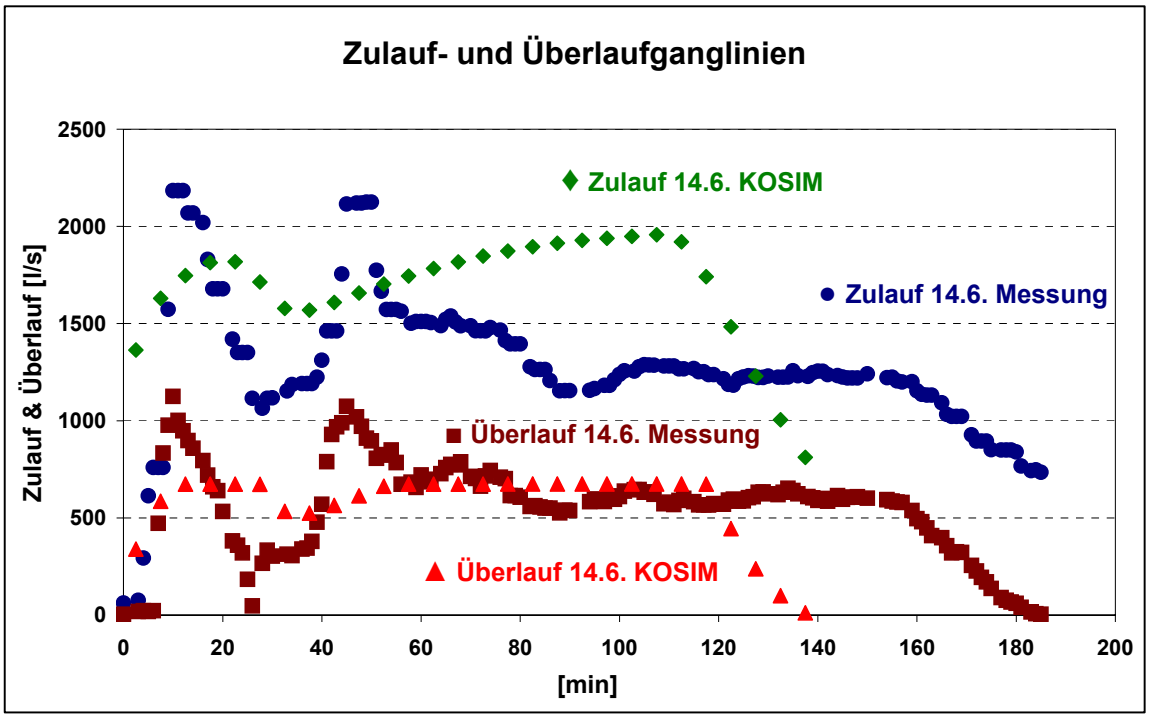
Ergebnisse der KOSIM Berechung:

Ergebnisse der Messung im Kanal:

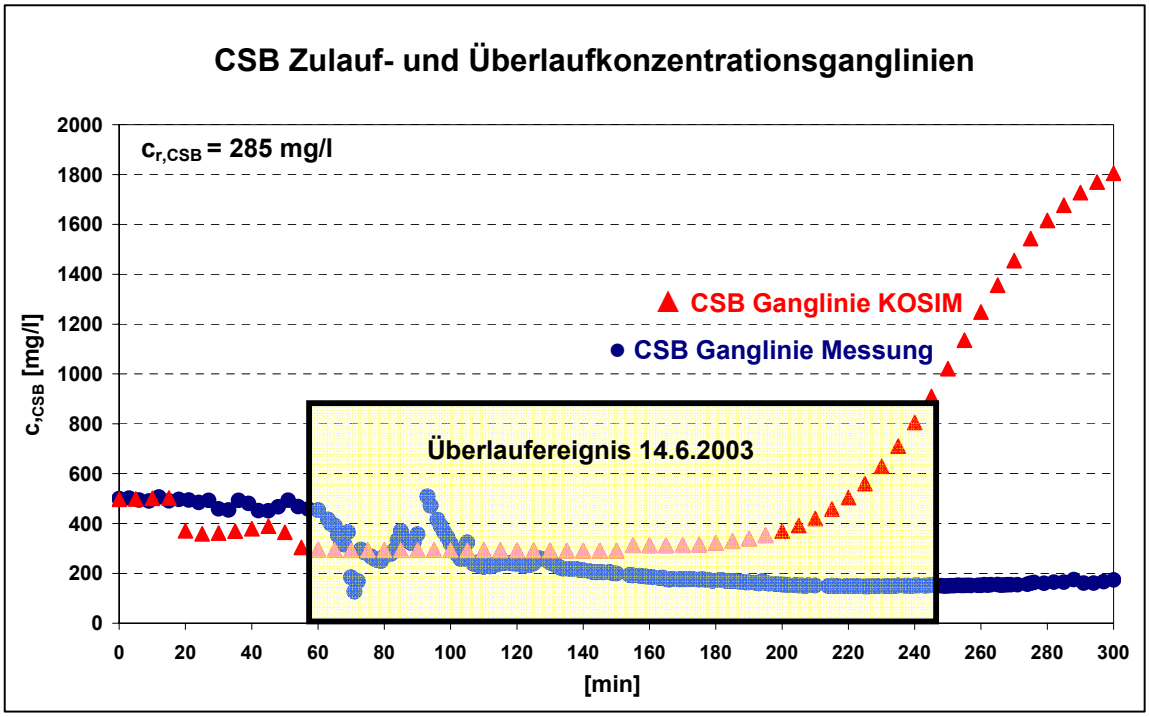
Datei: GrazWestohneGeländemitKanal Fließzeit: 40 vergleichbare Ereignisse
Nierdschlag: NKlu903.dat 15 fünf untersuchte Einzelereignisse
Überlauf: ALK 2.Näherung 55 $c_{R,AFS}$= 195 mg/l

	Datum [Tag, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	SF_{ue} [kg]	SF_{ue_Kosim} - $SF_{ue_Mess.}$ [kg]	Abweichung v. Messung [%]	Datum [Tag, dd mmm yyyy]	Anfang [hh:mm]	Ende [hh:mm]	Dauer [min]	SF_{ue} [kg]
1	Dienstag, 20. Mai 2003	6:50	7:10	20	42,9							
2	Dienstag, 20. Mai 2003	11:45	12:50	65	86,5	13,9	19,1	Dienstag, 20. Mai 2003	13:06	13:59	53	72,60
3	Dienstag, 20. Mai 2003	13:05	13:35	30	59,4							
4								Dienstag, 20. Mai 2003	14:26	14:36	10	3,20
5	Samstag, 7. Juni 2003	21:40	22:40	60	485,1	-277,1	-36,4	Samstag, 7. Juni 2003	22:51	23:56	65	762,20
6	Montag, 9. Juni 2003	17:05	17:45	40	187,1	111,0	145,9	Montag, 9. Juni 2003	18:26	18:50	24	76,10
7	Freitag, 13. Juni 2003	15:35	16:10	35	136,7	-376,9	-73,4	Freitag, 13. Juni 2003	16:30	17:19	49	513,60
8	Freitag, 13. Juni 2003	19:50	20:10	20	31,9							
9	Samstag, 14. Juni 2003	22:30	0:45	135	961,8	208,8	27,7	Samstag, 14. Juni 2003	22:48	1:53	185	753,00
10	Montag, 16. Juni 2003	13:45	14:15	30	149,3							
11	Montag, 16. Juni 2003	18:50	19:25	35	152,7	-55,2	-26,5	Montag, 16. Juni 2003	20:01	20:29	28	207,90
12	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:10	10:25	15	15,7	12,6	405,5	Mittwoch, 18. Juni 2003	10:21	10:28	7	3,10
13								Mittwoch, 18. Juni 2003	11:30	12:05	35	93,50
14								18.Juni 19:00bis19:54 entfernt, weil Messung nicht richtig ist				
15	Dienstag, 24. Juni 2003	19:30	20:10	40	238,6	-306,1	-56,2	Dienstag, 24. Juni 2003	20:30	21:27	57	544,70
16	Freitag, 27. Juni 2003	11:15	11:55	40	178,5	175,0	4998,9	Freitag, 27. Juni 2003	12:45	12:52	7	3,50
17	Dienstag, 1. Juli 2003	22:45	0:55	130	481,8	-82,0	-14,6	Dienstag, 1. Juli 2003	23:56	1:47	111	563,80
18	Dienstag, 22. Juli 2003	23:55	0:15	20	49,9			17.Juli entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
19								23.Juli1:16 bis 2:30 entfernt, weil Messung nicht richtig ist.				
20	Mittwoch, 23. Juli 2003	14:50	17:20	150	1.039,2	496,1	91,4	Mittwoch, 23. Juli 2003	15:42	18:18	156	543,10
21	Freitag, 25. Juli 2003	1:10	1:50	40	80,9	-22,4	-21,7	Freitag, 25. Juli 2003	2:09	2:59	50	103,30
22	Montag, 28. Juli 2003	17:55	18:55	60	406,1	-129,1	-24,1	Montag, 28. Juli 2003	19:04	20:03	59	535,20
23	Montag, 28. Juli 2003	19:40	20:55	75	426,6	350,2	458,4	Montag, 28. Juli 2003	20:46	22:07	81	76,40
24												
	SUMME:			**1.040**	**5.210,7**			**SUMME:**			**977,0**	**4.855,2**
	SUMME der Übereinstimmenden Ereignisse			**950**	**4.877,4**	**118,9**	**2,5**				**932,0**	**4.758,5**

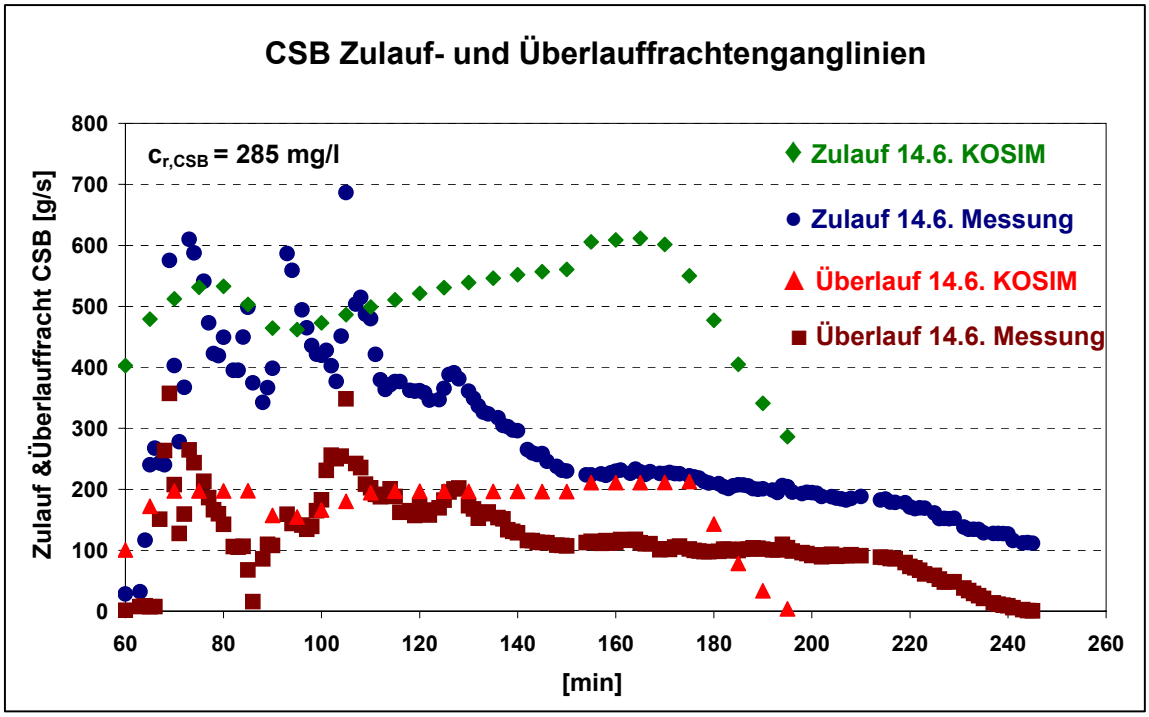
14. Juni 2003:



