



Diplomarbeit



zum Erwerb
des akademischen Grades Diplomingenieur
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

von

Christian Dorfer

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

Thema der Diplomarbeit:

Transportvorgänge in Mischwasserkanälen auf Basis von Online-Messungen

***Transportation Processes in Combined Sewer Systems
based on On-line Measurements***

Begutachter: Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz

Mitbetreuender Assistent: Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber

Graz, im Jänner 2005

ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, 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, Jänner 2005

Christian Dorfer eh.

Christian Dorfer

Danksagung

An die Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, welche mir durch ihre jahrelange Unterstützung die Ausbildung an der Technischen Universität Graz ermöglicht haben.

Für die Begutachtung meiner Diplomarbeit möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz bedanken.

Für die Betreuung beim Erstellen dieser Arbeit möchte ich Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber meinen Dank aussprechen

Ebenso möchte ich mich beim gesamten Laborteam des Institutes für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Kurzfassung

Im Rahmen des interuniversitären Forschungsprojektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ wurde im Stadtgebiet von Graz eine Online-Messstation an einem Mischwasserüberlauf errichtet. Primäres Ziel der seit Oktober 2002 betriebenen Kanal-Online-Messstation ist es, die in die Mur abgeschlagenen Schmutzfrachten onlinemäßig zu erfassen.

In dieser Diplomarbeit wurde versucht, auf Basis der vorhandenen Daten der Mischwasserentlastung in Graz Charakteristiken von Mischwasserabflüssen speziell in Bezug auf den so genannten Spülstoß herauszufinden. Eine weitere Aufgabe bestand darin, die errechneten Spektrometer-Konzentrationen einer direkt im Abwasserstrom eingebauten UV-VIS-Sonde bei Mischwasserabfluss durch konventionelle Beprobung und chemischer Analyse zu validieren. Mit den zur Validierung erforderlichen Mischwasserproben wurde auf Basis der Konservierungsvorschläge der ÖNorm EN ISO 5667-3 die Probenalterung bei verschieden langer Konservierungsart und -dauer systematisch untersucht.

Abstract

Within the scope of the Austrian research project “Innovative Technology for Integrated Water Quality Measurement” an online sewer monitoring station has been installed at a combined sewer overflow in Graz. The main goal of this since October 2002 operated measurement station is the quantification of the overflowing pollution loads into the river Mur by means of online techniques.

In this thesis investigations were tried out to characterise wet weather flow events on the base of existing data in the database of the project. Therefore special emphasis was placed on the evaluation of flush phenomena during wet weather conditions. Besides the calculated spectrometer concentrations of a UV-VIS spectrometer installed directly in the wastewater in the sewer system were validated during wet weather flow by means of automatic sampling and analytic determination in the laboratory. In addition to that the taken wet weather samples were systematically investigated concerning the influence of sample aging referring to the duration and preservation methods given by the OENORM EN ISO 5667-3 standard.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Motivation und Ziel	1.1
2	IMW – Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft	2.1
2.1	Einleitung:	2.1
2.2	Grundlagen:	2.1
2.2.1	Vorgeschichte:	2.1
2.2.2	Projektziele	2.1
2.2.3	Zusammenhang mit der EU – Wasserrahmenrichtlinie	2.2
2.3	Schwerpunkte	2.3
2.3.1	Inhaltliche Schwerpunkte	2.3
2.3.2	Untersuchungsprogramm	2.3
2.4	Messnetz	2.3
2.4.1	Überblick	2.3
2.5	Messnetzzentrale	2.4
2.5.1	Hardware	2.4
2.5.2	Software	2.4
2.6	Öffentliche Datenauswertung	2.4
2.7	Kanal–Online–Messstation Graz	2.5
2.7.1	Standort	2.5
2.7.2	Aufbau der Messstation	2.7
3	Charakterisierung des Spülstoßphänomens	3.1
3.1	Einleitung	3.1
3.2	Erklärung der Abkürzungen	3.2
3.3	Definitionen für den Spülstoß	3.2
3.3.1	30/80 Spülstoß	3.2
3.3.2	Signifikante Konzentrationsspitze	3.3
3.3.3	EPA Definition	3.4
3.3.4	FNDAE Definition	3.4
3.3.5	Definition nach Geiger	3.5
3.3.6	Definition von Gupta und Saul	3.6
3.4	Verschmutzungsfrachtverteilung vs. Abflussvolumen	3.6
3.4.1	M(V) Kurven von abflussbezogenen Frachtensummenlinien	3.6
3.4.2	Veränderlichkeit von M(V) Kurven	3.9
3.4.3	M(V) Diagramme von der Messstelle Graz	3.13
3.5	M(t) Diagramme	3.13
3.6	Auswertung der Ereignisse	3.15
3.6.1	Allgemeines	3.15
3.6.2	Überprüfung auf Vorhandensein von Spülstößen nach den unterschiedlichen Definitionen	3.18
3.6.3	Bestimmung der maximalen Neigung der Tangente im M(V) Diagramm	3.18
3.7	Unzulänglichkeiten der Spülstoßdefinitionen	3.21
3.7.1	30/80 Spülstoß	3.22
3.7.2	Signifikante Konzentrationsspitze	3.24
3.7.3	EPA Definition (1993)	3.25
3.7.4	FNDAE Definition (1988)	3.25
3.7.5	Definition nach Geiger (1984)	3.26

4 Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen	4.1
4.1 Messstation Graz	4.1
4.2 Motivation	4.1
4.3 Studie von Stumwöhler et al. (2003).....	4.3
4.3.1 Beschreibung der Studie.....	4.3
4.3.2 Mögliche Ursachen nach Stumwöhler et al. (2003)	4.5
4.4 Multi-Spektrolyser und 2-Wellenlängen-Spektrolyser	4.5
4.4.1 Zwei-Wellenlängen-Spektrolyser	4.5
4.4.2 Multi-Spektrolyser	4.6
4.5 Auswertungen von Mischwasserereignissen an der Messstation Graz	4.6
4.5.1 Probenahme	4.6
4.5.2 Spektrometermessungen.....	4.7
4.5.3 Probleme mit den Messungen der Sonde im Zeitraum Juli bis August 2004.....	4.7
4.5.4 Auswertungen der Ereignisse	4.10
4.5.5 Interpretation der Ereignisse.....	4.14
4.6 Schlussfolgerung	4.15
5 Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben	5.1
5.1 Allgemeines	5.1
5.2 Motivation	5.2
5.3 Bisherige Untersuchungen über den Einfluss der Probenalterung	5.3
5.3.1 Geiger (1984).....	5.3
5.3.2 Baurès et al. (2004)	5.4
5.3.3 Probenkonservierung nach ÖNORM EN ISO 5667-3 (2004).....	5.6
5.4 Einfluss der Probenalterung von Mischwasserproben der Messstation Graz	
.....	
.....	5.8
5.4.1 Probenahme, Probentransport.....	5.8
5.4.2 Probenkonservierung und Probenlagerung	5.9
5.4.3 Auswertungen.....	5.9
5.5 Gegenüberstellungen der Auswertungen.....	5.10
5.5.1 Beschreibung der Ereignisse	5.15
5.6 Schlussfolgerung	5.15
6 Zusammenfassung und Ausblick	6.1
7 Literaturverzeichnis	7.1
8 Anlagen	8.1

1 Einleitung, Motivation und Ziel

In Graz wird von Seiten des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau seit Oktober 2002 eine Online-Messstation an einem Mischwasserüberlauf betrieben. Hauptziel dieser ist neben der Erfassung der Häufigkeit und Dauer von Entlastungsereignissen in den Vorfluter Mur die onlinemäßige Erfassung von abgeschlagenen Schmutzfrachten

Das Herzstück der Station ist ein direkt im Abwasserstrom in einem schwimmenden Ponton eingebauter Multi-Spektrometer. Dieser bestimmt mit Hilfe von Absorptionsmessungen Äquivalenzkonzentrationen von Summenparametern wie z.B. den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) oder die Abfiltrierbaren Stoffe (AFS). Weiters werden mit der Messstation noch andere Parameter bestimmt, wie der Zufluss in die Mischwasserkammer und der Abfluss im Entlastungskanal. Von dieser Messstation existiert nun seit Oktober 2002 eine große Datenmenge.

Grundlagen zur Bemessung solcher Regenentlastungsbauwerke sind in Österreich im ÖWAV-Regelblatt 19, Richtlinien für die Bemessung von Regenentlastung in Mischwasserkanälen angegeben, welches derzeit gerade überarbeitet wird. Abwasseremissionen in Oberflächengewässer werden in Österreich mit der „Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung“ (AAEV) begrenzt. In der AAEV sind zu speziellen Abwässern eigene branchenspezifische Abwasserverordnungen taxativ aufgezählt, die in der Zwischenzeit auch fast alle schon erschienen bzw. in Kraft getreten sind. Eine dieser Verordnungen, die zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Diplomarbeit noch fehlt, betrifft die Einleitung von Mischwasser (AEV Mischwasser). In dem neu überarbeiteten ÖWAV Regelblatt 19 sollen nicht mehr nur konstruktive Vorgaben zur Bemessung von Entlastungsbauwerken, sondern viel mehr auch Zielvorgaben über zukünftige Mindestweiterleitungsgrade zu den Kläranlagen gemacht werden.

Um diese Mindestweiterleitungsgrade bestimmen zu können, müsste jede Mischwasserentlastung mit einer Durchflussmessung und einer Konzentrationsmessung ausgestattet werden. Eine vollkommen messtechnische Überwachung ist einerseits auf Grund der Finanzierbarkeit und andererseits auf Grund der anfallenden Datenmengen sicherlich nicht durchführbar.

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist es, auf Basis der bereits vorhandenen Daten Charakteristiken von Mischwasserabflüssen speziell in Bezug auf den sogenannten Spülstoß herauszufinden.

Bei dem oben beschriebene Multi-Spektrometer wurde die sogenannte globale Kalibration (=Werkseinstellung), die den Zusammenhang von Absorptionen und daraus abgeleiteten Konzentrationen darstellt, schon in mehreren 24h-Messkampagnen unter Trockenwetterbedingungen mit Laborwerten überprüft. Diese haben gezeigt, dass die mit dem Spektrometer ausgelieferte globale Kalibration auf die vorherrschende Abwassermatrix bei Trockenwetterbedingungen nur bedingt anwendbar ist. Mit den Erkenntnissen der bisher durchgeführten Messkampagnen konnte die Kalibration bei Trockenwetterabflüssen deutlich verbessert werden.

Relativ wenig ist bisher allerdings über die Genauigkeit des Sensors bei Mischwasserabfluss bekannt. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, die Genauigkeit und Anwendbarkeit des Sensors bei Mischwasserabflussverhältnissen zu validieren.

Dafür wurden bei einigen Mischwasserereignissen Mischwasserproben aus dem Kanal entnommen, im Labor analysiert und mit den Messungen der Sonde verglichen. Da es zwischen der Probenahme vor Ort im Kanal und der Analyse im Labor in der Regel zu Verzögerungen kommt, sind in den entsprechenden Normen verschiedene Konservierungsarten und dazugehörige maximale Konservierungsdauern der Proben vorgeschlagen. Dabei wurden bei einer Messkampagne erhebliche Unterschiede der Konzentrationen von sofort analysierten und nach 14 Tagen eingefrorenen und wieder aufgetauten Proben festgestellt. Dabei war jedoch bisher kein einheitlicher Trend in Bezug auf die Konservierungsdauer und Änderungen der Konzentrationen feststellbar. Ein weiteres Ziel war es daher, die gewonnenen Mischwasserproben systematisch bezüglich unterschiedlicher Konservierungsarten zu untersuchen.

In den Rahmen der Diplomarbeit fiel auch der Betrieb und die Wartung der Messstation während der Sommermonate.

2 IMW – Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft

2.1 Einleitung:

Das Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur, das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz, das Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien sowie die DDI Dieter Depisch und DI Silvia Kerschbaumer-Depisch ZT GmbH wurde im September 2001 mit der Durchführung des Forschungsprojektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ (im Folgenden IMW genannt) beauftragt. (Depisch, 2004)

2.2 Grundlagen:

2.2.1 Vorgeschichte:

Das Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur, das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz, das Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien sowie die DDI Dieter Depisch und DI Silvia Kerschbaumer - Depisch ZT GmbH haben in den Jahren 1998 und 1999 gemeinsam zwei Forschungsprojekte mit den Themen „Innovative Messtechnik und Messdatenverarbeitung für den integrierenden Gewässerschutz“ und „Innovative Messtechnik und Simulation für die Abwasserreinigung“ abgewickelt.

Während der über einjährigen Messerfahrung auf einer Kläranlage und an mehreren Stellen eines kleineren (ländlichen) Vorfluters ergaben sich jedoch noch eine Vielzahl von Fragestellungen, die vor weiterführenden Simulationen in diesen Bereichen noch unbedingt geklärt werden sollten, um die dafür erforderlichen Datenqualität und –quantität zu erreichen.

Darüber hinaus konnten durch die Projekte insbesondere im Bereich der Spektrometrie und Respirometrie Grundlagen erarbeitet werden, die einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von Prototypen geleistet haben. So haben die Erfahrungen über den Einsatz von Mehrfrequenz-UV-VIS Sonden in der Zwischenzeit zur Entwicklung eines marktfähigen Produktes beigetragen.

Mit dem vorliegenden Projekt „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft – Einsatz von Messstationen im Gewässer und auf der Kläranlage“ wurde eine Fortsetzung der beiden Vorgänger – Projekte angestrebt (Depisch, 2004).

2.2.2 Projektziele

Entgegen den ursprünglichen Überlegungen einer möglichst schnellen und umfassenden Modellierung (bzw. Simulation) der ablaufenden Vorgänge, sollte in der Fortsetzung nun nochmals der Schwerpunkt auf den Bereich „Messtechnik“ (insbesondere in der Entwicklung von Online-Messsystemen) gelegt werden, zumal in diesem Bereich ein erhebliches Forschungs- und Entwicklungspotential erblickt werden konnte.

Ziel des Einsatzes von kontinuierlichen Messsystemen im Langzeitversuch ist die Erfassung von Messreihen, die eine Identifikation von Perioden (Tages-, Wochen-, und Jahresgänge) und Trends ermöglichen. Erst durch die zuverlässige Messung von Perioden und Trends können Einzelereignisse (Stossbelastungen, Punkteinleiter) als solche erkannt, erfasst und ausgewertet werden.

Durch die quasikontinuierlichen Messungen mit Sonden können sowohl kontinuierliche und länger dauernde Zeitreihen (z. B. Von Gewässerabschnitten) als auch kurzzeitige „Ereignisse“ beobachtet werden. Damit sollen dann neben einer Erfassung eines Grundzustandes (Tages-, Wochen-, und Jahresgänge) insbesondere auch punktförmige Einleitungen und besondere Ereignisse am Gewässer und in abwassertechnischen Anlagen (in der Kanalisation und in der Kläranlage) qualifiziert beobachtet werden.

2.2.3 Zusammenhang mit der EU – Wasserrahmenrichtlinie

Eine nachhaltige Wassernutzung zu fördern ist ein wesentliches Ziel der Europäischen Wasserpolitik. Dies ist auch eine der wichtigsten Zielvorgaben der im Dezember 2000 im Amtsblatt der Europäischen Union verlautbarten EU-Wasserrahmenrichtlinie (im folgenden EU-WRRL).

Unabhängig davon kann man davon ausgehen, dass diese positive Zielformulierung nichts am problemorientierten Ansatz des Gewässerschutzes ändert. Dies wird auch in den anderen Zielen der EU-WRRL zum Ausdruck gebracht. Hier wird vorangestellt, dass eine weitere Verschlechterung des Zustandes aquatischer Ökosysteme und eine weitere Verschmutzung des Grundwassers zu verhindern ist.

Die vorrangigen Aufgaben des Gewässerschutzes sind ständig an die sich ändernden Rahmenbedingungen anzupassen. Diese Rahmenbedingungen werden einerseits durch die Wassernutzer und andererseits durch die technischen Möglichkeiten des Gewässerschutzes gesetzt. Die Schwerpunkte des Gewässerschutzes haben sich in den letzten Jahrzehnten von allgemeinen hygienischen Verbesserungen über die Verringerung der organischen Verschmutzung und der Kontrolle des Nährstoffeintrages zu den aktuellen Themen der Mikroverunreinigungen weiterentwickelt.

Die Entwicklung von technischen Möglichkeiten ein Wasserqualitätsproblem zu identifizieren und zu quantifizieren, geht oftmals mit aktuellen Fragestellungen einher. Bisweilen können neue Messtechniken sogar neue Prioritäten des Gewässerschutzes bestimmen.

So wie neue Analysetechniken einen immer weitgehenderen Einblick in die Zusammensetzung von natürlichen Stoffgemischen ermöglichen, ergibt sich auch durch Online-Messtechniken ein immer detaillierterer Einblick in das zeitliche und örtliche Verhalten eines Gewässers.

Für einige Aufgabenstellungen des Gewässerschutzes sind automatisierte kontinuierliche Echtzeitmessungen unabdingbare Voraussetzungen, bei anderen kann deren Einsatz zu einer deutlichen Verringerung von Kosten führen.

2.3 Schwerpunkte

Das Forschungsprojekt ist breit gefächert und umfasst viele Themenbereiche der Wasserwirtschaft. Im Folgenden sind die Schwerpunkte des Projektes nach ihrem Inhalt und ihrem Untersuchungsprogramm gegliedert und stichwortartig aufgezählt (Depisch, 2004).

2.3.1 Inhaltliche Schwerpunkte

Messtechnik

- Untersuchung des Langzeiteinsatzes einer Mehrfrequenz–UV–VIS–Sonde und anderer innovativer Sensorsysteme
- Entwicklung einer modularen Messstation für den Einsatz an unterschiedlichen wasserwirtschaftlichen Themenstellungen

Messdatenverarbeitung:

- Entwicklung von Auswerteroutinen, die direkt an der Messstation angewendet werden sollen (Datenreduktion)
- Automatische Übertragung von Messdaten der einzelnen Stationen in eine zentrale Messdatenbank
- Zugang zu den Daten über Internet
- Reduktion von „Rohdaten“ ohne Informationsverlust
- Bewertung und Aggregation der Daten
- Fernwarnung und –steuerung der Messstation

Automatische Messdatenauswertung und Ereignissteuerung:

- Automatisierte Probenahme

Messsystem:

- Konventionelle, elektrochemische Messgrößen (Temperatur, O₂, pH – Wert, Redox, Leitfähigkeit)
- UV–Absorption 200 – 750 nm
- Kontinuierliche Atmungsmessung
- (Sulfat und/oder Chlorid als Abwasseranzeiger)

2.3.2 Untersuchungsprogramm

- Quantifizierung von Stofffrachten aus Mischwasserentlastungen (TU Graz)
- Einfluss von gereinigtem Abwasser auf andere Gewässer (BOKU)
- Respirometrie und Belastungsmonitoring an einer Kläranlage (TU Wien)

2.4 Messnetz

2.4.1 Überblick

Im Projekt werden derzeit 3 Messstationen betreut (**Abbildung 2-1**)

- Gewässermonitoring an der Donau
- Abwasserreinigung im Raum Wien
- Kanalmonitoring in Graz

Eine vierte Messstation (Kanalmonitoring in Wien) soll demnächst auf Basis der Erfahrungen mit der Kanalmonitoring-Messstation in Graz hinzugefügt werden.

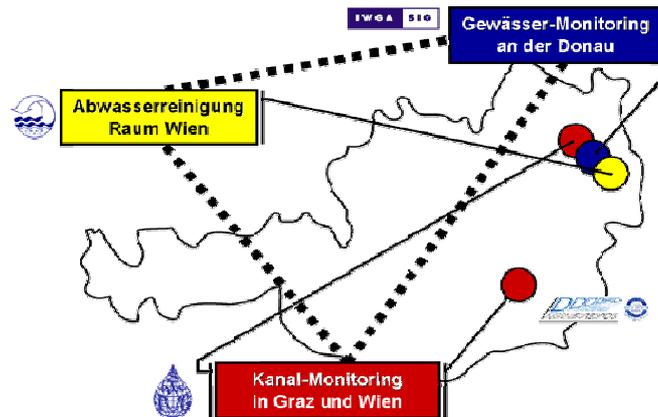


Abbildung 2-1: Übersicht über die Standorte der Messstationen (Depisch 2004)

2.5 Messnetzzentrale

2.5.1 Hardware

Die zentralen Aufgaben des IMW Systems werden von einem einzigen Zentralserver (**Abbildung 2-2**) wahrgenommen. Auf diesem Zentralserver werden einerseits die Applikationen des Systems installiert und ausgeführt und andererseits befinden sich auf ihm die zentrale Datenbank mit Metadaten und Messwerten aller Messstationen.

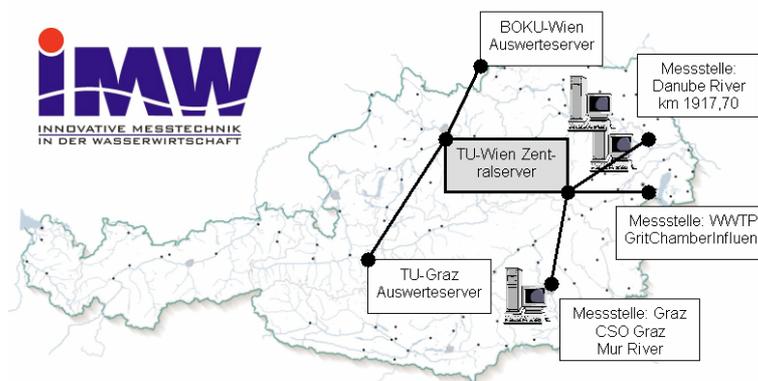


Abbildung 2-2: Geographische Lage der Server und der Messstellen im IMW-Messnetz

2.5.2 Software

Die Benutzeroberfläche der IMW Messnetzzentrale ist als Web–Applikation ausgeführt und kann mit jedem modernen Web–Browser mit JavaScript Support bedient werden.

2.6 Öffentliche Datenauswertung

Die wichtigsten Eckdaten des Projektes können über das Internet unter <http://www.imw.ac.at/> abgerufen werden.

Auf der Webseite sind neben einer kurzen Projektdefinition, die einzelnen Projektzielen, Informationen zu den Projektpartner bzw. zu den einzelnen Messstationen vor allem aber auch die Messdaten der Stationen abrufbar.

2.7 Kanal–Online–Messstation Graz

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz führt im Rahmen des IMW–Projektes an einem Mischwasserentlastungsbauwerk Online–Messungen durch. Im Folgenden wird die Messstation CSO–Graz (engl.: combined sewer overflow) bezüglich ihres Standortes und Aufbaues beschrieben.

2.7.1 Standort

Anforderungen:

An den Standort der Kanal – Monitoring – Messstation in einem urbanen Gebiet wurde eine Reihe von Anforderungen gestellt:

- Mischwasserentlastung ohne Vorentlastung
- Zugänglichkeit und Platz für das Aufstellen eines Messcontainers für die Unterbringung der nicht explosionsgeschützten elektronischen Geräte
- Vorhandensein der erforderlichen Infrastruktur (Strom, Wasser, Internetbreitbandanbindung)
- Nähe zum Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz
- Ausreichender Schutz gegen Vandalismus und besonderes Augenmerk auf Unauffälligkeit

Auf Basis dieser Anforderungen wurde der jetzige Standort der Messstation am orographisch rechten Murofer in unmittelbarer Nähe der Bertha von Suttner Friedensbrücke (siehe **Abbildung 2-3**) gewählt.

Ein weiterer äußerst positiver Aspekt des gewählten Standortes ist, dass der Gebäudekomplex in unmittelbarer Nähe des Containers die Heizzentrale eines Möbelhauses beherbergt, von der die Messstation den erforderlichen Strom und das Reinwasser bezieht. Außerdem ist über den Parkplatz des Möbelhauses eine optimale Zufahrtsmöglichkeit zum Messcontainer gegeben.

Das zu entlastende Einzugsgebiet des gewählten Standortes weist eine gesamte Größe von 350ha auf, in welchem ca. 13.000 Personen leben bzw. arbeiten.

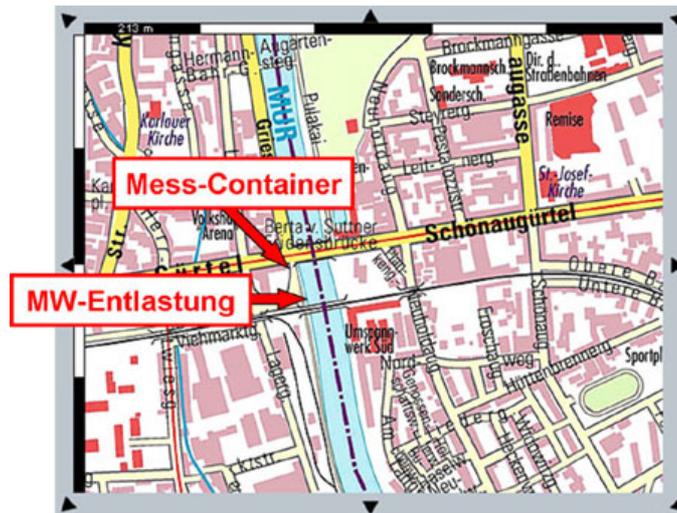


Abbildung 2-3: Standort der Kanal-Online-Messstation Graz mit der dazugehörigen Mischwasserentlastung in die Mur und dem Standplatz für den Messcontainer (Gruber et al., 2003)

Geometrie der Mischwasserentlastung:

Die Mischwasserentlastung besteht aus einem Mischwasserüberlauf mit einer gekrümmten Beton-Überlaufschwelle, einer kurzen Drosselstrecke (DN 600), einer Mischwasserkammer und einem zur Mur führenden Entlastungskanal mit einer Länge von ca. 90 m.

Wie in **Abbildung 2-4** ersichtlich mündet die Drosselstrecke nach ca. 3 m in einen der großen Hauptsammler des Kanalnetzes von Graz, welche die Zugänglichkeit zur Mischwasserkammer erschwert, da er diese durchquert. Der einzige direkt in die Kammer führende Schacht befindet sich direkt unter einer der meist befahrenen Straßen von Graz. Ein Zugang über diesen Schacht ist nur möglich, wenn eine Richtungsfahrbahn gesperrt wird. Der Zugang zur Mischwasserkammer über den ca. 90 m langen Entlastungskanal ist auf Grund der geltenden Sicherheitsbestimmungen für den Einstieg in Kanalisationsanlagen nicht zulässig.

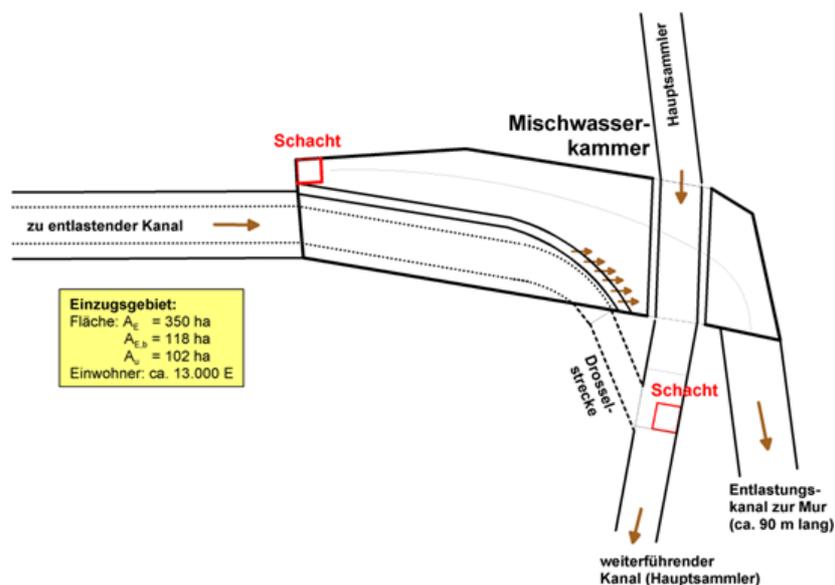


Abbildung 2-4: Die Geometrie des Mischwasserentlastungsbauwerkes (Gruber et al. 2003)

Da ein regelmäßiger Zugang zur Kammer für die Wartung unbedingt erforderlich ist, wurden von Seiten des Kanalbauamtes der Stadt Graz zwei wesentliche Baumaßnahmen durchgeführt. Zum einen wurde in unmittelbarer Nähe der Mischwasserkammer auf den Entlastungskanal ein zusätzlicher Schacht gesetzt, der einen regelmäßigen Zugang unter einigermaßen gesicherten Bedingungen ermöglicht. Zum anderen wurden durch die Decke der Mischwasserkammer 3 Kernbohrungen gebohrt, durch welche alle erforderlichen Messkabel und Schläuche aus der Kammer in den Messcontainer an der Erdoberfläche geführt werden können.

Die anfallenden Daten werden über ein ca. 200 m langes direkt im Kanal verlegtes Glasfaserkabel zum benachbarten Veterinäramt der Stadt Graz übertragen.

2.7.2 Aufbau der Messstation

2.7.2.1 Allgemeiner Aufbau der Messstation

Einer der inhaltlichen Schwerpunkte des IMW – Projektes bezüglich der Messtechnik war es, eine modulare Messstation zu entwickeln, welche an unterschiedlichen wasserwirtschaftlichen Themenstellungen einsetzbar ist. Eine Übersicht über die installierten Mess- bzw. Überwachungssysteme des CSO Graz zeigt die **Abbildung 2-5**.

In weiterer Folge werden die einzelnen zum Einsatz kommenden Komponenten etwas näher beschrieben.

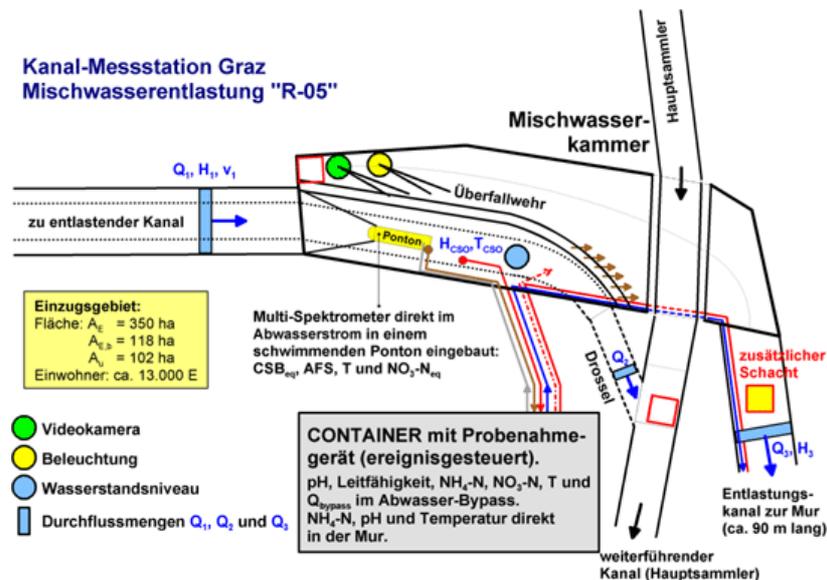


Abbildung 2-5: Übersicht über die eingebauten Mess- und Überwachungssysteme in der Kanal-Monitoring-Messstation Graz (Mischwasserentlastung) (Gruber et al., 2003)

2.7.2.2 Messtechnische Einrichtungen

Ponton mit eingebautem Multi – Spektrometer

Zentraler Sensor der Online – Messstation Graz ist die Multispektrolysonde der Firma s::can. Mit Hilfe dieser Sonde werden nicht nur, wie bei konventionellen spektrometrischen Laboruntersuchungen üblich nur die Absorption bei einer bestimmten Wellenlänge gemessen (wie z.B. bei der photometrischen Bestimmung von Ammonium – Stickstoff), sondern ein ganzes Absorptionsspektrum im

Wellenbereich von 200 bis 750 nm mit einer Schrittweite von 2,5 nm. Hierfür sendet eine Xenon-Lampe insitu im Abwasserstrom Lichtblitze aus, welche auf der einen Seite in einem Intensitätsdetektor gemessen und mit einem Referenzstrahl verglichen werden. Diese ermittelten Absorptionsspektren werden auf der einen Seite als Rohsignale direkt gespeichert und auf der anderen Seite können daraus Äquivalenzwerte eines Abwassersummenparameters (CSB_{eq} , AFS_{eq} und NO_3-N_{eq}) ermittelt werden. Die hierfür erforderliche Software ist auf dem im Container befindlichen Industrie-PC installiert. Somit erhält man einerseits die gemessenen Rohdaten (Spektren, Fingerprints) und parallel dazu mit Hilfe der entsprechenden Kalibrationen die Konzentrationen der Äquivalenzsummenparameter.

Das Ponton, in dem sich der Multi-Spektrometer befindet, ist zur Erfassung der organischen Kohlenstoffverbindungen, der Feststoffkonzentrationen, des Nitrates und der Abwassertemperatur direkt im Abwasserstrom eingebaut. Um nicht nur im Falle von Entlastungsereignissen Informationen über die Abwasserqualität zu erhalten, wurde der Ponton mit dem Multi-Spektrometer zur Erfassung der in den Vorfluter abgeschlagenen Schmutzfrachten nicht im Entlastungskanal, sondern in der Schmutzwasserrinne des Zulaufkanals montiert. Dafür wurde der Ponton mit Stahlseilen von der Decke der Mischwasserkammer abgehängt und mit zusätzlichen Seilen von der Rück- und Seitenwand der Kammer fixiert (**Abbildung 2-6**).

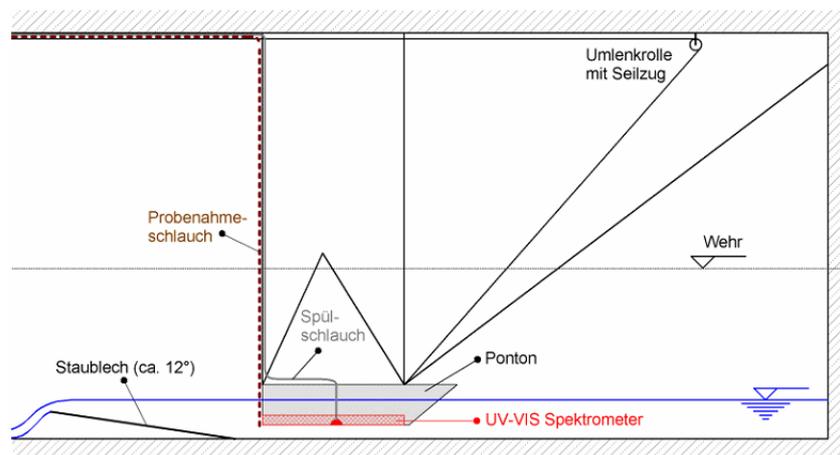


Abbildung 2-6: Schnitt durch Ponton mit Ansaugschlauch und Seilzug (Gruber et al. 2003)

Dies garantiert zum einen ein Eintauchen des Messfensters auch bei geringsten Abwassermengen während der Nachtstunden und zum anderen im Entlastungsfall einen repräsentativen Messort des Messfensters im Bereich der Überlaufschwelle, sowie eine Rückkehr des Pontons in die Schmutzwasserrinne nach Regenereignissen.

Ein im Trockenwetterabflussgerinne installiertes Staublech unterhalb des Pontons ermöglicht das Aufstauen des Abwassers vor allem während der Nachtminima und verringert dadurch die Gefahr der anfänglich ohne dem Einbau dieses Staublechens verursachten Verzopfungen (siehe **Abbildung 2-6**).

Ionenselektive Sonden, Bypass

Neben den Spektrometer-Parametern wurde auch noch versucht, einige Parameter mit ionen-selektiven Sonden der Firma Nadler kontinuierlich zu messen. Diese verfügen jedoch über keine entsprechende Explosionsschutz-Zertifizierung, was zur

Folge hatte, dass aus dem Kanal zusätzlich auch noch ein Bypass betrieben werden musste. Durch diesen kann aus dem Kanal über einen Saugschlauch Abwasser in den Container gesaugt, über eine mit den Ionen-selektiven Sonden bestückte Messstrecke geführt und anschließend über ein Rohr wieder in den Kanal zurückgeleitet werden. Außerdem ist der Bypass auch noch mit einer Leitfähigkeitssonde der Firma Neukum und einem MID (magnetisch induktives Durchflussmessgerät) bestückt. Die regelmäßige Spülung dieser Sonden erfolgt mit Trinkwasser.

Durchflussmeseinrichtungen im Kanal

Um Schmutzfrachten zu ermitteln, sind neben Konzentrationen auch Durchflussmessungen erforderlich. In **Abbildung 2-5** wurden bereits die drei Durchflussmessungen Q_1 (Zufluss zur Mischwasserkammer, inflow), Q_2 (Durchfluss in der Drossel, outflow) und Q_3 (Entlastungsdurchfluss, spillflow) graphisch dargestellt.

Der Zufluss zur Mischwasserkammer Q_1 wird mit Hilfe eines berührungslosen Radarmessgerätes gemessen. Die Ermittlung der durchflossenen Querschnittsfläche erfolgt hierbei durch einen Ultraschall-Höhenstandssensor. Die mittlere Geschwindigkeit wird mit Hilfe des Radar-Doppler-Verfahrens ermittelt. Voraussetzung ist das Vorhandensein von Oberflächenwellen, an denen die ausgesendeten Radarwellen reflektiert werden. Dies führte vor allem in den Nachtstunden bei kleinen Abflüssen zu fehlerhaft gemessenen Abflussmengen.

Die entlasteten Abflussmengen werden mittels einer Ultraschall-Kreuzkorrelations-Sonde mit externem Höhenstandssensor gemessen.

Leider ist es bis dato nicht möglich gewesen, den weiterführenden Drosselabfluss messtechnisch zu erfassen. Für die zumindest temporäre Messung der durch die Drosselstrecke abfließenden Wassermengen (Q_2) wird für eine möglichst vollständige hydraulische Bilanzierung des Mischwasserüberlaufes noch ein geeignetes Messverfahren gesucht.

2.7.2.3 Sonstige Einrichtungen

Industrie – PC con::stat

Die Steuerung der gesamten Messstation übernimmt ein Industrie-PC (con::stat). Dieser Computer dient als Bedien- und Eingabegerät und wurde eigentlich speziell für den Einsatz der Spektrometersonde konzipiert. Für das IMW-Projekt wurden jedoch auch die Ionen-selektiven Sonden, die Leitfähigkeitssonde und die Durchfluss- und Höhenstandsmesssysteme über diesen Industrie-PC eingebunden. Der con::stat übernimmt zum einen die Steuerung der angeschlossenen Geräte (Sonden, Videorekorder, Scheinwerfer und Probenehmer) und zum anderen die Auswertung und Speicherung der erfassten Messdaten sowie in weiterer Folge die Übertragung dieser in die Messnetzzentrale.

Videoüberwachung in der Mischwasserkammer

Das Videosignal der Videokamera im Inneren der Mischwasserkammer wird einerseits mit Hilfe der Internet-Breitband-Anbindung ins Internet gestreamt und andererseits können damit mit Hilfe eines Videorekorders ereignisgesteuerte Videos aufgenommen werden. Der Videorekorder im Messcontainer schaltet sich dafür

zusammen mit einem 500W-Scheinwerfer in der Mischwasserkammer ab einer definierten Wasserstandshöhe (H_{Chamber}) ein. Dadurch ist es auch möglich alle Entlastungsereignisse auf Video aufzunehmen.

Probenahmegerät

Das Probenahmegerät der Firma American Sigma ist über einen ca. 10 m langen Schlauch direkt mit dem Heck des Pontons verbunden. Damit kämen Abwasserproben mit annähernd den gleichen Abwasserqualitäten, die sich zur Zeit der Probenahme am Sichtfenster des Multi-Spektrometers befindet, gewonnen werden. Das Probenahmegerät ermöglicht eine einfache und ungefährliche Art der Probenahme bei Überlaufereignissen. Der Innenraum des Probenehmers ist mit einer Kühlzelle ausgestattet und dient zur vorübergehenden normgerechten Konservierung der gezogenen Proben.

Kompressor

Sowohl die s::can-Sonde als auch die ionenselektiven Elektroden bedürfen einer regelmäßigen Spülung. Dies geschieht im Falle der s::can-Sonde mit Hilfe des Mediums Luft. Die erforderliche Luftmenge (ca. 5 bar) wird mit Hilfe eines Kompressors zur Verfügung gestellt. Gesteuert wird die Spülung durch den Industrie-PC über einen der vier digitalen Ausgänge. Vor jeder fünften Messung (also alle 15 Minuten im Standardintervall, im Intensivintervall alle 5 Minuten) wird eine Spülung ausgelöst. Die ionenselektiven Elektroden werden regelmäßig mit Reinwasser gespült.

3 Charakterisierung des Spülstoßphänomens

3.1 Einleitung

Seit Jahren ist das Phänomen des Spülstoßes, im Englischen auch „First Flush“ genannt, in Kanälen (in Misch- und Trennkanalisationen) Gegenstand von vielen Diskussionen zwischen denen, die ihn gesehen haben wollen und denen, die nicht an ihn glauben. Trotz der vielen Behauptungen ist das Phänomen des Spülstoßes bis heute nicht klar definiert. Die Wichtigkeit seiner Definition ist deshalb bedeutend, da die Kenntnis darüber maßgeblich für die Dimensionierung von Kanalanlagen, besonders von Regenüberlaufbecken und Steuerungsmaßnahmen in der Kanalisation ist.

Die in Mischwassernetzen auftretenden Schmutzfrachten können im Wesentlichen folgenden Stoffquellen zugeordnet werden:

- Trockenwetterabfluss
- Stoffeintrag von der Oberfläche
- Remobilisierung von Kanalablagerungen und Sielhaut

Im Falle eines Regenereignisses werden von der Oberfläche Verschmutzungen und atmosphärische Verunreinigungen in den Kanal eingetragen. Die damit einhergehenden komplexen Prozesse des Stofftransportes sind Inhalt zahlreicher Messprogramme und Forschungsvorhaben.

Kanalablagerungen finden vor allem in Zeiten geringer Abflussmengen (Trockenwetterabfluss und Nachtminima) und damit bei geringen Schleppspannungen im Kanal statt.

Unter Sielhaut wird im Allgemeinen die biologisch aktive Schicht, die sich vor allem in Abwasserdruckrohrleitungen aber auch im Bereich der durch den Trockenwetterabfluss benetzten Kanalwandung bildet, verstanden. Es kann sich aber auch oberhalb des benetzten Bereiches eine biologisch aktive Schicht ausbilden.

Bei Regenereignissen und damit verbundenen größeren Abflüssen und höheren Schleppspannungen können sich die Ablagerungen und die Sielhaut von den Kanalwandungen lösen und in Kombination mit den von den Oberflächen eingetragenen Verschmutzungen kann dies trotz Verdünnung durch das Regenwasser einen Anstieg der Konzentrationen im Abflussstrom bewirken.

Der Spülstoß umfasst jenen Zeitraum bei Mischwasserabfluss, während dem auf Grund der beginnenden Remobilisierung der Feststoffe im Kanal überproportional viel Schmutzfracht abtransportiert wird. Die Kenntnis dieser Zeitspanne ist von Bedeutung, um den Hauptteil der Verschmutzung eines Regenereignisses speichern zu können und nicht unbehandelt in den Vorfluter abzuleiten und folglich eine Beeinträchtigung des Gewässers zu verursachen. Unglücklicherweise ist die Beschreibung des Verhältnisses des Gesamtabflussvolumens zum Hauptanteil der Verschmutzungsfracht nicht klar und exakt definiert und kann verschieden interpretiert werden.

Im Folgenden wird versucht, das Phänomen des Spülstoßes zu beschreiben und für den Mischwasserüberlauf in Graz zu charakterisieren.

3.2 Erklärung der Abkürzungen

Die im folgenden Kapitel verwendeten Abkürzungen mit den englischen Synonymen werden im Nachfolgenden kurz aufgelistet, um Unklarheiten auf Grund der verschiedenen Bezeichnungen zu vermeiden. Da sich der Text teilweise auf Diagramme bezieht, die in englischer Sprache ausgearbeitet worden sind, kommt es vor, dass sich Abkürzungen, zwischen Text und Diagrammen unterscheiden, die aber dasselbe bedeuten.

Deutsch	English
Mischwasserüberlauf	CSO (combined sewer overflow)
BSB ₅ biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen [mg/l]	BOD ₅ biochemical oxygen demand
TOC gesamter organischer Kohlenstoff [mg/l]	TOC total organic carbon
AFS abfiltrierbare Stoffe [mg/l]	TSS total suspended solids
CSB _{hom} homogenisierter chemischer Sauerstoffbedarf [mg/l]	COD _{tot} total chemical oxygen demand
CSB _{mf} membranfiltrierter chemischer Sauerstoffbedarf [mg/l]	COD _{sol} soluble chemical oxygen demand

3.3 Definitionen für den Spülstoß

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Autoren, die das Phänomen des Spülstoßes auf sehr unterschiedliche Art und Weise beschreiben, was oft zu Unklarheiten führte. Im Folgenden werden einige Ansätze von verschiedenen Autoren wiedergegeben.

3.3.1 30/80 Spülstoß

Jean-Luc Bertrand-Krajewski (1998) definiert den Spülstoß als einen Vorgang, während dem in den ersten 30% des Abflussvolumens 80% der Schmutzfracht transportiert wird. Er nennt diesen Spülstoß 30/80 Spülstoß. Dieses Verhältnis von 30/80 wurde von Jean-Luc Bertrand-Krajewski willkürlich gewählt. Es gibt in der Literatur noch einige andere Werte für das Verhältnis von 30/80. Zum Beispiel schlagen Stahre und Buchberger (1990) ein Verhältnis 20/80 als Spülstoß vor. Diese Definition ist um einiges restriktiver als die von Bertrand-Krajewski. Wanielista und

Yousef (1993) schlagen wiederum ein 25/80 Verhältnis vor. In allen Fällen wurden diese Verhältniswerte mehr oder weniger empirisch ermittelt.

Es gibt zwei wesentliche Vorteile dieser Definition. Sie ist einfach und erlaubt das Phänomen mathematisch zu beschreiben.

3.3.2 Signifikante Konzentrationsspitze

Sehr viele Autoren haben den Spülstoß als eine signifikante Konzentrationsspitze am Beginn eines Abflussereignisses bezeichnet (Thornton und Saul, 1987). In **Abbildung 3-1** ist beispielhaft ein von der Online-Messstation Graz aufgezeichnetes Entlastungsereignis vom 09.06.2003 mit ausgeprägtem Spülstoß dargestellt.

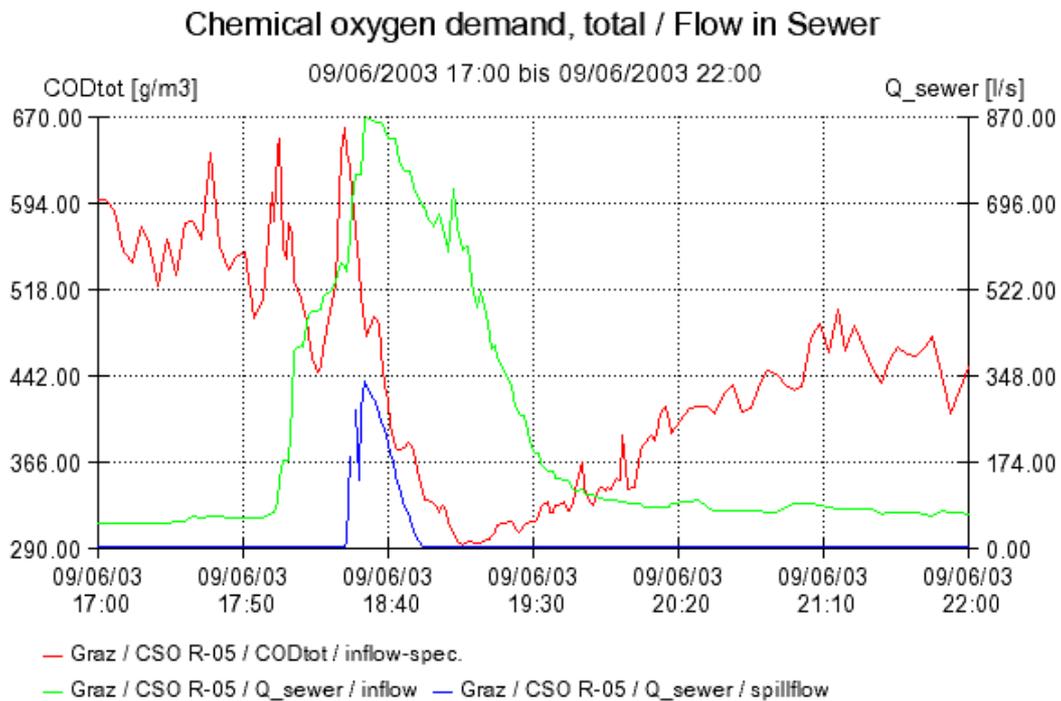


Abbildung 3-1: CSO-Graz; 09.06.2003

Aus der Abbildung geht hervor, dass zu Beginn des Mischwasserereignisses (ca. 18:00 Uhr) die Konzentration von COD_{tot} , (im Diagramm rot dargestellt) zunächst abnimmt. Zurückzuführen ist dies auf die Verdünnung des Abwassers durch Regenwasser. Wie weiters erkennbar ist, kommt es nach kurzer Dauer zu einem signifikanten Anstieg der COD_{tot} Konzentration, obwohl der Abfluss weiter steigt. Nach dieser ausgeprägten Spitze setzten sich schließlich die Verdünnungseffekte bis zu dem Zeitpunkt durch, wo der Zufluss in der Mischwasserkammer zu sinken beginnt, und die vorherrschende Trockenwetterkonzentrationen wieder die Oberhand gewinnen und damit auch die Konzentration wieder steigen lässt. Die im Diagramm blau dargestellte Linie zeigt den Abflussverlauf der Entlastung.

Die in diesem Beispiel aufgetretene signifikante Konzentrationsspitze wird oftmals als der Spülstoß eines Abflussereignisses bezeichnet oder „rising flush“ oder „storm first flush“ bezeichnet (FNDAE, 1988).

3.3.3 EPA Definition

Die U.S. EPA schlägt eine Definition des Spülstoßes vor, die auf dem direkten Vergleich zweier Verschmutzungskonzentrationen basiert. Dabei führt sie einen numerischen Referenzwert C_b ein, um den Spülstoß berechnen und vergleichen zu können. Die Kalkulation des Spülstoßes nach dieser Definition ist in **Abbildung 3-2** graphisch veranschaulicht.

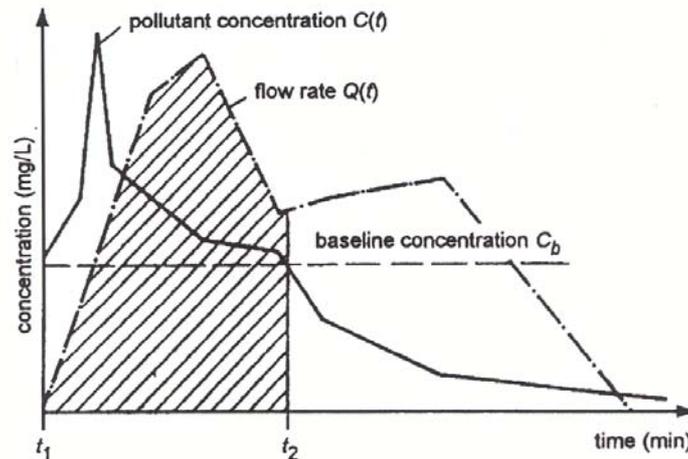


Abbildung 3-2: Bestimmung des Spülstoßvolumens V_p nach der EPA Definition (EPA, 1993)

Die Basislinienkonzentration C_b (baseline concentration) entspricht dabei dem Mittel des Trockenwetterabflusses. Das Volumen V_p ist gleich dem Integral aus dem Schmutzwasserabfluss zwischen der Zeit t_1 , wenn $C_{(t)}$ größer wird als C_b , und der Zeit t_2 , wenn $C_{(t)}$ kleiner wird als C_b . Das Volumen entspricht der schraffierten Fläche in **Abbildung 3-2**. Die Größe des Retentionsbeckens wird nach der EPA auf jenes Volumen V_b bemessen, welches sich während der ersten Periode eines Niederschlagsereignisses über dem durchschnittlichen Trockenwetterabfluss ergibt.

3.3.4 FNDAE Definition

Der französische technische Wegweiser FNDAE (FNDAE, 1988) hat für Mischwasserrückhaltebecken eine Definition für den First Flush herausgebracht, welches dem ATV Arbeitsblatt A128 (1977) zu Grunde liegt. Nach dieser entspricht der Spülstoß dem Volumen, welches das Abwassersystem während der Spülzeit T_r durchfließt. Dies basiert auf der Grundüberlegung, dass der Hauptteil der Verschmutzungsfracht zu Abflussbeginn abgefangen werden muss und nicht in den Vorfluter gelangen sollte. Die Spülzeit T_r ist als jene Zeit definiert, in der die Ablagerungen im Abflusssystem wieder vollständig in Lösung übergegangen sind. Ein typisches Beispiel für diesen Ansatz wird in **Abbildung 3-3** gezeigt.

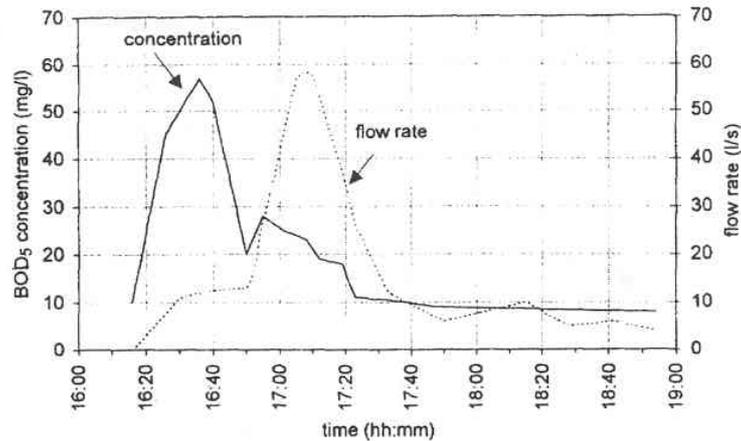


Abbildung 3-3: Abfluss- und Konzentrationsganglinie für ein FNDAE typisches Regenerereignis (FNDAE, 1988)

Der Anstieg der Konzentrationen dauert ungefähr 30 Minuten und entspricht der Spülzeit der ersten Verschmutzungsfrachtspitze zwischen 16:16 und 16:50.

3.3.5 Definition nach Geiger

Geiger hat 1984 eine Definition für den Spülstoß vorgeschlagen, welche auf den so genannten Masse-Volumen-Diagrammen (M(V) Diagramme) basiert. Er behauptet, dass bei einem Abflussereignis dann ein signifikanter Spülstoß vorliegt, wenn der Abstand zwischen der normierten Frachtsummenlinie vs. der normierten Volumensummenlinie und der Diagonale im M(V) Diagramm größer ist als der Wert 0,2 (**Abbildung 3-4**).

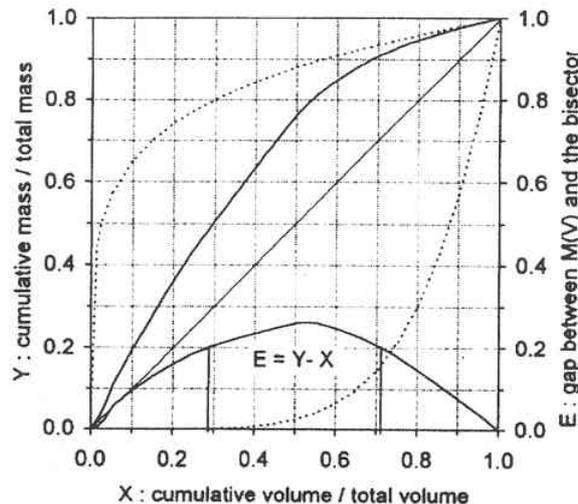


Abbildung 3-4: Abstand zwischen M(V) Kurve und Diagonale nach Geiger (1984)

Diese Definition basiert nicht auf Konzentrationen und Ganglinien sondern auf Frachten, die jeweils auf die Gesamtabflussfrachten des Ereignisses bezogen werden. Dies ermöglicht einen Vergleich der verschiedenen Ereignisse untereinander und quantifiziert den Spülstoß einfach.

3.3.6 Definition von Gupta und Saul

Gupta und Saul (1996) haben den Spülstoß als den Abschnitt des Regenereignisses bezeichnet, in dem die größte Differenz zwischen der dimensionslosen prozentuellen Verschmutzungsfracht und dem prozentuellen Abflussvolumen in Bezug auf die prozentuelle Zeit des Regenereignisses auftritt (siehe **Abbildung 3-5**)

Ähnliche Graphiken wurden auch von Sansalone und Buchenberger (1997) verwendet. Im Beispiel der **Abbildung 3-5** ergibt sich der maximale Abstand zwischen der Frachtlinie und der Abflusslinie bei $t=41,3\%$ der Gesamtabflusszeit.

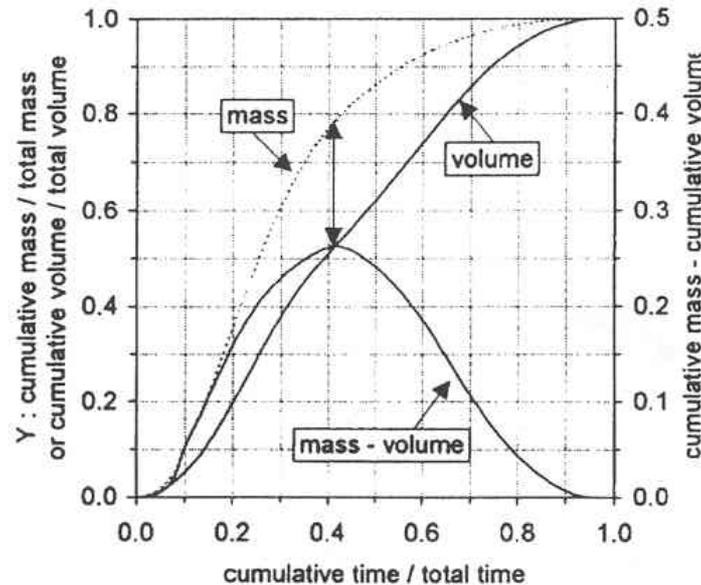


Abbildung 3-5: Definition des Spülstoßes nach Gupta und Saul (1996)

3.4 Verschmutzungsfrachtverteilung vs. Abflussvolumen

3.4.1 M(V) Kurven von abflussbezogenen Frachtensummenlinien

Eine wesentliche Voraussetzung für die Dimensionierung von Regenwasserrückhaltebecken und Steuermaßnahmen im Kanalnetz, die zum Ziel haben die Belastung des Vorfluters auf ein Minimum zu beschränken, ist die Kenntnis des Frachtverlaufs während eines Regenereignisses. Der Frachtverlauf resultiert aus den voneinander unabhängigen Ganglinien der Verschmutzungsganglinie und der Abflussganglinie und lässt sich mit der folgenden Formel berechnen

$$F_i(t) = Q(t) \cdot C$$

- F Verschmutzungsfracht [kg/s]
- Q Abfluss [l/s]
- C Konzentration [kg/l]

Diese beiden Kurven, Verschmutzungsganglinie und Abflussganglinie, variieren von Abflussereignis zu Abflussereignis und sind von einer Vielzahl von Parametern abhängig:

- dem Niederschlagsverhalten des Einzugsgebietes,
- der vorangegangenen Trockenwetterperiode,
- den Bedingungen im Abflusssystem,
- der Menge der Ablagerungen,
- den ausgespülten Ablagerungen während eines Regenereignisses
- der Charakteristik des Einzugsgebietes
- der Charakteristik des Abflusssystems

Um einen Vergleich dieser stark variierenden Ganglinien eines Einzugsgebietes miteinander zu ermöglichen, ist eine dimensionslose Darstellung sinnvoll. Dieser Darstellungsform bedient man sich auch bei der Ermittlung der abflussbezogenen Frachtensummenlinien, auch M(V) Kurven genannt.

Dabei wird auf der X-Achse das Verhältnis von Teilabfluss zu Gesamtabfluss und auf der Y-Achse das Verhältnis von Teilfracht zu Gesamtfracht während eines Mischwasserereignisses aufgetragen. Berechnet werden die M(V) Diagramme mit folgender Formel:

$$\frac{\sum_{i=1}^j C_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N C_i Q_i \Delta t_i} = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N Q_i \Delta t_i} \right) = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \right)$$

Gleichung 3-1: Berechnung der M(V) Kurve

Wobei N die gesamte Dauer des Abflussereignisses, j den Index von 1 bis N und t die Zeit darstellt. Diese Art der Darstellung wurde schon von verschiedenen Autoren verwendet (Hesel et al., 1997; Geiger, 1984, Philippe und Ranchet, 1987).

Der Ablauf des Erstellens von M(V) Kurven ist in **Abbildung 3-6** dargestellt. In **Abbildung 3-6** wird beispielhaft zum Zeitpunkt t=26 Minuten ein Punkt der M(V)-Kurve ermittelt. Zu diesem Zeitpunkt beträgt der Abfluss 170 [m³/s], während sich das aufsummierte Volumen bis zu diesem Zeitpunkt mit 43 [m³] und der Gesamtabfluss mit 123 [m³] ergibt. Der X-Wert errechnet sich dann aus dem Verhältnis des Teilabflusses bis zu diesem Zeitpunkt zum Gesamtabfluss, also 43/123=0,35

Die Konzentration zur Zeit t=26 Minuten betrug 750 [mg/l]. Der Y-Wert errechnet sich analog zum X-Wert als Teilfracht zur Gesamtfracht, also in diesem Beispiel zur Zeit t=26 Minuten mit 35/71=0,49.

Mit diesen beiden auf diese Art ermittelten Werten erhält man einen Punkt des M(V) Diagramms. Daraus ergibt sich letztendlich der Gesamtverlauf des M(V) Diagramms.

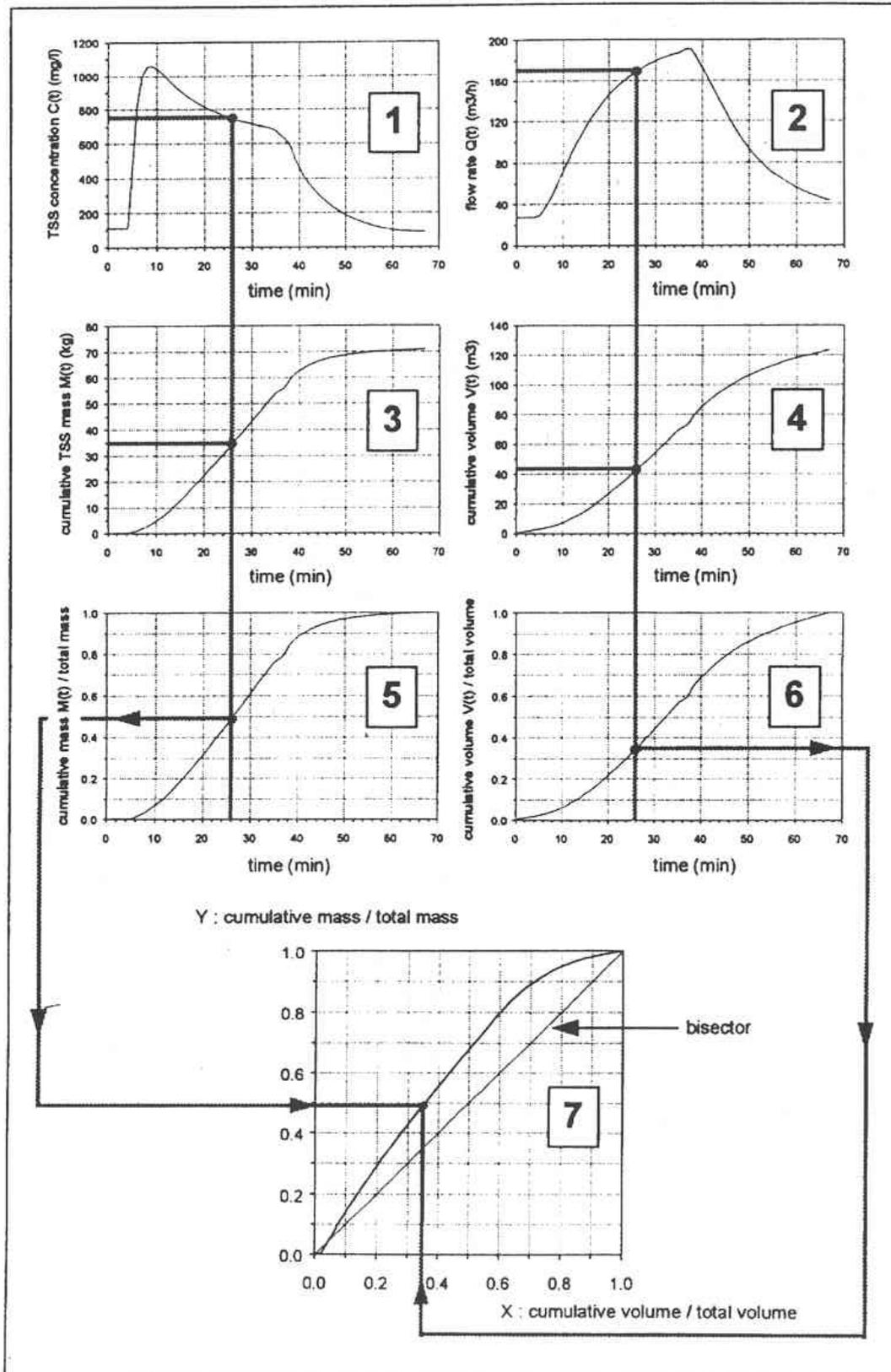


Abbildung 3-6: Beispiel zum Zeichnen einer M(V) Kurve für den Parameter TSS (Bertrand-Krajewski, 1998)

Die M(V) Kurven ermöglichen eine Analyse der zeitlichen Verläufe der Abfluss- und Transportvorgänge während eines Regenereignisses. (**Abbildung 3-7**)

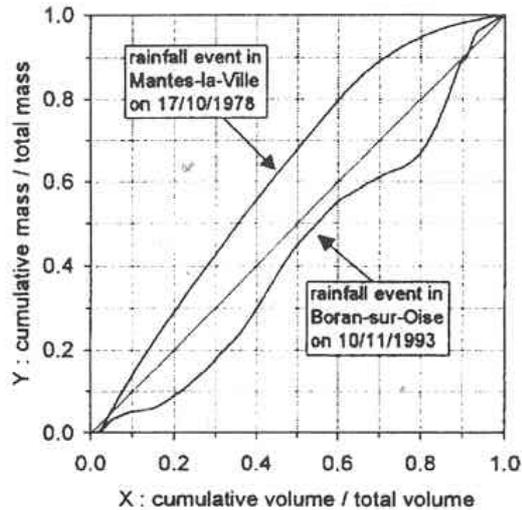


Abbildung 3-7: Beispiele von M(V) Kurven für den Parameter TSS (Bertrand-Krajewski, 1998)

Wenn während eines Abflussereignisses die Schmutzstoffkonzentration konstant gegenüber dem Abflussvolumen bleibt, ist die Darstellung im M(V) Diagramm eine Diagonale, wie in **Abbildung 3-7** dargestellt ist.

Um unter diesen Bedingungen ein Verhältnis Y an Verschmutzungsfracht zurückzuhalten, ist dasselbe Verhältnis X an Abflussvolumen erforderlich.

Liegt die M(V) Kurve über der Diagonalen, so ist ein Verhältnis $X < Y$ an Abflussvolumen abzufangen, um ein bestimmtes Verhältnis Y an Schmutzstofffracht zurückzuhalten. Je kleiner der Wert X, für einen gegebenen Wert Y ist, desto geringer ist das erforderliche Rückhaltevolumen (siehe **Abbildung 3-7**; Mantes-la-Ville 1978).

Liegt die M(V) Kurve unter der Halbierenden (wie in **Abbildung 3-7**; Boran-sur-Oise 1993) dann ist ein Verhältnis $X > Y$ des Abflussvolumens abzufangen, um ein bestimmtes Verhältnis Y an Schmutzfracht zurückzuhalten. Je größer der Wert X für ein vorgegebenes Verhältnis Y ist, desto größer ist das erforderliche Rückhaltevolumen.

Mit diesen M(V) Kurven ist es möglich, Retentionsbeckenvolumina zu dimensionieren, um ein gefordertes Ziel an zurückzuhaltender Verschmutzungsfracht einzuhalten. In **Abbildung 3-7** müssten für das Ereignis Mantes-la-Ville, 60% des Abflussvolumens abgefangen werden, um zum Beispiel 80% der Schmutzfracht an TSS zurückzuhalten. In Boran-sur-Oise müssten im Vergleich dazu 86% zurückgehalten werden, um dieselben 80% an TSS Schmutzfrachtrückhalt zu erreichen.

3.4.2 Veränderlichkeit von M(V) Kurven

Sehr viele Studien von M(V) Kurven verschiedener Autoren, verschiedener Einzugsgebiete und Kanalisationssysteme (Trenn- oder Mischkanalisation) haben

gezeigt, dass sich die Kurven in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet, vom Kanalisationstyp und vom Abflussereignis signifikant ändern.

Die M(V) Kurven verschiedener Abflussereignisse eines Einzugsgebietes und die Verschmutzungen (zum Beispiel CSB oder TSS) streuen normalerweise in einem weiten Bereich (**Abbildung 3-8**). Dies wurde schon von vielen verschiedenen Autoren festgestellt (Geiger, 1984; Ellis, 1986; Menacher und Augustin, 1992; EPA, 1993; Bellefleur, 1994; Saget und Chebbo, 1994).

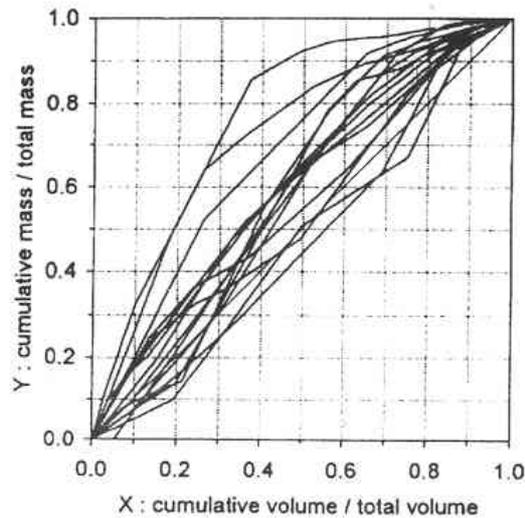


Abbildung 3-8: Reihe von TSS M(V) Kurven von Vélizy (Saget und Chebbo, 1994)

In **Abbildung 3-9** sind die M(V) Median Kurven dreier unterschiedlicher Einzugsgebiete dargestellt.

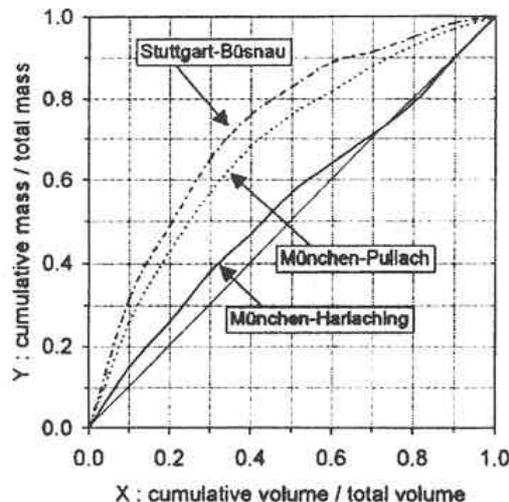


Abbildung 3-9: Vergleich von TSS M(V) Median Kurven für 3 Einzugsgebiete (Geiger, 1987)

In **Abbildung 3-9** ist für unterschiedliche aufgetretene M(V) Kurven eines Einzugsgebietes jeweils eine eigene Median Kurve erstellt worden, um eine charakteristische M(V) Kurve für jedes dieser Einzugsgebiete zu erhalten. Dadurch ging jedoch das Maß der Streuung der einzelnen Ereignisse untereinander verloren. Die Einzugsgebiete von Stuttgart-Büsnau (32 ha Einzugsgebiet, steiles Mischwassersystem) und München-Pullach (23 ha Einzugsgebiet, Trennkanalisation

mit mäßiger durchschnittlicher Neigung des Kanalsystems) ergaben ähnliche M(V) Median Kurven, welche sich wesentlich von dem Median von München–Harlachingen (540 ha Einzugsgebiet, Mischwasserkanalisation mit niedrigen Neigungen) unterschieden. Die M(V) Median Kurve von Stuttgart-Büsnau, welche Krauth (1970) ermittelt hat, diente als Grundlage zur Berechnung von Abwasserrückhaltebecken nach dem ATV Arbeitsblatt A128 (1977).

Das Anwenden dieser Median Kurve von Stuttgart-Büsnau in anderen Einzugsgebieten, welche in Wirklichkeit andere Charakteristiken aufweisen, berücksichtigt daher die unterschiedlichen Randbedingungen der verschiedenen Einzugsgebiete nicht. Die Studie von Saget und Chebbo (1994) an 12 verschiedenen Misch- und Trennkanalisationen hat die Variabilität der verschiedenen M(V) Kurven zwischen diesen 12 unterschiedlichen Systemen deutlich gezeigt (siehe dazu **Abbildung 3-10** und **Abbildung 3-11**).