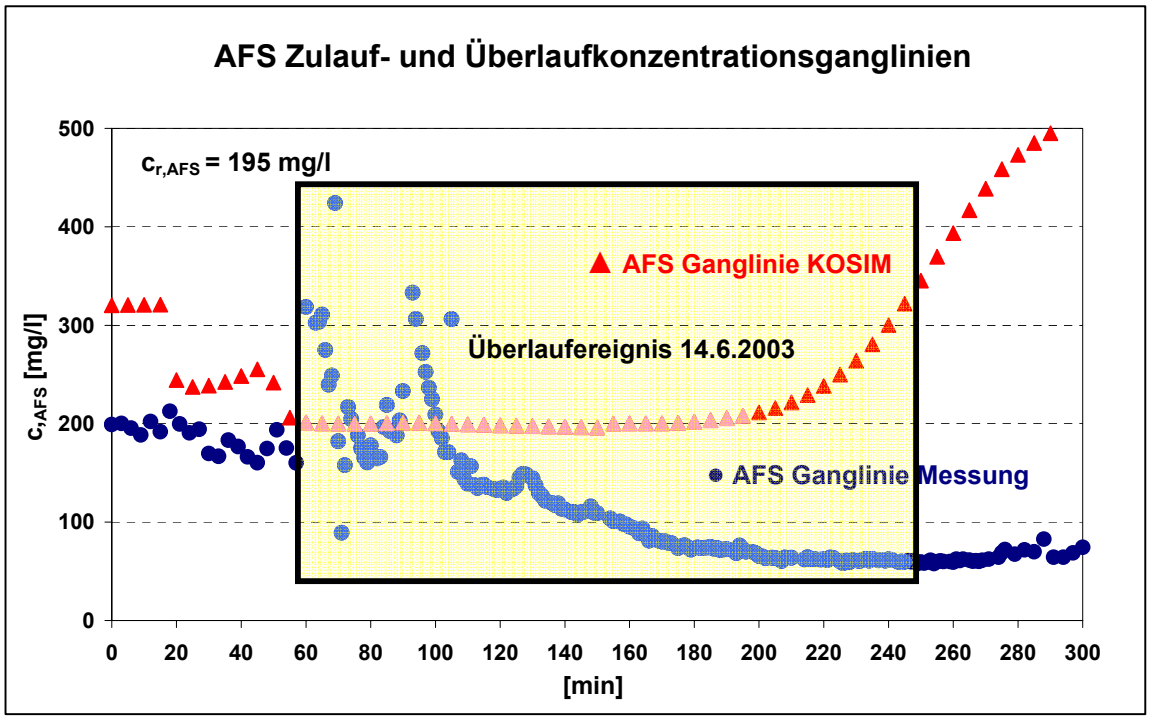
Zulauf- und Überlaufganglinien für den 14. Juni 2003



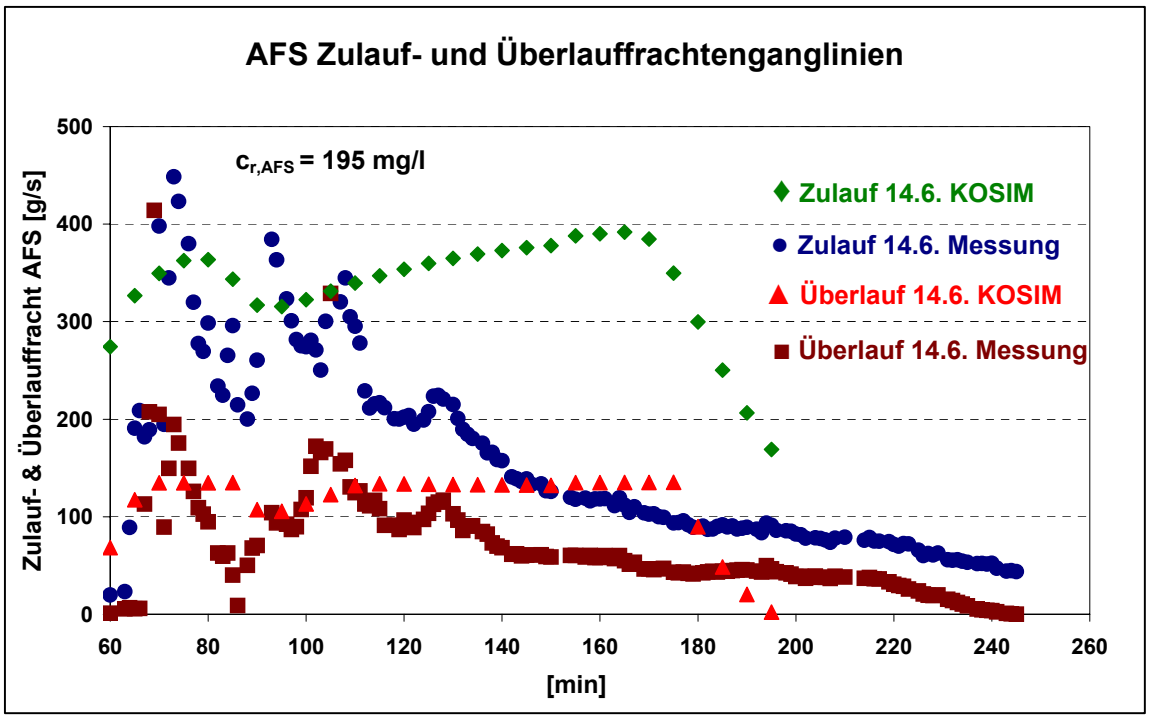
CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 14. Juni 2003



CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 14. Juni 2003

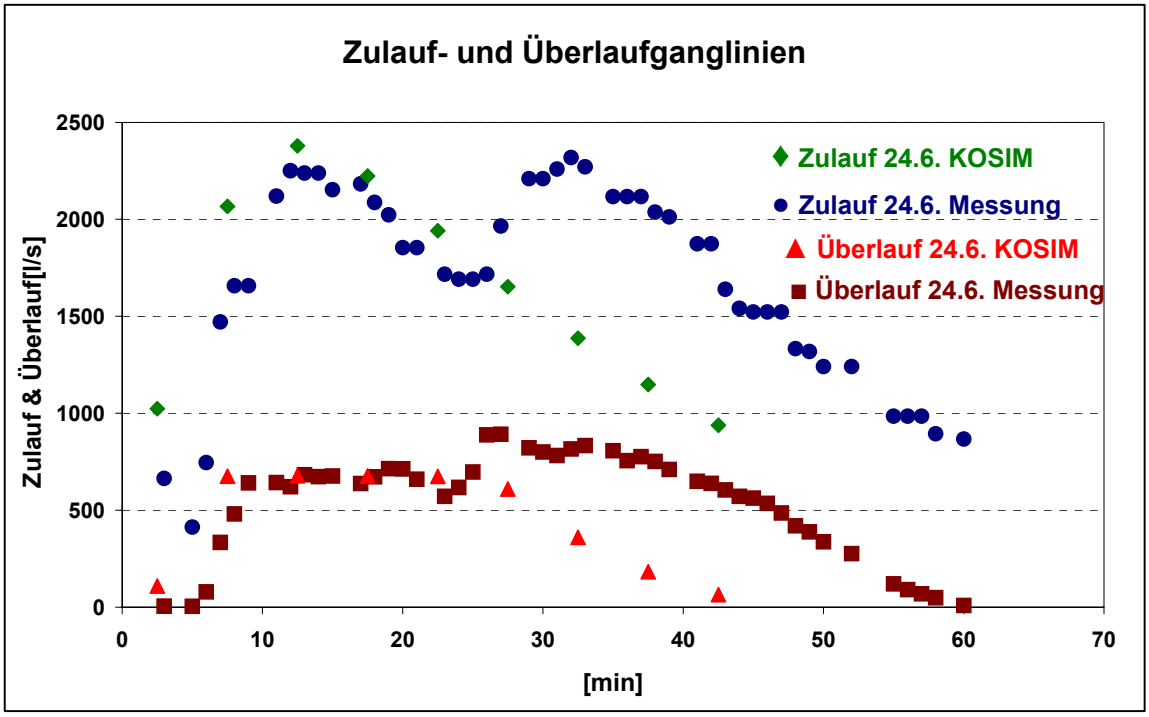


AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 14. Juni 2003

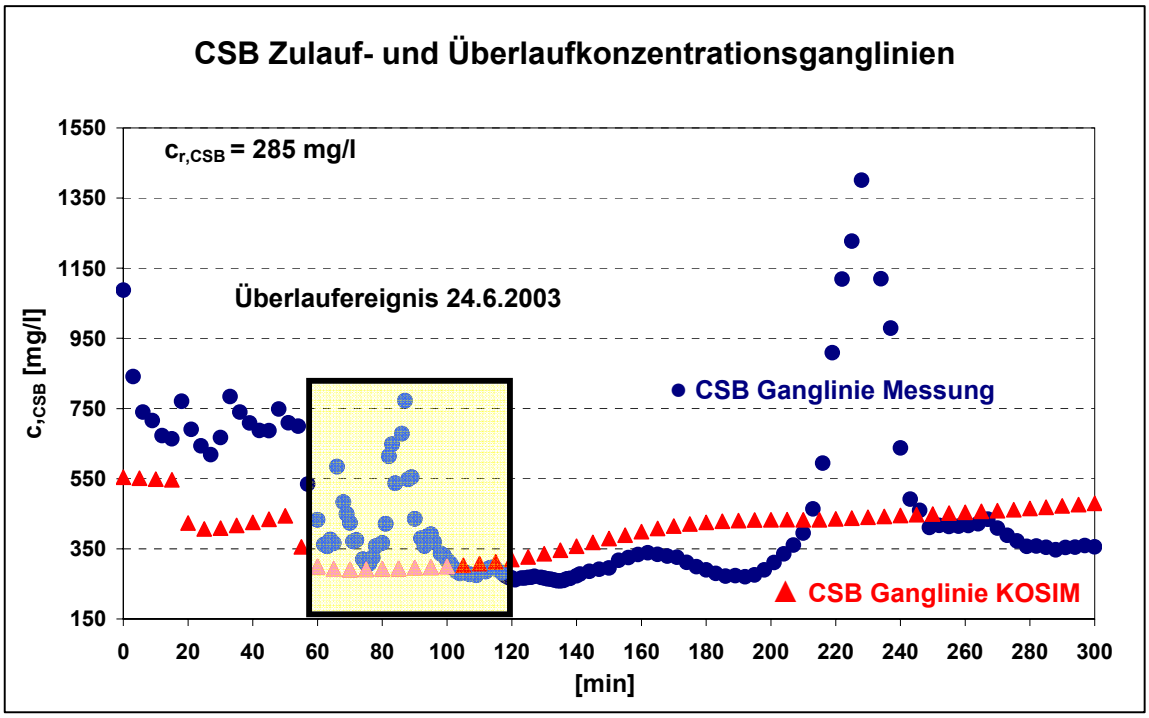


AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 14. Juni 2003

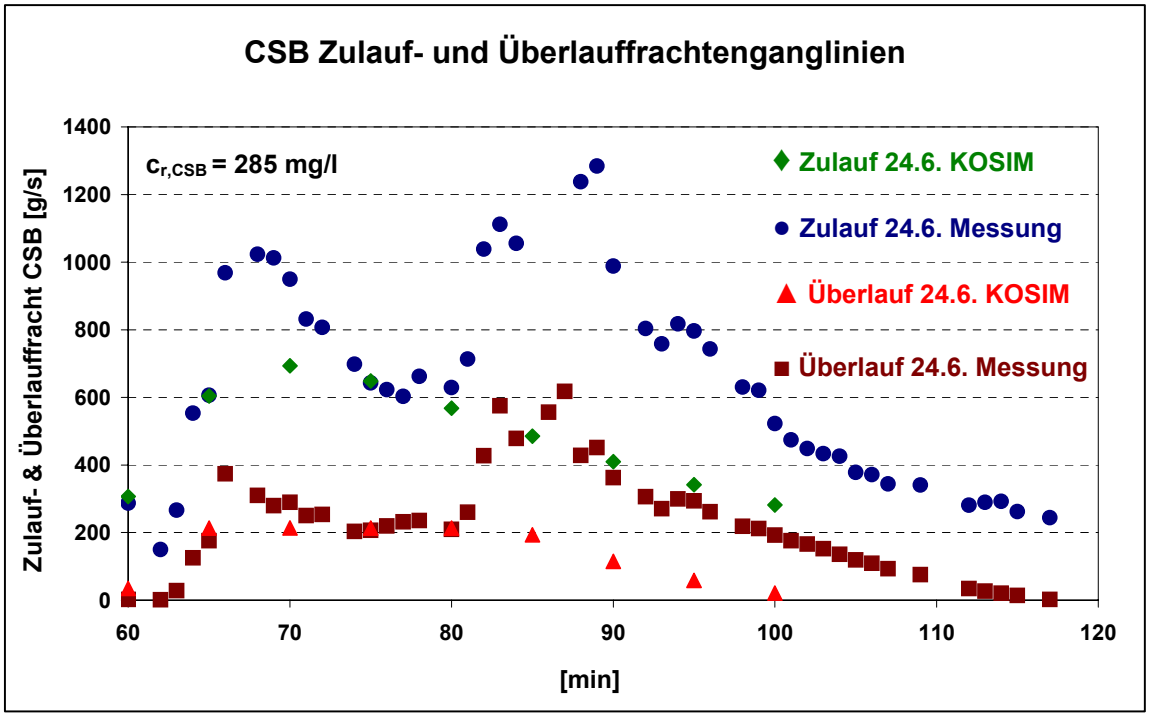
24. Juni 2003



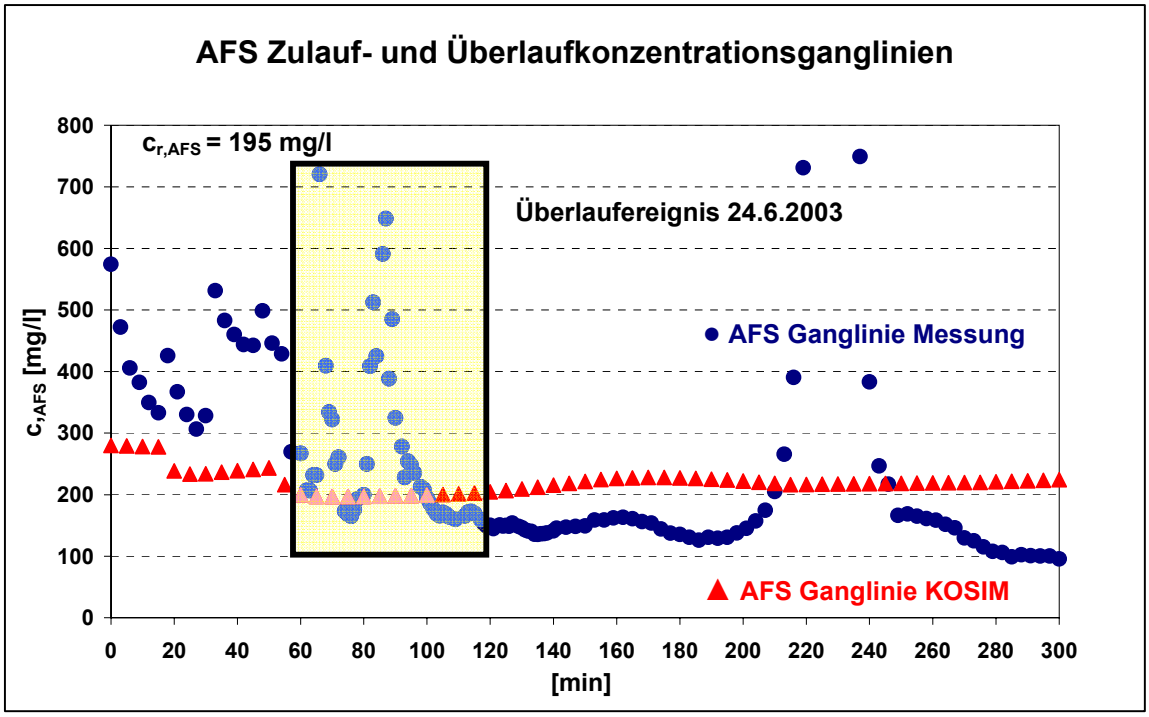
Zulauf- und Überlaufganglinien für den 24. Juni 2003



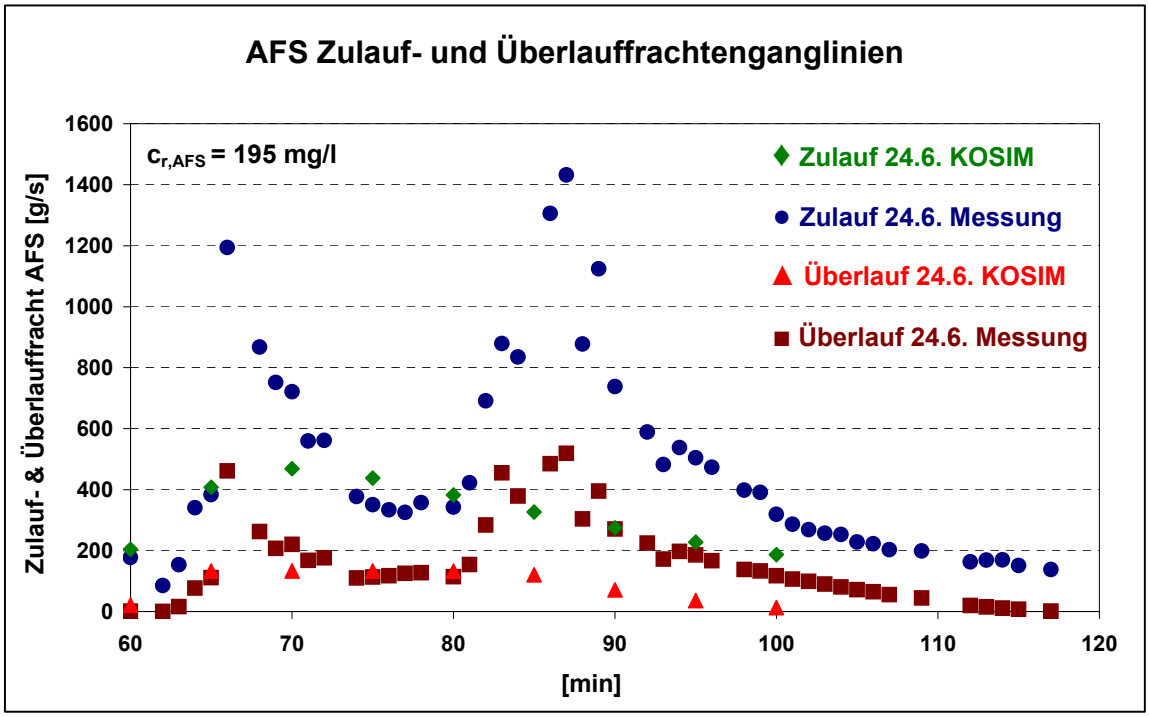
CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 24. Juni 2003



CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 24. Juni 2003

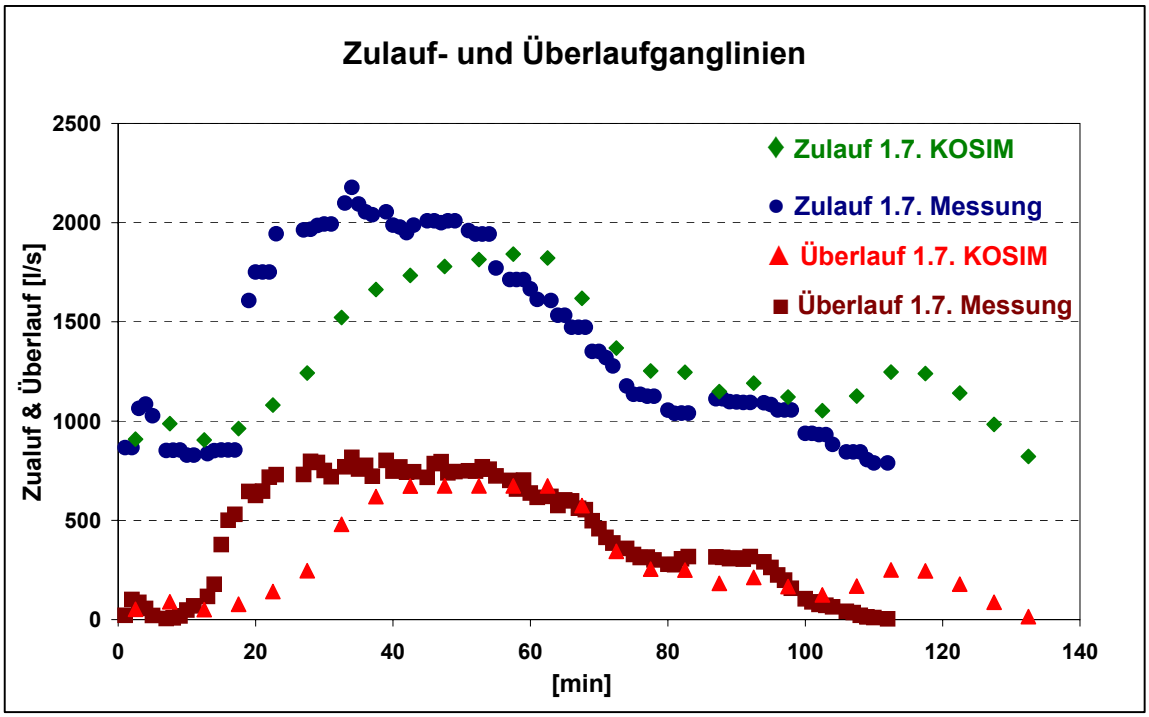


AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 24. Juni 2003

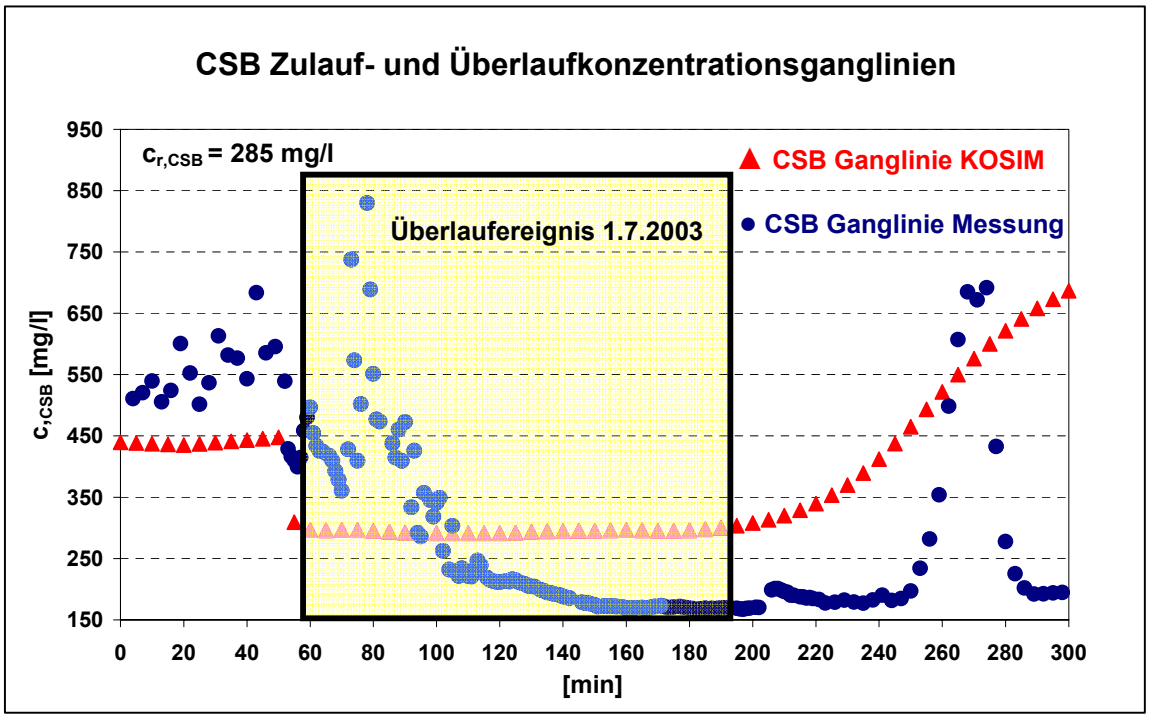


AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 24. Juni 2003

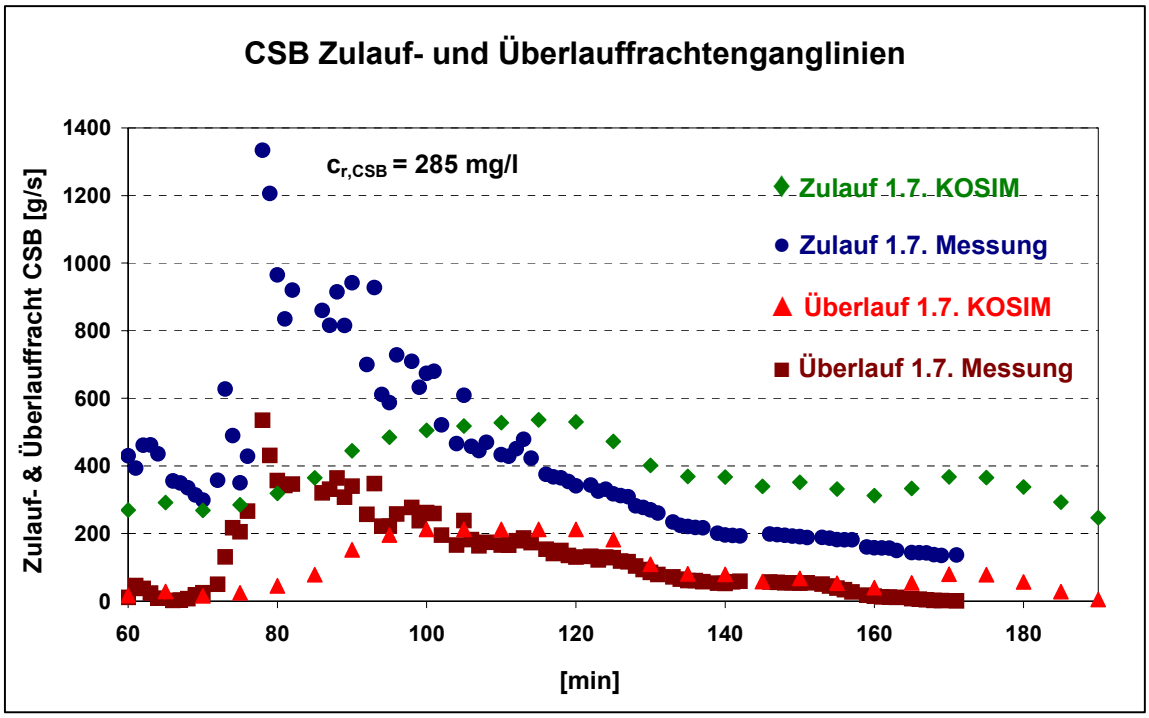
1. Juli 2003



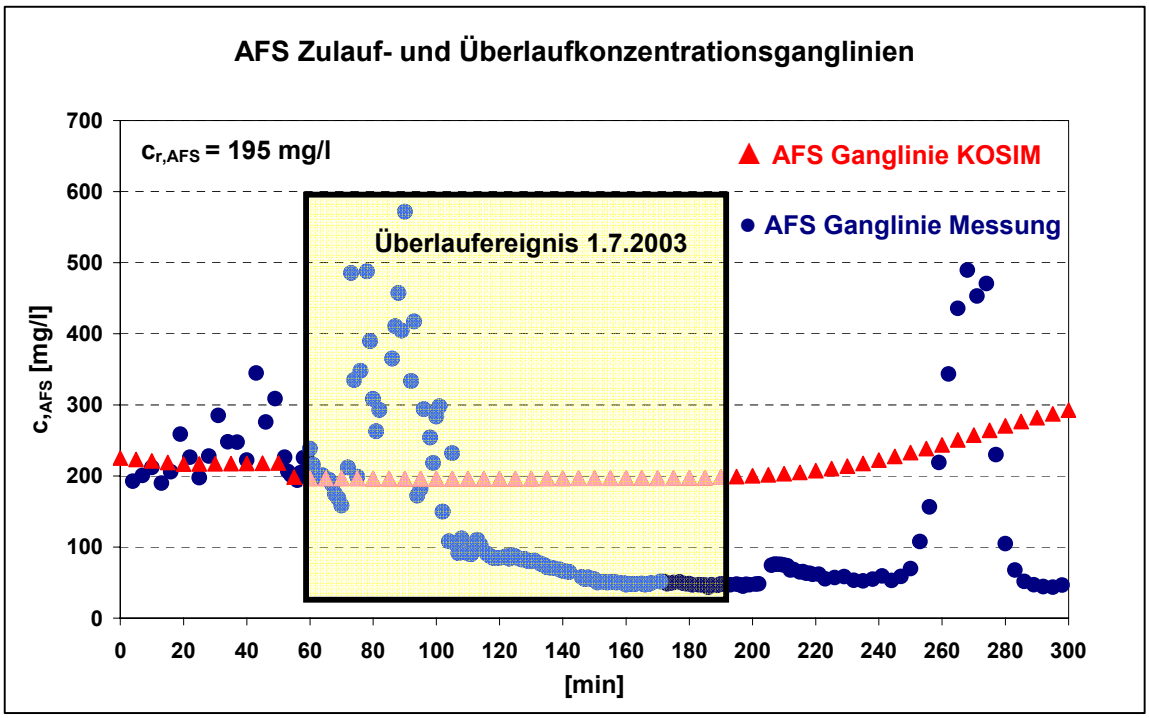
Zulauf- und Überlaufganglinien für den 1. Juli 2003



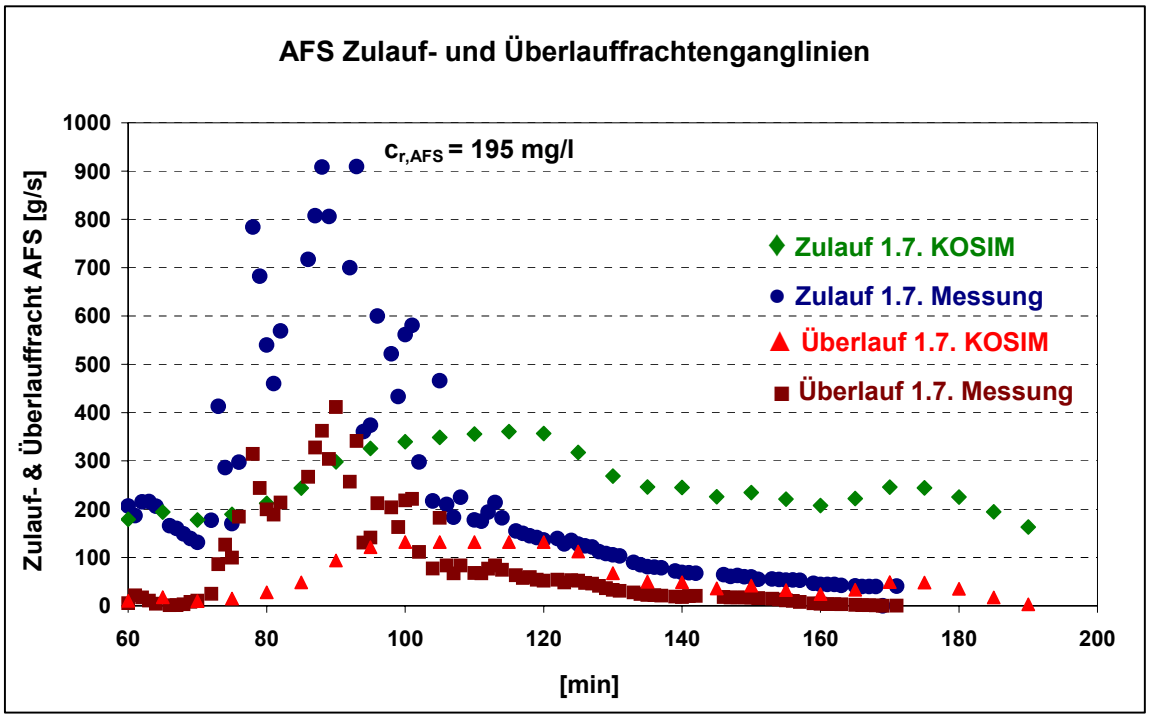
CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 1. Juli 2003



CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 1. Juli 2003

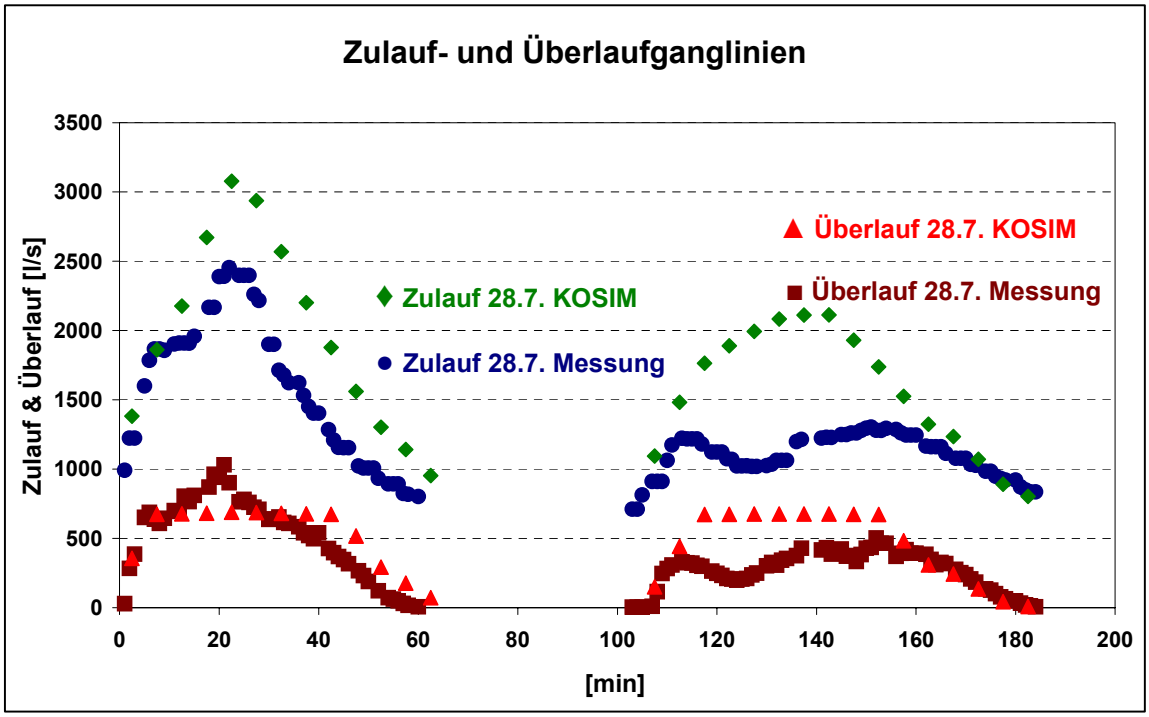


AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 1. Juli 2003

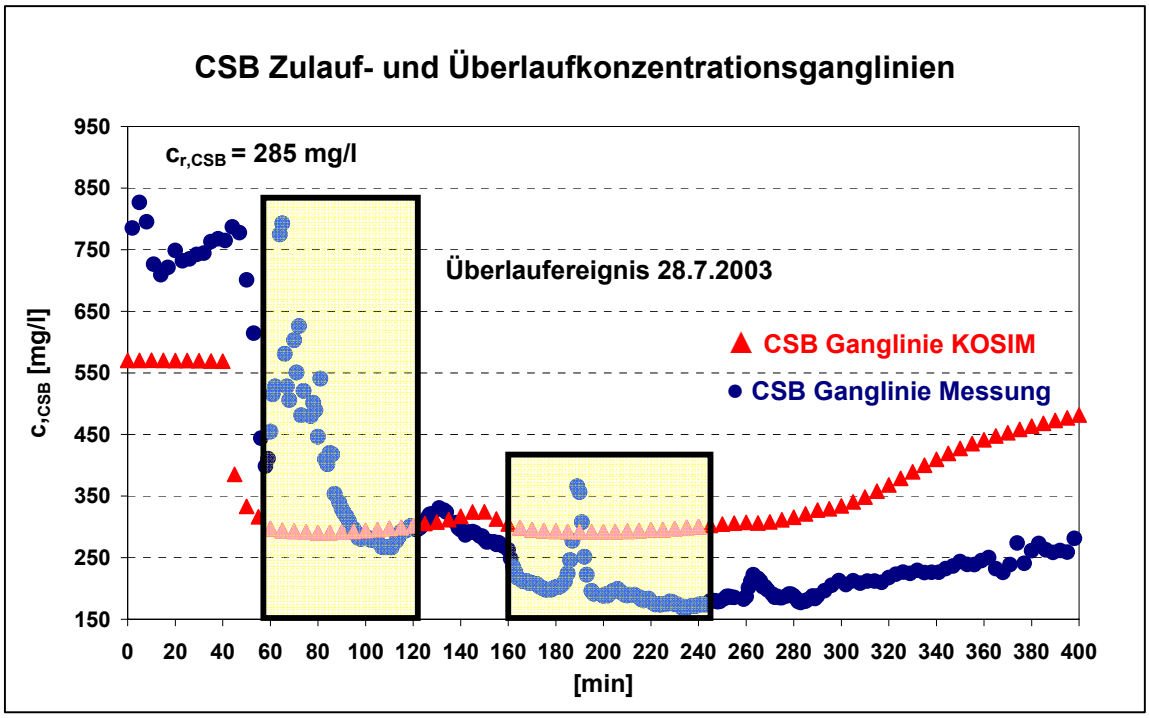


AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 1. Juli 2003

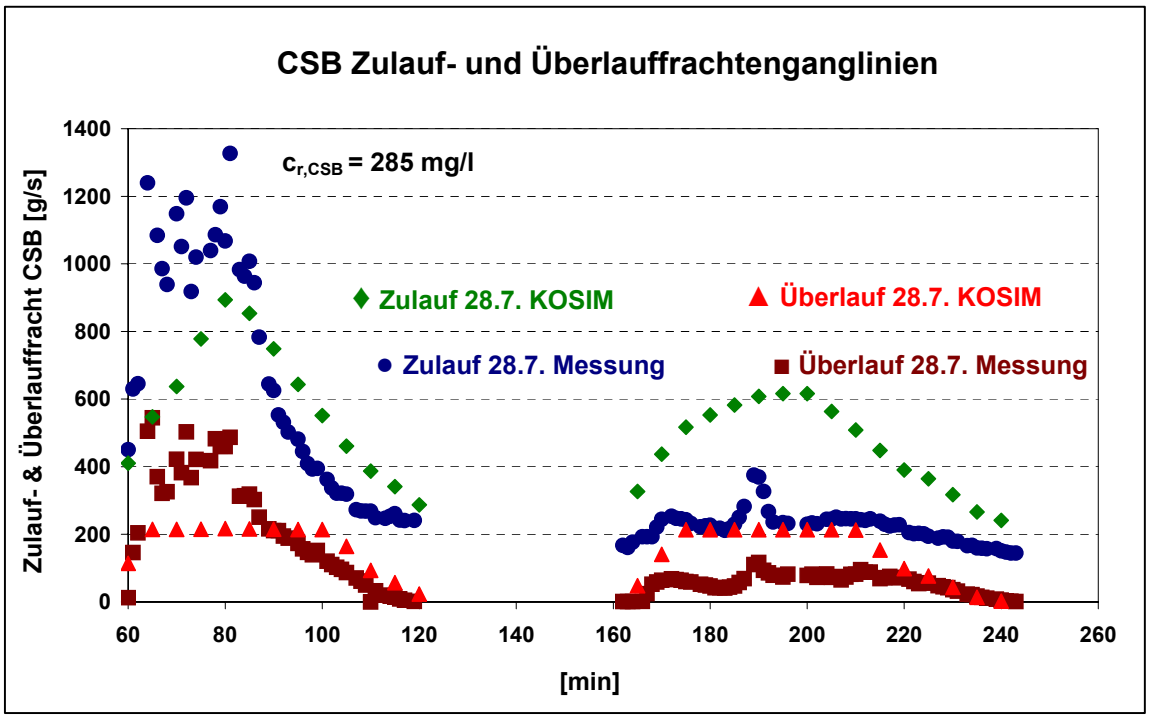
28. Juli 2003



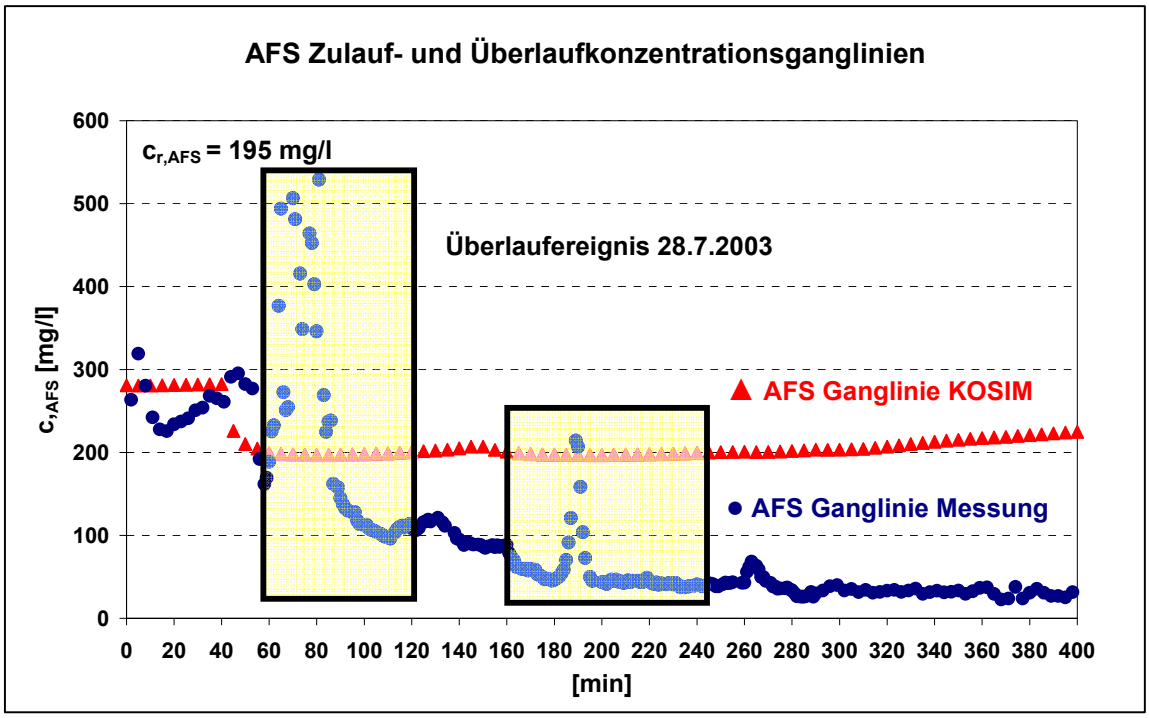
Zulauf- und Überlaufganglinien für den 28. Juli 2003



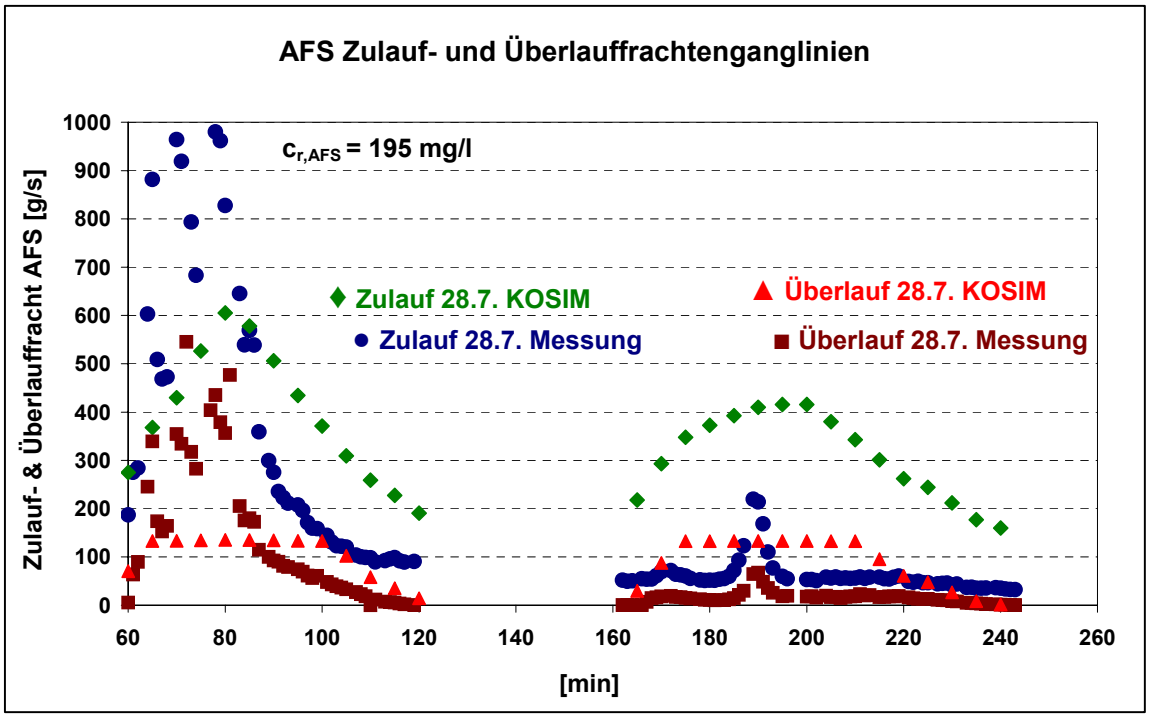
CSB Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 28. Juli 2003



CSB Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 28. Juli 2003



AFS Zulauf- und Überlaufkonzentrationsganglinien für den 28. Juli 2003



AFS Zulauf- und Überlauffrachtenganglinien für den 28. Juli 2003

Ergebnis der Einzeljahresergebnisse:

$c_{r,CSB}$ = 285 mg/l $c_{r,AFS}$ = 195 mg/l minimal Wert

$c_{t,CSB}$ = 680 mg/l $c_{t,AFS}$ = 305 mg/l maximal Wert

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Bruttoniederschlag N_{brutto}	[mm]	795,00	627,70	873,30	820,30	681,10	504,60	688,60	589,20
Nettoniederschlag undurch. Flächen $N_{netto,und}$	[mm]	608,15	495,85	704,33	653,73	550,92	385,67	544,88	472,78
Abflussbeiwert undurch. Flächen Psi_{und}		0,76	0,79	0,81	0,80	0,81	0,76	0,79	0,80
Regenabflussvolumen VQ_r	[m³]	719803,8	586886,4	833642,4	773752,3	652073,5	456475,8	644924,2	559585,5
Trockenwetterabfluss VQ_t	[m³]	1767692,2	1762862,4	1762862,4	1762862,4	1767692,2	1762862,4	1762862,4	1762862,4
Mischwasserabfluss VQ_{mw}	[m³]	2487495,9	2349748,8	2596504,8	2536614,7	2419765,6	2219338,2	2407786,6	2322447,9
Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$ (Jahresmittel)	[kg-CSB]	205144,0	167263,0	237588,0	220519,0	185841,0	130096,0	183803,0	159482,0
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ (Jahresmittel)	[kg-CSB]	1406058,0	1365451,0	1435776,0	1418708,0	1390663,0	1328284,0	1381992,0	1357670,0
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$	[kg-AFS]	140362,0	114443,0	162560,0	150882,0	127154,0	89013,0	125760,0	109119,0
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$	[kg-AFS]	679213,0	651969,0	700086,0	688407,0	667037,0	626539,0	663286,0	646645,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue}		61,00	62,00	79,00	68,00	71,00	43,00	66,00	47,00
Überlaufdauer T_{ue}	[h]	67,25	61,83	96,17	82,25	72,00	50,00	60,83	53,58
Überlaufvolumen VQ_{ue}	[m³]	74115,00	75930,00	115592,00	100630,00	78089,00	60464,00	78166,00	76971,00
Überlaufvolumen bezogen auf die undurch. Fläche	[cbm/(ha)]	626,18	641,51	976,61	850,20	659,76	510,85	660,41	650,31
Mischwasserentlastungsfracht ins Fließgewässer S	[kg-CSB]	22093,00	22384,00	34183,00	29722,00	23343,00	18091,00	23540,00	22981,00
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$	[mg-CSB/l]	298,10	294,80	295,70	295,40	298,90	299,20	301,20	298,60
Überlauffracht bezogen auf die ges. und. Fläche SF	[kg-CSB/ha]	186,66	189,12	288,80	251,11	197,22	152,85	198,89	194,16
Entlastungsfracht ins Fließgewässer $SF_{ue,AFS}$	[kg-AFS]	14733,00	15031,00	22936,00	19916,00	15538,00	11990,00	15563,00	15272,00
Überlaufkonzentration c_{ue-AFS}	[mg-AFS/l]	198,80	198,00	198,40	197,90	199,00	198,30	199,10	198,40
Überlauffracht bezogen auf die undurch. Fläche SF	[kg-AFS/(ha)]	124,47	126,99	193,78	168,27	131,28	101,30	131,48	129,03
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{VQ}	[%]	89,70	87,06	86,13	86,99	88,02	86,75	87,88	86,24
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{CSB}	[%]	92,12	89,84	88,67	89,59	90,26	89,53	90,38	88,94
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{AFS}	[%]	90,87	88,37	87,28	88,21	89,07	88,12	89,10	87,54
Regenabflussdauer T_r	[h]	1290,25	866,33	1000,67	1040,50	853,17	704,33	1010,50	780,17
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,CSB}$	[mg-CSB/l]	389,55	375,40	361,79	369,06	367,66	378,52	379,62	371,48
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,AFS}$	[mg-AFS/l]	224,11	220,17	216,38	218,41	218,01	221,04	221,35	219,08

Prozentueller Wert der Einzeljahresergebnisse vom Mittelwert:

minimal Wert
maximal Wert

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Bruttoniederschlag N_{brutto}	[%]	114,0	90,0	125,2	117,6	97,7	72,3	98,7	84,5
Nettoniederschlag undurch. Flächen $N_{netto,und}$	[%]	110,2	89,8	127,6	118,4	99,8	69,9	98,7	85,6
Abflussbeiwert undurch. Flächen Psi_{und}	[%]	96,2	100,0	102,5	101,3	102,5	96,2	100,0	101,3
Regenabflussvolumen VQ_r	[%]	110,2	89,8	127,6	118,4	99,8	69,9	98,7	85,6
Trockenwetterabfluss VQ_t	[%]	100,2	99,9	99,9	99,9	100,2	99,9	99,9	99,9
Mischwasserabfluss VQ_{mw}	[%]	102,9	97,2	107,4	104,9	100,1	91,8	99,6	96,1
Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$ (Jahresmittel)	[%]	110,2	89,8	127,6	118,4	99,8	69,9	98,7	85,6
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ (Jahresmittel)	[%]	101,5	98,5	103,6	102,4	100,4	95,9	99,7	98,0
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$	[%]	110,2	89,8	127,6	118,4	99,8	69,9	98,7	85,6
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$	[%]	102,1	98,0	105,2	103,5	100,2	94,2	99,7	97,2
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue}	[%]	98,2	99,8	127,2	109,5	114,3	69,2	106,2	75,7
Überlaufdauer T_{ue}	[%]	98,9	90,9	141,4	121,0	105,9	73,5	89,5	78,8
Überlaufvolumen VQ_{ue}	[%]	89,8	92,0	140,1	122,0	94,7	73,3	94,8	93,3
Überlaufvolumen bezogen auf die undurch. Fläche	[%]	89,8	92,0	140,1	122,0	94,7	73,3	94,8	93,3
Mischwasserentlastungsfracht ins Fließgewässer S	[%]	90,0	91,2	139,3	121,1	95,1	73,7	95,9	93,6
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$	[%]	100,1	99,0	99,3	99,2	100,4	100,5	101,2	100,3
Überlauffracht bezogen auf die ges. und. Fläche SF	[%]	90,0	91,2	139,3	121,1	95,1	73,7	95,9	93,6
Entlastungsfracht ins Fließgewässer $SF_{ue,AFS}$	[%]	90,0	91,8	140,1	121,6	94,9	73,2	95,1	93,3
Überlaufkonzentration c_{ue-AFS}	[%]	100,2	99,8	100,0	99,7	100,3	99,9	100,3	100,0
Überlauffracht bezogen auf die undurch. Fläche SF	[%]	90,0	91,8	140,1	121,6	94,9	73,2	95,1	93,3
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{VQ}	[%]	102,7	99,7	98,6	99,6	100,8	99,3	100,6	98,7
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{CSB}	[%]	102,5	99,9	98,6	99,6	100,4	99,6	100,5	98,9
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{AFS}	[%]	102,6	99,8	98,5	99,6	100,6	99,5	100,6	98,8
Regenabflussdauer T_r	[%]	136,8	91,8	106,1	110,3	90,5	74,7	107,1	82,7
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,CSB}$	[%]	104,1	100,3	96,7	98,6	98,3	101,2	101,5	99,3
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,AFS}$	[%]	102,0	100,2	98,4	99,4	99,2	100,6	100,7	99,7