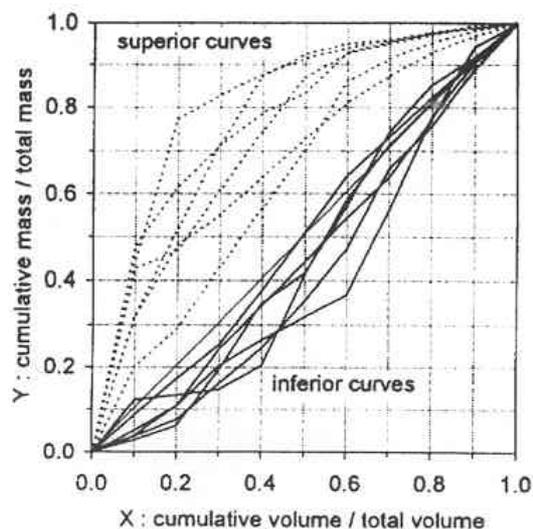


Abbildung 3-10: Extreme M(V) Kurven für TSS von sechs verschiedenen Trennkanalisationen (Saget und Chebbo, 1994)

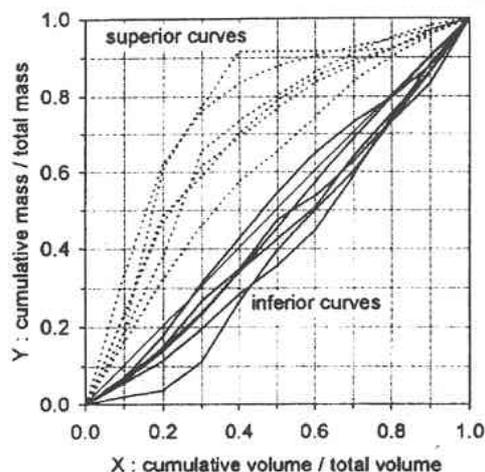


Abbildung 3-11: Extreme M(V) Kurven für TSS an sechs verschiedenen Mischkanalisationen (Saget und Chebbo, 1994)

Aus **Abbildung 3-12** kann nach Geiger (1987) als generelle Aussage abgeleitet werden, dass die Mediankurven unterschiedlicher Inhaltsstoffe wie CSB_{tot} , TSS, BSB_5 und TOC für ein Einzugsgebiet ziemlich ähnlich sind.

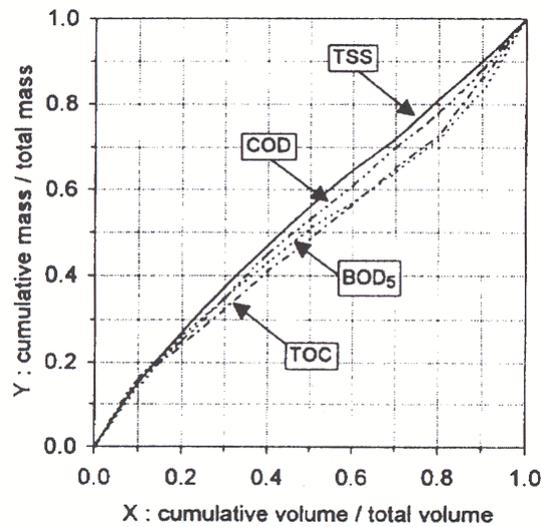


Abbildung 3-12: Median $M(V)$ für unterschiedliche Inhaltsstoffe eines Einzugsgebietes (Geiger, 1987)

In manchen Fällen können jedoch die Kurven verschiedener Schadstoffe bei einem bestimmten Abflussereignis auch sehr stark variieren, wie in **Abbildung 3-13** zu sehen ist (Geiger, 1987).

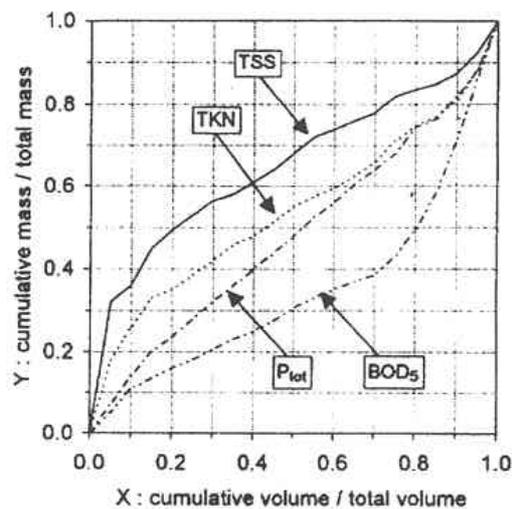


Abbildung 3-13: Beispiel von $M(V)$ Kurven verschiedener Parameter während eines Abflussereignisses (Geiger, 1987)

Unter Berücksichtigung der Variabilität des Phänomens Spülstoß sollte jede Generalisierung vermieden werden und eine Extrapolation immer auf lokalen Messungen basieren und nicht von einem anderen Einzugsgebiet mit unterschiedlichen Randbedingungen einfach übertragen werden (Bertrand-Krajewski et al., 1997).

3.4.3 M(V) Diagramme von der Messstelle Graz

In dieser Arbeit wurden insgesamt 45 Ereignisse im Zeitraum vom 01.06 - 31.12.2003 in Form der beschriebenen M(V) Diagrammen ausgewertet. Die verwendeten Daten stammen dabei, wie schon in Kapitel 2 genauer beschrieben wurde, von der im Kanal installierten UV-VIS Sonde und von den beiden Durchflussmengenmesssystemen.

Die Messstation liefert bei Normalabfluss alle 3 Minuten, bei Mischwasserabfluss jede Minute Messwerte aller Messsysteme. Es standen daher im Beobachtungszeitraum (Juni bis Dezember 2003) um die 15.000 Datensätze pro Monat als Basis für die Auswertungen zur Verfügung.

Dafür war es jeweils notwendig den Anfang und das Ende von Mischwasserereignissen anhand der Abflussganglinien zu definieren. Der Beginn wurde als jener Zeitpunkt definiert, ab dem der kontinuierliche Verlauf des Zuflusses merkbar anstieg und das Mischwasserende als jener Zeitpunkt, ab dem der Zufluss wieder seinen kontinuierlichen Trockenwetterverlauf annimmt. Nachdem der Anfang und das Ende bestimmt waren, ließen sich nach Gleichung 3-1 für jedes Ereignis die M(V) Kurven errechnen.

Auf diese Art und Weise wurden innerhalb der untersuchten Periode 45 Mischwasserereignisse ausgewertet. (siehe Anhang). Der große Unterschied dieser Diagramme zu den bisherigen Ausarbeitungen anderer oben genannter Autoren liegt in der sehr hohen Anzahl von zur Verfügung stehenden Messdaten. Dabei muss jedoch erwähnt werden, dass über die Genauigkeit der UV-VIS Sonde während Mischwasserabfluss bislang noch relativ wenig bekannt ist (darauf wird im nächsten Kapitel noch genauer eingegangen).

Eine weitere Unsicherheit stellt vor allem bei größeren Wassermengen die unbekannte Genauigkeit der Durchflussmengenmesssysteme dar. Sie sind jeweils über analoge 4-20 mA an den Industrie-PC angebunden. Der Bereich der zu messenden Abflussmenge ist daher auf diesen Messbereich zu parametrieren. Da die maximalen zufließenden Abwassermengen nicht wirklich bekannt sind, musste für die obere Bereichsgrenze zunächst einmal ein maximales Q angenommen werden. Dieses maximale Q wurde jedoch mehrmals als zu niedrig angenommen, was leider zu mehrfachen Messbereichsüberschreitungen geführt hat. Auf der anderen Seite kam es durch das Hinaufsetzen der 20 mA-Grenze auch zu einer automatischen Veränderung der Genauigkeit in den unteren Messbereichen. Eine gezielte Validierung bzw. Kalibrierung über die gesamten Messbereiche ist schwierig und auch fast nicht möglich, wird aber zurzeit in einer eigenen Diplomarbeit versucht. Daher wurden Ereignisse mit Messbereichsüberschreitungen nicht zur Auswertung herangezogen, da bei ihnen ein Teil des Abflussvolumens fehlt, wodurch eine Auswertung nicht möglich war.

3.5 M(t) Diagramme

Eine andere Möglichkeit einer dimensionslosen Darstellung von Mischwasserereignissen stellt die von Gupta und Saul (1996) vorgeschlagene dar. Bei dieser wird auf der X-Achse das Verhältnis eines betrachteten Zeitpunktes zur Gesamtdauer und auf der Y-Achse das Verhältnis von aufsummierten Teilfrachten

zur Gesamtfracht bzw. das Verhältnis von aufsummierten Teilvolumina zum Gesamtvolumen aufgetragen.

Um auch das Niederschlagsverhalten mitzuerfassen wird in dieser Arbeit zusätzlich auf der Y Achse auch noch der aufsummierte Teilniederschlag zum Gesamtniederschlag dargestellt. Da der Beginn des Niederschlages immer vor dem des Mischwasserabfluss stattfindet, schneidet dabei die Niederschlagskurve die Y-Achse an jenem Punkt, welcher jener Menge der Niederschlagshöhe entspricht, die von dem Beginn des Mischwasserereignisses messtechnisch erfasst wurde. Falls das Diagramm keine Niederschlagslinie aufweist bedeutet dies, dass vor dem Ereignisbeginn bereits der gesamte gemessene Niederschlag gefallen ist (siehe **Abbildung 3-14**).

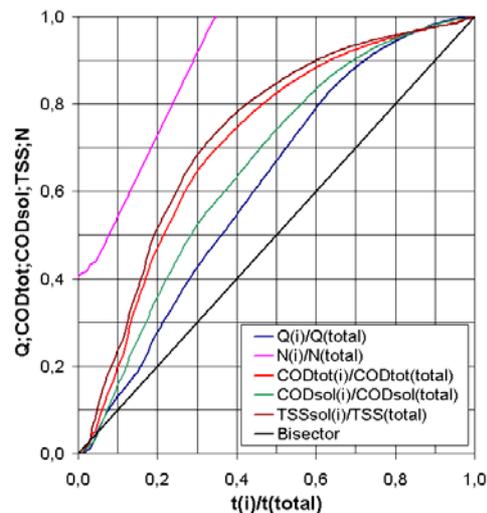


Abbildung 3-14: 14.06-15.06.2003; 22:51-03:12

Beim Mischwasserereignis vom 14.06.2003 in **Abbildung 3-14** schneidet die Niederschlagslinie (in der Farbe pink dargestellt) die Y Achse bei 0,4, was so viel bedeutet, dass 40% des gesamten Niederschlages bereits vor Beginn des Mischwasserabflusses gefallen war.

Die Niederschlagsdaten stammen von einer Niederschlagswippe bzw. einer Niederschlagswaage, die in ca. 2,5 km Entfernung zur Messstation aufgestellt sind.

Eine Gegenüberstellung der M(V) und M/V(t) Diagramme aller 45 Ereignisse sowie den zugehörigen COD_{tot} -, Zufluss- und Entlastungsganglinien finden sich im Anhang zu dieser Arbeit.

3.6 Auswertung der Ereignisse

3.6.1 Allgemeines

Die 45 Mischwasserereignisse innerhalb des Zeitraumes 01.06 – 31.12.2003 wurden zunächst nach den folgenden Kriterien ausgewertet und tabellarisch gegenübergestellt (Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2):

- Datum
- Dauer Mischwasserabfluss
- Niederschlagshöhe
- Durchschnittliche Intensität
- Maximale Intensität
- Vorangegangene Trockenwetterperiode
- hydraulische Abflussfracht
- COD_{tot} Fracht
- TSS Fracht

3. Charakterisierung des Spülstoßphänomens

Tabelle 3-1: Chronologische Auflistung der 45 ausgewerteten Mischwasserereignisse

Ereignis	Datum		Periode Mischwasserabfluß		Dauer [h]	NS [mm]	durchschn Intensität [mm/h]	maximale Intensität [mm/h]
	von	bis	von	bis				
1	01.06.2003	01.06.2003	17:45	20:45	3,00	2,00	1,76	6,00
2	06.06.2003	07.06.2003	22:48	05:27	6,65	3,70	1,95	12,00
3	07.06.2003	08.06.2003	22:33	02:06	3,55	13,40	33,50	72,00
4	09.06.2003	09.06.2003	18:01	21:42	3,68	5,10	9,00	12,00
5	13.06.2003	13.06.2003	16:27	23:09	6,70	7,80	5,76	24,00
6	14.06.2003	15.06.2003	22:48	03:12	4,40	14,10	5,32	24,00
7	16.06.2003	16.06.2003	14:30	16:36	2,10	4,40	11,00	42,00
8	16.06.2003	17.06.2003	19:45	01:36	5,85	4,30	9,92	18,00
9	18.06.2003	18.06.2003	10:03	13:57	3,90	3,30	1,87	6,00
10	24.06.2003	25.06.2003	19:27	00:21	4,90	6,10	6,78	42,00
11	27.06.2003	27.06.2003	12:06	15:15	3,15	5,50	8,15	42,00
12	27.06.2003	27.06.2003	17:06	21:54	4,80	0,80	1,45	6,00
13	01.07.2003	02.07.2003	23:36	04:12	4,60	11,10	5,12	18,00
14	03.07.2003	03.07.2003	18:33	23:39	5,10	0,90	1,35	6,00
15	04.07.2003	04.07.2003	19:03	22:18	3,25	0,30	4,50	6,00
16	06.07.2003	06.07.2003	17:54	19:42	1,80	0,70	4,67	6,00
17	09.07.2003	10.07.2003	19:42	00:30	4,80	0,60	5,00	6,00
18	23.07.2003	23.07.2003	15:36	23:39	8,05	16,80	6,59	18,00
19	24.07.2003	25.07.2003	22:27	05:54	7,45	4,80	2,80	12,00
20	28.07.2003	29.07.2003	18:39	01:48	7,15	17,50	2,72	36,00
21	01.08.2003	01.08.2003	09:12	11:09	1,95	0,70	1,80	6,00
22	01.08.2003	01.08.2003	13:39	15:54	2,25	1,90	2,22	24,00
23	01.08.2003	01.08.2003	17:36	21:09	3,55	5,60	21,11	60,00
24	09.09.2003	10.09.2003	11:45	14:09	26,40	23,90	1,02	28,00
25	11.09.2003	11.09.2003	13:57	16:15	2,30	0,60	0,90	6,00
26	14.09.2003	14.09.2003	01:48	02:42	0,90	0,30	4,50	6,00
27	23.09.2003	24.09.2003	22:33	00:48	2,25	0,40	0,32	6,00
28	24.09.2003	24.09.2003	01:45	05:15	3,50	4,50	2,73	6,00
29	24.09.2003	24.09.2003	13:36	15:54	2,30	0,40	0,71	0,71
30	29.09.2003	29.09.2003	13:15	19:45	6,50	2,40	0,75	3,00
31	04.10.2003	05.10.2003	23:54	22:27	22,55	23,80	1,06	12,00
32	21.10.2003	21.10.2003	15:39	17:39	2,00	0,80	0,65	6,00
33	22.10.2003	22.10.2003	07:48	12:24	4,60	2,20	0,36	0,40
34	23.10.2003	24.10.2003	16:33	05:30	12,95	15,30	1,21	6,00
35	30.10.2003	30.10.2003	17:21	20:36	3,25	2,30	2,17	6,00
36	01.11.2003	01.11.2003	01:36	03:57	2,35	1,80	1,27	3,00
37	01.11.2003	02.11.2003	20:30	14:57	18,45	13,30	2,63	6,00
38	07.11.2003	07.11.2003	00:00	02:03	2,05	1,10	0,44	7,32
39	26.11.2003	26.11.2003	09:30	23:39	14,15	11,10	0,89	18,00
40	28.11.2003	28.11.2003	10:33	21:54	11,35	10,30	1,05	7,68
41	29.11.2003	29.11.2003	12:42	20:03	7,35	6,00	0,97	2,94
42	14.12.2003	14.12.2003	10:09	17:24	7,25	0,90	0,82	12,42
43	21.12.2003	21.12.2003	18:03	22:06	4,05	0,90	0,57	1,80
44	29.12.2003	30.12.2003	10:36	00:36	14,00	4,80	0,35	1,80
45	30.12.2003	31.12.2003	05:57	23:39	41,70	21,90	0,52	25,74
vTp	vorangegangene Trockenwetterperiode							
NS	Niederschlagshöhe							

3. Charakterisierung des Spülstoßphänomens

Tabelle 3-2: Chronologische Auflistung der 45 ausgewerteten Mischwasserereignisse

Ereignis	Dauer	NS	durchschn Intensität	maximale Intensität	vTp	Q	CSBtot	TSSsol	max E COD _{tot}	max tg alpha	max E TSS	max tg alpha
	[h]	[mm]	[mm/h]	[mm/h]	[d]	[m³]	[kg]	[kg]	[l]	[l]	[l]	[l]
1	3,00	2,00	1,76	6,00	3,10	1602	1705	715	0,1	1,7177	0,118	1,9814
2	6,65	3,70	1,95	12,00	4,18	4127	2861	1332	0,2271	2,841	0,256	3,7122
3	3,55	13,40	33,50	72,00	0,94	7766	3479	2440	0,0512	3,5291	0,0978	3,7828
4	3,68	5,10	9,00	12,00	1,79	3652	1601	722	0,1205	1,8031	0,1279	1,8354
5	6,70	7,80	5,76	24,00	3,92	8387	4102	2233	0,097	4,0265	0,1507	4,4987
6	4,40	14,10	5,32	24,00	1,08	16009	2604	1563	0,2189	3,5934	0,2573	4,1974
7	2,10	4,40	11,00	42,00	1,54	2033	1287	583	0,0423	2,2911	0,0671	2,4357
8	5,85	4,30	9,92	18,00	0,20	5780	1888	1089	0,0502	2,0807	0,1102	2,5822
9	3,90	3,30	1,87	6,00	1,57	7573	2468	1195	0,1472	3,6421	0,1219	3,5362
10	4,90	6,10	6,78	42,00	6,02	9314	3879	2183	0,1242	4,7292	0,1656	5,1111
11	3,15	5,50	8,15	42,00	2,64	4500	2441	1022	0,0244	2,3345	0,0666	2,6982
12	4,80	0,80	1,45	6,00	0,13	1920	1113	354	0,0539	1,2331	0,0871	1,5764
13	4,60	11,10	5,12	18,00	4,23	13047	3378	1706	0,288	3,9727	0,391	4,2642
14	5,10	0,90	1,35	6,00	1,51	1904	1371	457	0,0853	1,9482	0,1378	2,604
15	3,25	0,30	4,50	6,00	0,75	1014	801	280	0,0827	1,8206	0,1284	2,3186
16	1,80	0,70	4,67	6,00	1,95	754	797	317	0,0176	1,6507	0,0397	2,8401
17	4,80	0,60	5,00	6,00	3,10	2273	1819	628	0,0664	1,6743	0,1034	1,9888
18	8,05	16,80	6,59	18,00	0,55	17381	5572	2639	0,0038	3,2481	0,0033	4,4622
19	7,45	4,80	2,80	12,00	1,21	7658	1946	714	0,2813	3,5182	0,2383	3,8096
20	7,15	17,50	2,72	36,00	3,61	16729	1527	2060	0,1896	2,8656	0,3244	4,6144
21	1,95	0,70	1,80	6,00	0,46	1184	1074	383	0,097	1,5255	0,1179	1,586
22	2,25	1,90	2,22	24,00	0,16	2156	1415	556	0,0131	1,6413	0,0987	3,4344
23	3,55	5,60	21,11	60,00	0,18	6125	2011	970	0,0356	1,2562	0,0484	1,423
24	26,40	23,90	1,02	28,00	8,78	39567	10631	4433	0,2526	5,7395	0,2536	6,7749
25	2,30	0,60	0,90	6,00	1,11	1474	1028	416	0,0512	1,2729	0,0561	1,3589
26	0,90	0,30	4,50	6,00	2,17	271	301	132	0,0209	1,3319	0,0093	1,4103
27	2,25	0,40	0,32	6,00	9,86	1489	1316	450	0,0371	1,3126	0,0367	1,5968
28	3,50	4,50	2,73	6,00	0,12	3799	1090	362	0,1187	2,1437	0,1715	2,9729
29	2,30	0,40	0,71	0,71	0,40	1190	895	331	0	1,3331	0	1,4873
30	6,50	2,40	0,75	3,00	5,02	7231	3800	1602	0,0441	1,3363	0,0495	1,2991
31	22,55	23,80	1,06	12,00	0,52	31669	6488	1917	0,0388	4,0378	0,0772	4,4145
32	2,00	0,80	0,65	6,00	13,58	1062	1199	504	0,0223	1,2094	0,0205	1,3216
33	4,60	2,20	0,36	0,40	0,22	3740	3150	1400	0,0825	1,4332	0,0889	1,5583
34	12,95	15,30	1,21	6,00	1,31	17059	5845	2896	0,2008	2,784	0,2086	2,8443
35	3,25	2,30	2,17	6,00	6,52	2715	2502	1192	0,0155	1,38	0,0254	1,4617
36	2,35	1,80	1,27	3,00	1,28	1981	973	402	0,0528	1,4616	0,0521	1,5845
37	18,45	13,30	2,63	6,00	0,74	21574	7870	3357	0,0774	3,2514	0,1061	3,4339
38	2,05	1,10	0,44	7,32	4,43	1019	613	236	0,0121	1,2744	0,0074	1,4057
39	14,15	11,10	0,89	18,00	8,30	15876	10446	4581	0,1061	2,2546	0,1069	2,3924
40	11,35	10,30	1,05	7,68	1,25	16343	8411	3766	0,1882	2,8513	0,1974	2,8799
41	7,35	6,00	0,97	2,94	0,65	8134	3801	1377	0,1557	1,8671	0,1623	1,9831
42	7,25	0,90	0,82	12,42	14,83	3718	4615	1858	0,0253	1,575	0,0116	2,3973
43	4,05	0,90	0,57	1,80	5,31	2564	3030	1462	0,0909	1,4875	0,1371	1,6609
44	14,00	4,80	0,35	1,80	7,10	7796	6228	2523	0,1438	1,8821	0,1529	1,9872
45	41,70	21,90	0,52	25,74	0,18	37978	16614	6350	0,1075	2,2514	0,1363	2,475
vTp	vorangegangene Trockenwetterperiode											
NS	Niederschlagshöhe											
	Spülstoß nach Geiger											

3.6.2 Überprüfung auf Vorhandensein von Spülstößen nach den unterschiedlichen Definitionen

Als zweiter Schritt wurde versucht, das Vorhandensein von Spülstößen nach den verschiedenen Definitionen zu prüfen.

3.6.3 Bestimmung der maximalen Neigung der Tangente im M(V) Diagramm

Was bei den bisherigen Spülstoßdefinitionen unberücksichtigt blieb sind z.B. Kurven, die lange unterhalb der Diagonalen verlaufen aber dann innerhalb kurzer Zeit große Mengen an Schmutzfracht transportieren.

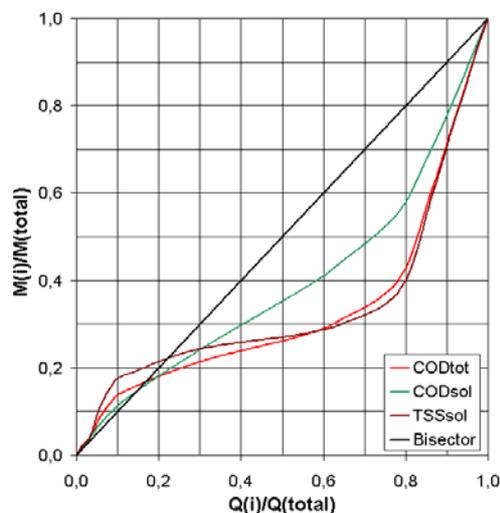


Abbildung 3-15: M(V) Diagramm 04.10.2004 CSO Graz; Ereignisnummer 32

Wie in dem Beispiel in **Abbildung 3-15** dargestellt ist, steigt zu Beginn (bis ca. 10% des Abflussvolumens) die COD_{tot} Linie (rote Linie) stärker an als die Diagonale, d.h. dass mehr Schmutzstofffracht transportiert wurde als Abflussvolumen. Danach flacht die Kurve stark ab bis sie bei etwa 70% des Abflussvolumens wieder sehr stark ansteigt.

Nach der Definition von Geiger erhält man für den maximalen Abstand E zwischen Diagonale und COD_{tot} Kurve einen Wert von 0,0388 der am Punkt im M(V) Diagramm bei [0,0928/0,1316] liegt. Nach der Definition von Gupta und Saul liegt die größte Differenz zwischen der dimensionslosen prozentuellen Verschmutzungsfracht und dem prozentuellen Abflussvolumen in Bezug auf die prozentuelle Zeit des Regenereignisses bei [0,0687/0,1316] und beträgt ebenfalls 0,0388 (Abbildung 3-16).

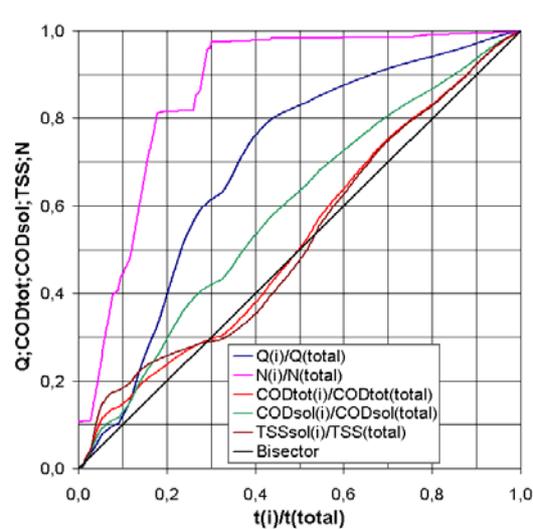


Abbildung 3-16: M(t) Diagramm 04.10.2004 CSO Graz; Ereignisnummer 32

In diesem Beispiel tritt nach den Definitionen von Geiger und Bertrand-Krajewski kein Spülstoß auf. Jedoch wird in diesem Beispiel in einer kurzen Zeitspanne überproportional viel Schmutzfracht abtransportiert.

Um diese Spülstöße mathematisch erfassen zu können wird in dieser Arbeit ein neuer Vergleichswert eingeführt. Eine Zahl, die diesen Umstand gut beschreibt, ist z.B. die erste Ableitung der $M(V)$ Kurve dx/dy was dem Tangens der Gerade entspricht.

Für das beschriebene Beispiel errechnet sich ein maximaler Tangens von 4,0145. Dies entspricht einem Winkel von 77° . Ein Winkel von 77° im $M(V)$ Diagramm würde bei einem angenommenen Zuflussvolumens von 10% des Gesamtzuflussvolumens eines Mischwasserereignisses einen Schmutzfrachttransport von 43% der Gesamtfracht bedeuten.

In den Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 sind die Ereignisse nach unterschiedlichen Kriterien gereiht. Für jedes Ereignis sind für die Inhaltsstoffe COD_{tot} und TSS die Werte E, nach der Definition von Geiger und der maximalen Tangens Alpha der $M(V)$ Kurve angegeben. Die orange unterlegten Werte weisen auf einen Spülstoß nach der Definition von Geiger hin.

In der Tabelle 3-3 wurden die Ereignisse nach der maximalen aufgetretenen Regenintensität, in der Tabelle 3-4 nach der Dauer der vorangegangenen Trockenwetterperioden gereiht.

3. Charakterisierung des Spülstoßphänomens

Tabelle 3-3: Auflistung nach maximaler Niederschlagsintensität

Ereignis	Dauer	NS	durchschn Intensität	maximale Intensität	vTp	Q	CSBtot	TSSsol	max E COD _{tot}	max tg alpha	max E TSS	max tg alpha
	[h]	[mm]	[mm/h]	[mm/h]	[d]	[m³]	[kg]	[kg]	[l]	[l]	[l]	[l]
3	3,55	13,40	33,50	72,00	0,94	7766	3479	2440	0,0512	3,5291	0,0978	3,7828
23	3,55	5,60	21,11	60,00	0,18	6125	2011	970	0,0356	1,2562	0,0484	1,423
10	4,90	6,10	6,78	42,00	6,02	9314	3879	2183	0,1242	4,7292	0,1656	5,1111
11	3,15	5,50	8,15	42,00	2,64	4500	2441	1022	0,0244	2,3345	0,0666	2,6982
7	2,10	4,40	11,00	42,00	1,54	2033	1287	583	0,0423	2,2911	0,0671	2,4357
20	7,15	17,50	2,72	36,00	3,61	16729	1527	2060	0,1896	2,8656	0,3244	4,6144
24	26,40	23,90	1,02	28,00	8,78	39567	10631	4433	0,2526	5,7395	0,2536	6,7749
45	41,70	21,90	0,52	25,74	0,18	37978	16614	6350	0,1075	2,2514	0,1363	2,475
5	6,70	7,80	5,76	24,00	3,92	8387	4102	2233	0,097	4,0265	0,1507	4,4987
6	4,40	14,10	5,32	24,00	1,08	16009	2604	1563	0,2189	3,5934	0,2573	4,1974
22	2,25	1,90	2,22	24,00	0,16	2156	1415	556	0,0131	1,6413	0,0987	3,4344
39	14,15	11,10	0,89	18,00	8,30	15876	10446	4581	0,1061	2,2546	0,1069	2,3924
13	4,60	11,10	5,12	18,00	4,23	13047	3378	1706	0,288	3,9727	0,391	4,2642
18	8,05	16,80	6,59	18,00	0,55	17381	5572	2639	0,0038	3,2481	0,0033	4,4622
8	5,85	4,30	9,92	18,00	0,20	5780	1888	1089	0,0502	2,0807	0,1102	2,5822
42	7,25	0,90	0,82	12,42	14,83	3718	4615	1858	0,0253	1,575	0,0116	2,3973
2	6,65	3,70	1,95	12,00	4,18	4127	2861	1332	0,2271	2,841	0,256	3,7122
4	3,68	5,10	9,00	12,00	1,79	3652	1601	722	0,1205	1,8031	0,1279	1,8354
19	7,45	4,80	2,80	12,00	1,21	7658	1946	714	0,2813	3,5182	0,2383	3,8096
31	22,55	23,80	1,06	12,00	0,52	31669	6488	1917	0,0388	4,0378	0,0772	4,4145
40	11,35	10,30	1,05	7,68	1,25	16343	8411	3766	0,1882	2,8513	0,1974	2,8799
38	2,05	1,10	0,44	7,32	4,43	1019	613	236	0,0121	1,2744	0,0074	1,4057
32	2,00	0,80	0,65	6,00	13,58	1062	1199	504	0,0223	1,2094	0,0205	1,3216
27	2,25	0,40	0,32	6,00	9,86	1489	1316	450	0,0371	1,3126	0,0367	1,5968
35	3,25	2,30	2,17	6,00	6,52	2715	2502	1192	0,0155	1,38	0,0254	1,4617
1	3,00	2,00	1,76	6,00	3,10	1602	1705	715	0,1	1,7177	0,118	1,9814
17	4,80	0,60	5,00	6,00	3,10	2273	1819	628	0,0664	1,6743	0,1034	1,9888
26	0,90	0,30	4,50	6,00	2,17	271	301	132	0,0209	1,3319	0,0093	1,4103
16	1,80	0,70	4,67	6,00	1,95	754	797	317	0,0176	1,6507	0,0397	2,8401
9	3,90	3,30	1,87	6,00	1,57	7573	2468	1195	0,1472	3,6421	0,1219	3,5362
14	5,10	0,90	1,35	6,00	1,51	1904	1371	457	0,0853	1,9482	0,1378	2,604
34	12,95	15,30	1,21	6,00	1,31	17059	5845	2896	0,2008	2,784	0,2086	2,8443
25	2,30	0,60	0,90	6,00	1,11	1474	1028	416	0,0512	1,2729	0,0561	1,3589
15	3,25	0,30	4,50	6,00	0,75	1014	801	280	0,0827	1,8206	0,1284	2,3186
37	18,45	13,30	2,63	6,00	0,74	21574	7870	3357	0,0774	3,2514	0,1061	3,4339
21	1,95	0,70	1,80	6,00	0,46	1184	1074	383	0,097	1,5255	0,1179	1,586
12	4,80	0,80	1,45	6,00	0,13	1920	1113	354	0,0539	1,2331	0,0871	1,5764
28	3,50	4,50	2,73	6,00	0,12	3799	1090	362	0,1187	2,1437	0,1715	2,9729
30	6,50	2,40	0,75	3,00	5,02	7231	3800	1602	0,0441	1,3363	0,0495	1,2991
36	2,35	1,80	1,27	3,00	1,28	1981	973	402	0,0528	1,4616	0,0521	1,5845
41	7,35	6,00	0,97	2,94	0,65	8134	3801	1377	0,1557	1,8671	0,1623	1,9831
44	14,00	4,80	0,35	1,80	7,10	7796	6228	2523	0,1438	1,8821	0,1529	1,9872
43	4,05	0,90	0,57	1,80	5,31	2564	3030	1462	0,0909	1,4875	0,1371	1,6609
29	2,30	0,40	0,71	0,71	0,40	1190	895	331	0	1,3331	0	1,4873
33	4,60	2,20	0,36	0,40	0,22	3740	3150	1400	0,0825	1,4332	0,0889	1,5583
vTp	vorangegangene Trockenwetterperiode											
NS	Niederschlagshöhe											
	Spülstoß nach Geiger											

Tabelle 3-4: Auflistung nach vorhergegangener Trockenwetterperiode

Ereignis	Dauer	NS	durchschn Intensität	maximale Intensität	vTp	Q	CSBtot	TSSsol	max E COD _{tot}	max tg alpha	max E TSS	max tg alpha
	[h]	[mm]	[mm/h]	[mm/h]	[d]	[m³]	[kg]	[kg]	[l]	[l]	[l]	[l]
42	7,25	0,90	0,82	12,42	14,83	3718	4615	1858	0,0253	1,575	0,0116	2,3973
32	2,00	0,80	0,65	6,00	13,58	1062	1199	504	0,0223	1,2094	0,0205	1,3216
27	2,25	0,40	0,32	6,00	9,86	1489	1316	450	0,0371	1,3126	0,0367	1,5968
24	26,40	23,90	1,02	28,00	8,78	39567	10631	4433	0,2526	5,7395	0,2536	6,7749
39	14,15	11,10	0,89	18,00	8,30	15876	10446	4581	0,1061	2,2546	0,1069	2,3924
44	14,00	4,80	0,35	1,80	7,10	7796	6228	2523	0,1438	1,8621	0,1529	1,9872
35	3,25	2,30	2,17	6,00	6,52	2715	2502	1192	0,0155	1,38	0,0254	1,4617
10	4,90	6,10	6,78	42,00	6,02	9314	3879	2183	0,1242	4,7292	0,1656	5,1111
43	4,05	0,90	0,57	1,80	5,31	2564	3030	1462	0,0909	1,4875	0,1371	1,6609
30	6,50	2,40	0,75	3,00	5,02	7231	3800	1602	0,0441	1,3363	0,0495	1,2991
38	2,05	1,10	0,44	7,32	4,43	1019	613	236	0,0121	1,2744	0,0074	1,4057
13	4,60	11,10	5,12	18,00	4,23	13047	3378	1706	0,288	3,9727	0,391	4,2642
2	6,65	3,70	1,95	12,00	4,18	4127	2861	1332	0,2271	2,841	0,256	3,7122
5	6,70	7,80	5,76	24,00	3,92	8387	4102	2233	0,097	4,0265	0,1507	4,4987
20	7,15	17,50	2,72	36,00	3,61	16729	1527	2060	0,1896	2,8656	0,3244	4,6144
1	3,00	2,00	1,76	6,00	3,10	1602	1705	715	0,1	1,7177	0,118	1,9814
17	4,80	0,60	5,00	6,00	3,10	2273	1819	628	0,0664	1,6743	0,1034	1,9888
11	3,15	5,50	8,15	42,00	2,64	4500	2441	1022	0,0244	2,3345	0,0666	2,6982
26	0,90	0,30	4,50	6,00	2,17	271	301	132	0,0209	1,3319	0,0093	1,4103
16	1,80	0,70	4,67	6,00	1,95	754	797	317	0,0176	1,6507	0,0397	2,8401
4	3,68	5,10	9,00	12,00	1,79	3652	1601	722	0,1205	1,8031	0,1279	1,8354
9	3,90	3,30	1,87	6,00	1,57	7573	2468	1195	0,1472	3,6421	0,1219	3,5362
7	2,10	4,40	11,00	42,00	1,54	2033	1287	583	0,0423	2,2911	0,0671	2,4357
14	5,10	0,90	1,35	6,00	1,51	1904	1371	457	0,0853	1,9482	0,1378	2,604
34	12,95	15,30	1,21	6,00	1,31	17059	5845	2896	0,2008	2,784	0,2086	2,8443
36	2,35	1,80	1,27	3,00	1,28	1981	973	402	0,0528	1,4616	0,0521	1,5845
40	11,35	10,30	1,05	7,68	1,25	16343	8411	3766	0,1882	2,8513	0,1974	2,8799
19	7,45	4,80	2,80	12,00	1,21	7658	1946	714	0,2813	3,5182	0,2383	3,8096
25	2,30	0,60	0,90	6,00	1,11	1474	1028	416	0,0512	1,2729	0,0561	1,3589
6	4,40	14,10	5,32	24,00	1,08	16009	2604	1563	0,2189	3,5934	0,2573	4,1974
3	3,55	13,40	33,50	72,00	0,94	7766	3479	2440	0,0512	3,5291	0,0978	3,7828
15	3,25	0,30	4,50	6,00	0,75	1014	801	280	0,0827	1,8206	0,1284	2,3186
37	18,45	13,30	2,63	6,00	0,74	21574	7870	3357	0,0774	3,2514	0,1061	3,4339
41	7,35	6,00	0,97	2,94	0,65	8134	3801	1377	0,1557	1,8671	0,1623	1,9831
18	8,05	16,80	6,59	18,00	0,55	17381	5572	2639	0,0038	3,2481	0,0033	4,4622
31	22,55	23,80	1,06	12,00	0,52	31669	6488	1917	0,0388	4,0378	0,0772	4,4145
21	1,95	0,70	1,80	6,00	0,46	1184	1074	383	0,097	1,5255	0,1179	1,586
29	2,30	0,40	0,71	0,71	0,40	1190	895	331	0	1,3331	0	1,4873
33	4,60	2,20	0,36	0,40	0,22	3740	3150	1400	0,0825	1,4332	0,0889	1,5583
8	5,85	4,30	9,92	18,00	0,20	5780	1888	1089	0,0502	2,0807	0,1102	2,5822
23	3,55	5,60	21,11	60,00	0,18	6125	2011	970	0,0356	1,2562	0,0484	1,423
45	41,70	21,90	0,52	25,74	0,18	37978	16614	6350	0,1075	2,2514	0,1363	2,475
22	2,25	1,90	2,22	24,00	0,16	2156	1415	556	0,0131	1,6413	0,0987	3,4344
12	4,80	0,80	1,45	6,00	0,13	1920	1113	354	0,0539	1,2331	0,0871	1,5764
28	3,50	4,50	2,73	6,00	0,12	3799	1090	362	0,1187	2,1437	0,1715	2,9729
vTp	vorangegangene Trockenwetterperiode											
NS	Niederschlagshöhe											
	Spülstoß nach Geiger											

Aus dem Vergleich der beiden Tabellen kann der Schluss gezogen werden, dass die Spülvorgänge stärker von der Regenintensität als von vorangegangener Trockenwetterperiode beeinflusst werden.