Mittelwert und Abweichungen:

		Ergebnis der Einzelnen Jahre						Ergebnis der Simulation über acht Jahre	
			Abweichung	Total		Abweichung	Total		
		Min	[%]	[%]	Max	[%]	[%]	Mittelwert	Summe
Bruttoniederschlag N_{brutto}	[mm]	504,6	-27,7	72,3	873,3	25,2	125,2	697,5	5579,8
Nettoniederschlag undurch. Flächen $N_{netto,und}$	[mm]	385,7	-30,1	69,9	704,3	27,6	127,6	552,1	4417,0
Abflussbeiwert undurch. Flächen Psi_{und}		0,8	-3,8	96,2	0,8	2,5	102,5	0,8	
Regenabflussvolumen VQ_r	[m³]	456475,8	-30,1	69,9	833642,4	27,6	127,6	653489,5	5227916,0
Trockenwetterabfluss VQ_t	[m³]	1762862,4	-0,1	99,9	1767692,2	0,2	100,2	1764069,8	14112558,7
Mischwasserabfluss VQ_{mw}	[m³]	2219338,2	-8,2	91,8	2596504,8	7,4	107,4	2417559,3	19340474,7
Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$ (Jahresmittel)	[kg-CSB]	130096,0	-30,1	69,9	237588,0	27,6	127,6	186245,0	1489960,0
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ (Jahresmittel)	[kg-CSB]	1328284,0	-4,1	95,9	1435776,0	3,6	103,6	1385603,0	11084824,0
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$	[kg-AFS]	89013,0	-30,1	69,9	162560,0	27,6	127,6	127430,0	1019440,0
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$	[kg-AFS]	626539,0	-5,8	94,2	700086,0	5,2	105,2	665417,0	5323336,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue}		43,0	-30,8	69,2	79,0	27,2	127,2	62,1	497,0
Überlaufdauer T_{ue}	[h]	50,0	-26,5	73,5	96,2	41,4	141,4	68,0	544,2
Überlaufvolumen VQ_{ue}	[m³]	60464,0	-26,7	73,3	115592,0	40,1	140,1	82522,8	660182,0
Überlaufvolumen bezogen auf die undurch. Fläche	[cbm/(ha)]	510,9	-26,7	73,3	976,6	40,1	140,1	697,2	5577,7
Mischwasserentlastungsfracht ins Fließgewässer S	[kg-CSB]	18091,0	-26,3	73,7	34183,0	39,3	139,3	24550,5	196404,0
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$	[mg-CSB/l]	294,8	-1,0	99,0	301,2	1,2	101,2	297,5	
Überlauffracht bezogen auf die ges. und. Fläche SF	[kg-CSB/ha]	152,9	-26,3	73,7	288,8	39,3	139,3	207,4	1659,4
Entlastungsfracht ins Fließgewässer $SF_{ue,AFS}$	[kg-AFS]	11990,0	-26,8	73,2	22936,0	40,1	140,1	16377,9	131023,0
Überlaufkonzentration c_{ue-AFS}	[mg-AFS/l]	197,9	-0,3	99,7	199,1	0,3	100,3	198,5	
Überlauffracht bezogen auf die undurch. Fläche SF	[kg-AFS/(ha)]	101,3	-26,8	73,2	193,8	40,1	140,1	138,4	1107,0
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{VQ}	[%]	86,1	-1,4	98,6	89,7	2,7	102,7	87,4	
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{CSB}	[%]	88,7	-1,4	98,6	92,1	2,5	102,5	90,0	
Wirkungsgrad der Weiterleitung η_{AFS}	[%]	87,3	-1,5	98,5	90,9	2,6	102,6	88,6	
Regenabflussdauer T_r	[h]	704,3	-25,3	74,7	1290,3	36,8	136,8	943,3	7546,0
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,CSB}$	[mg-CSB/l]	361,8	-3,3	96,7	389,6	4,1	104,1	373,9	
mittl. Mischwasserkonzentration $c_{mw,AFS}$	[mg-AFS/l]	216,4	-1,6	98,4	224,1	2,0	102,0	219,8	

Sensitivitätsanalyse Anfangsabflussbeiwert (Ψ_A): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Anfangsabflussbeiwert (Ψ_A)								
	0,3	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,65**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	5002740	5057539	5118708	5188561	5227916	5271088	5373417	5511131	5727334
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	640124	643605	648486	655512	660182	665890	681650	707024	750935
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	190394	191440	192905	195008	196404	198108	202798	210322	223307
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	127024	127719	128693	130094	131023	132159	135289	140322	149020
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	87,20	87,27	87,33	87,37	87,37	87,37	87,31	87,17	86,89
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	89,90	89,94	89,96	89,96	89,95	89,93	89,85	89,69	89,40
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,49	88,54	88,58	88,60	88,60	88,58	88,52	88,36	88,07
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	464	471	482	489	497	504	526	538	559
Überlaufdauer T_{ue} [h]	520	525	532	540	544	549	562	585	614
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	297,4	297,4	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,4
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	198,4	198,4	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,4
	Anfangsabflussbeiwert (Ψ_A) [%]								
Abweichung vom Ursprungswert	**-53,8**	**-38,5**	**-23,1**	**-7,7**	**0,0**	**7,7**	**23,1**	**38,5**	**53,8**
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	-4,3	-3,3	-2,1	-0,8	0,0	0,8	2,8	5,4	9,6
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	-3,0	-2,5	-1,8	-0,7	0,0	0,9	3,3	7,1	13,7
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	-3,1	-2,5	-1,8	-0,7	0,0	0,9	3,3	7,1	13,7
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	-3,1	-2,5	-1,8	-0,7	0,0	0,9	3,3	7,1	13,7
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,2	-0,1	-0,0	-0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,6
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,1	-0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,6
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,1	-0,1	-0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,6
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	-6,6	-5,2	-3,0	-1,6	0,0	1,4	5,8	8,2	12,5
Überlaufdauer T_{ue} [h]	-4,4	-3,6	-2,3	-0,8	0,0	0,9	3,3	7,4	12,8
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	-0,0	-0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	-0,1	-0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	-0,1

Sensitivitätsanalyse Endabflussbeiwert (Ψ_E): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Endabflussbeiwert (Ψ_E)					
	0,5	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	2613958	3136750	3659541	4182333	4705124	5227916
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	189559	272398	361389	457874	558081	660182
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	56798	81510	107964	136576	166230	196404
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	37729	54177	71831	90957	110808	131023
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	92,75	91,32	90,12	89,05	88,14	87,37
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	94,95	93,72	92,64	91,63	90,74	89,95
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	93,87	92,52	91,36	90,30	89,38	88,60
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	238	304	369	405	459	497
Überlaufdauer T_{ue} [h]	197	266	339	409	479	544
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	299,6	299,2	298,7	298,3	297,9	297,5
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	199,0	198,9	198,8	198,7	198,6	198,5
	Endabflussbeiwert (Ψ_E) [%]					
Abweichung vom Ursprungswert	**-50,0**	**-40,0**	**-30,0**	**-20,0**	**-10,0**	0,0
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	-50,0	-40,0	-30,0	-20,0	-10,0	0,0
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	-71,3	-58,7	-45,3	-30,6	-15,5	0,0
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	-71,1	-58,5	-45,0	-30,5	-15,4	0,0
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	-71,2	-58,7	-45,2	-30,6	-15,4	0,0
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	6,2	4,5	3,2	1,9	0,9	0,0
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	5,6	4,2	3,0	1,9	0,9	0,0
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	6,0	4,4	3,1	1,9	0,9	0,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	-52,1	-38,8	-25,8	-18,5	-7,6	0,0
Überlaufdauer T_{ue} [h]	-63,8	-51,2	-37,7	-24,8	-12,0	0,0
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	1,0
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	2,0

Sensitivitätsanalyse befestigten Fläche ($A_{E,b}$): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Befestigte Fläche ($A_{E,b}$) [ha]								
	100	**105**	**110**	**115**	**118,36**	**120**	**125**	**130**	**135**
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	4416962	4637814	4858656	5079503	5227916	5300350	5521197	5742044	5962876
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	502539	545095	587915	631154	660182	674330	717678	761570	805542
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	149800	162390	175052	187831	196404	200581	213373	226318	239284
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	99807	108237	116716	125277	131023	133824	142401	151085	159783
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,62	88,25	87,90	87,57	87,37	87,28	87,00	86,74	86,49
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	91,21	90,84	90,49	90,16	89,95	89,85	89,56	89,28	89,01
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	89,87	89,49	89,14	88,81	88,60	88,50	88,21	87,93	87,67
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	430	456	466	484	497	504	520	535	553
Überlaufdauer T_{ue} [h]	440	471	499	526	544	553	580	608	633
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$ [kg]	107663	113047	118430	123813	127430	129196	134579	139962	145345
Mischwasserabfluss VQ_{mw} [m³]	18529521	18750373	18971214	19192061	19340475	19412908	19633755	19854602	20075435
	Befestigte Fläche ($A_{E,b}$) [%]								
Abweichung vom Ursprungswert	**-15,5**	**-11,3**	**-7,1**	**-2,8**	**0,0**	**1,4**	**5,6**	**9,8**	**14,1**
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	-15,5	-11,3	-7,1	-2,8	0,0	1,4	5,6	9,8	14,1
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	-23,9	-17,4	-10,9	-4,4	0,0	2,1	8,7	15,4	22,0
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	-23,7	-17,3	-10,9	-4,4	0,0	2,1	8,6	15,2	21,8
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	-23,8	-17,4	-10,9	-4,4	0,0	2,1	8,7	15,3	22,0
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	1,4	1,0	0,6	0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,7	-1,0
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	1,4	1,0	0,6	0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,7	-1,0
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	1,4	1,0	0,6	0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,8	-1,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	-13,5	-8,2	-6,2	-2,6	0,0	1,4	4,6	7,6	11,3
Überlaufdauer T_{ue} [h]	-19,1	-13,5	-8,4	-3,3	0,0	1,7	6,5	11,6	16,3
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$ [kg]	-15,5	-11,3	-7,1	-2,8	1,0	1,4	5,6	9,8	14,1
Mischwasserabfluss VQ_{mw} [m³]	-4,2	-3,1	-1,9	-0,8	2,0	0,4	1,5	2,7	3,8

Sensitivitätsanalyse Benetzungsverlust (V_{Ben}):

Zeitraum: 1996 bis 2003

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Benetzungsverlust (V_{Ben}) [mm]								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	5476031	5383453	5301746	5227916	5159959	5095727	5035113	4978353	4923775
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	678594	672228	666072	660182	654439	648785	643216	637743	632335
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	201867	199978	198152	196404	194700	193022	191369	189745	188140
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	134678	133414	132192	131023	129884	128761	127656	126569	125496
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	87,61	87,51	87,44	87,37	87,32	87,27	87,23	87,19	87,16
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	90,06	90,01	89,98	89,95	89,93	89,92	89,91	89,90	89,89
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,76	88,69	88,64	88,60	88,56	88,53	88,50	88,48	88,46
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	517	509	501	497	493	484	481	478	477
Überlaufdauer T_{ue} [h]	561	555	551	544	539	533	530	525	520
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5	297,5
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5
	Benetzungsverlust (V_{Ben}) [%]								
Abweichung vom Ursprungswert	-60,0	-40,0	-20,0	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	4,7	3,0	1,4	0,0	-1,3	-2,5	-3,7	-4,8	-5,8
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	2,8	1,8	0,9	0,0	-0,9	-1,7	-2,6	-3,4	-4,2
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	2,8	1,8	0,9	0,0	-0,9	-1,7	-2,6	-3,4	-4,2
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	2,8	1,8	0,9	0,0	-0,9	-1,7	-2,6	-3,4	-4,2
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	4,0	2,4	0,8	0,0	-0,8	-2,6	-3,2	-3,8	-4,0
Überlaufdauer T_{ue} [h]	3,1	2,1	1,2	0,0	-0,9	-2,0	-2,7	-3,6	-4,5
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sensitivitätsanalyse Muldenverlust: **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Muldenverlust [mm]						
	0,5	1	1,3	1,5	2	2,5	3
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	5409938	5282387	5227916	5197411	5135610	5088172	5050442
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	701601	672550	660182	653246	639186	628483	619992
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	208651	200057	196404	194357	190210	187055	184552
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	139225	133471	131023	129651	126869	124752	123072
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	87,03	87,27	87,37	87,43	87,55	87,65	87,72
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	89,62	89,85	89,95	90,01	90,13	90,22	90,29
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,25	88,49	88,60	88,65	88,78	88,87	88,94
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	511	502	497	494	493	485	481
Überlaufdauer T_{ue} [h]	572	552	544	539	530	524	518
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	297,4	297,5	297,5	297,5	297,6	297,6	297,7
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	198,4	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5	198,5
	Muldenverlust [%]						
Abweichung vom Ursprungswert	-61,5	-23,1	0,0	15,4	53,8	92,3	130,8
Regenabflussvolumen VQ_r [m³]	3,5	1,0	0,0	-0,6	-1,8	-2,7	-3,4
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	6,3	1,9	0,0	-1,1	-3,2	-4,8	-6,1
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	6,2	1,9	0,0	-1,0	-3,2	-4,8	-6,0
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	6,3	1,9	0,0	-1,0	-3,2	-4,8	-6,1
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	2,8	1,0	0,0	-0,6	-0,8	-2,4	-3,2
Überlaufdauer T_{ue} [h]	5,1	1,5	0,0	-0,9	-2,6	-3,8	-4,7
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sensitivitätsanalyse Fremdwasser (Q_{f24}): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Fremdwasser (Q_{f24}) [l/s]					
	5	**10**	**10,06**	**15**	**20**	**25**
Trockenwetterabfluss VQ_t [m³]	12835107	14097411	14112559	15359715	16622019	17884323
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	655804	660129	660182	664496	668903	673354
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	194350	196379	196404	198431	200506	202604
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	129943	131010	131023	132089	133178	134279
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	87,46	87,37	87,37	87,29	87,21	87,12
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	89,88	89,95	89,95	90,01	90,06	90,09
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,60	88,60	88,60	88,59	88,58	88,56
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	497	497	497	503	504	504
Überlaufdauer T_{ue} [h]	540	544	544	549	553	557
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	296,4	297,5	297,5	298,6	299,8	300,9
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	198,1	198,5	198,5	198,8	199,1	199,4
	Fremdwasser (Q_{f24}) [%]					
Abweichung vom Ursprungswert	**-50,3**	**-0,6**	**0,0**	**49,1**	**98,8**	**148,5**
Trockenwetterabfluss VQ_t [m³]	-9,1	-0,1	0,0	8,8	17,8	26,7
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	-0,7	-0,0	0,0	0,7	1,3	2,0
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	-1,0	-0,0	0,0	1,0	2,1	3,2
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	-0,8	-0,0	0,0	0,8	1,6	2,5
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,1	-0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	0,0	0,0	0,0	1,2	1,4	1,4
Überlaufdauer T_{ue} [h]	-0,8	0,0	0,0	0,8	1,7	2,3
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	-0,4	0,0	0,0	0,4	0,8	1,1
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	-0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5

Sensitivitätsanalyse Schmutzwasser (Q_{s24}): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

Ursprungswert bzw. Ergebnis der Langzeitsimulation aus Kapitel 5 Tabelle 16

	Schmutzwasser (Q_{s24}) [l/s]					
	35	**40**	**45**	**45,84**	**50**	**55**
Trockenwetterabfluss VQ_t [m³]	11375884	12638188	13900492	14112559	15162796	16425100
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	650773	655087	659445	660182	663849	668298
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	192024	194031	196061	196404	198114	200192
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	128717	129774	130843	131023	131923	133016
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	87,55	87,47	87,39	87,37	87,30	87,22
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	89,79	89,87	89,94	89,95	90,00	90,05
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	88,59	88,60	88,60	88,60	88,59	88,58
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	490	498	497	497	502	503
Überlaufdauer T_{ue} [h]	535	538	543	544	548	552
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	295,1	296,2	297,3	297,5	298,4	299,6
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	197,8	198,1	198,4	198,5	198,7	199,0
	Schmutzwasser (Q_{s24}) [l/s]					
Abweichung vom Ursprungswert	**-23,6**	**-12,7**	**-1,8**	**0,0**	**9,1**	**20,0**
Trockenwetterabfluss VQ_t [m³]	-19,4	-10,4	-1,5	0,0	7,4	16,4
Überlaufvolumen VQ_{ue} [m³]	-1,4	-0,8	-0,1	0,0	0,6	1,2
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$	-2,2	-1,2	-0,2	0,0	0,9	1,9
Mischwasserentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$	-1,8	-1,0	-0,1	0,0	0,7	1,5
$\eta_{,VQ}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2
$\eta_{,CSB}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
$\eta_{,AFS}$ Wirkungsgrad der Weiterleitung [%]	-0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anzahl Überlaufereignisse n_{-ue} [-]	-1,4	0,2	0,0	0,0	1,0	1,2
Überlaufdauer T_{ue} [h]	-1,8	-1,1	-0,2	0,0	0,7	1,5
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	-0,8	-0,4	-0,1	0,0	0,3	0,7
Überlaufkonzentration $c_{ue,CSB}$ [mg/l]	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,3

Sensitivitätsanalyse Trockenwetterkonzentration CSB ($c_{t,CSB}$): Zeitraum: 1996 bis 2003

Trockenwetterkonzentration CSB ($c_{t,CSB}$) [mg/l]																				
	400	**425**	**450**	**475**	**500**	**525**	**550**	**575**	**600**	**625**	**650**	**675**	**680**	**700**	**725**	**750**	**775**	**800**
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ [kg]	7133992	7486744	7839496	8192248	8545000	8897760	9250512	9603264	9956016	10308768	10661520	11014272	11084824	11367024	11719776	12072528	12425280	12778032
MWentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	190641	191155	191670	192185	192699	193214	193728	194243	194757	195272	195786	196301	196404	196815	197330	197845	198359	198874
$\eta_{t,CSB}$ Weiterleitungsgrad [%]	88,27	88,45	88,62	88,78	88,94	89,10	89,25	89,39	89,53	89,67	89,80	89,93	89,95	90,05	90,17	90,29	90,40	90,51
Überlaufkonzentration c_{ue} [mg/l]	288,80	289,50	290,30	291,10	291,90	292,70	293,40	294,20	295,00	295,80	296,60	297,30	297,50	298,10	298,90	299,70	300,50	301,20

Trockenwetterkonzentration CSB ($c_{t,CSB}$) [%]																		
Abweichung vom Ursprungswert	**-41,2**	**-37,5**	**-33,8**	**-30,1**	**-26,5**	**-22,8**	**-19,1**	**-15,4**	**-11,8**	**-8,1**	**-4,4**	**-0,7**	**0,0**	**2,9**	**6,6**	**10,3**	**14,0**	**17,6**
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ [kg]	-35,6	-32,5	-29,3	-26,1	-22,9	-19,7	-16,5	-13,4	-10,2	-7,0	-3,8	-0,6	0,0	2,5	5,7	8,9	12,1	15,3
MWentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	-2,9	-2,7	-2,4	-2,1	-1,9	-1,6	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,3	-0,1	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3
$\eta_{t,CSB}$ Weiterleitungsgrad [%]	-1,9	-1,7	-1,5	-1,3	-1,1	-0,9	-0,8	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	-0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
Überlaufkonzentration c_{ue} [mg/l]	-2,9	-2,7	-2,4	-2,2	-1,9	-1,6	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,3	-0,1	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2

Sensitivitätsanalyse Regenwasserkonzentration CSB ($c_{r,CSB}$): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

	Regenwasserkonzentration CSB ($c_{r,CSB}$) [mg/l]													
	100	**125**	**150**	**175**	**200**	**225**	**250**	**275**	**285**	**300**	**325**	**350**	**375**	**400**
Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$ [kg]	522792	653488	784184	914888	1045584	1176280	1306976	1437680	1489960	1568376	1699072	1829768	1960472	2091168
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ [kg]	10117656	10248352	10379056	10509752	10640448	10771144	10901840	11032544	11084824	11163240	11293936	11424632	11555336	11686032
MWentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	77999	93999	110000	126001	142001	158002	174003	190004	196404	206004	222005	238006	254006	270007
$\eta_{,CSB}$ Weiterleitungsgrad [%]	93,53	92,81	92,19	91,65	91,18	90,77	90,40	90,07	89,95	89,78	89,51	89,27	89,05	88,85
Überlaufkonzentration c_{ue} [mg/l]	118,10	142,40	166,60	190,90	215,10	239,30	263,60	287,80	297,50	312,00	336,30	360,50	384,80	409,00

	Regenwasserkonzentration CSB ($c_{r,CSB}$) [%]													
Abweichung vom Ursprungswert	**-64,9**	**-56,1**	**-47,4**	**-38,6**	**-29,8**	**-21,1**	**-12,3**	**-3,5**	**0,0**	**5,3**	**14,0**	**22,8**	**31,6**	**40,4**
Regenwasserfracht $SF_{r,CSB}$ [kg]	-64,9	-56,1	-47,4	-38,6	-29,8	-21,1	-12,3	-3,5	0,0	5,3	14,0	22,8	31,6	40,4
Mischwasserfracht $SF_{mw,CSB}$ [kg]	-8,7	-7,5	-6,4	-5,2	-4,0	-2,8	-1,7	-0,5	0,0	0,7	1,9	3,1	4,2	5,4
MWentlastungsfracht $SF_{ue,CSB}$ [kg]	-60,3	-52,1	-44,0	-35,8	-27,7	-19,6	-11,4	-3,3	0,0	4,9	13,0	21,2	29,3	37,5
$\eta_{,CSB}$ Weiterleitungsgrad [%]	4,0	3,2	2,5	1,9	1,4	0,9	0,5	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2
Überlaufkonzentration c_{ue} [mg/l]	-60,3	-52,1	-44,0	-35,8	-27,7	-19,6	-11,4	-3,3	0,0	4,9	13,0	21,2	29,3	37,5

Sensitivitätsanalyse Trockenwetterkonzentration AFS ($c_{t,AFS}$): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

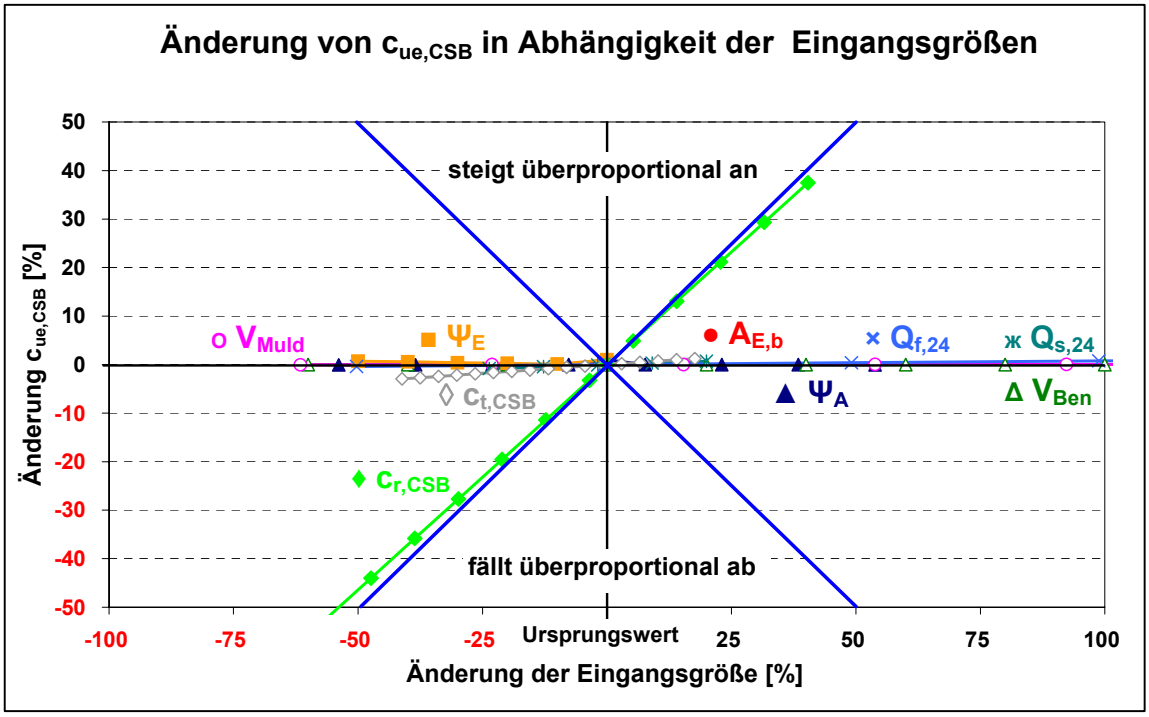
	Trockenwetterkonzentration AFS ($c_{t,AFS}$) [mg/l]													
	150	175	200	225	250	275	300	305	325	350	375	400	425	450
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$ [kg]	3136112	3488888	3841664	4194440	4547224	4900000	5252776	5323336	5605552	5958336	6311112	6663888	7016664	7369440
MWentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	127863	128373	128883	129392	129902	130412	130921	131023	131431	131941	132450	132960	133470	133979
$\eta_{,AFS}$ Weiterleitungsgrad [%]	86,77	87,11	87,43	87,73	88,02	88,29	88,55	88,60	88,79	89,02	89,24	89,45	89,65	89,85
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l	193,70	194,50	195,20	196,00	196,80	197,50	198,30	198,50	199,10	199,90	200,60	201,40	202,20	202,90