3.7 Unzulänglichkeiten der Spülstoßdefinitionen

Im Folgenden werden die in Kapitel 3.3 wiedergegebenen verschiedenen Spülstoßdefinitionen anhand der Grazer Daten hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft und die Erfahrungen damit mit den Erfahrungen anderer Autoren verglichen.

3.7.1 30/80 Spülstoß

Zunächst wurde versucht, aus den 45 ausgewerteten Ereignissen die Häufigkeit des Vorhandenseins eines 30/80 Spülstoßes im Zeitraum von Juni bis Dezember 2003 zu ermitteln.

Aus der **Abbildung 3-17** ist ersichtlich, dass für den COD_{tot} der 30/80 First Flush in dem betrachteten Zeitraum kein einziges Mal auftrat, d.h. kein einziger Spülstoß nach dieser Definition festzustellen war.

Das einzige Ereignis (im Diagramm dunkelblau dargestellt) das nach 30% des Abflussvolumens ca. 55% der COD_{tot} Fracht abtransportierte, datierte vom 09.09.2003 (Ereignisnummer 24). Ein zweites sehr auffälliges Ereignis (in champagner dargestellt) trat am 04.10.2003 (Ereignisnummer 32) auf, bei dem die Kurve deutlich unter der Diagonalen blieb. Dabei wurden in den letzten 20% des Abflussvolumens 60% der COD-Fracht abtransportiert.

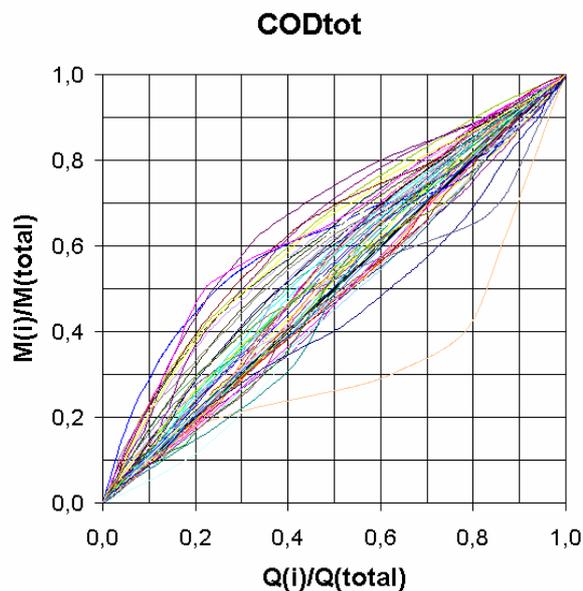


Abbildung 3-17: 45 COD_{tot} M(V) Kurven der 45 ausgewerteten Ereignisse der Messstation Graz im Zeitraum Juni bis Dezember 2003

Dieselbe Darstellung für den COD_{sol} (siehe **Abbildung 3-18**) zeigt, dass die Kurven deutlich näher an der Diagonalen liegen und ein ausgeprägter Spülstoß hier noch weniger erkennbar ist als beim COD_{tot} . Auch hier trat folglich kein einziges Mal ein 30/80 Spülstoß auf.

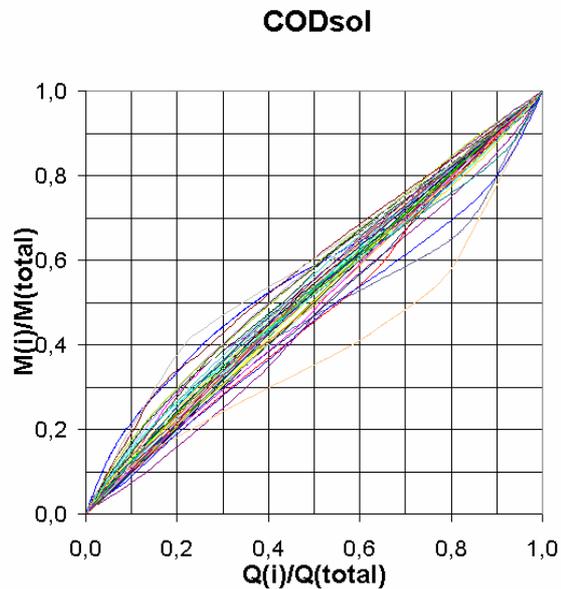


Abbildung 3-18: Scharen von COD_{sol} Kurven der 45 im Zeitraum Juni bis Dezember 2003 ausgewerteten Ereignisse

Die Streuung der TSS $M(V)$ Kurven (**Abbildung 3-19**) ist ähnlich denen des COD_{tot} . Auch hier ist kein 30/80 Spülstoß erkennbar.

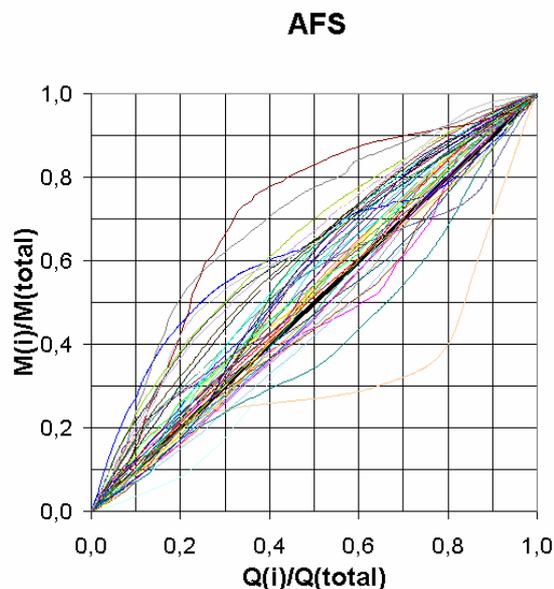


Abbildung 3-19: Scharen von TSS Kurven der 45 im Zeitraum Juni bis Dezember 2003 ausgewerteten Ereignisse

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass im betrachteten Zeitraum für die Schmutzstoffparameter COD_{tot} , COD_{sol} und TSS kein 30/80 First Flush

feststellbar war, was sicherlich auch auf die Größe und die Fließzeiten des von der Messstation Graz erfassten Einzugsgebietes zurückzuführen ist.

3.7.2 Signifikante Konzentrationsspitze

Sehr viele Autoren haben den Spülstoß als eine signifikante Konzentrationsspitze am Beginn eines Abflussereignisses bezeichnet (Thornton und Saul, 1987). Die Schwierigkeit dieser Definition liegt in der Vergleichbarkeit der Spülstöße mit anderen Mischwasserereignissen innerhalb eines Einzugsgebietes oder aber in der Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Einzugsgebieten.

In dieser Definition wird der Spülstoß als Spülstoßfracht berechnet. Die Spülstoßfracht ist dann jene Fracht, die sich aus der Multiplikation von Zufluss und Schmutzstoffkonzentration errechnet. Die für die Berechnung erforderliche Zeitspanne wird als jene definiert, in der eine ausgeprägte Konzentrationsspitze feststellbar ist. Die Bestimmung dieser Zeitspanne erfolgt manuell und ist deshalb auch sehr von der Interpretation des Auswertenden abhängig. Aus diesen Gründen sind statistische Auswertungen dieser Spülstoßfrachten oder Vergleiche von Spülstoßfrachten mit Spülstoßfrachten anderer Mischwasserereignissen schwer möglich.

In **Abbildung 3-20** ist ein Mischwasserereignis mit Zuflussganglinie und zugehöriger TSS Ganglinie dargestellt, die eine ausgeprägte TSS-Konzentrationsspitze aufweist. In **Abbildung 3-21** ist zum Ereignis von **Abbildung 3-20** die zugehörige M(V) Kurve dargestellt. Man erkennt, dass nach der Definition von Bertrand-Krajewski ein 30/80 First Flush bei weitem nicht auftritt. Um 80% an Schmutzfracht abzufangen müssten 60% an Zuflussvolumen gespeichert werden.

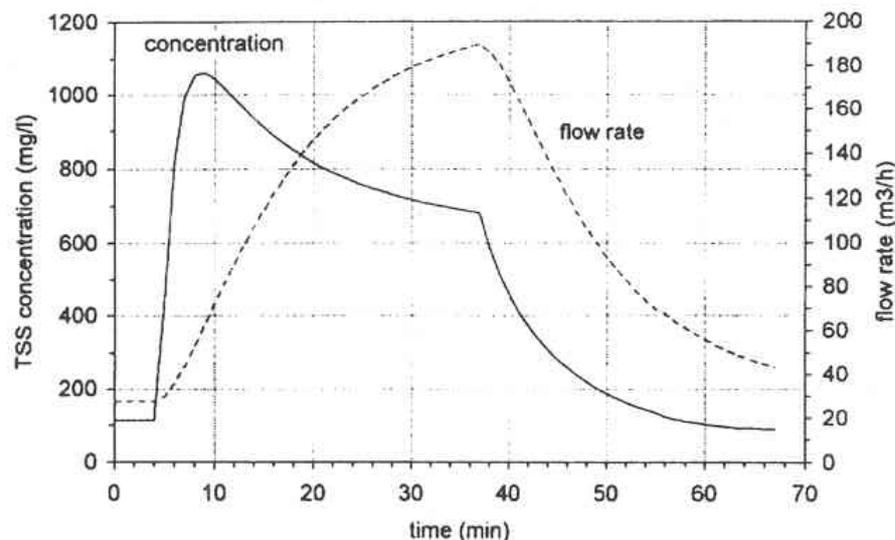


Abbildung 3-20: Abflussganglinie und TSS Ganglinie für Mantes-la-Ville am 17.10.1978 (Bertrand-Krajewski, 1997)

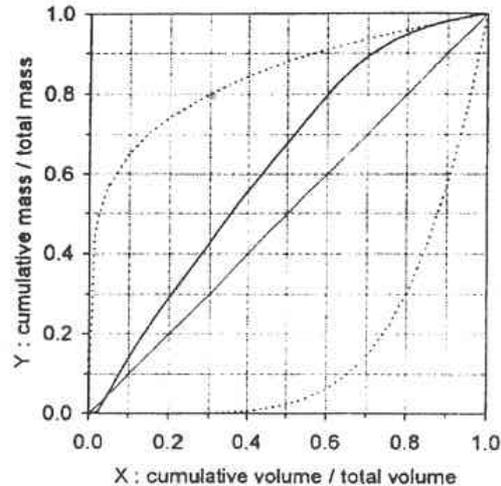


Abbildung 3-21: M(V) Kurve für Mantes-la-ville am 17.10.1978 (Bertrand-Krajewski, 1997)

Für die Auslegung von Steuerungsmaßnahmen und zur Dimensionierung von Regenspeichervolumina im Kanal ist diese Definition nicht geeignet, da es sich dabei nur um eine einfache Beschreibung einer initialen Konzentrationsspitze handelt.

3.7.3 EPA Definition (1993)

Schwierigkeiten bei der Berechnung des Spülstoßvolumens nach dem Verfahren der EPA Definition (siehe Kapitel 3.3.3) treten dann auf, wenn über einen langen Zeitraum die Konzentration im Mischwasser $C_{(t)}$ größer ist als die durchschnittliche Schmutzstoffkonzentration C_b im Trockenwetterabfluss.

Weiters wird vorausgesetzt, dass Konzentrationen, die unter dem durchschnittlichen Trockenwetterabfluss liegen, nicht abgefangen werden müssen und so unbehandelt in den Vorfluter abgeleitet werden können. Dabei wird also angenommen, dass sich diese Entlastungen auf die Vorflut nicht negativ auswirken, egal wie groß das Entlastungsvolumen dabei ist.

Die Definition nach EPA kann zur Berechnung von Mischwasserrückhaltebecken herangezogen werden, ist aber zur Definition und Bestimmung des Spülstoßes nicht geeignet. (Bertrand-Krajewski et al., 1998).

3.7.4 FNDAE Definition (1988)

Wie aus der Definition der FNDAE hervorgeht, beruht die Bestimmung auf einer typischen Konzentrationsspitze zu Beginn eines Abflussereignisses. Die Problematik der Ermittlung einer Spülstoßfracht anhand einer Konzentrationsspitze ist im Kapitel 3.7.2 bereits erläutert worden. Die Analyse einer Ganglinien von Konzentration und Abfluss (**Abbildung 3-2**) ist in **Abbildung 3-22** in Form einer M(V) Kurve dargestellt.

Während der Dauer der Konzentrationsspitze, von 16:15-16:50 (**Abbildung 3-2**), fließen 13% des gesamten Abflussvolumens zu. Diese 13% des gesamten Abflussvolumens beinhalten 28% der gesamten Schmutzfracht.

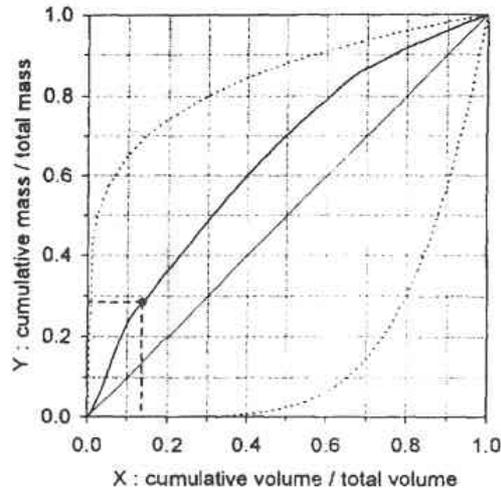


Abbildung 3-22: M(V) Kurve für BSB_5 für das in **Abbildung 3-2** dargestellte Ereignis (Bertrand-Krajewski, 1998)

Die FNDAE Definition basiert auf der Hypothese, dass der First Flush den Hauptteil der Verschmutzungsfracht beinhaltet. Wie aus dem Ereignis in **Abbildung 3-22** hervorgeht beinhaltet die erste Konzentrationsspitze 28% der gesamten Verschmutzungsfracht. Die Behauptung, dass 28% den Hauptteil der Verschmutzung repräsentieren ist schwer nachvollziehbar. Sie ist somit keine genaue Definition für den Hauptanteil der Verschmutzung (Bertrand-Krajewski et al., 1992)

Weiters ist es schwierig die Spülzeit T_r zu bestimmen. Sie entspricht nach der Definition der Zeitspanne der signifikanten Konzentrationsspitze, die zur Berechnung der Spülfracht erforderlich ist. Die Probleme bei der Bestimmung diese Zeitspanne sind bereits in Kapitel 3.7.2 beschrieben worden.

Die im Technischen Führer der FNDAE vorgeschlagene Definition für den First Flush beschreibt diesen nicht ausreichend genau, weshalb es mit dieser Definition auch nicht möglich ist, wirtschaftliche Regenrückhaltebecken in Kanälen zu dimensionieren und gleichzeitig die abgeschlagenen Schmutzstofffrachten zu minimieren. (Bertrand-Krajewski et al., 1998)

3.7.5 Definition nach Geiger (1984)

Die Definition nach Geiger (siehe Kapitel 3.3.5), die besagt, dass ein ausgeprägter Spülstoß dann auftritt, wenn der Abstand zwischen der Diagonale und dem M(V)-Verlauf an einer Stelle größer als 0,2 ist, hat den Nachteil, dass sich der Abstand dabei an jeder Stelle der X Achse befinden kann.

Der First Flush im Beispiel in **Abbildung 3-23** nach Geiger tritt nach 53% des Gesamtzuflussvolumens auf. Um diesen First Flush, der 80% der Gesamtschmutzfracht beinhaltet, abzufangen, müssten 53% des Gesamtabflusses abgefangen werden. Dieses Verhältnis von 53% des Gesamtabflusses ist wesentlich größer als zum Beispiel nach der Definition des 30/80 Spülstoßes.

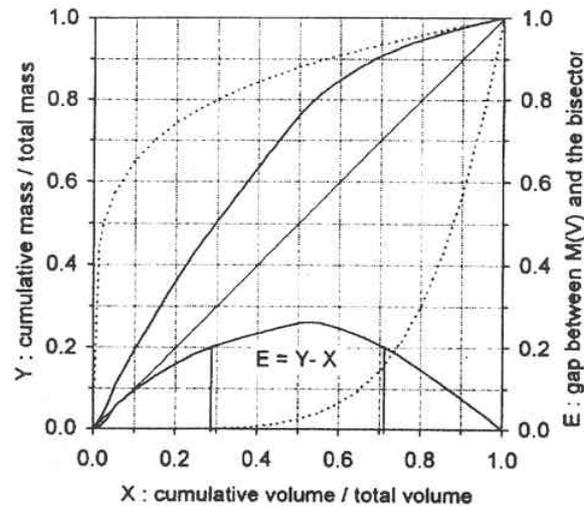


Abbildung 3-23: Abstand der $M(V)$ Kurve und Diagonale nach Geiger (1987)

Der First Flush sollte nach Bertrand-Krajewski (1998) also nach zwei Werten beurteilt werden. Erstens nach dem Abstand zwischen der Diagonale und der abflussbezogenen Frachtensummenlinie im $M(V)$ Diagramm und zweitens nach der Position des maximalen Abstandes in Bezug auf das Gesamtzuflussvolumen. (Bertrand-Krajewski, 1997)

4 Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

4.1 Messstation Graz

Die Kanal-Monitoring-Messstation Graz wird seit Oktober 2002 betrieben. Das Herzstück der Station ist ein direkt im Abwasserstrom, in einem schwimmenden Ponton, eingebauter Multi-Spektrometer, der Spektrometer-Konzentrationen von organischen Kohlenstoffverbindungen und Feststoffen misst. Das Gerät bedient sich dabei einer sogenannten globalen Kalibration, die den funktionellen Zusammenhang zwischen den gemessenen UV-VIS Absorptionen (Wellenlängenbereich 200-750nm) und der gesuchten Konzentration des erfassbaren Inhaltsstoffes oder der Stoffgruppe bestimmt.

Das Ponton ist mit Stahlseilen von der Decke und von den Seitenwänden so fixiert, dass es zum einen das Eintauchen des Messfensters des Spektrometers bei geringsten Abwassermengen in den Nachtstunden und zum anderen im Entlastungsfall einen repräsentativen Messort im Bereich der Überlaufschwelle garantiert. Um die Dynamik der Abflussvorgänge während Regenereignissen möglichst genau zu erfassen, erfolgt die Aufzeichnung der Daten ab einem bestimmten Wasserstand im Kanal mit einem Intervall von 1 Minute (Intensivintervall).

4.2 Motivation

Der Multi-Spektrometer bedient sich zur Messung der erfassbaren Konzentrationen wie bereits erwähnt globaler Kalibrationen, die den Zusammenhang Adsorption und Stoffkonzentration bestimmen. Diese globale Kalibration ist eine vom Hersteller mitgelieferte Werkseinstellung, die für eine durchschnittliche kommunale Abwassermatrix ausgelegt wurde. Zur Überprüfung der Werkseinstellung wurden vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz bisher drei 24h-Trockenwetter-Messkampagnen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der 1. und 2. Messkampagne (**Abbildung 4-1**) wurde die globale Einstellung mit einer so genannten lokalen Kalibration auf die in Graz vorherrschende Abwassermatrix angepasst und verbessert.

Im Rahmen dieser Messkampagnen wurden an Trockenwettertagen jeweils zur vollen Stunde mit dem Spektrometer Spektren aufgenommen und parallel dazu Proben gezogen, die auf schnellstem Weg im Labor analysiert wurden.

Abbildung 4-1 zeigt für den Gesamt-CSB die auf die Laborwerte bezogenen relativen und absoluten Fehler der 24-Stunden-Messkampagne vom 03.09-04.09.2003. Deutlich erkennbar ist der Vorzeichenwechsel der beobachteten Fehler während der Zeit des Nachtminimums in den frühen Morgenstunden (2:00-6:00). Während dieser Stunden waren die Spektrometerwerte deutlich höher als die Laborwerte, wohingegen sie während der restlichen Zeit stets niedriger waren. Auch deuten die sehr hohen relativen Fehler während der Nachtminima auf eine generelle Veränderung der Abwassermatrix durch Fremdwasserzutritt hin.

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

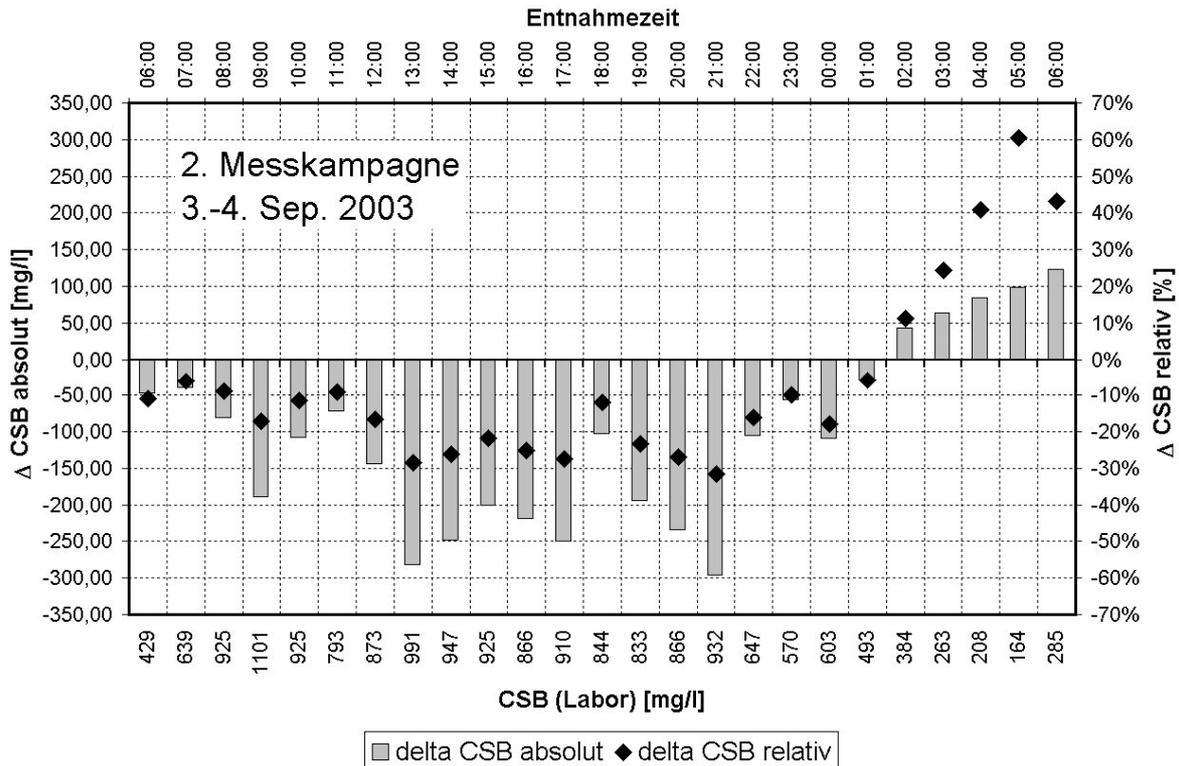


Abbildung 4-1: Absolute und relative Fehler der Spektrometerwerte von parallel untersuchten Laborwerten während einer 24h-Trockenwetter-Messkampagne (Gruber et al. 2003)

Abbildung 4-2 zeigt die während dieser Messkampagne aufgetretene Korrelation zwischen den Labor- und den Spektrometerwerten für den Parameter Gesamt-CSB. Zu Vergleichszwecken wurden in **Abbildung 4-2** auch die während eines Entlastungsereignisses innerhalb eines Zeitraumes von 15 Minuten entnommenen und analysierten 5 Stichproben eingetragen (CSB_{eq} (MW)).

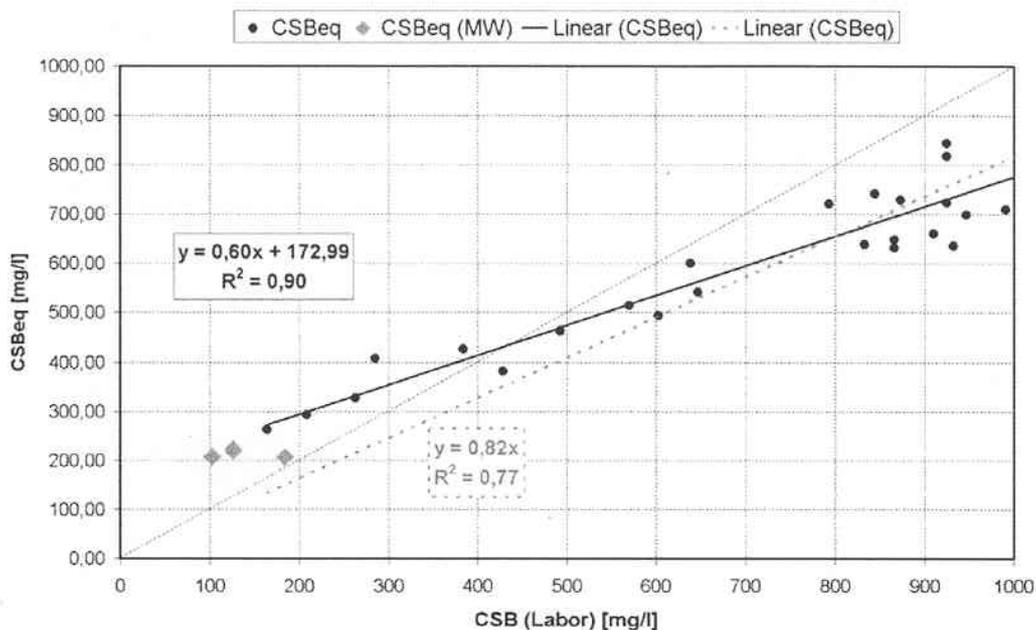


Abbildung 4-2: Ergebnis der lokalen Kalibration des Spektrometers für den Parameter Gesamt-CSB während einer 24h-Messkampagne bei Trockenwetter (Hochedlinger 2004)

Die Ergebnisse der drei Messkampagnen haben gezeigt, dass durch eine lokale Kalibration die Messungen der Sonde deutlich verbessert werden konnte. Relativ wenig ist bisher allerdings über die Genauigkeit des Sensors bei Mischwasserabfluss bekannt. Um Aussagen über die Genauigkeit des Spektrometers in Bezug auf Mischwasserabfluss treffen zu können, sind Probenentnahmen und Spektrometermessungen bei unterschiedlichen Mischwasserabflüssen erforderlich.

4.3 Studie von Stumwöhler et al. (2003)

4.3.1 Beschreibung der Studie

Stumwöhler et al. (2003) beschreibt die Ergebnisse einer Monitoring Kampagne in einem Mischwasserüberlaufbecken nahe St. Pölten, das in den Fluss Traisen entlastet. In dem Entlastungskanal wurden ein Zwei-Wellenlängen insitu Spektrometer und ein automatischer Probennehmer mit Temperaturkontrolle installiert. Das Mischwasserüberlaufbecken ist im Norden von St. Pölten situiert und ein Teil des Traisensammelkanals, eines 30 km langen Abwasserkanals, der in Traisen beginnt und das gesamte Abwasser zur Kläranlage nach Traisenmauer leitet.

Da der Spektrometer im Gegensatz zu Graz im Überlaufkanal installiert ist, erfolgen Messungen nur bei Entlastungsereignissen. Das Probennehmergerät mit einem im Überlaufkanal installierten Feuchtigkeitssensor wurden so getriggert, dass zu Entlastungsbeginn alle 15 Minuten automatisch Proben genommen wurden, die im Anschluss daran im Labor auf CSB, NH₄-N und UV-Absorptionen untersucht wurden.

In **Abbildung 4-3** sind die Laborergebnisse der Studie von Stumwöhler et al. (2003) dargestellt. Die Abweichungen der vor Ort gemessenen UV-Absorptionen von denen, die im Labor nach Homogenisierung der Probe bestimmt wurden, waren dabei unbedeutend klein.

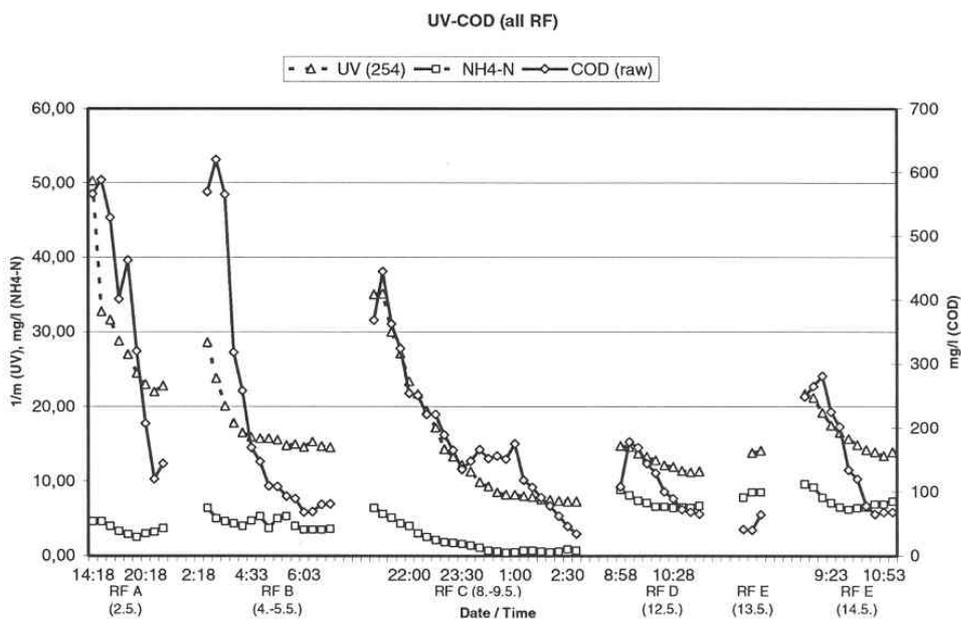


Abbildung 4-3: Gegenüberstellung Konzentrationsmessungen mit UV-Absorptionen (Stumwöhler et al. 2003)

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

Die Korrelationen der gemessenen UV-Absorptionen und der Laborwerte, der ersten drei Regenereignissen (RF A, RF B und RF C) sind in **Abbildung 4-4** dargestellt.

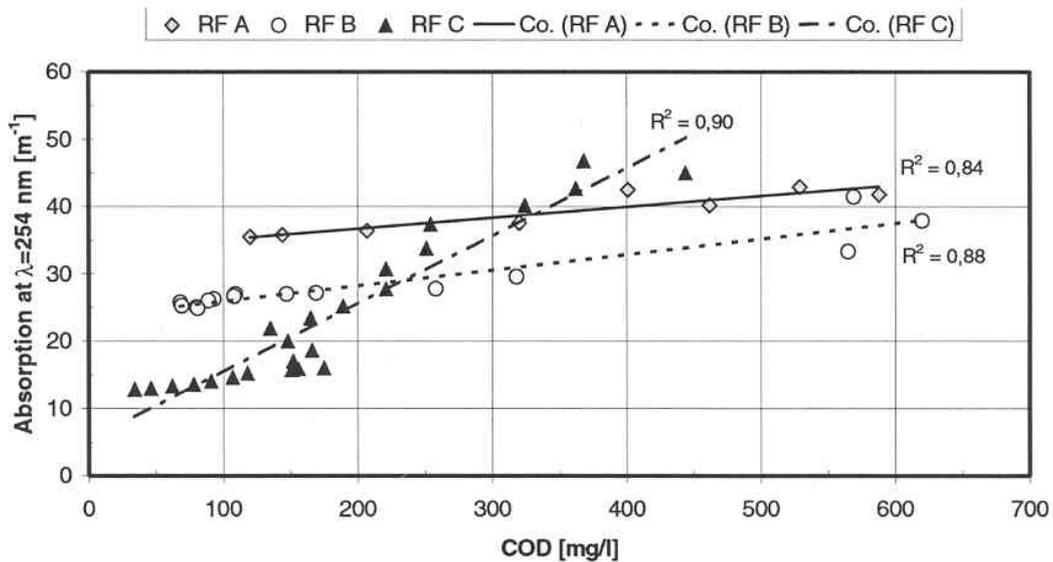


Abbildung 4-4: UV-Absorptionsmessungen mit den zugehörigen Labormessungen (Stumwöhler et al. 2003)

Beim Regenereignis RF A ging eine lange Trockenwetterperiode voraus. Die gemessenen Absorptionen hatten bei $\lambda=254$ nm eine geringe Streuung von 35-45 m^{-1} , während die dazugehörigen CSB-Laborwerte zwischen 100-600 mg/l lagen.

Das zweite Regenereignis RF B fand 2 Tage nach dem Ereignis RF A statt und war wesentlich länger. Im Unterschied zum Ereignis RF A wies es jedoch eine vollkommen unterschiedliche Charakteristik auf. Die Absorptionen hatten eine wesentlich größere Streuung und lagen zwischen 10 bis 50 m^{-1} . Der CSB lag unter 500 mg/l und die Mehrheit aller Messungen befand sich unter 250 mg/l.

Das Regenereignis RF C fand 4 Tage nach RF B statt. Dabei ergab sich wiederum eine andere Korrelation zwischen den CSB Konzentrationen und den Absorptionen.

Wie aus **Abbildung 4-4** hervorgeht, kann für jedes Ereignis in sich eine gute Korrelation zwischen den Absorptionen des Zwei-Wellenlängen-Spektrometers und den im Labor analysierten CSB-Konzentrationen berechnet werden. Deutlich erkennbar ist jedoch auch, dass die Korrelationen untereinander stark variieren.

Abbildung 4-5 zeigt die Messergebnisse aller drei Überlaufereignisse und deren Gesamtkorrelation. Diese beträgt aber nur mehr 0,58.