	Trockenwetterkonzentration AFS ($c_{t,AFS}$) [%]													
Abweichung vom Ursprungswert	-50,8	-42,6	-34,4	-26,2	-18,0	-9,8	-1,6	0,0	6,6	14,8	23,0	31,1	39,3	47,5
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$ [kg]	-41,1	-34,5	-27,8	-21,2	-14,6	-8,0	-1,3	0,0	5,3	11,9	18,6	25,2	31,8	38,4
MWentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	-2,4	-2,0	-1,6	-1,2	-0,9	-0,5	-0,1	0,0	0,3	0,7	1,1	1,5	1,9	2,3
$\eta_{,AFS}$ Weiterleitungsgrad [%]	-2,1	-1,7	-1,3	-1,0	-0,7	-0,3	-0,1	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l	-2,4	-2,0	-1,7	-1,3	-0,9	-0,5	-0,1	0,0	0,3	0,7	1,1	1,5	1,9	2,2

Sensitivitätsanalyse Regenwasserkonzentration AFS ($c_{r,AFS}$): **Zeitraum: 1996 bis 2003**

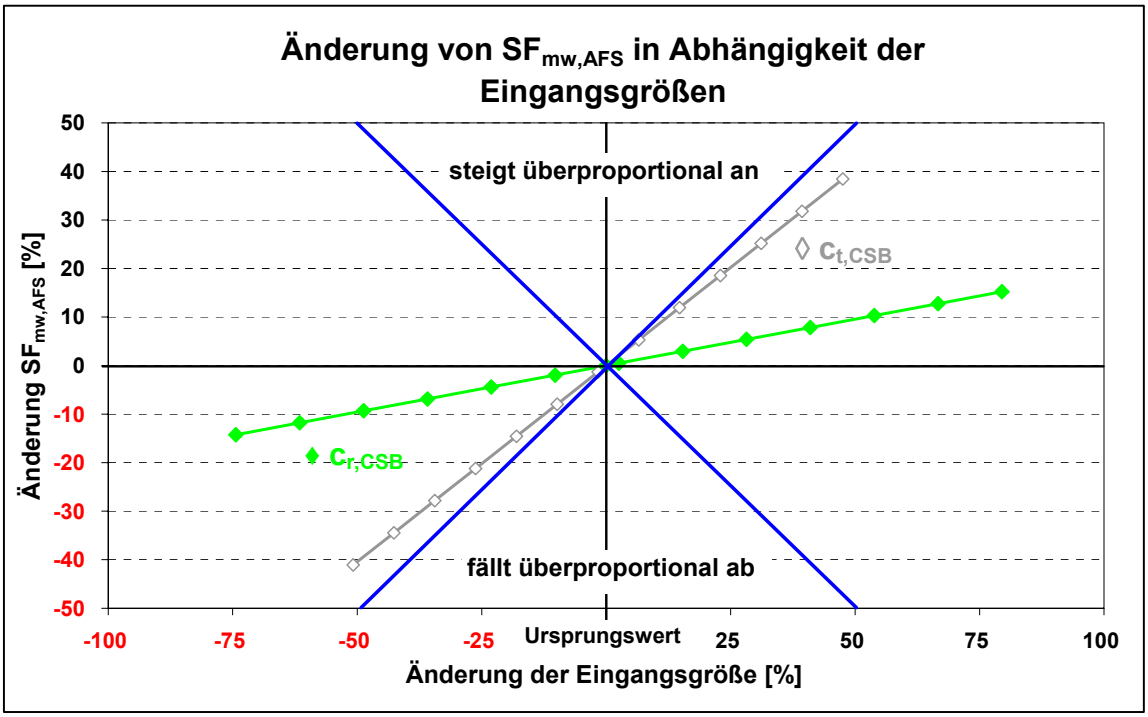
	Regenwasserkonzentration AFS ($c_{r,AFS}$) [mg/l]													
	50	**75**	**100**	**125**	**150**	**175**	**195**	**200**	**225**	**250**	**275**	**300**	**325**	**350**
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$ [kg]	261392	392096	522792	653488	784184	914888	1019440	1045584	1176280	1306976	1437680	1568376	1699072	1829768
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$ [kg]	4565288	4695984	4826680	4957376	5088072	5218776	5323336	5349472	5480168	5610864	5741568	5872264	6002960	6133656
MWentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	38219	54220	70221	86221	102222	118223	131023	134223	150224	166225	182226	198226	214227	230228
$\eta_{,AFS}$ Weiterleitungsgrad [%]	93,19	91,82	90,81	90,04	89,42	88,93	88,60	88,52	88,18	87,88	87,63	87,41	87,21	87,04
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	57,90	82,10	106,40	130,60	154,80	179,10	198,50	203,30	227,50	251,80	276,00	300,30	324,50	348,70

	Regenwasserkonzentration AFS ($c_{r,AFS}$) [%]													
Abweichung vom Ursprungswert	**-74,4**	**-61,5**	**-48,7**	**-35,9**	**-23,1**	**-10,3**	**0,0**	**2,6**	**15,4**	**28,2**	**41,0**	**53,8**	**66,7**	**79,5**
Regenwasserfracht $SF_{r,AFS}$ [kg]	-74,4	-61,5	-48,7	-35,9	-23,1	-10,3	0,0	2,6	15,4	28,2	41,0	53,8	66,7	79,5
Mischwasserfracht $SF_{mw,AFS}$ [kg]	-14,2	-11,8	-9,3	-6,9	-4,4	-2,0	0,0	0,5	2,9	5,4	7,9	10,3	12,8	15,2
MWentlastungsfracht $SF_{ue,AFS}$ [kg]	-70,8	-58,6	-46,4	-34,2	-22,0	-9,8	0,0	2,4	14,7	26,9	39,1	51,3	63,5	75,7
$\eta_{,AFS}$ Weiterleitungsgrad [%]	5,2	3,6	2,5	1,6	0,9	0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-1,6	-1,8
Überlaufkonzentration $c_{ue,AFS}$ [mg/l]	-70,8	-58,6	-46,4	-34,2	-22,0	-9,8	0,0	2,4	14,6	26,9	39,0	51,3	63,5	75,7



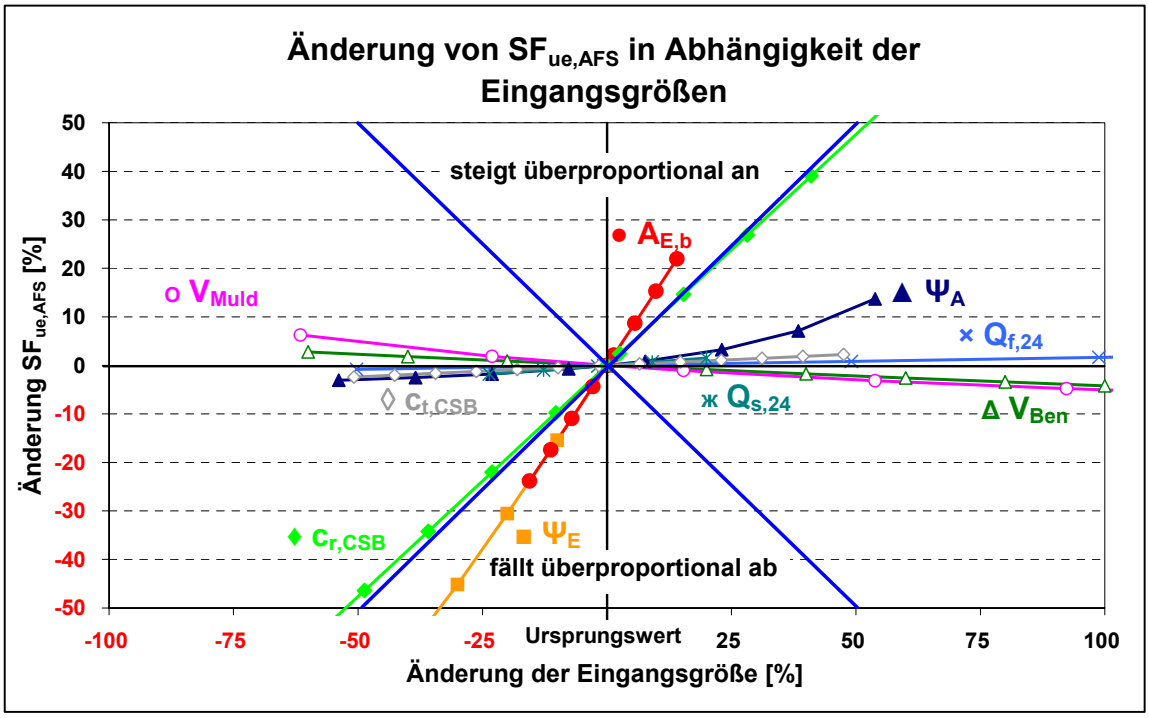
Änderung der CSB Überlaufkonzentration in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

Diese Abbildung zeigt, dass nur die Regenwetterkonzentration einen Einfluss auf die Überlaufkonzentration hat. Da das Ergebnis für die AFS Überlaufkonzentration ($c_{ue,AFS}$) das gleiche ist, wird dieses Diagramm nicht extra dargestellt.

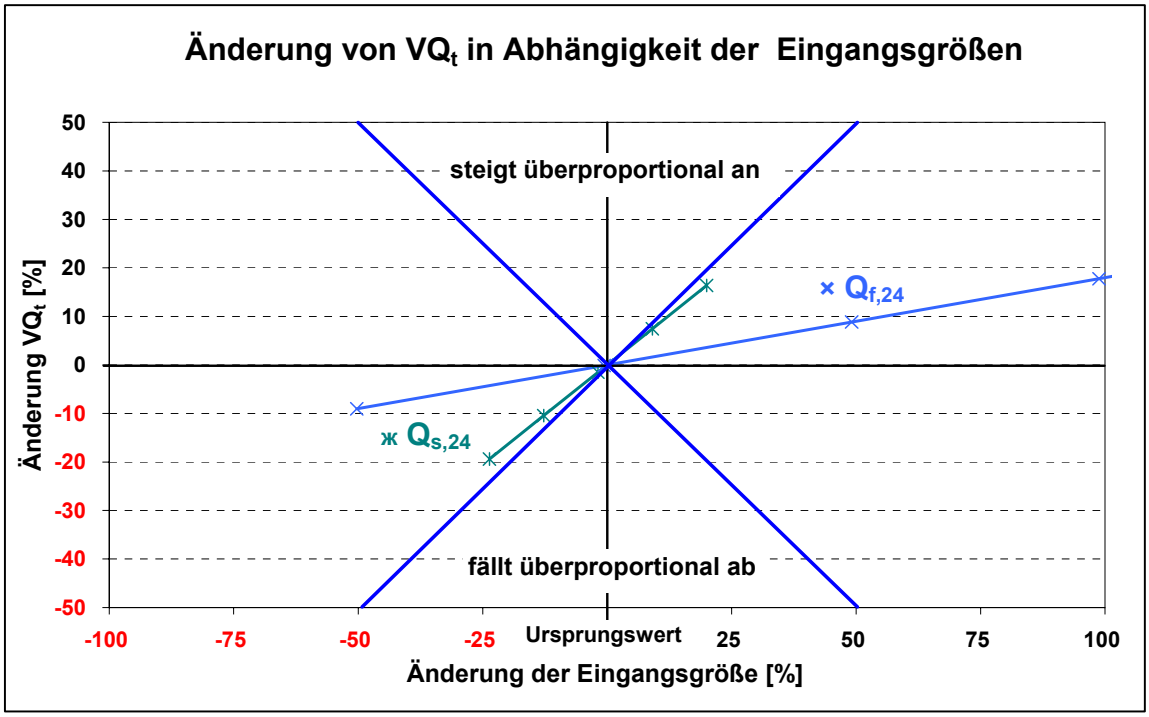


Änderung der AFS Mischwasserfracht in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

Die Abhängigkeiten der CSB Mischwasserfracht ($SF_{mw,CSB}$) von der mittleren Trockenwetter- und Regenwetterkonzentration sind die gleichen wie bei AFS. Daher wird dieses Diagramm nicht extra dargestellt.



Änderung der AFS Überlauffracht in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen



Änderung des Trockenwetterabflussvolumen in Abhängigkeit der Änderung der Eingangsgrößen

Die Sensitivitätsanalyse ergab, dass die Regenwasserfrachten von AFS und CSB ($SF_{r,CSB}$ und $SF_{r,AFS}$) eins zu eins mit der jeweiligen Regenwetterkonzentration steigen oder fallen. Sie werden daher nicht in einem Diagramm dargestellt.