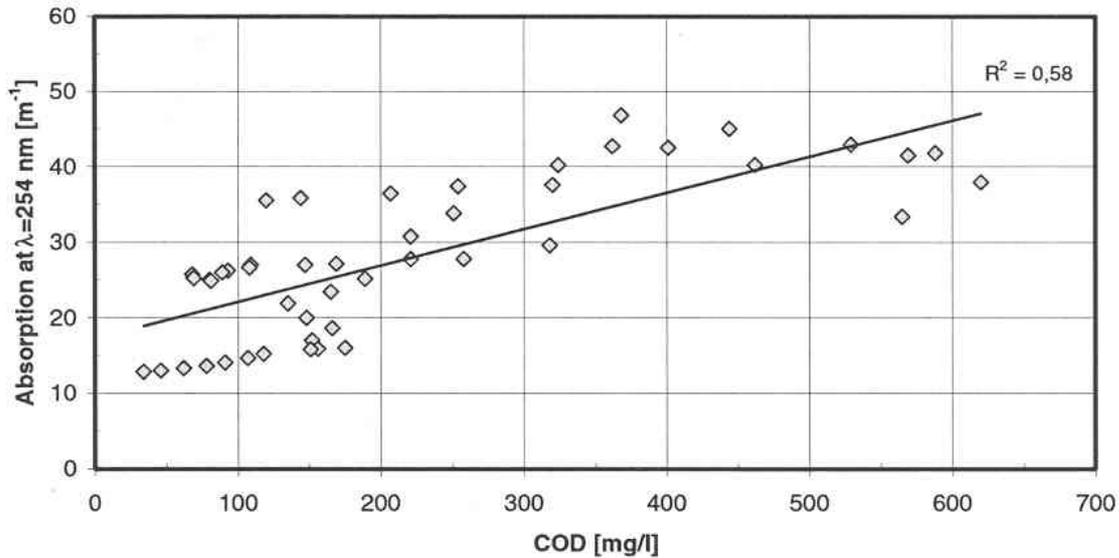


Abbildung 4-5: Gesamtkorrelation aller drei Überlaufereignisse (Stumwöhrer et al. 2003)

4.3.2 Mögliche Ursachen nach Stumwöhrer et al. (2003)

Da sich während Mischwasserereignissen die Abwassermatrix stark verändert und vor allem die Verteilung von Schwebstoffen sehr inhomogen ist, kann eine Trockenwetter-Kalibration der Sonde zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

4.4 Multi-Spektrolyser und 2-Wellenlängen-Spektrolyser

4.4.1 Zwei-Wellenlängen-Spektrolyser

UV-Absorptionen mit einer Wellenlänge von 254 nm werden bereits in sehr vielen Kläranlagen zur Messung von organischen Verschmutzungen im Zu- und Ablauf verwendet. Das System funktioniert ähnlich wie beim Multi-Spektrometer. Absorptionen, die bei 254 nm gemessen werden, korrelieren in der Regel sehr gut mit den organischen Kohlenstoffverbindungen, während sich die Absorption bei 350 nm sehr gut zur Trübungskompensation im sichtbaren Wellenlängenbereich eignet. Dieses Prinzip eignet sich für häusliches Abwasser auf Kläranlagen in der Regel sehr gut.

Das Problem des Abwassers im Kanal gegenüber dem in einer Kläranlage ist die starke Inhomogenität der Verteilung von großen Partikeln und ungelösten Schwebstoffen, welche durch die mechanische Reinigungsstufe auf Abwasserreinigungsanlagen zurückgehalten werden. Dies geschieht vor allem bei Mischwasserereignissen mit großen Abflussmengen, welche zu einer Remobilisierung der in Trockenwetterperioden akkumulierten Feststoffen führen.. Weiters werden von der Oberfläche viele anorganische Bestandteilen mit in den Mischwasserkanal gespült.

All diese Vorgänge führen bei Regenereignissen zu einer Änderung der Abwassermatrix, was zu falschen Messungen führen kann. Auch sind die Mischwasserereignisse, wie schon berichtet, von Mal zu Mal in ihrer Charakteristik sehr unterschiedlich.

Daher kommt der Kompensation der Trübung bei allen Absorptionsmessungen eine zentrale Bedeutung zu. Trübheit aufgrund von Schwebstoffen verursacht bei der Messung Lichtstreuung und Abschattungserscheinungen und beeinflusst daher das Gesamtspektrum, wohingegen andere störende Substanzen Licht nur in sehr kleinen Wellenbereichen absorbieren. Es ist bekannt, dass die Spektralform, die von Schwebstoffen verursacht wird, von der Wellenlänge über einen Faktor λ^x (Huber und Frost, 1998) abhängig ist, wobei x wiederum vom Partikeldurchmesser abhängt. Daraus wurde eine mathematische Gleichung entwickelt, die den Einfluss der Trübheit auf die Messung der Konzentrationen organischer Summenparameter, bestimmbar macht.

4.4.2 Multi-Spektrolyser

Der bei der Messstation Graz verwendete Multi-Spektrolyser bestimmt die Absorptionen in einem Wellenlängenbereich von 200-750nm. Mittels Lichtblitzen werden in diesem Bereich alle 2,5 nm (d.h. 221 Absorptionen pro Messung) die Absorptionen erfasst und kontinuierlich aufgezeichnet.

Dieses Spektrum bietet zwei wesentliche Vorteile:

- Nitrat, Trübe und organische Substanzen können simultan gemessen werden
- Die qualitative Beurteilung von Abwasserinhaltsstoffe ist möglich
- Veränderungen im Spektrum der Abwassermatrix können mit hoher Präzision erfasst werden

Aus dem Verlauf der so genannten Fingerprints (graphischer Verlauf eines Absorptionsspektrums von 200-750 nm) kann auf die Art der Verschmutzung und auf die Inhaltsstoffe geschlossen werden.

Die hohe Dichte an Absorptionen erlaubt auch die spektrale Kompensation von Trübungseinflüssen bei der Messung von Spektrometer-Konzentrationen.

Der Hersteller des UV-VIS Spektrometers gibt in seinem Prospekt als einen der Vorteile eine geringe Querempfindlichkeit auf Trübung, Färbung, Aufwuchs etc. an. Potentielle Störgrößen, die man mit einer Zwei-Wellenlängen-Messung nicht erkennen kann, können laut Hersteller fast immer problemlos mit Hilfe der spektralen Information kompensiert werden.

Mit Hilfe dieser Eigenschaften ist lt. Hersteller eine bessere Übereinstimmung zwischen Labor- und Sondenmessungen möglich.

4.5 Auswertungen von Mischwasserereignissen an der Messstation Graz

4.5.1 Probenahme

Zur Validierung der Spektrometermessungen in der Mischwasserkammer in Graz bei Mischwasserabfluss wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit parallel zu den Spektrometermessungen auch konventionell Proben mit einem automatischen Probenahmegerät entnommen und im Labor untersucht.

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

Die Probennahme erfolgte mit einem automatischen Probenahmegerät im Messcontainer, der sich direkt über der Mischwasserkammer befindet. Bei jedem der 7 Ereignisse wurden jeweils 6 Behälter mit 5 Liter Inhalt befüllt.

Die Befüllung erfolgte mittels der im Messcontainer installierten Peristaltikpumpe des Probenahmegerätes, die für einen Behälter mit 6 Litern Inhalt im Durchschnitt zwischen 3 bis 5 Minuten benötigt. Der Probenahmeschlauch des Probenahmegerätes ist am hinteren Ende des Pontons befestigt (siehe **Abbildung 4-6**), was bei sehr starkem Regenabfluss fallweise zu Problemen geführt hat, da sich das Ponton aufrichtete und die Pumpe kein Wasser ansaugen konnte. Dies konnte aber durch den Seilzug, der im Messcontainer mit einer elektrischen Winde und im Kanal mit dem Ponton verbunden ist, zumeist sehr rasch behoben werden.

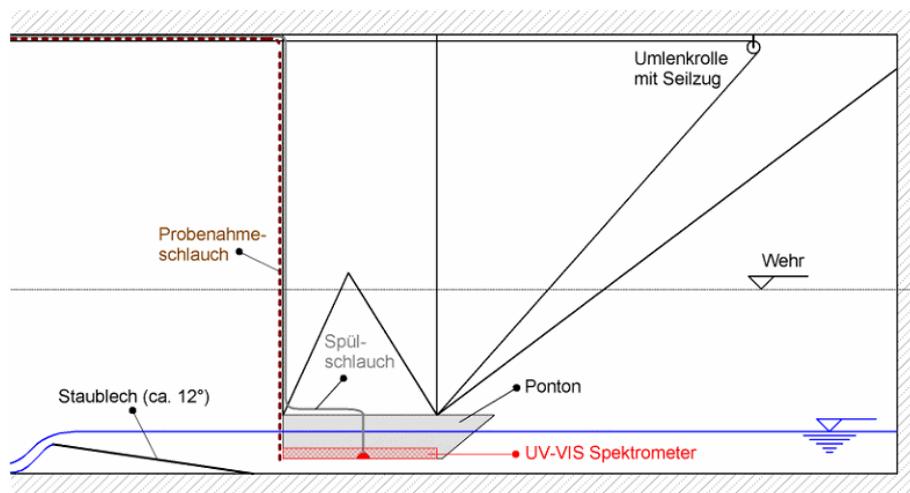


Abbildung 4-6: Schnitt durch Ponton mit Ansaugschlauch und Seilzug (Gruber et al. 2003)

4.5.2 Spektrometermessungen

Während man Proben mit Hilfe der Pumpe aus dem Kanal entnahm, wurden parallel dazu auch Fingerprints im kleinst möglichen Intervall von einer Minute mit dem UV-VIS Spektrometer gemessen. Die Dauer einer Probennahme variierte zwischen 3-5 Minuten und dementsprechend wurden auch pro Probe 3-5 Fingerprints gemessen. Die am Industrie-PC installierte Software ana::pro bildete aus den gemessenen Fingerprints jeweils eine Mittelwertkurve, die in Form von fortlaufenden ID's gespeichert wurde. Aus diesen Fingerprints kann das Programm nun mit Hilfe von Kalibrationen die entsprechenden Spektrometer-Konzentrationen errechnen.

4.5.3 Probleme mit den Messungen der Sonde im Zeitraum Juli bis August 2004

Aus den Erfahrungen der 2. Messkampagne wurde vor Beginn dieser Messungen eine Nullmessung der Sonde mit anschließender Neureferenzierung in destilliertem Wasser durchgeführt. Dabei wurde die Sonde aus dem Ponton ausgebaut, gereinigt und eine Messung in destilliertem Wasser durchgeführt. In diesem Fall sollten die gemessenen Absorptionen über den gesamten Wellenbereich Null anzeigen. Ist dies nicht der Fall, so wird das Gerät neu referenziert, um die aufgetretenen Veränderungen zu kompensieren. Abweichungen vom Nullspektrum mussten schon im Zuge der bisher durchgeführten Messkampagnen festgestellt werden. Eigentlich

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

sollten diese Abweichungen bei einer ordnungsgemäßen Druckluftspülung des Messfensters mit 5 bar nach Herstellerangaben nicht auftreten.

Abbildung 4-7 stellt einen Screenshot der Nullmessung vom 22.06.2004 dar, welchen die Sonde nach einer Grobreinigung in destilliertem Wasser anzeigte. Wie zu sehen ist, ergab sich dabei aus den Absorptionsmessungen ein CSB-Wert von 60 mg/l. Die Sonde wurde im Anschluss daran wieder auf Null referenziert.



Abbildung 4-7: Absorptionsmessung nach Reinigung in destilliertem Wasser vom 22.06.2004

Nach dem Beobachtungszeitraum der Diplomarbeit baute man am 04.10.2004 die Sonde neuerlich aus, reinigte sie und überprüfte sie neuerlich in destilliertem Wasser. Leider musste man dabei, wie in **Abbildung 4-8** dargestellt ist, eine noch größere Abweichung vom Nullspektrum feststellen, was einen CSB-Wert von 363 mg/l zur Folge hatte.

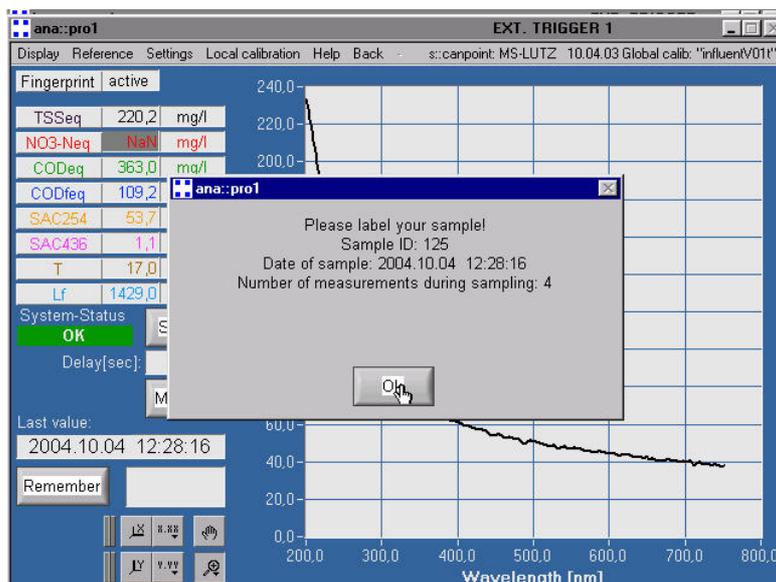


Abbildung 4-8: Absorptionsmessung nach Reinigung in destilliertem Wasser vom 04.10.2004

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

Bei Ausbau der Sonde aus dem Ponton wurde festgestellt, dass der Anschluss des Druckschlauches zur Druckluftreinigung an die Sonde gebrochen war. Wie lang die Funktion der Spülung beeinträchtigt war ist leider unbekannt. Um dies herauszufinden, wurde der Verlauf der CSB-Linie des gesamten Jahres aufgetragen. Dabei sollte sich die Konzentration des CSB in den Nachtminima nicht wesentlich verändern, da in dieser Zeitperiode ähnliche Belastungen vorherrschen. In **Abbildung 4-9** ist die CSB-Jahresganglinie im Zeitraum von 01.01.2004 bis 01.01.2005 mit Hauptaugenmerk auf die Nachtminima dargestellt. Die Werte November bis Dezember existieren zum Zeitpunkt der Abfassung der Diplomarbeit noch nicht.

Hierbei sind in rot die CSB-Linie, in grün der Zufluss zur Mischwasserkammer und in blau der Abfluss aus dem Entlastungskanal dargestellt. Deutlich am Verlauf der CSB-Nachtminima erkennbar ist die Neureferenzierung der Sonde am Beginn der Diplomarbeit Anfang Juli und am Ende Anfang Oktober, welche sich beide durch Sprünge auf niedrigere Konzentrationsniveaus auswirkten. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes der Diplomarbeit kam es zu einer ungewöhnlich starken drift der CSB-Minima von ca. 100 mg/l bis auf über 600 mg/l, was leider zur Vermutung führt, dass die Druckluftspülung entweder bereits im Zuge des Wiedereinbaus der Sonde in das Ponton brach oder kurze Zeit danach.

Unmittelbar nach der Neureferenzierung der Sonde und Reparatur der Druckluftspülung Anfang Oktober musste jedoch eine neuerliche Drift der CSB-Minima beobachtet werden. Diesmal lag die Ursache dafür jedoch daran, dass nach der Reparatur der Druckluftspülung einfach vergessen wurde, den Kompressor für die Druckluftspülung zu aktivieren. Beides hatte also eine ähnliche Drift zur Folge, wodurch die unbedingte Notwendigkeit einer regelmäßigen und einwandfrei funktionierenden Druckluftspülung des Messfensters bestätigt werden konnte.

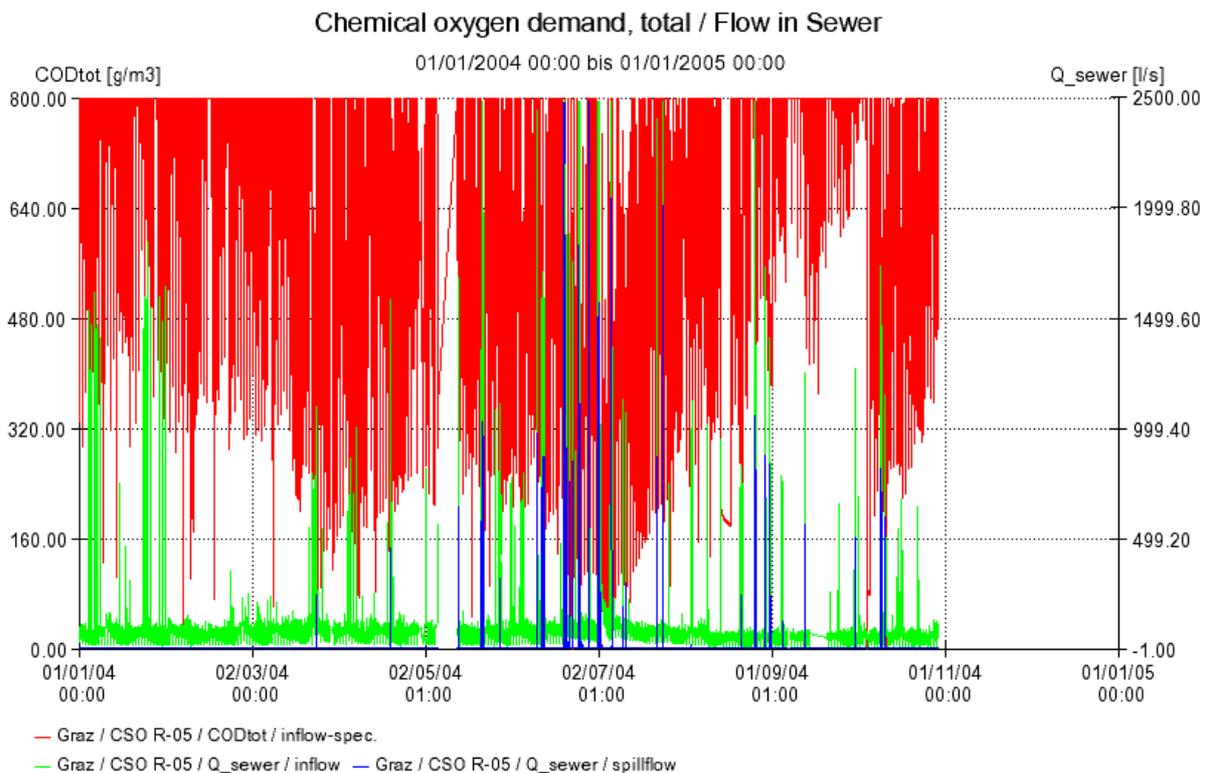


Abbildung 4-9: Die CSB-, die Zulauf- und die Entlastungsganglinie des Jahres 2004

4.5.4 Auswertungen der Ereignisse

Für die Gegenüberstellung der Spektrometerwerte mit den Laborwerten während der 7 erfassten Mischwasserereignisse wurden die Fingerprints aus der Datenbank der Messzentrale exportiert und mittels zweier, verschiedener globaler Kalibrationen die Spektrometer-Konzentrationen daraus offline berechnet.

Die Durchführung dieser Offline-Berechnungen erfolgte zum einen mit Hilfe der globalen Kalibration des Herstellers (in den Abbildungen **Abbildung 4-10** bis **Abbildung 4-16** mit „influentV010t“ bezeichnet) und zum anderen mit Hilfe einer neu entwickelten globalen Kalibration (in den Abbildungen **Abbildung 4-10** bis **Abbildung 4-16** mit „gruber02V010“ bezeichnet). Diese neue Kalibration wurde auf Basis der Ergebnisse der 3. Messkampagne gemeinsam mit der Firma s::can entwickelt.

Das Resultat dieser Offline-Berechnungen sind zwei verschiedene Ganglinien für den CSB. Zu diesen Ganglinien werden zusätzlich die Laborwerte der CSB Konzentrationen als gelbe Punkte eingetragen, die von jenen Proben stammen, die während dieser Ereignisse aus dem Kanal gezogen wurden.

Im Folgenden sind nun jene sieben Mischwasserereignisse (MW_01 bis MW_07) dargestellt, die im Zeitraum Juli bis September 2004 erfasst wurden:

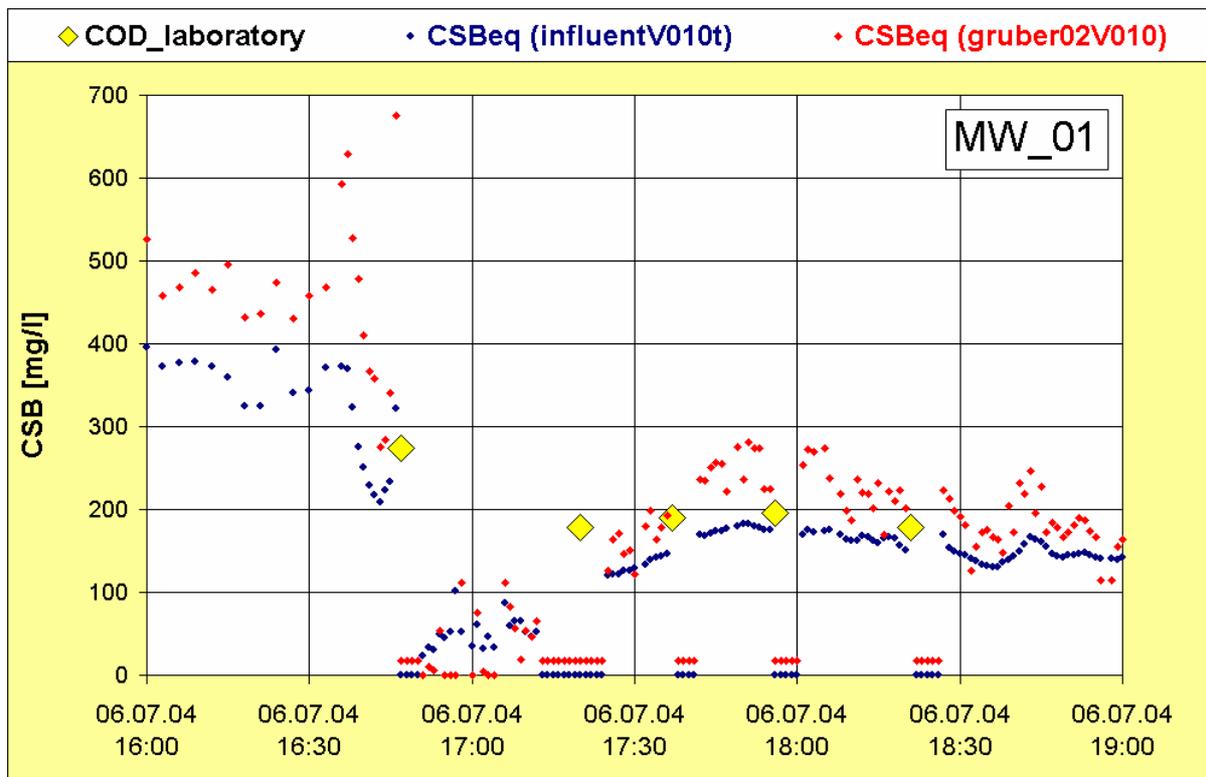


Abbildung 4-10: Mischwasserereignis 01 vom 06.07.2004

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

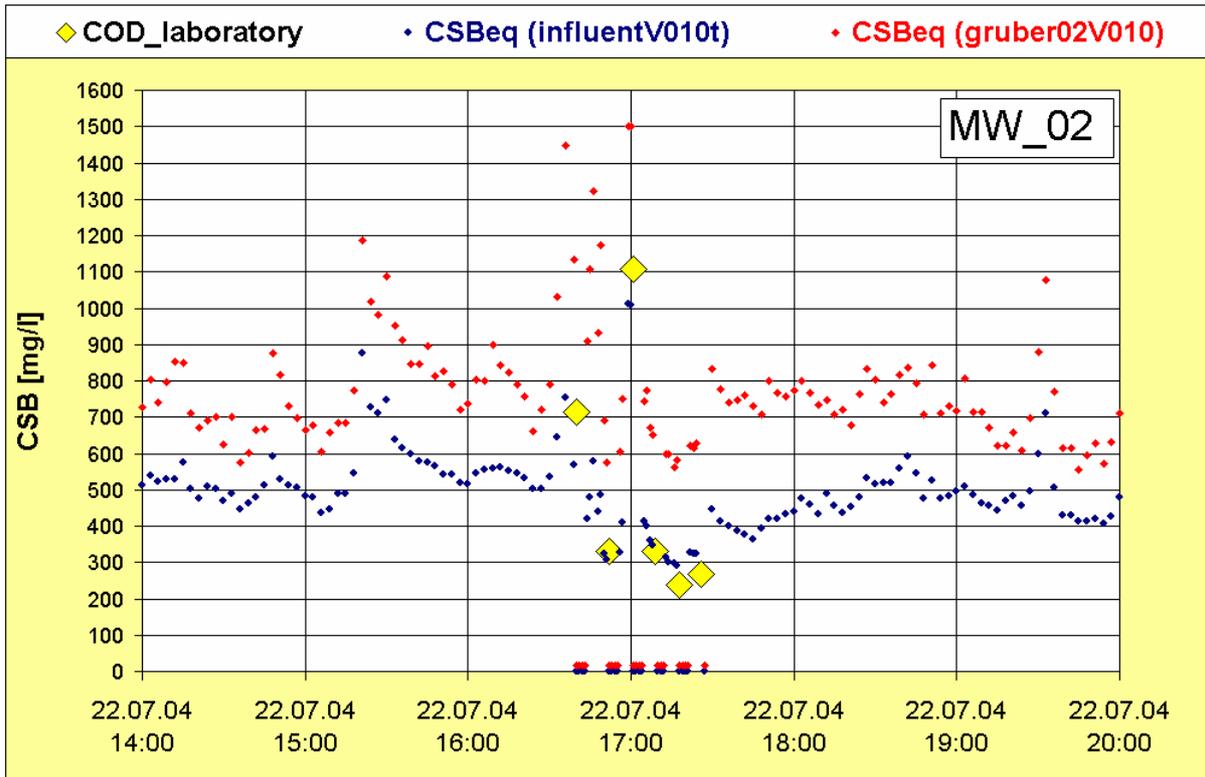


Abbildung 4-11: Mischwasserereignis 02 vom 22.07.2004

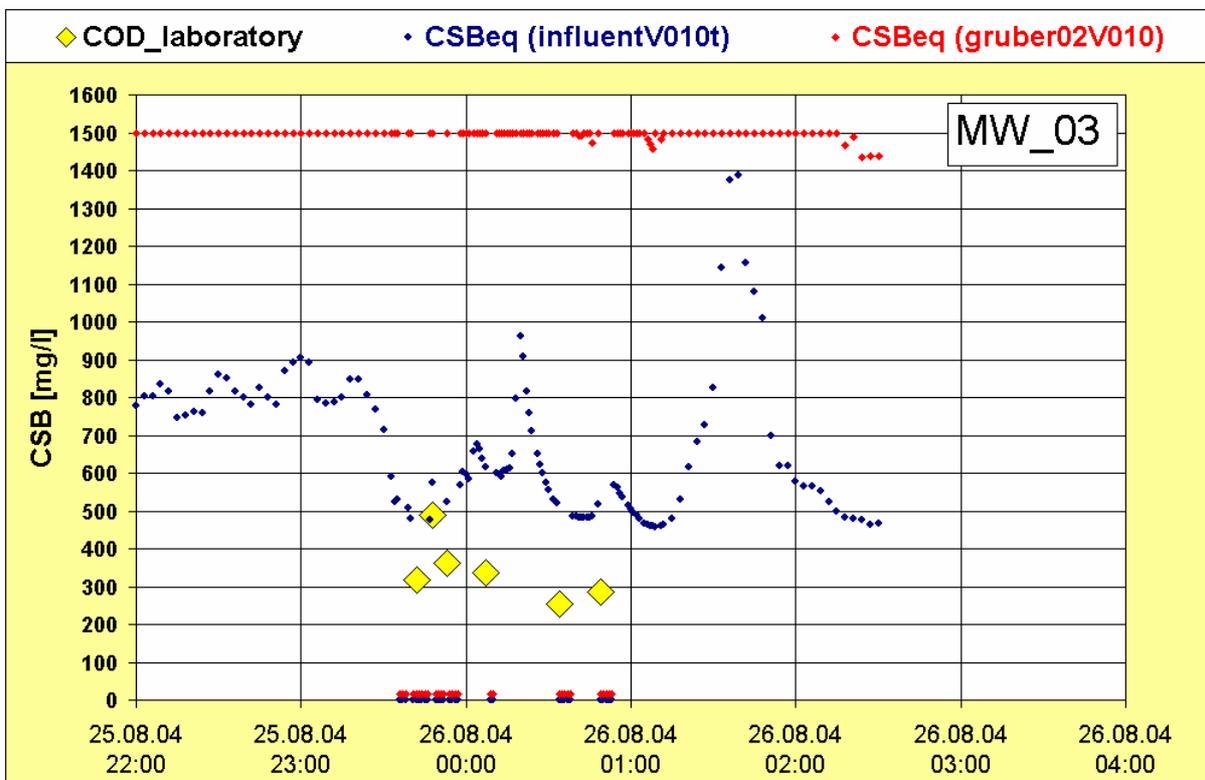


Abbildung 4-12: Mischwasserereignis 03 vom 25.08.2004

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

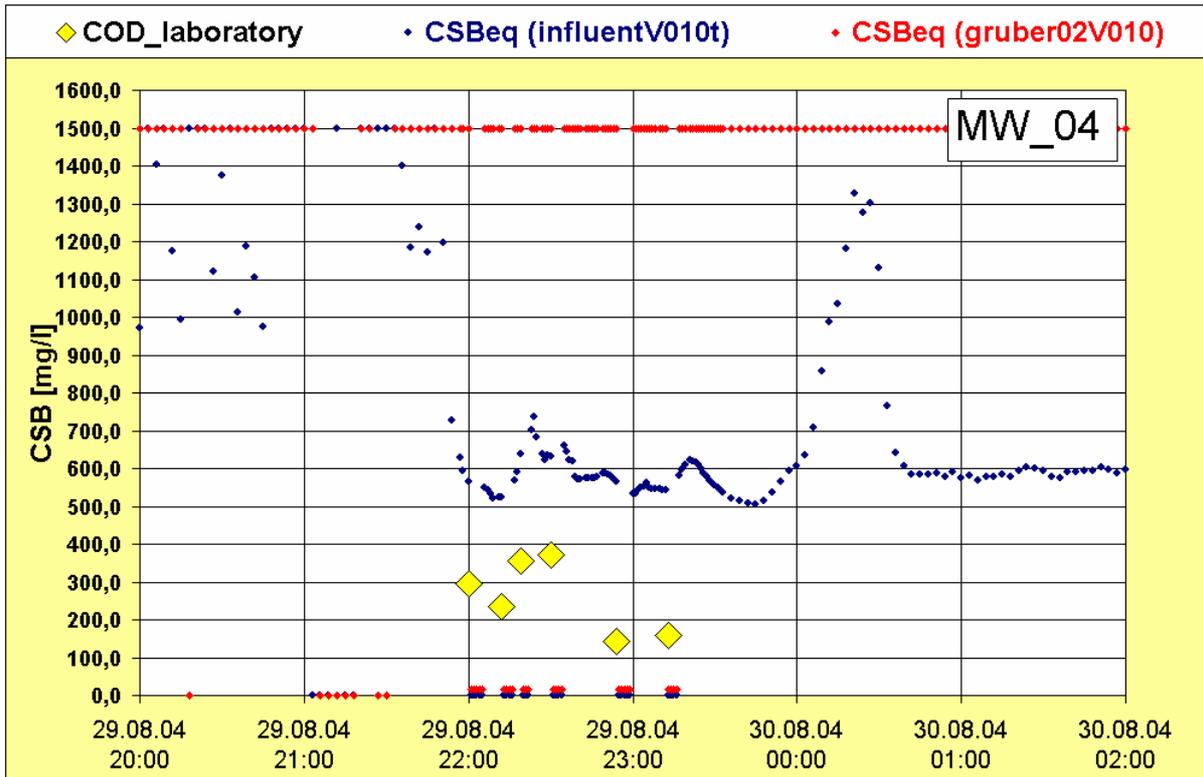


Abbildung 4-13: Mischwasserereignis 04 vom 29.08.2004

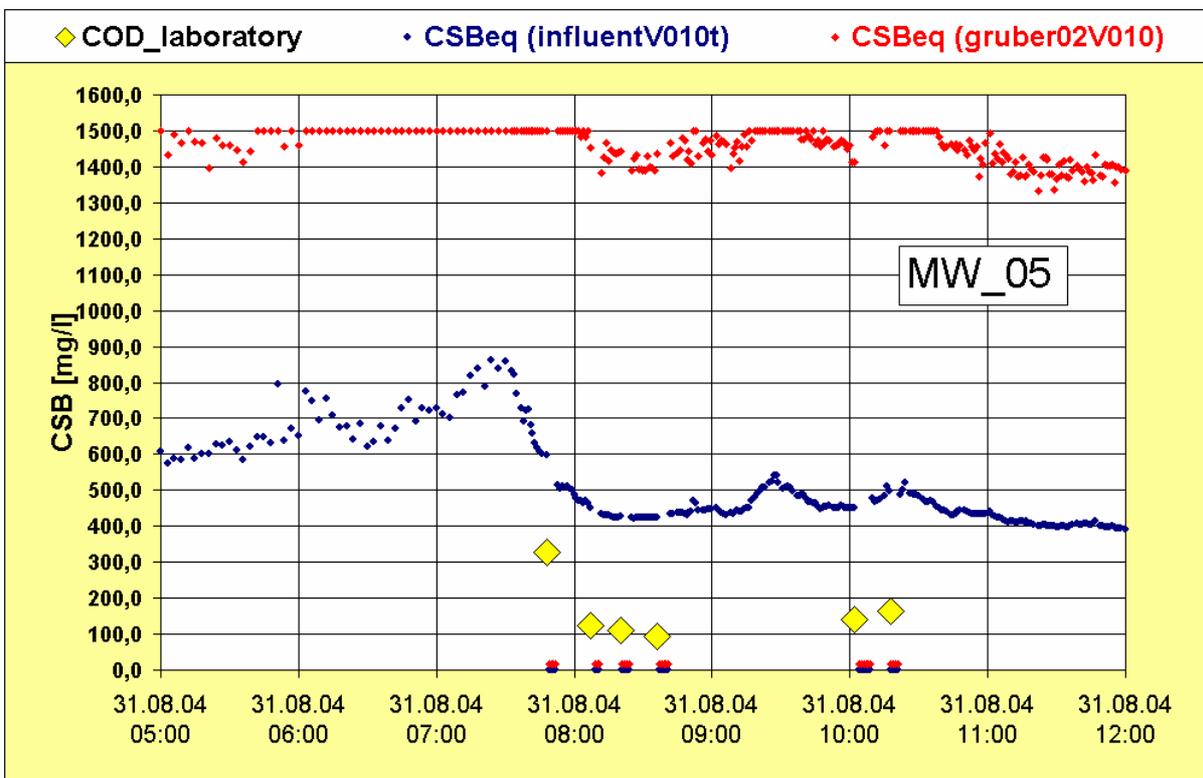


Abbildung 4-14: Mischwasserereignis 05 vom 31.08.2004

4. Validierung der Spektrometer-Konzentrationen während Mischwasserereignissen

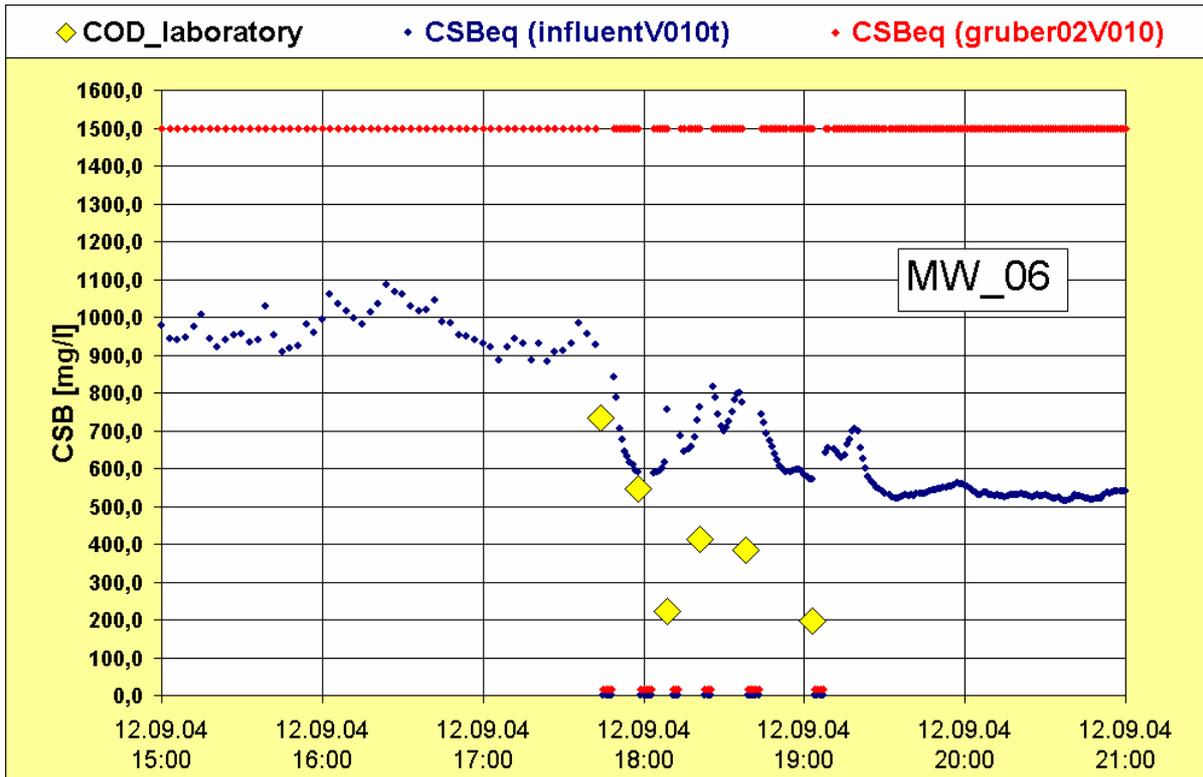


Abbildung 4-15: Mischwasserereignis 06 vom 12.09.2004

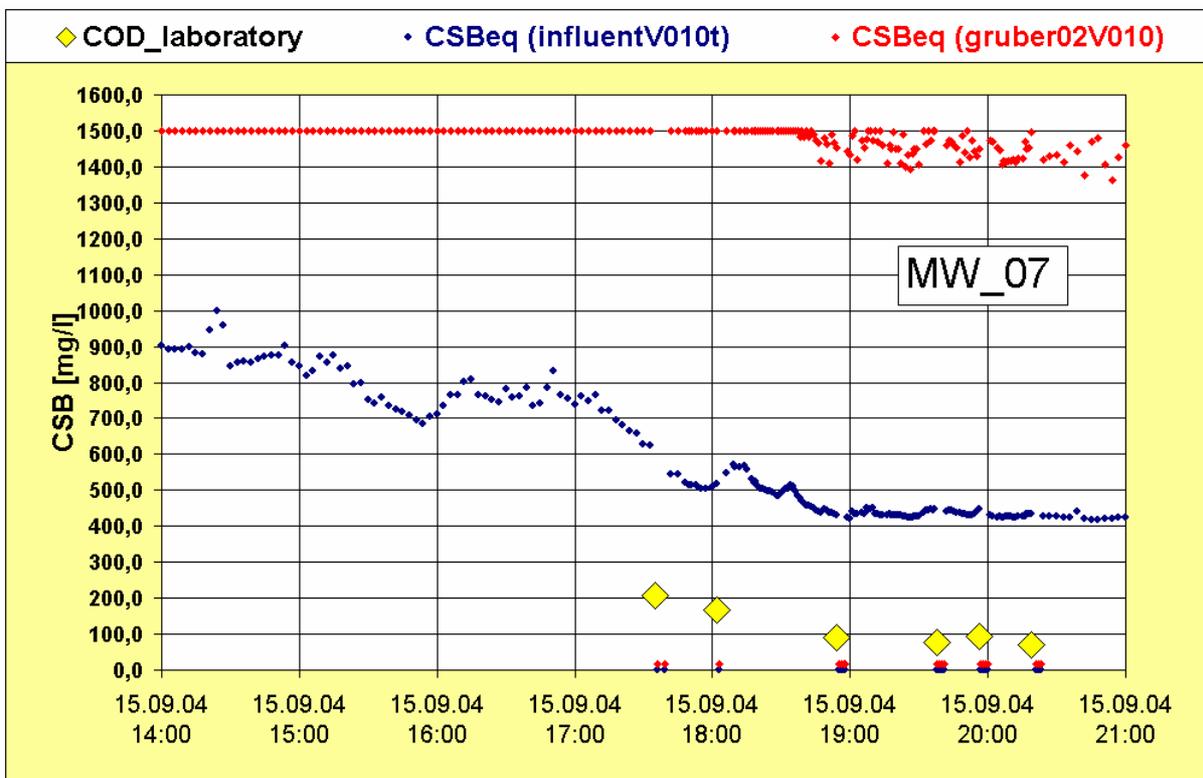


Abbildung 4-16: Mischwasserereignis 07 vom 15.09.2004

4.5.5 Interpretation der Ereignisse

Beim Mischwasserereignis MW_01 in **Abbildung 4-10** handelt es sich um ein ca. zweistündiges Regenereignis. Das vorhin beschriebene Problem mit der Spülung der Sonde und der damit verbundene Anstieg der Konzentrationsmessung der Sonde während der Zeitspanne Juli bis Oktober, dürfte zu diesem Zeitpunkt noch vernachlässigbar klein gewesen sein, da die Neureferenzierung der Sonde nur 2 Wochen zurück lag.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, war dabei eine sehr gute Übereinstimmung der beiden berechneten Spektrometer-Ganglinien und den im Labor analysierten Proben feststellbar. Interessant war dabei auch, dass beim Vergleich der globalen Kalibration (blaue Punkte influentV010t) mit den Laborwerten die Spektrometer-Konzentrationen stets geringer waren als die Laborwerte. Die Schlussfolgerung, die aus den bisherigen Messkampagnen gezogen wurde, dass im Falle einer starken Verdünnung des Abwassers, das Spektrometer tendenziell Überbefunde misst, konnte hierbei also nicht bestätigt werden. Diese Schlussfolgerung (siehe auch **Abbildung 4-1**) rührte daher, dass es während der bisherigen 24h-Messkampagnen zu Zeiten der Nachtminima (prozentuell hoher Anteil Fremdwasser und geringer Eintrag von häuslichem Schmutzwasser) stets zu Konzentrationsüberbefunden bei der Messung durch die Sonde gekommen ist. Auch die zweite globale Kalibration (rote Punkte gruber02V010) lieferte eine gute Übereinstimmung mit den Laborwerten, streute jedoch um vieles stärker als der Verlauf der influentV010t-Kalibration und lag tendenziell über den Laborwerten, während die influentV010t-Kalibration zumeist unter den Laborwerten lag.

Beim Mischwasserereignis MW_02 in **Abbildung 4-11** handelte es sich um ein einstündiges Regenereignis, welches eine sehr ausgeprägte Konzentrationsspitze aufwies. Die Zeitspanne zur letzten Nullreferenzierung der Sonde lag hierbei bereits ein Monat zurück.

Auch stimmen die mit den globalen Kalibrationen berechneten Werte noch relativ gut mit den Laborwerten überein, jedoch liegen die berechneten Konzentrationen schon deutlich über denen der Laborwerte. Die Ursache hierfür hängt sicherlich mit dem Umstand zusammen, dass das Messfenster der Sonde zu diesem Zeitpunkt nicht mehr mit Druckluft regelmäßig gereinigt wurde, was zu einem Anstieg bei den Absorptionen geführt hat. Die mit der gruber02V010-Kalibration berechneten Werte lagen jedoch bereits recht deutlich über denen der Laborwerte.

Die folgenden Mischwasserereignisse MW_03 bis MW_07 zeigen die immer größer werdende Drift zwischen den Laborwerten und den Spektrometerwerten. Zu dem lieferte die gruber02V010-Kalibration keine brauchbaren Konzentrationsverläufe mehr da die errechneten Werte sehr häufig die obere Messbereichsgrenze von 1500mg/l ergaben. Die influentV010t-Kalibration folgte abgesehen von der immer größer werdenden Offsetdrift dem Verlauf der Laborwerte sehr gut.

4.6 Schlussfolgerung

Eine eindeutige Schlussfolgerung dieser Auswertungen ist aufgrund der nicht korrekten Funktionsweise der Druckluftspülung der Sonde leider schwer möglich. Eine Erkenntnis, die aus diesen Messungen jedoch gezogen werden muss, ist die Wichtigkeit und Notwendigkeit einer regelmäßigen Überprüfung der Druckluftspülung des Messfensters der Sonde. Dies kann z.B. sehr gut durch Beobachtung der gemessenen Konzentrationen in den Nachtstunden erfolgen, welche man sich sehr einfach auf der Homepage des IMW-Projektes über einen längeren Zeitraum (Monat, Jahr) darstellen lassen kann. Ursachen für eine fortschreitende Drift sind zumeist chemische oder biologische Beläge am Messfenster, die auf eine nicht ausreichende Spülung (durch ein zu großes Intervall zwischen den Spülungen oder einen Defekt der Spülung) zurückzuführen sind.

Eine weitere Erkenntnis aus den 7 Ereignissen ist die sehr stabile Berechnung der Konzentrationen mittels der globalen influentV010t-Kalibration. Während der beiden ersten noch auswertbaren Ereignisse stimmen die damit berechneten Konzentrationswerte noch sehr gut mit den Laborwerten überein. Ob die Sonde auch bei verdünntem Mischwasser Überbefunde liefert oder nicht, kann aus diesen beiden Ereignissen jedoch noch nicht geschlossen werden. Dafür wären weitere Messungen bei Mischwasserverhältnissen und mit einer vollfunktionsfähigen Druckluftspülung der Sonde erforderlich.

Die gruber02V010-Kalibration hingegen liefert nur im ersten Mischwasserereignis brauchbare Werte. Allerdings stellt sich der Verlauf der CSB Ganglinie nicht so kontinuierlich dar wie mit der globalen influentV010t-Kalibration. Je höher die gemessenen Konzentrationen desto größer waren bei ihr die Streuung und desto größer die Differenz zwischen den Ergebnissen der beiden Kalibrationen.

Für genauere und aussagekräftigere Erkenntnisse sind Gegenüberstellungen von weiteren Messungen bei Mischwasserverhältnissen also unbedingt erforderlich.

5 Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben

5.1 Allgemeines

Wässer, besonders Abwässer, unterliegen Veränderungen aufgrund physikalischer, chemischer oder biologischer Reaktionen, die zwischen Probenahme und Analyse ablaufen können.

Das Ausmaß dieser Veränderung hängt ab von der chemischen und biologischen Eigenart der Probe, der Temperatur, der Lichteinwirkung, der die Probe ausgesetzt ist, der Beschaffenheit des Transportbehälters, der Zeit zwischen Probenahme und Analytik und den Bedingungen, denen die Probe ausgesetzt ist z.B. Schütteln während des Transportes. Einige spezifische Gründe für Abweichungen von Konzentrationsunterschiede in Abwasserproben sind folgende:

- Bakterien, Algen und andere Organismen können bestimmte Inhaltstoffe in der Probe verbrauchen. Sie können außerdem die Wasserinhaltsstoffe unter Bildung neuer Stoffe modifizieren. Diese biologische Aktivität beeinflusst z.B. den Gehalt an gelöstem Sauerstoff
- Bestimmte Verbindungen können durch in der Probe vorhandenen gelösten Sauerstoff oder atmosphärischen Sauerstoff oxidiert werden z.B. organische Verbindungen
- Bestimmte Substanzen können ausgefällt werden oder können in die Gasphase entweichen z.B. Sauerstoff
- Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit sowie der Gehalt an gelöstem Kohlenstoffdioxid können sich durch Absorption von Kohlenstoffdioxid aus der Luft verändern

Veränderungen in Bezug auf bestimmte Stoffe können sowohl im Ausmaß als auch in der Geschwindigkeit variieren, und dies nicht nur in Abhängigkeit von der Matrix, sondern auch von jahreszeitlichen Bedingungen. Diese Reaktionen können sehr schnell ablaufen und die Probe innerhalb weniger Stunden, Minuten, sehr stark verändern. Daher ist diese Reaktion weitgehend auszuschließen wenn unmittelbar nach dem Probenehmen vor Ort eine Analyse durchgeführt wird. Dies ist aber nicht immer möglich, da zur Durchführung der Bestimmung verschiedener Stoffkonzentrationen eine größere Anzahl von Reagenzien, Geräten und Chemikalien erforderlich ist.

Um keine unzulässigen Veränderungen der Probe zu erhalten gibt es in der ÖNorm EN ISO 5667-3; Ausgabe: 2004-05-01) Empfehlungen in Bezug auf das Probenmedium, der Lagerungsart und Verfahren zur Konservierung von Proben.

5.2 Motivation

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden während auftretender Mischwasserereignisse mit dem Probenahmegerät der Messstation Graz Mischwasserproben gezogen und analysiert.

Motivation zur Durchführung der Untersuchungen von konservierten Proben und ihrer zeitlichen Veränderungen waren Ergebnisse der 3. Messkampagne. Die 3. Messkampagne wurde an der Mischwasserentlastung Graz vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU durchgeführt. In dieser Kampagne wurden über einen Zeitraum von 24 Stunden zu jeder Stunde Proben gezogen und sofort ins Labor gebracht.

Um mögliche Fehler auszuschließen, wurden alle Parameter im Labor einer Doppelbestimmung unterzogen. Auf Grund der Kapazität im Labor war es allerdings nur möglich, alle 3 Stunden sämtliche CSB-Proben sofort zu analysieren. Der Rest wurde bei -20°C eingefroren und ca. eine Woche später analysiert. Da auch von den sofort untersuchten Proben ein Teil eingefroren wurde, konnten hier Vergleiche zwischen sofort analysierten und zu aufgetauten Proben durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in **Abbildung 5-1** für den CSB und in **Abbildung 5-2** für die AFS dargestellt. Weiters wurden bei dieser Messkampagne Parallelmessungen mit der UV-VIS Sonde und zwei verschiedene Arten der Probenahme durchgeführt: eine mit Hilfe des vor Ort installierten Probennehmers und eine direkt im Kanal mittels Schöpfprobe.

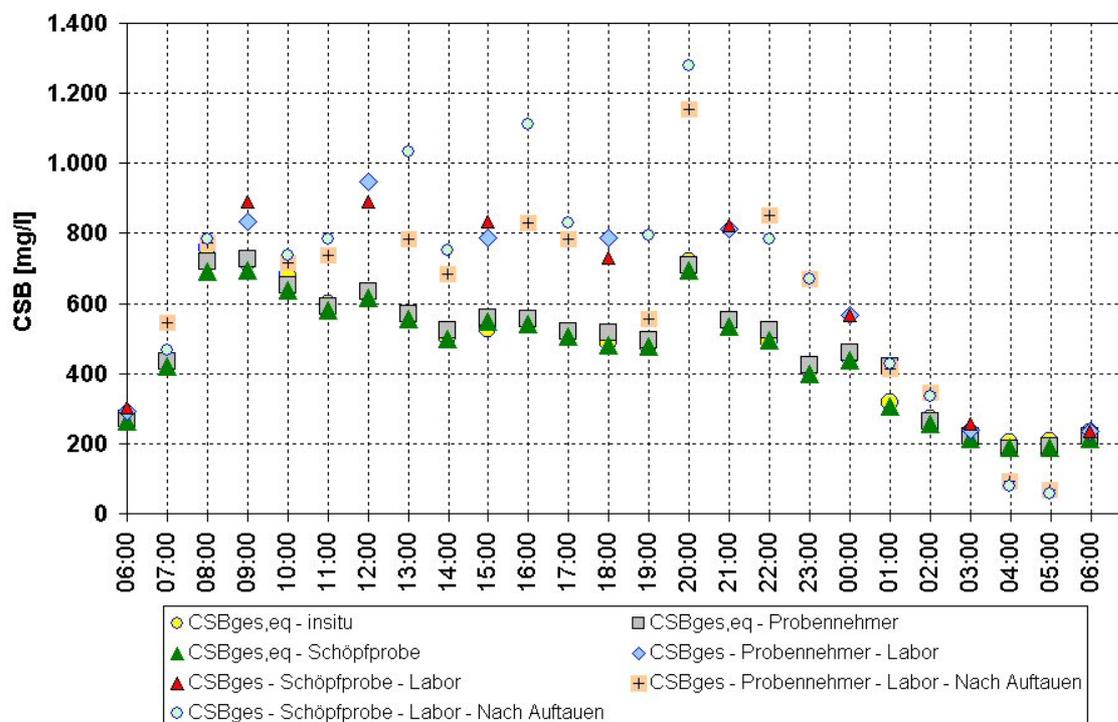


Abbildung 5-1: Gegenüberstellung der Messergebnisse der 3. Messkampagne für den Parameter CSB (Hochedlinger, 2004)

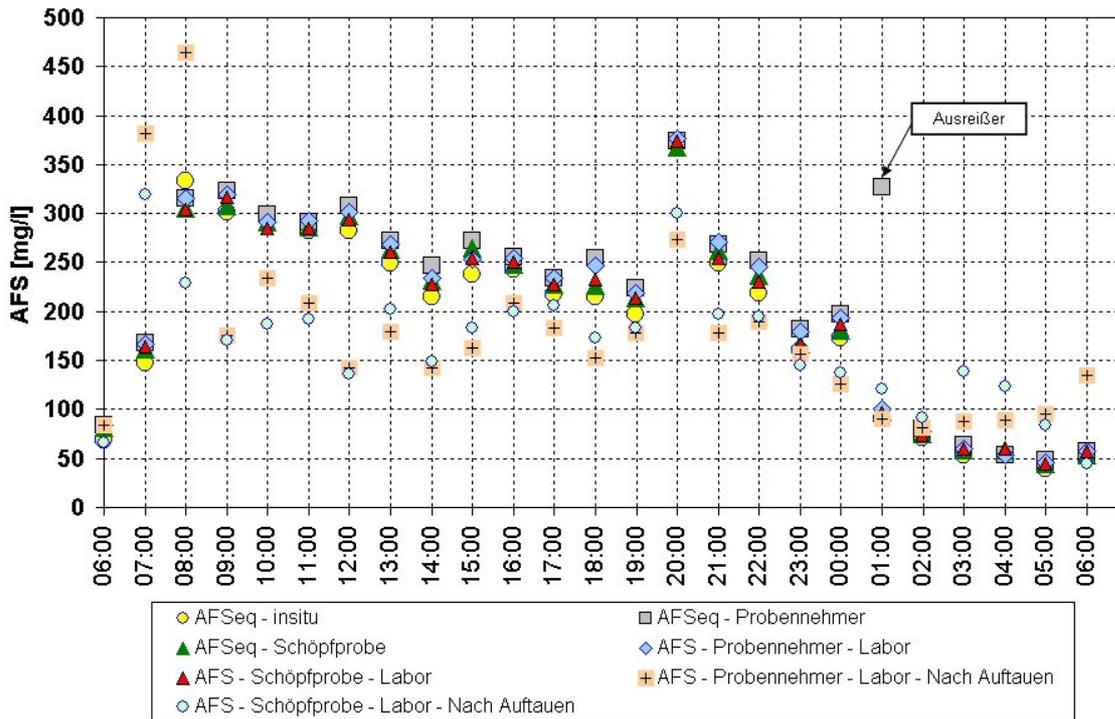


Abbildung 5-2: Gegenüberstellung der Messergebnisse der 3. Messkampagne für den Parameter AFS (Hochedlinger, 2004)

Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, haben sich trotz normgerechter Konservierung der Proben erhebliche Unterschiede in den Konzentrationen ergeben. Bei den CSB-Werten konnte festgestellt werden, dass ein großer Teil der aufgetauten Proben weit höhere Konzentrationen als die sofort analysierten ergab. Ein klarer Trend bzw. eine eindeutige Beziehung, um wie viel sich die Konzentrationen erhöhen, konnte jedoch nicht festgestellt werden. Auch für die AFS-Werte ergaben die tief gefrorenen Proben im Vergleich zu den sofort analysierten sehr unterschiedliche Konzentrationen. Bei den AFS-Werten kam es jedoch durch das Auftauen tendenziell eher zu Minderbefunden.

5.3 Bisherige Untersuchungen über den Einfluss der Probenalterung

5.3.1 Geiger (1984)

Geiger beschreibt in der Veröffentlichung „Mischwasserabfluss und dessen Beschaffenheit – ein Beitrag zur Kanalnetzplanung“ den Einfluss der Probenlagerung auf das Analyseergebnis. In dieser Studie wurden 4 Rohwasserproben jeweils nach 1 Tag, nach 1, 2, 4, 8, 16 und 24 Wochen hinsichtlich des BSB₅ (im Sapromaten), des Verdünnungs-BSB, des CSB, TOC und des Gesamtstickstoffes untersucht.

Die ermittelten Analysewerte und ihr Streubereich mit einer statistischen Sicherheit von 95% sind in **Abbildung 5-3** dargestellt. Laut Sprenger (1978) muss bei der Beurteilung eine Toleranz von +/- 10% eingeräumt werden.

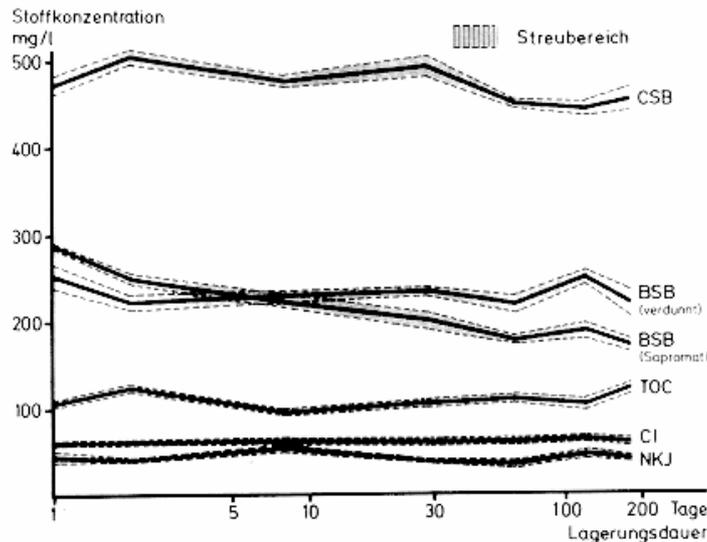


Abbildung 5-3: Einfluss der Probenlagerungszeit auf das Analyseergebnis nach Geiger (1984)

Bei den Parametern CSB und TOC zeigte sich nach einem Tag Konservierung eine Erhöhung der Werte um 6% beziehungsweise 17% gegenüber den frisch analysierten Proben. Nach einer Woche Konservierung hatte sich die Probe jedoch wieder auf den Ausgangswert eingestellt. Die Messwerte für CSB fielen nach der Konservierung über 4 Wochen unter den Ausgangswert. Beim TOC konnte, abgesehen von dem stark überhöhten Wert nach einem Tag Gefrierkonservierung, keine wesentliche Abhängigkeit von der Konservierungszeit festgestellt werden.

Der BSB₅- Wert nahm bereits nach einem Tag Gefrierkonservierung um 12% ab, war nach einer Woche um 23% geringer und erfuhr bis zum Ende der Beobachtungsperiode keine Stabilisierung.

5.3.2 Baurès et al. (2004)

E. Baurès et al. (2004) beschreibt den Einfluss der Probenalterung auf die Änderung der Stoffkonzentrationen. Durchgeführt wurden die Untersuchungen sowohl mit städtischem, gereinigtem Abwasser als auch mit behandeltem, industriellem Schmutzwasser.

Gemessen wurde dabei der TSS nach dem europäischen Standard CEN 872 mit Fiber Glas Filter. Die CSB-Bestimmung wurde mit Küvettentests der Fa. Hach durchgeführt. Partikel und Kolloide wurden durch Filtration unter Verwendung von Mikrofiberglas GFC Scheiben und cellulosehaltigen Millipore Scheiben getrennt. Die Proben wurden von zwei verschiedenen Kläranlagen im Ablauf gesammelt. Weiters wurde noch eine Spektralanalyse mit einem UV-Spektrometer IXO Secomam durchgeführt, welches eine Lichtwellenlänge von 200-350 nm, eine Quarzzone und eine 10 mm lange optische Pfadlänge besitzt. Die Spektralanalyse basierte auf der Multiwellenlängenentfaltungsmethode von Thomas et al. (1993, 1996).

Der in **Abbildung 5-4** dargestellte TSS-Verlauf (mit UV-Sonde und Standard Methode) wurde anhand einer Probe des Abflusses einer städtisch physikalisch – chemischen Kläranlage ermittelt.

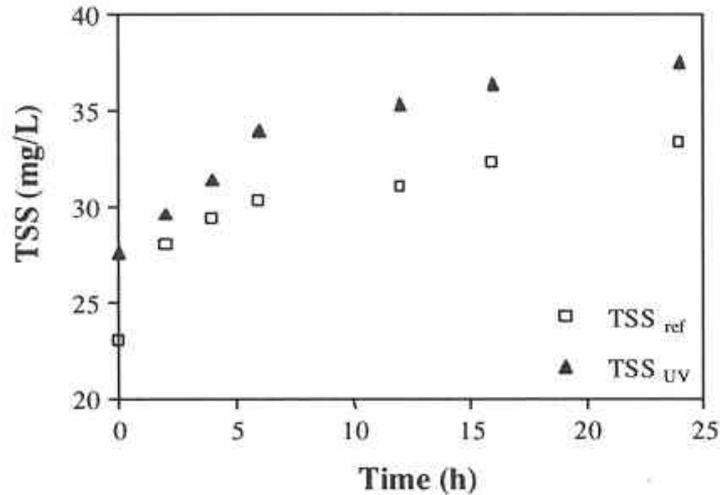


Abbildung 5-4: Zeitliche Veränderung von TSS im Ablauf einer industriellen Kläranlage (Baurés et al. 2004)

Die in **Abbildung 5-5** dargestellte zeitliche Entwicklung des CSB wurde vom Ablauf einer biologischen Kläranlage durchgeführt.

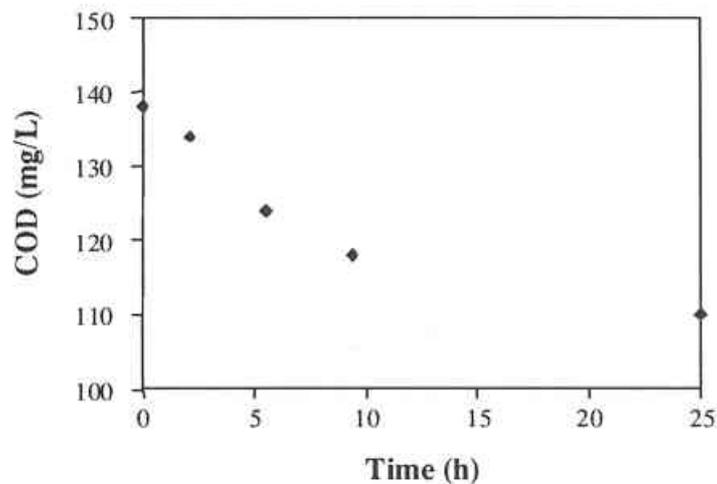


Abbildung 5-5: Entwicklung von COD versus Zeit vom Ablauf einer kommunalen Kläranlage (Baurés et al. 2004)

Mögliche Ursachen für die Konzentrationsänderungen

E. Baurés gibt als mögliche Ursache für den TSS-Anstieg innerhalb der ersten 25 Stunden physikalisch-chemische Prozesse wie Koagolierungs- und Flockungsprozess an.

Der CSB-Abfall während der ersten 25 Stunden ist wahrscheinlich auf biologische Prozesse zurückzuführen.

Beide Phänomene sind in den **Abbildung 5-6** und **Abbildung 5-7** graphisch dargestellt:

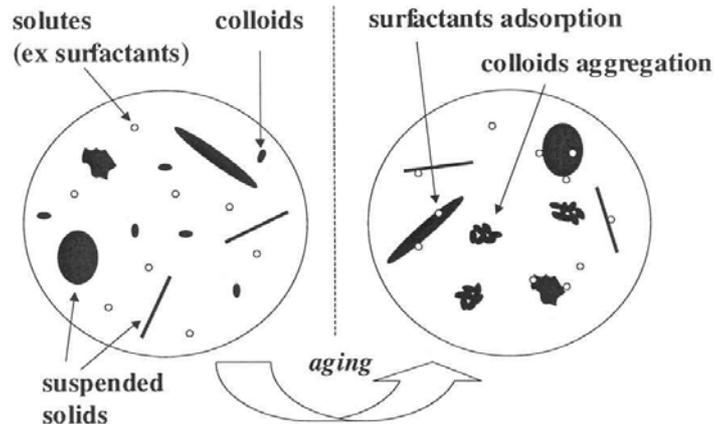


Abbildung 5-6: Anhäufung/Adsorptionsphänomen während des Alterungsprozesses (Baurés et al. 2004)

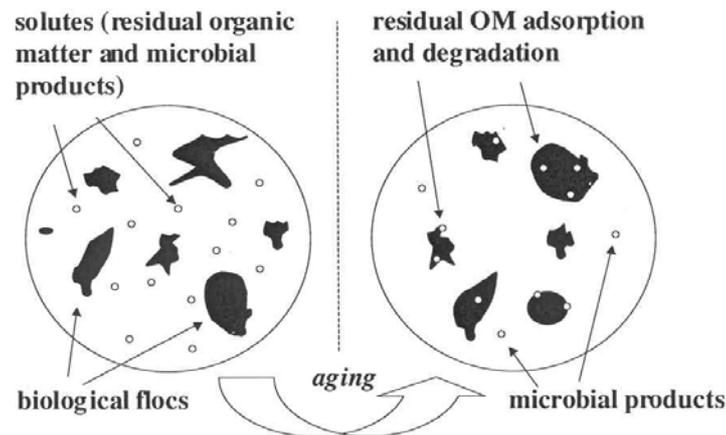


Abbildung 5-7: Abbau/Adsorptionsphänomen während des Alterungsprozesses (Baurés et al. 2004)

5.3.3 Probenkonservierung nach ÖNORM EN ISO 5667-3 (2004)

Die ÖNORM EN ISO 5667-3 (2004) gibt in der Tabelle 1 generell geeignete Techniken zur Probenkonservierung für physikalisch-chemische und chemische Analysen an. Diese Empfehlungen basieren auf einer niederländischen Studie über verlängerte Aufbewahrungszeiten. Diese ist im Anhang der ÖNORM angegeben. Dabei wurden in den Niederlanden in den Jahren 1999 bis 2000 Untersuchungen zu maximalen Aufbewahrungszeiten durchgeführt. Die Studie schloss eine Literaturstudie, eine Befragung von Laboratorien und eine Prüfung internationaler Normen ein. In den Laboruntersuchungen wurden die Konservierungstechniken, wie sie in ISO 5667-3:1994 angegeben worden waren, vor allem im Hinblick auf die maximale Konservierungszeit geprüft.

Es wurden im Rahmen des Projektes 25 regionale und staatliche Wasseruntersuchungsstellen sowie einige freie Laboratorien befragt.

Die Studie der Laboruntersuchungen umfasste 10 Wasserproben und zwar sowohl Abwasserproben als auch Proben aus Oberflächengewässern. Am Tag 0 wurde jeder Parameter in jeder Teilprobe neunmal untersucht. Aus den Ergebnissen wurde

der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet, Teilproben wurden dann nach vorher festgelegten Intervallen bis 224 Tage nach der Probennahme analysiert. Zu bestimmten Zeiten wurde jede Teilprobe zweimal analysiert. Die Konservierungsdauer wurde als überschritten betrachtet, wenn der Mittelwert der Teilprobe um mehr als die Standardabweichung der nicht konservierten Probe abwich. Sowohl beim Ansäuern als auch beim Tiefgefrieren trat Ausflockung sowie Adhäsion an der Gefäßwand auf, woraus sich die erhöhten Standardabweichungen erklärten. Daher sollte der Probenentzug konservierter Proben besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dieser Effekt war in Glas oder Kunststoffgefäßen unterschiedlich.

Die Schlussfolgerungen dieser Untersuchungen bestätigen die Norm in den angegebenen Konservierungsarten und den maximalen Aufbewahrungszeiten.

Hier ein Auszug (siehe Tabelle 5-1) der Norm für die in der Abwasseranalyse wichtigsten Summenparameter:

Zu untersuchender Determinant	Behälter ^a	Übliches Volumen (ml) und Fülltechnik ^b	Konservierungstechnik	Empfohlene höchste Konservierungszeit vor der Analyse	Anmerkungen
Biochemischer Sauerstoff-Bedarf (BSB)	P oder G	1000 Behälter vollständig füllen, um Luft auszuschließen	Kühlen auf 1 bis 5 °C	24 h	Probe im Dunkeln lagern
	P	1000	Tiefgefrieren auf -20°C	1 Monat	Bei Tiefgefrieren auf -20°C: 6 Monate (1 Monat, wenn <50 mg/l) ^c
Kohlenstoff, gesamter organischer (TOC)	P oder G	100	Ansäuern auf pH 1 bis 2 mit H ₂ SO ₄ , Kühlen auf 1 bis 5°C	7 Tage	Ansäuern auf pH 1 bis 2 mit H ₃ PO ₄ ist geeignet. Werden flüchtige organische Verbindungen vermutet, so ist Ansäuern nicht geeignet; stattdessen innerhalb 8 h analysieren
	P	100	Tiefgefrieren auf -20°C	1 Monat	
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	P oder G	100	Ansäuern auf pH 1 bis 2 mit H ₂ SO ₄	1 Monat	6 Monate ^c
	P	100	Tiefgefrieren auf -20°C	1 Monat	6 Monate ^c

Tabelle 5-1: Auszug Tabelle 1 der ÖNORM EN ISO 5667-3

- a P Kunststoff
G Glas
- b das Volumen gilt für eine Einzelbestimmung
- c validierte, verlängerte Aufbewahrungszeit

Nachdem von anderen Autoren (Hochedlinger et al. 2004, Baures 2004, Geiger 1984) teils divergierende Ergebnisse im Bezug auf die Probenalterung zu finden

sind, wurde versucht, eventuelle Probenalterungen auch anhand der gezogenen Mischwasserproben systematisch zu untersuchen. Daneben wurden auch die verschiedenen empfohlenen Probenkonservierungsmethoden miteinander verglichen.

5.4 Einfluss der Probenalterung von Mischwasserproben der Messstation Graz

Zu diesem Zweck wurden von der Mischwasserentlastungskammer in Graz im Zeitraum vom 01.07.2004 bis 30.09.2004 von 7 verschiedenen Mischwasserereignissen Abwasserproben gezogen.

5.4.1 Probennahme, Probentransport

Die Probennahme erfolgte mit einem automatischen Probenahmegerät im Messcontainer, der sich direkt über der Mischwasserkammer befindet. Bei jedem der 7 Ereignisse wurden jeweils 6 Behälter mit 5 Liter Inhalt befüllt.

Die Befüllung erfolgte mittels der im Messcontainer installierten Peristaltikpumpe des Probenahmegerätes, die für einen Behälter mit 6 Litern Inhalt im Durchschnitt zwischen 3 bis 5 Minuten benötigt. Der Probenahmeschlauch des Probenahmegerätes ist am hinteren Ende des Pontons befestigt (siehe **Abbildung 5-8**), was bei sehr starkem Regenabfluss fallweise zu Problemen geführt hat, da sich das Ponton aufrichtete und die Pumpe kein Wasser ansaugen konnte. Dies konnte aber durch den Seilzug, der im Messcontainer mit einer elektrischen Winde und im Kanal mit dem Ponton verbunden ist, zumeist sehr rasch behoben werden.

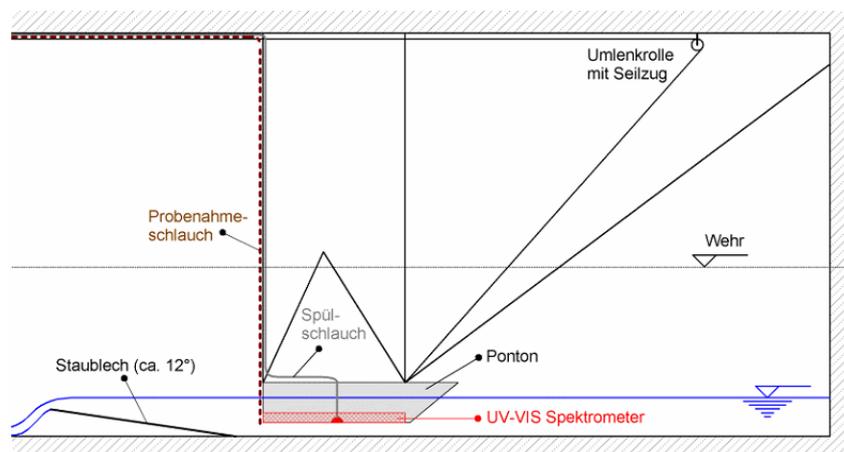


Abbildung 5-8: Schnitt durch Ponton mit Ansaugschlauch und Seilzug (Gruber et al. 2003)

Die 7 Ereignisse dauerten zwischen 1 und 2,5 Stunden. In dieser Zeit wurden die 6 verschiedenen Proben eines Ereignisses so gezogen, dass ein möglichst großer Konzentrationsbereich erfasst werden konnte. Die Proben wurden danach sofort in den integrierten Kühlschrank des Probenehmers gegeben, wo sie auf ca. 4°C abgekühlt wurden.

Nach Ende des Mischwasserereignisses wurden die Proben mit dem Auto zum nahe gelegenen (Fahrtdauer ca. 10 Minuten) Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz gebracht und sofort wie möglich analysiert.

5.4.2 Probenkonservierung und Probenlagerung

Da die Proben meist in den Abendstunden genommen wurden und zu diesem Zeitpunkt das Labor nicht besetzt war, kamen die Proben zunächst in eine Kühlzelle, wo sie die Nacht über bei ca. 4°C gelagert wurden, bevor sie am nächsten Tag analysiert wurden. Mittwochs und donnerstags wurden die Proben nur durch Kühlen konserviert, damit auch der BSB₅ bestimmt werden konnte. Die Lagerungsdauer hat in diesen Fällen nie länger als 24 Stunden betragen, was laut Norm zulässig ist.

An allen anderen Tagen konservierte man die Probe zusätzlich auch mit Schwefelsäure (H₂SO₄) auf einen pH-Wert von 2. In diesen Fällen betrug die Dauer bis zur Analyse normkonform nie länger als 7 Tage.

5.4.3 Auswertungen

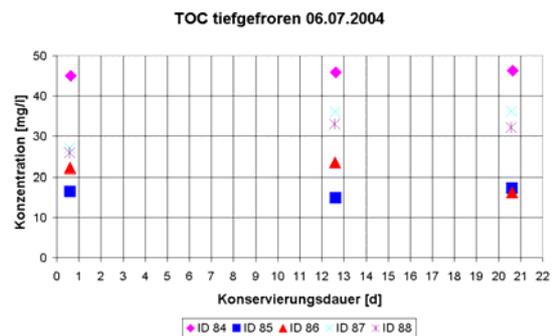
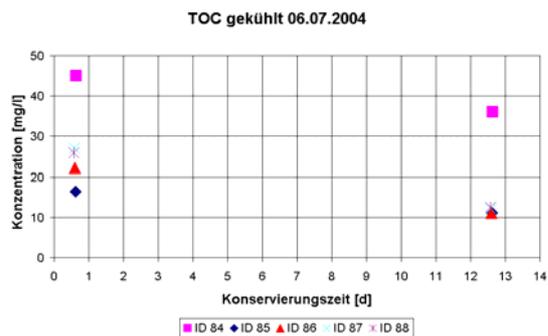
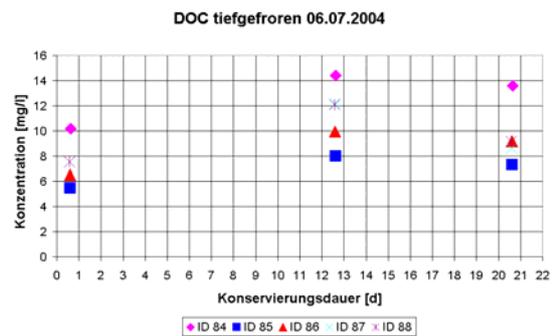
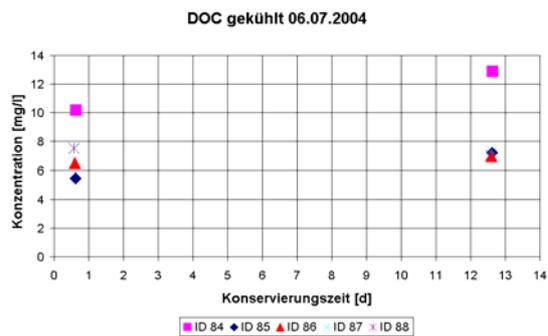
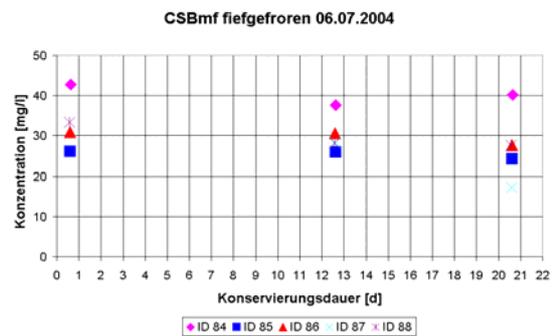
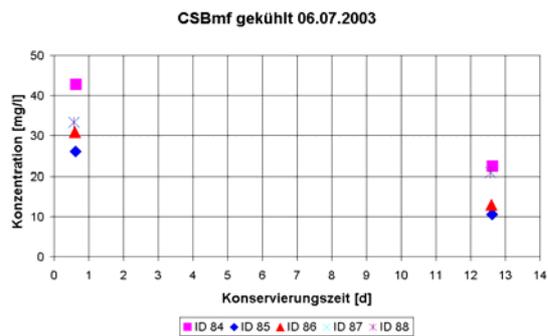
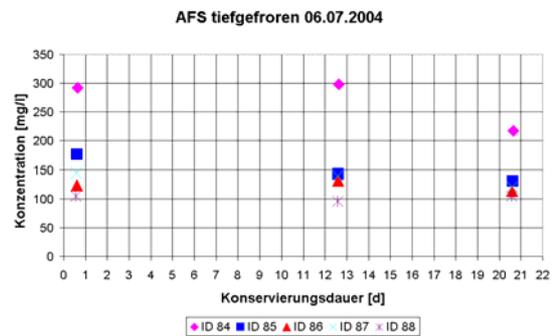
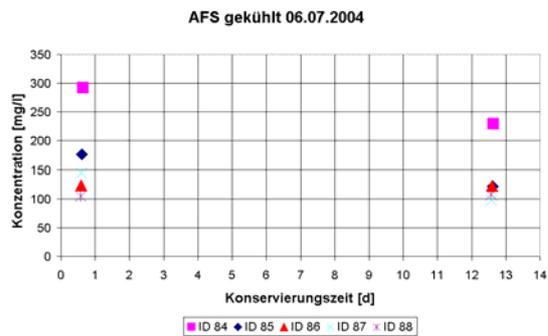
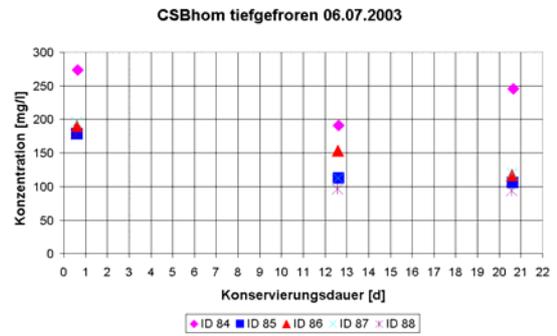
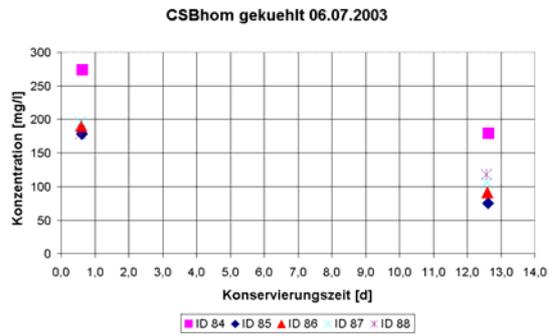
Die Mischwasserproben wurden hinsichtlich der folgenden Parameter untersucht:

- TS gerührt; Trockensubstanz aus gerührten Proben
- CSB homogenisiert; chemischer Sauerstoffbedarf
- CSB membranfiltriert; chemischer Sauerstoffbedarf
- TOC gesamter organischer Kohlenstoff
- DOC gelöster organischer Kohlenstoff
- BDOC biologisch abbaubarer, gelöster, organischer Kohlenstoff
- Teilweise BSB₅; Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen

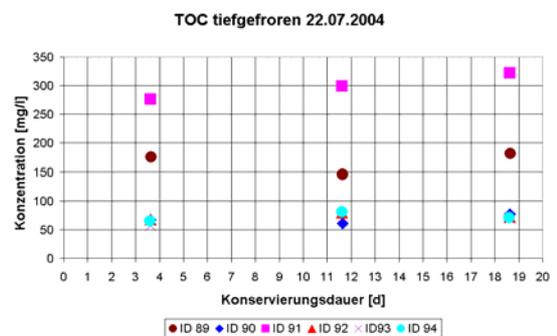
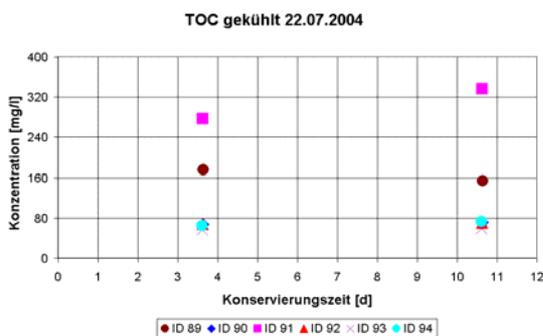
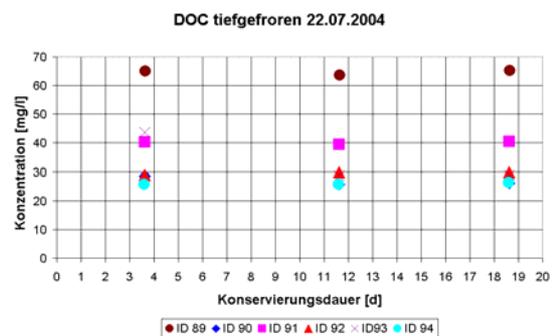
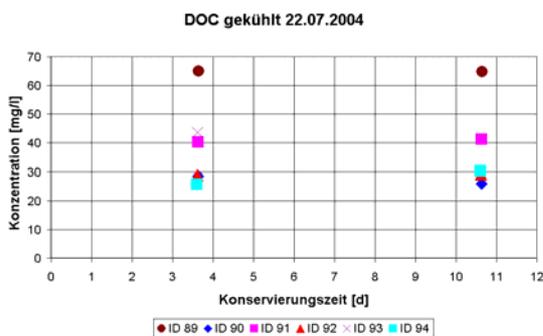
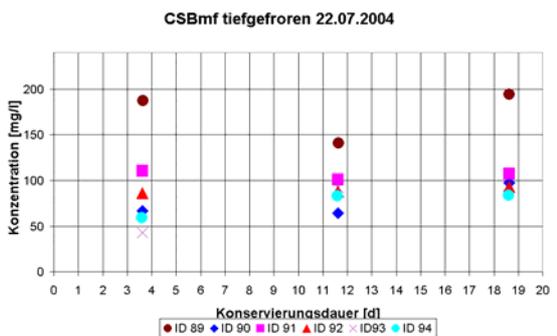
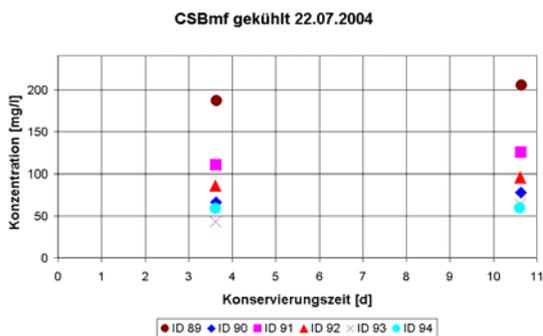
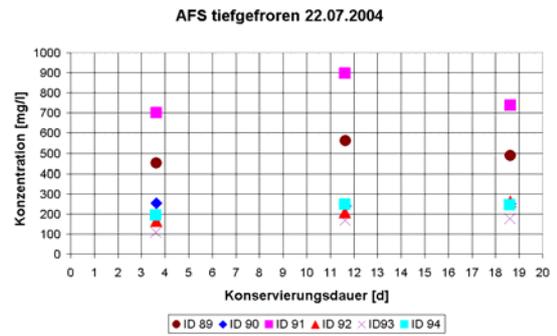
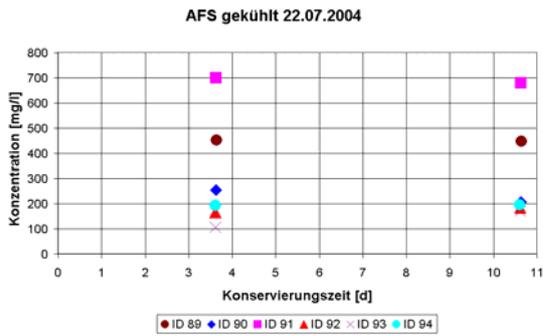
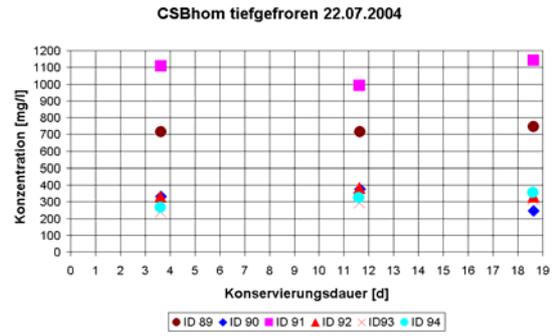
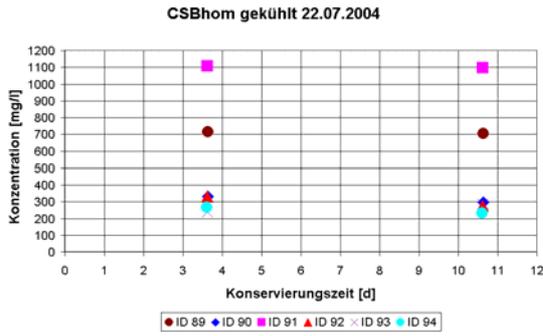
Einen Teil des Probenvolumens analysierte man in der Regel am darauf folgenden Werktag nach der Probennahme (d.h. an Wochenenden gezogene Proben mussten angesäuert bis zu 3 Tage in der Kühlzelle verweilen). Einen weiteren Teil kühlte man im Kühlraum und analysierte ihn nach weiteren 7 Tagen Konservierungszeit. Zwei weitere Teile wurden in Kunststoffbehältern tief gefroren. Ein Teil wurde nach 14 Tagen und der andere nach ca. einem Monat analysiert.

Von jeder Probe führte man jeweils Doppelbestimmungen durch.

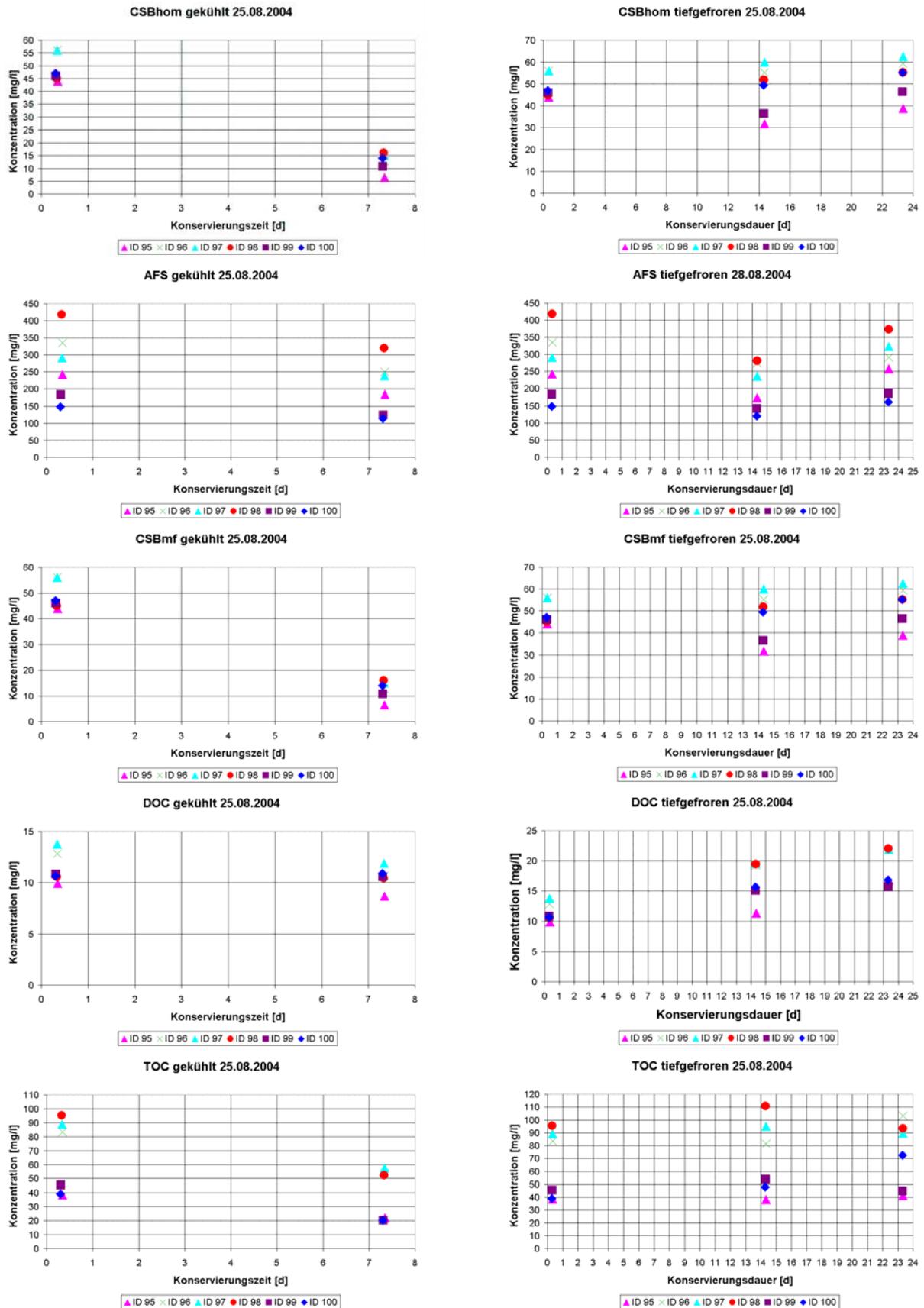
5.5 Gegenüberstellungen der Auswertungen



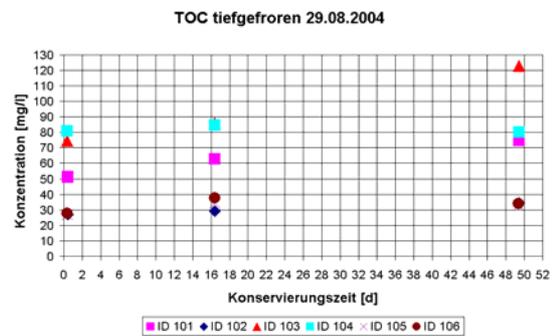
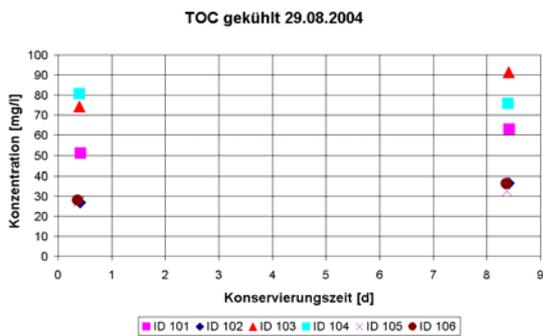
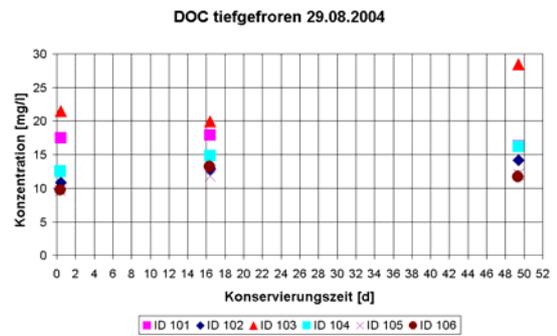
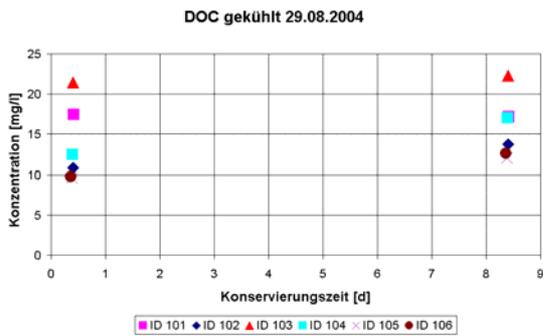
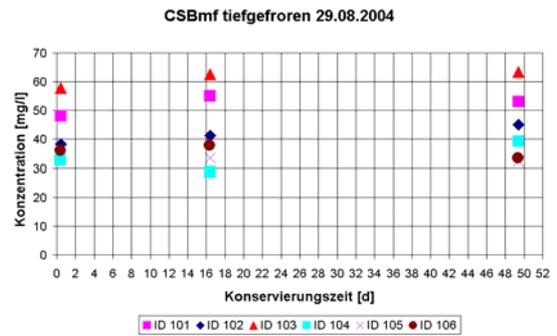
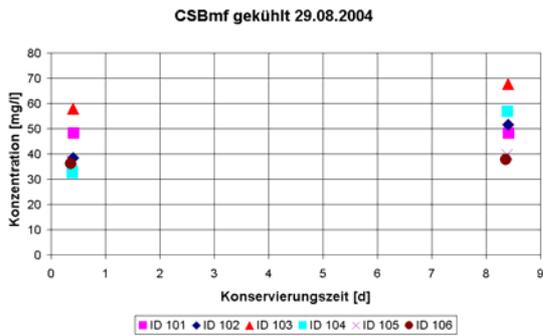
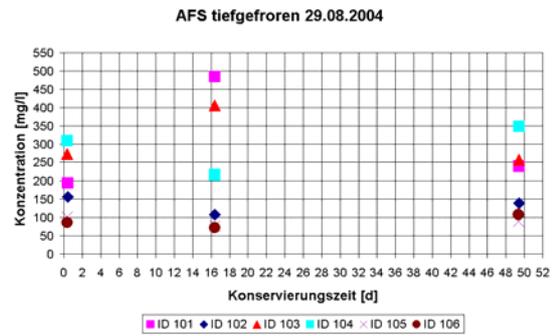
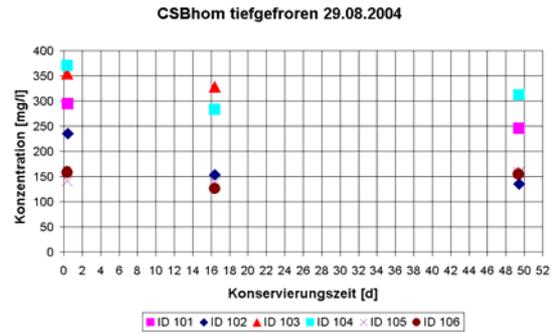
5. Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben



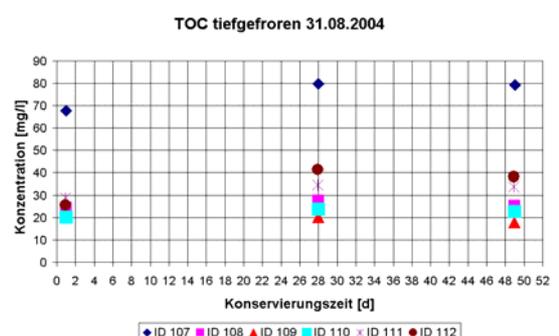
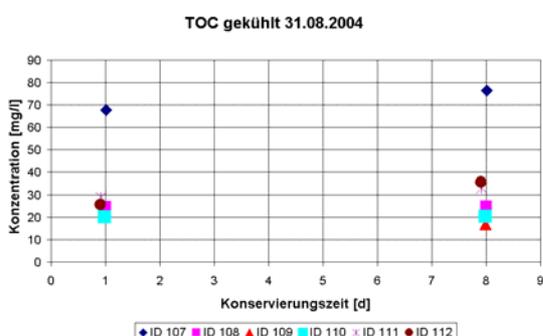
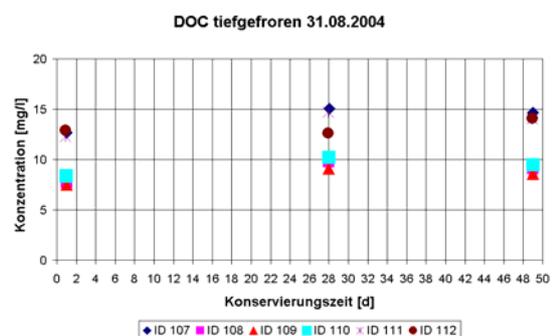
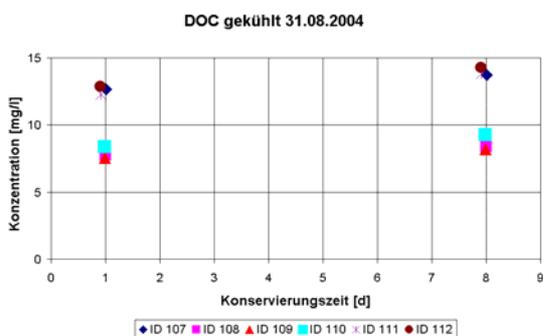
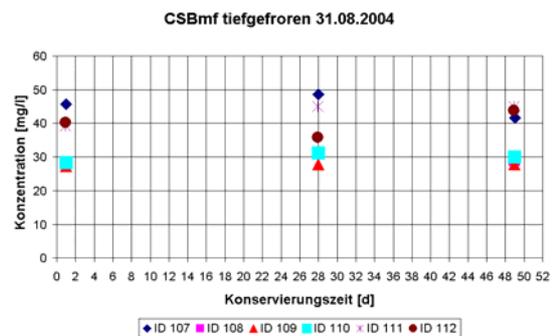
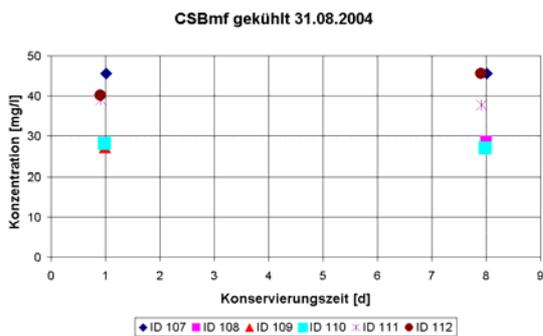
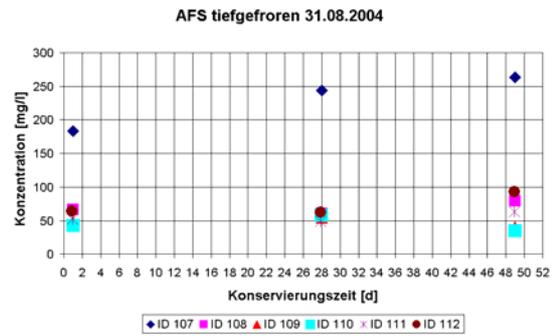
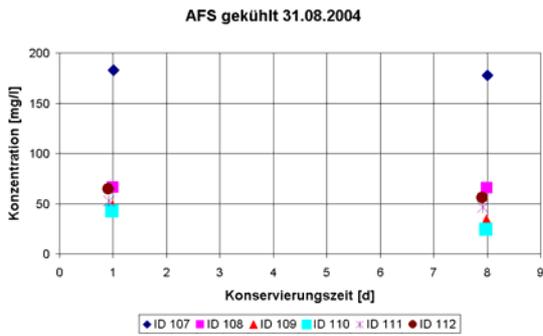
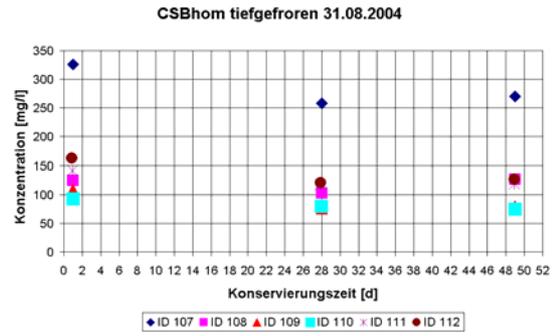
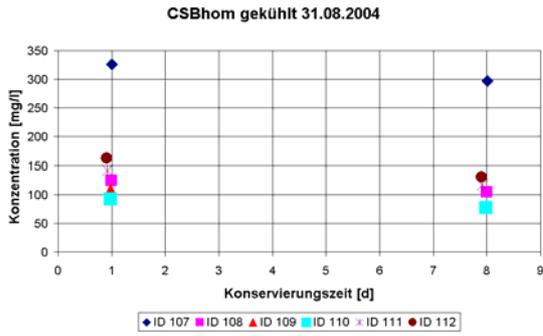
5. Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben



5. Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben



5. Auswirkungen der Probenkonservierung auf Mischwasserproben



5.5.1 Beschreibung der Ereignisse

5.5.1.1 06.07.2004

Die Proben wurden zwischen 16:47 und 17:26 Uhr genommen, nicht angesäuert und kamen nach 0,6 Tagen zur ersten Analyse.

5.5.1.2 22.07.2004

Die Proben wurden zwischen 16:40 und 18:21 Uhr genommen, angesäuert und kamen nach 3,6 Tagen zur ersten Analyse.

5.5.1.3 25.08.2004-26.08.2004

Die Proben wurden zwischen 23:42 und 00:49 Uhr genommen, angesäuert und kamen nach 0,3 Tagen zur ersten Analyse.

5.5.1.4 29.08.2004

Die Proben wurden zwischen 22:00 und 23:13 Uhr genommen, angesäuert und kamen nach 0,4 Tagen zur ersten Analyse.

5.5.1.5 31.08.2004

Die Proben wurden zwischen 07:48 und 10:18 Uhr genommen, angesäuert und kamen nach 0,6 Tagen zur ersten Analyse.

5.6 Schlussfolgerung

Die an Mischwasserproben durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass bei keinen der analysierten Parameter eine klare Tendenz im zeitlichen Verlauf der Änderung der Konzentration ersichtlich war. Es sind teilweise sehr große Konzentrationsunterschiede aufgetreten.

Beim Vergleich der Proben eines Regenereignisses (d.h. 6 Proben) waren teilweise Ähnlichkeiten der Konzentrationsverläufe in Bezug auf Konservierungsdauer und Konservierungsart feststellbar. Vergleicht man jedoch die Probenreihen der einzelnen Regenereignisse untereinander so waren dabei sehr unterschiedliche Konzentrationsverläufe zu beobachten. Auch die absoluten Unterschiede der einzelnen Konzentrationen zwischen den Erstanalysen und den konservierten und gelagerten Proben waren bei allen Parametern zum Teil beträchtlich.

Es konnten daher leider keine eindeutigen Tendenzen im Verlauf der Konzentrationsentwicklung bei einem der analysierten Parameter in Abhängigkeit von der Konservierungszeit und der Konservierungsart gefunden werden. Aufgrund dieser Resultate ist es fraglich, ob die in der Norm empfohlenen Konservierungsvorgaben für Mischwasserproben bei unterschiedlichen Ereignissen uneingeschränkt anwendbar sind. Nach Möglichkeit sollen die Mischwasserproben immer so schnell wie möglich analysiert werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau betreibt seit Oktober 2002 eine Kanal-Monitoring-Messstation im Bereich einer Mischwasserentlastung, mit der online die zufließenden und abgeschlagenen Schmutzfrachten mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden.

Ein Ziel dieser Diplomarbeit war es, auf Basis der vorhandenen Daten der Mischwasserentlastung in Graz Charakteristiken von Mischwasserabflüssen speziell in Bezug auf den so genannten Spülstoß herauszufinden. Dafür wurden im Zeitraum 01.06.2003 bis 31.12.2003 insgesamt 45 Ereignisse ausgewertet

Eine Erkenntnis dieser Auswertungen ist, dass bei großen Einzugsgebieten wie das in Graz (mit 350 ha Gesamteinzugsgebiet und mit ca. 13.000 Personen) Spülvorgänge nur in Form von Konzentrationsspitzen auftreten, die aber in Bezug auf die Gesamtfracht der Schmutzstoffparameter eines Mischwasserereignisses nur einen sehr geringen Anteil ausmachen und somit für Bemessungsansätze zur Dimensionierung von Mischwasserentlastungsbauwerken nicht ausschlaggebend sind.

Ein weiterer Punkt, den man aus den Daten gewinnen konnte ist die Erkenntnis, dass die untersuchten Spülvorgänge in diesem Kanalabschnitt stärker von der Regenintensität beeinflusst werden als von der vorangegangenen Trockenwetterperiode.

Ein weiteres Thema dieser Arbeit war die Überprüfung der Genauigkeit des Sensors bei Mischwasserabflüssen. Eine eindeutige Schlussfolgerung dieser Auswertungen ist jedoch aufgrund der nicht korrekten Funktionsweise der Druckluftspülung der Sonde leider schwer möglich, da sich während des Beobachtungszeitraumes durch das offensichtliche Nichtfunktionieren der Druckluftspülung eine sehr starke Drift der gemessenen Spektrometer-Konzentrationen aufgebaut hat. Eine Erkenntnis, die daraus jedoch gezogen werden muss, ist die Wichtigkeit und Notwendigkeit einer regelmäßigen Überprüfung der Druckluftspülung des Messfensters der Sonde. Dies kann z.B. sehr gut durch Beobachtung der gemessenen Konzentrationen in den Nachtstunden erfolgen, welche man sich sehr einfach auf der Homepage des IMW-Projektes über einen längeren Zeitraum (Monat, Jahr) darstellen lassen kann. Ursachen für eine fortschreitende Drift sind zumeist chemische oder biologische Beläge am Messfenster, die auf eine nicht ausreichende Spülung (durch ein zu großes Intervall zwischen den Spülungen oder einen Defekt der Spülung) zurückzuführen sind.

Eine weitere Erkenntnis aus den 7 erfassten Mischwasserereignissen während des Beobachtungszeitraumes ist die sehr stabile Berechnung der Konzentrationen mittels der globalen influentV010t-Kalibration der Spektrometer-Sonde. Während der beiden ersten noch auswertbaren Ereignisse stimmen die damit berechneten Konzentrationswerte noch sehr gut mit den Laborwerten überein. Ob die Sonde auch bei verdünntem Mischwasser Überbefunde liefert oder nicht wie es während der Nachtminima unter Trockenwetterbedingungen immer wieder zu beobachten war, kann aus diesen beiden Ereignissen jedoch noch nicht geschlossen werden. Dafür

wären weitere Messungen bei Mischwasserverhältnissen und mit einer vollfunktionsfähigen Druckluftspülung der Sonde erforderlich.

Die gruber02V010-Kalibration hingegen liefert nur im ersten Mischwasserereignis brauchbare Werte. Allerdings stellt sich der Verlauf der CSB Ganglinie nicht so kontinuierlich dar, wie mit der globalen influentV010t-Kalibration. Je höher die gemessenen Konzentrationen, desto größer waren bei ihr die Streuung und desto größer die Differenz zwischen den Ergebnissen der beiden Kalibrationen.

Für genauere und aussagekräftigere Erkenntnisse sind Gegenüberstellungen von weiteren Messungen bei Mischwasserverhältnissen also unbedingt erforderlich.

Ein weiteres Ziel dieser Diplomarbeit war die systematische Beobachtung der Probenalterung der gezogenen Mischwasserproben in Bezug auf Konservierungsdauer und Konservierungsart.

Die an Mischwasserproben durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass bei keinen der analysierten Parameter eine klare Tendenz im zeitlichen Verlauf der Änderung der Konzentration ersichtlich war. Teilweise traten dabei deutliche Konzentrationsunterschiede auf.

Beim Vergleich der Proben eines Regenereignisses (d.h. 6 Proben) waren teilweise Ähnlichkeiten der Konzentrationsverläufe in Bezug auf Konservierungsdauer und Konservierungsart feststellbar. Vergleicht man jedoch die Probenreihen der einzelnen Regenereignisse untereinander, so ergaben sich dabei sehr unterschiedliche Konzentrationsverläufe. Auch die absoluten Unterschiede der einzelnen Konzentrationen zwischen den Erstanalysen und den konservierten und gelagerten Proben waren bei allen Parametern zum Teil beträchtlich.

Es konnten daher leider keine eindeutigen Tendenzen im Verlauf der Konzentrationsentwicklung bei einem der analysierten Parameter in Abhängigkeit von der Konservierungszeit und der Konservierungsart gefunden werden. Aufgrund dieser Resultate ist es fraglich, ob die in der Norm empfohlenen Konservierungsvorgaben für Mischwasserproben bei unterschiedlichen Ereignissen uneingeschränkt anwendbar sind. Nach Möglichkeit sollen die Mischwasserproben immer so schnell wie möglich analysiert werden.

7 Literaturverzeichnis

- ATV (1977): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. ATV Arbeitsblatt A128
- BAURÉS, E, BERTHO, C., POUET, M.-F., THOMAS, O. (2004): In situ UV monitoring of wastewater: a response to sample aging, *Water Science and Technology*, Vol 49 No 1 pp 47-52, 2004
- BELLEFLEUR, D. (1994): New techniques for storm overflows, Proceedings of the SHF-GRAIE Technical Seminar on storm overflows, Lyon, France, 1994
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L.; CHEBBO, G., SAGET, A. (1998): Distribution of Pollutant Mass vs. Volumen in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomen, *Water Research*, Volume 32, Issue 8, Pages 2341-2356, 1998
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L. (1992): Conceptual modelling of solid transport in sewer systems, Ph. D. thesis, Louis Pasteur University of Strasbourg, France
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L., BRELOT, E., CHOCAT, B., TABUCHI, J.-P. (1995): A strategy for controlling stormwater discharges, *TSM* 90(11), 815-820, 1995
- DEPISCH, D.; ECKER, M. (2004): Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 42, Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft, Graz, Juni 2004, Seiten A1-A16
- ELLIS, J., B. (1986): Pollutional aspects of urban runoff, *Urban runoff pollution*, ed. C. Torno, J. Marsalek and M. Desbordes, NATO ASI Series, Series G, Vol. 10 pp. 1-38, Springer Verlag, Berlin, 1986
- EPA (1993): Manual for combined sewer overflow control, EPA Report No EPA/625/R-93/007, Cincinnati, U.S.A., p95, 1993
- FNDAE (1988): Regenwasserbecken in Kanalisationssystemen. FNDAE Technical Report No 6, Paris, France
- GEIGER, W. F. (1984): Mischwasserabfluss und dessen Beschaffenheit – ein Beitrag zur Kanalnetzplanung, *Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen* Nr. 50, Technische Universität München, 1984
- GEIGER, W.F. (1987): Bewirtschaftung eines Städtischen Entwässerungssystems durch Abflusssteuerung an einem Regenrückhaltebecken, *Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen*, Technische Universität München, 1987
- GRUBER ET AL. (2004): Kanal-Messstation: Aufbau und Betriebserfahrungen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 42, Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft, Graz, Juni 2004, Seiten E1-E28

- GRUBER, G., HOCHEDLINGER, M., KAINZ, H. (2003): Quantifizierung von Schmutzfrachten aus Mischwasserentlastungen mit Online-Messtechnik, Wiener Mitteilungen (2003)
- GUPTA, K., SAUL, A. J. (1996): Specific relationships for the first flush load in combined sewer systems, *Water Research* 30(5), 1244-1252
- HESEL, D., KIM, J., GRIZZARD, T., RANDALL C., HOEHNAGE, R. (1979): Land use influence on metals in storm drainage, *J. Water Pollut, Control Fed.* 51(4), 709-717
- HOCHEDLINGER, M., ET AL. (2004): Ergebnisse des Kanal-Monitorings an einem Mischwasserüberlaufbauwerk in Graz und deren Anwendung bei Rechenmodellen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 42, Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft, Graz, Juni 2004, Seiten K1-K41
- HUBER, E., FROST, M. (1998): Light scattering by small particles. *Journal of Water Supply: Aqua*, 47(2) 87-94.
- HÜTTER, L., A. (1994): Wasser und Wasseruntersuchung, Laborbücher Chemie, 6. Auflage, Verlag Salle+Sauerländer, 1994
- KRAUTH, K. (1970): Der Abfluss und die Verschmutzung des Abflusses in Mischkanalisationen bei Regen, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 45, 1970
- LANGERGRABER, G., FLEISCHMANN, N., HOFSTÄDTER, F. (2003): A multivariate calibration procedure for UV/VIS spectrometric quantification of organic matter and nitrate in wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 47 No 2 pp 63-71, 2003
- MENACHER, F., AUGUSTIN A. (1992): Detention in combined sewers, Institut os Sanitary Engineering, University of Karlsruhe, Germany, Report No. 64, 191-222, 1992
- ÖNORM EN ISO 5667-3 (2004): Wasserbeschaffenheit-Probennahme, Teil3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Wasserproben
- ÖNORM M6259 (1994): Wasseruntersuchung, Konservierung und Behandlung von Wasserproben, 1994
- PHILLIPE, J. P. AND RANCHET J. (1987): Pollution of runoff water in urban areas. Synthesis of data from ten catchments around Paris. LCPC Research Report nr 142, Paris, France, 76 p.
- S::CAN D2.0: Einsatz von s::can Prozessmessgeräten im Abwasser, Applikationsblätter Abwasser, D 2.0, s::can Messtechnik GMBH, Wien
- SAGET, A., CHEBBO G. (1995): Distribution of pollutant loads during rainfall events, CERGRENE/Lyonnaise des Eaux report, June 1995

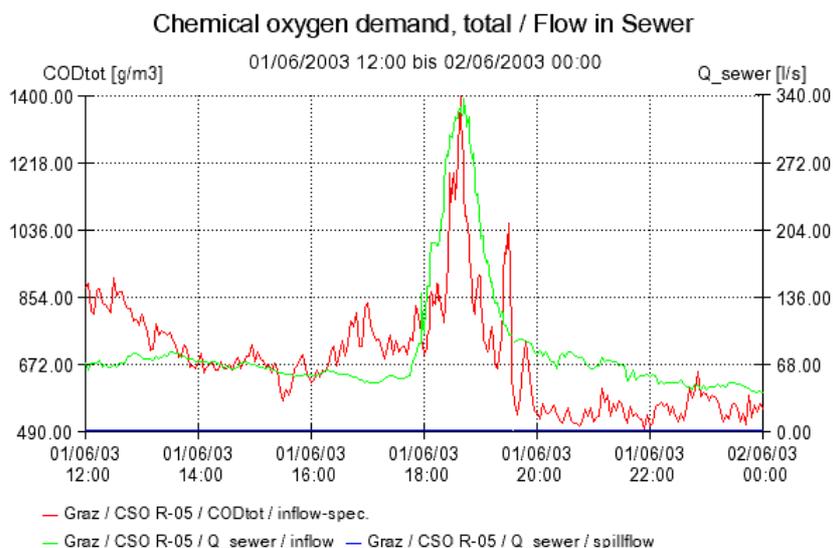
- SCHULZ, O. (1995): Gebietsspezifische Schmutzfrachtpotentiale flach verlegter und vorentlasteter Mischwassernetze, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Mitteilungen, Heft 137/ 1995
- STUMWÖHRER, K., MATSCHÉ, N., WINKLER, S. (2003): Influence of changes of the wastewater composition on the applicability of UV-absorption measurements at combined sewer overflows, Water Science and Technology Vol 47 No 2 pp 73-78, 2003
- THORNTON, R. C. AND SAUL, A. J. (1987): Temporal variation of pollutants in two combined sewer systems, Proceedings of the 4th International Conference on Urban Storm Drainage, Lausanne, Switzerland, pp 51-52
- WANIELISTA, M. AND YOUSEL Y. (1993): Stormwater Management, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA p 579
- WEDENIG, M. (2004): Quantifizierung von abgeschlagenen Schmutzfrachten aus einer Mischwasserentlastung in einen Vorfluter, Diplomarbeit, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU-Graz, 2004

8 Anlagen

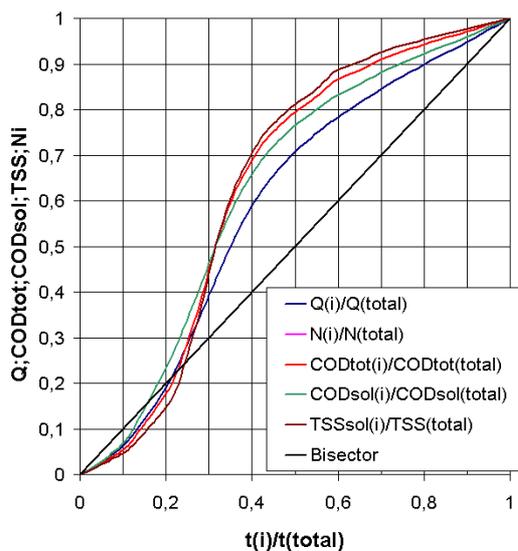
Mischwasserereignis 01 (01.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	17:48-20:45
Dauer Mischwasserabfluss:	3,0 [h]
Niederschlagshöhe:	2,0 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,76 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	3,10 [d]
Abflussmenge:	1602 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1705 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	715 [kg]

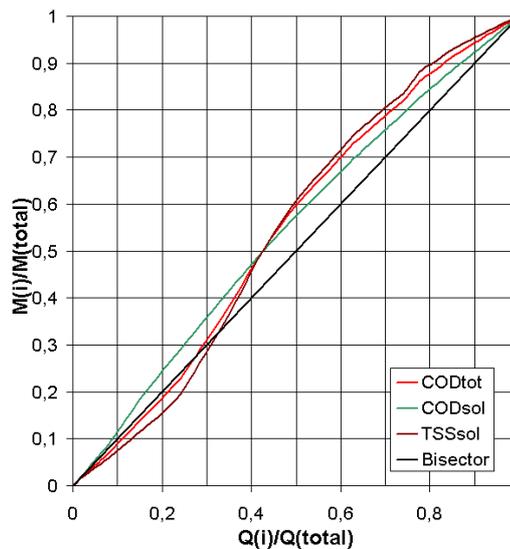
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

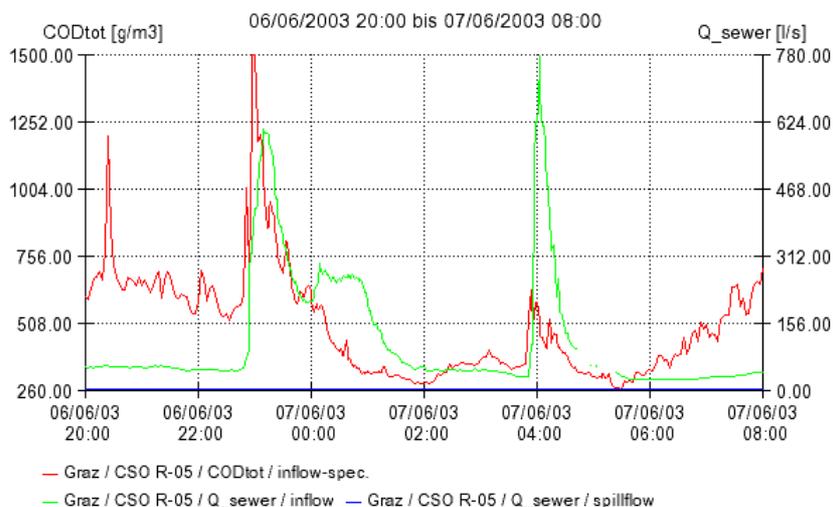
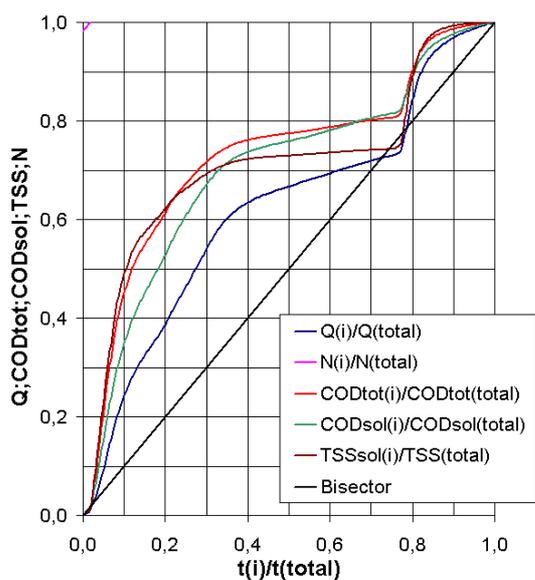
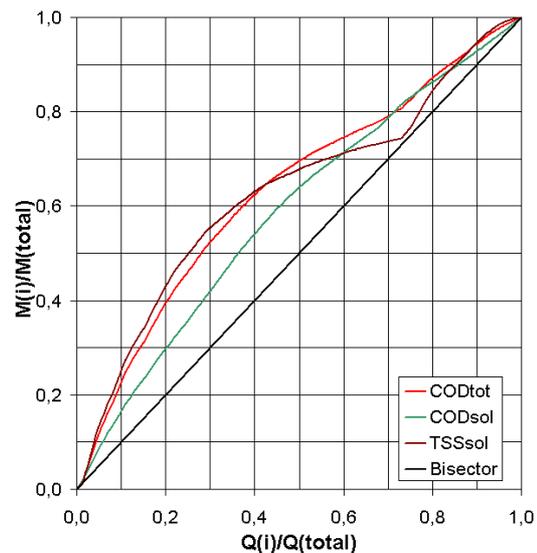


M(V) Diagramm



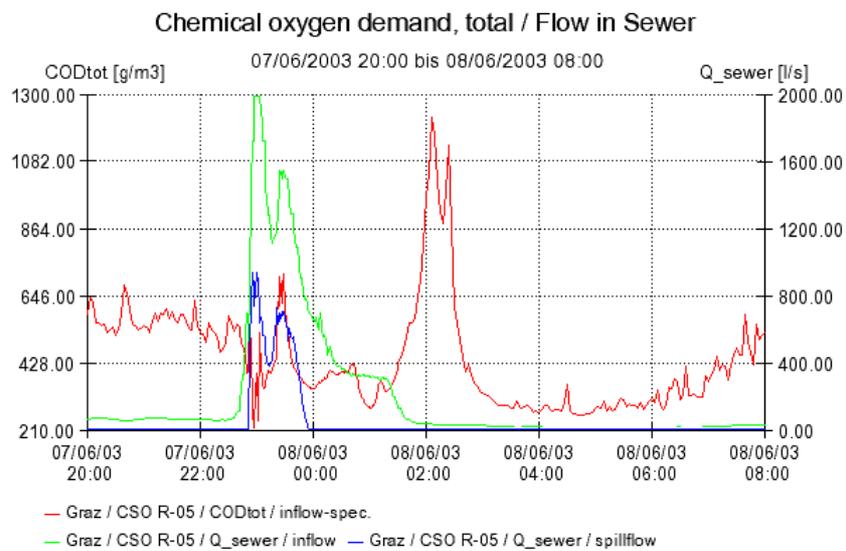
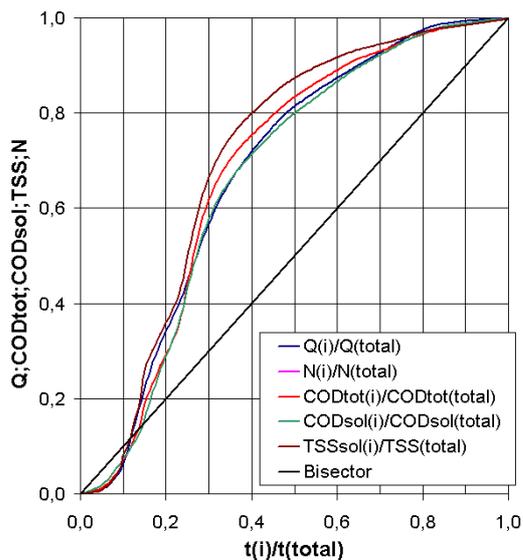
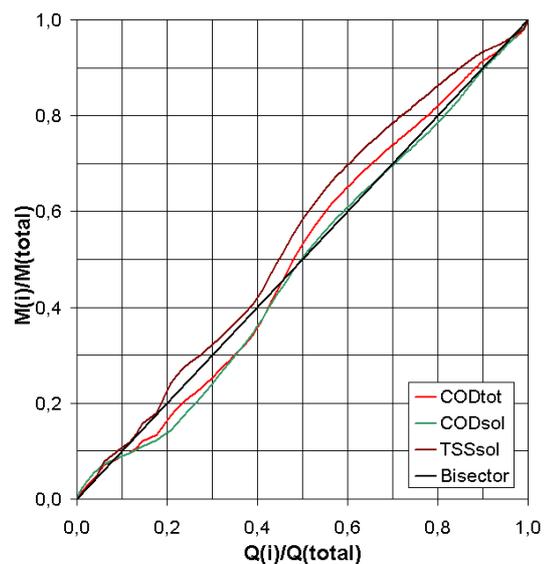
Mischwasserereignis 02**(06.06.2003-07.06.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	22:51-05:27
Dauer Mischwasserabfluss:	6,65 [h]
Niederschlagshöhe:	3,70 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,95 [mm/h]
Maximale Intensität:	12,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	4,18 [d]
Abflussmenge:	4127 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2861 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1332 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

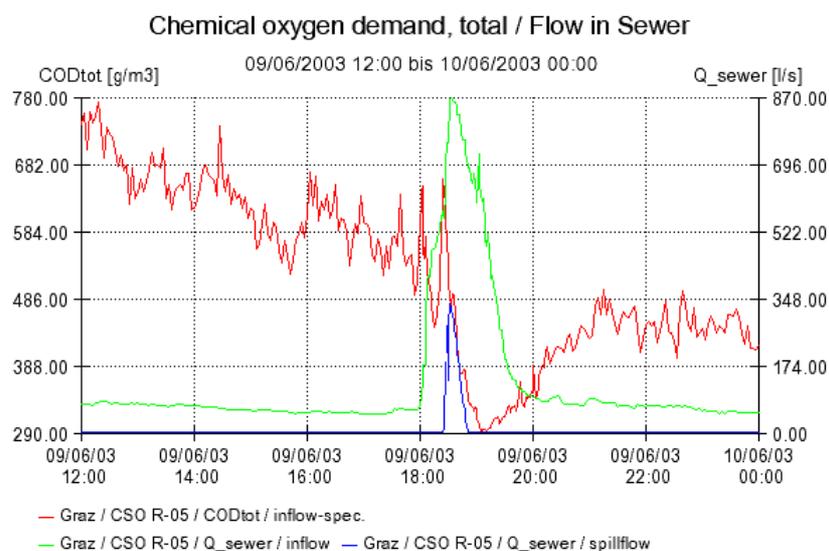
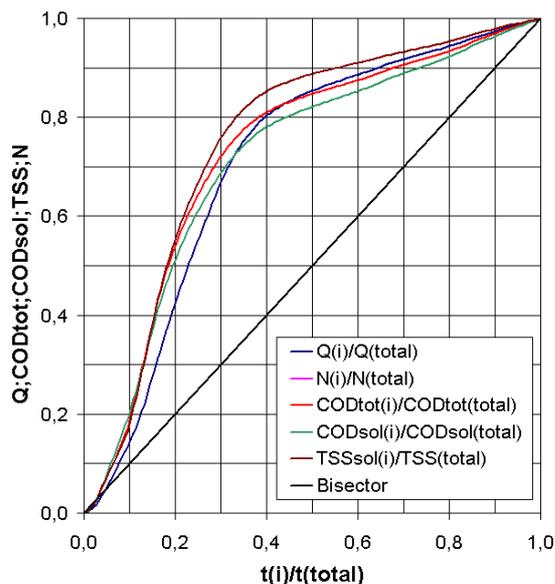
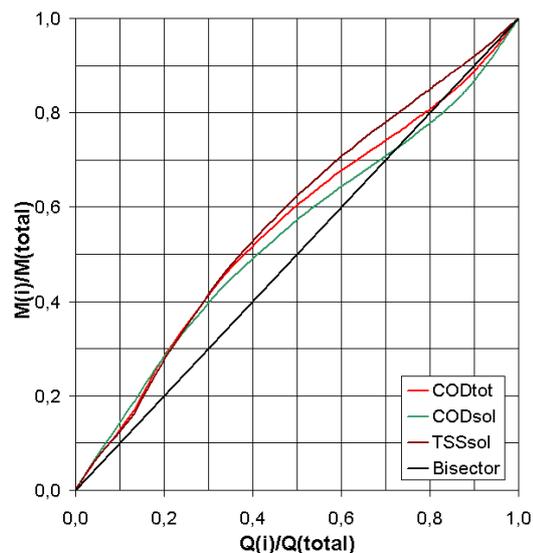
Mischwasserereignis 03**(07.06.2003-08.06.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	22:36-02:06
Dauer Mischwasserabfluss:	3,55 [h]
Niederschlagshöhe:	13,4 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	33,50 [mm/h]
Maximale Intensität:	72,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,94 [d]
Abflussmenge:	7766 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3479 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2440 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 04 (09.06.2003)

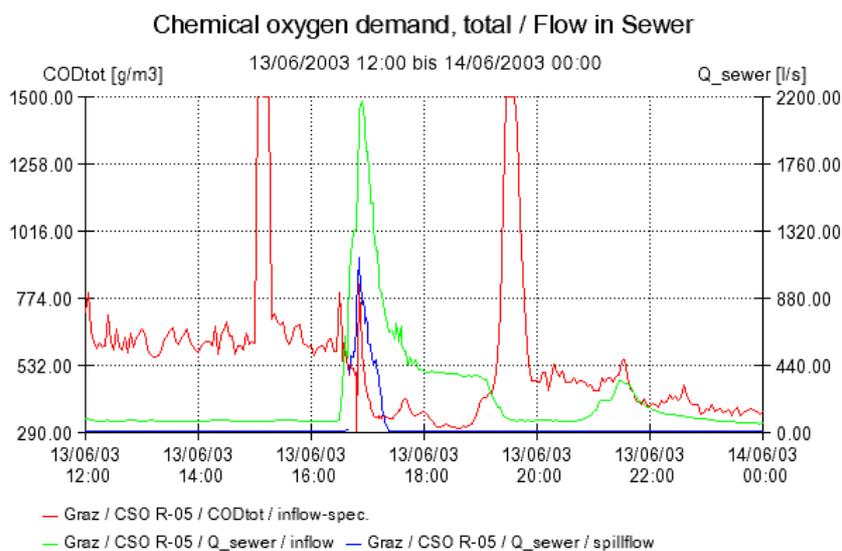
Periode Mischwasserabfluss:	18:02-21:42
Dauer Mischwasserabfluss:	3,68 [h]
Niederschlagshöhe:	5,1 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	9,00 [mm/h]
Maximale Intensität:	12,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,79 [d]
Abflussmenge:	3652 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1601 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	722 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

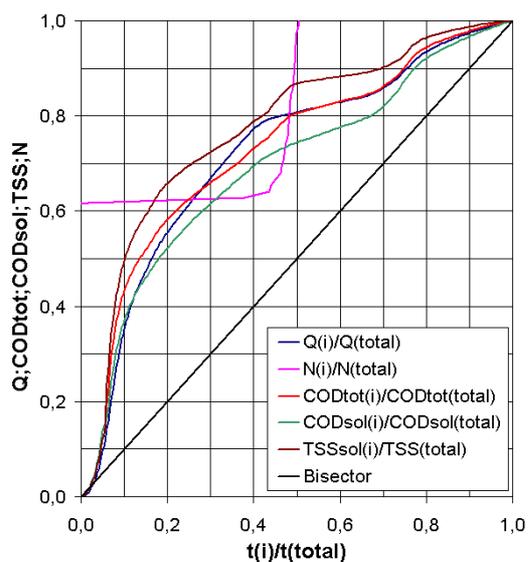
Mischwasserereignis 05 (13.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	16:30-23:09
Dauer Mischwasserabfluss:	6,70 [h]
Niederschlagshöhe:	7,8 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	5,76 [mm/h]
Maximale Intensität:	24,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	3,92 [d]
Abflussmenge:	8378 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	4102 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2233 [kg]

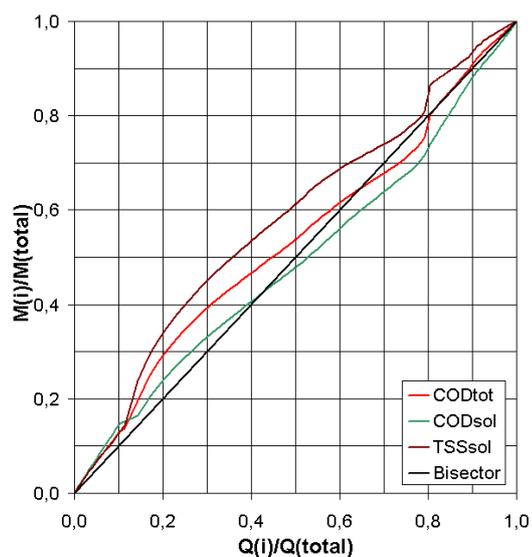
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

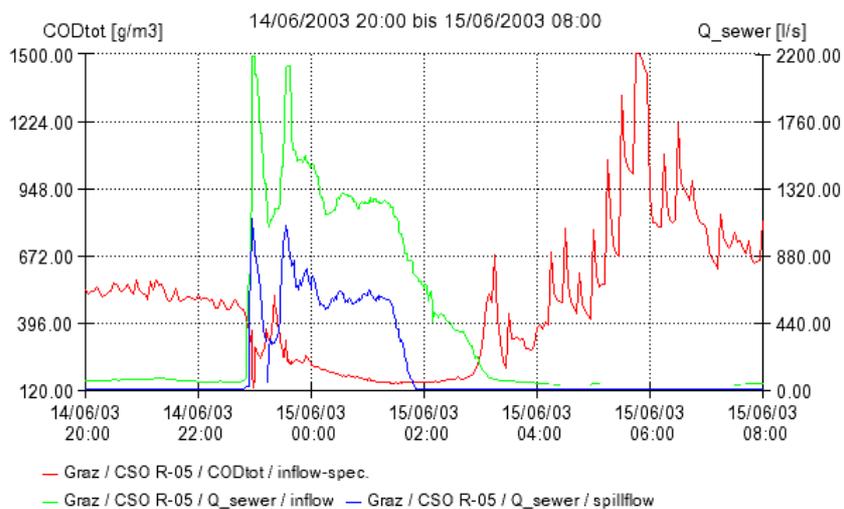
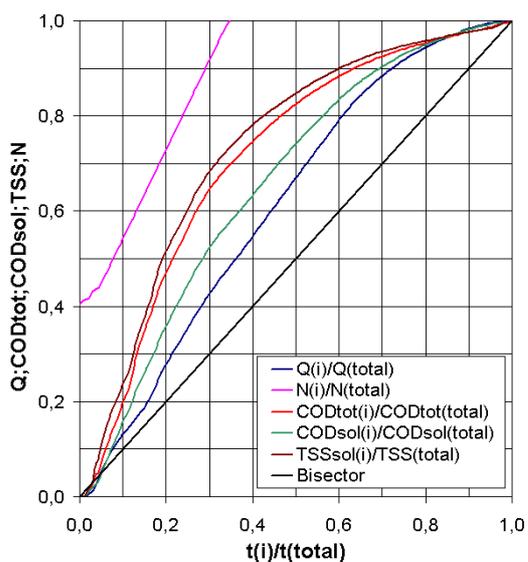
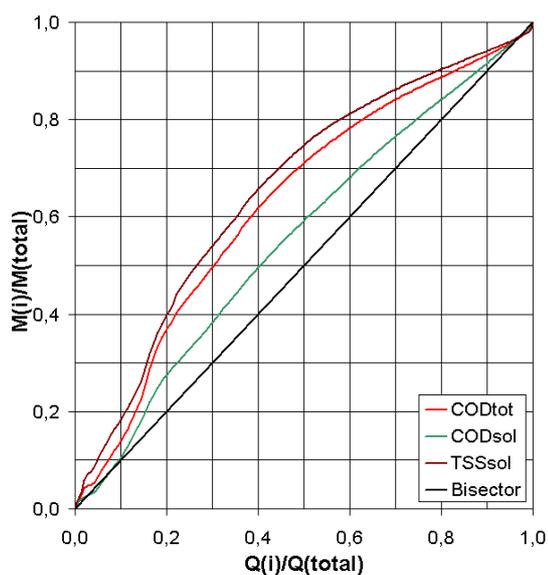


M(V) Diagramm



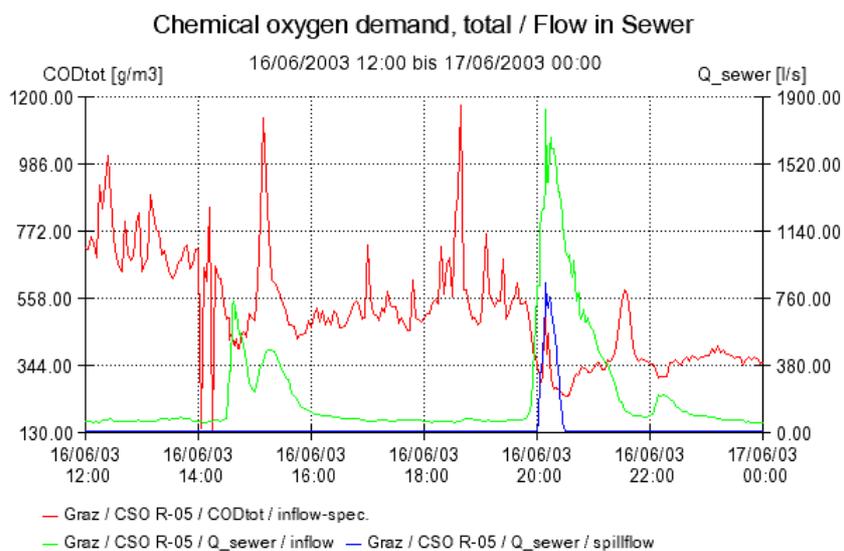
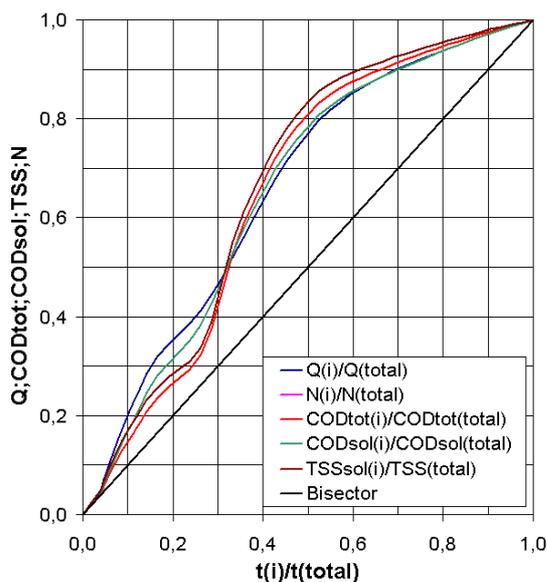
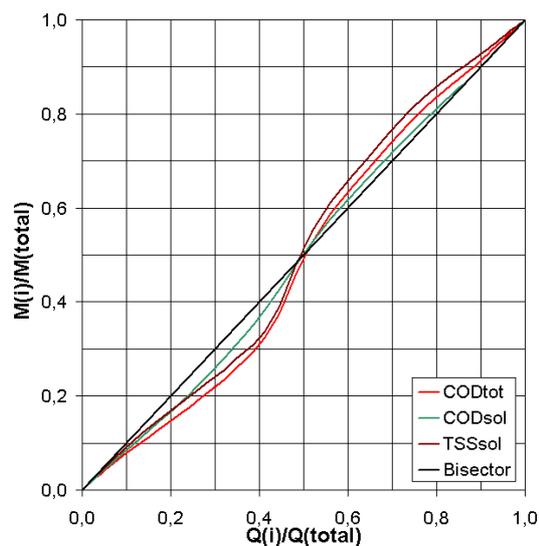
Mischwasserereignis 06**(14.06.2003-15.06.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	22:51-03:12
Dauer Mischwasserabfluss:	4,40 [h]
Niederschlagshöhe:	14,1 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	5,32 [mm/h]
Maximale Intensität:	24,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,08 [d]
Abflussmenge:	16009 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2604 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1563 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

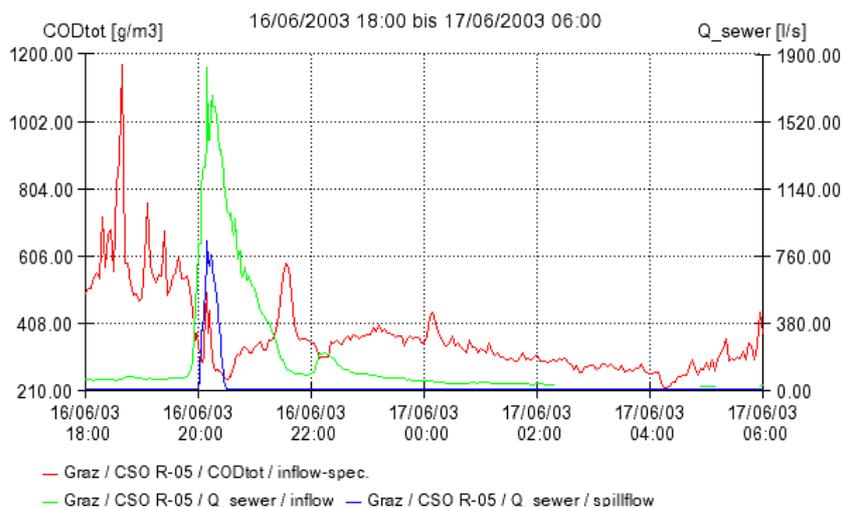
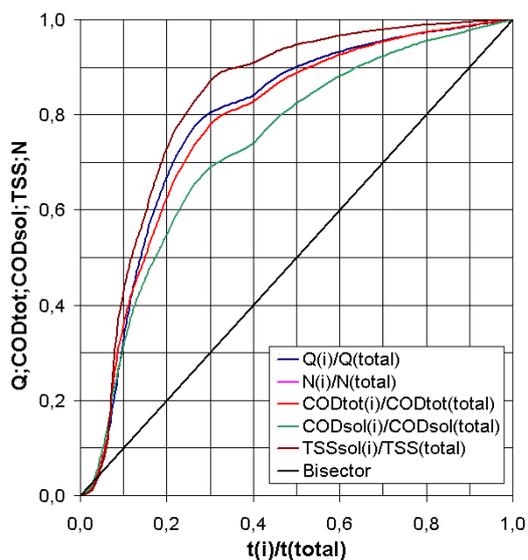
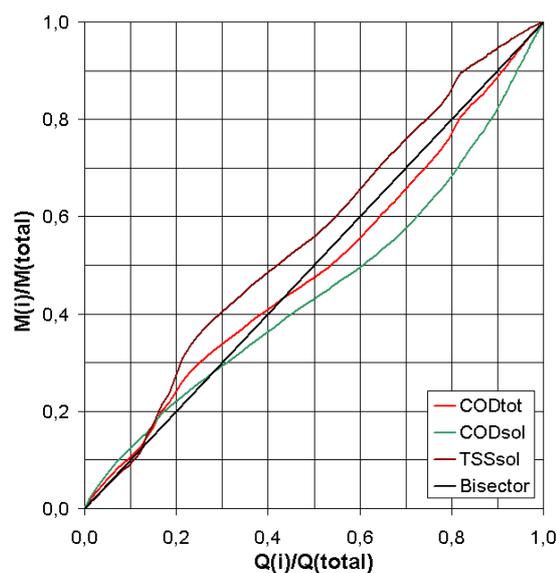
Mischwasserereignis 07 (16.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	14:33-16:36
Dauer Mischwasserabfluss:	2,10 [h]
Niederschlagshöhe:	4,4 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	11,0 [mm/h]
Maximale Intensität:	42,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,54 [d]
Abflussmenge:	2033 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1287 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	583 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 08**(16.06.2003-17.06.2003)**

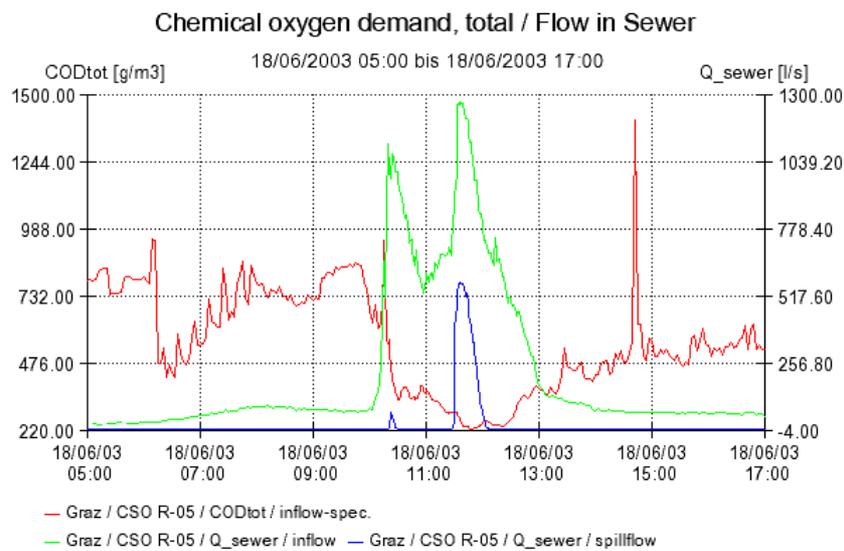
Periode Mischwasserabfluss:	19:48-01:36
Dauer Mischwasserabfluss:	5,85 [h]
Niederschlagshöhe:	4,3 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	9,92 [mm/h]
Maximale Intensität:	18,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,20 [d]
Abflussmenge:	5780 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1888 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1089 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

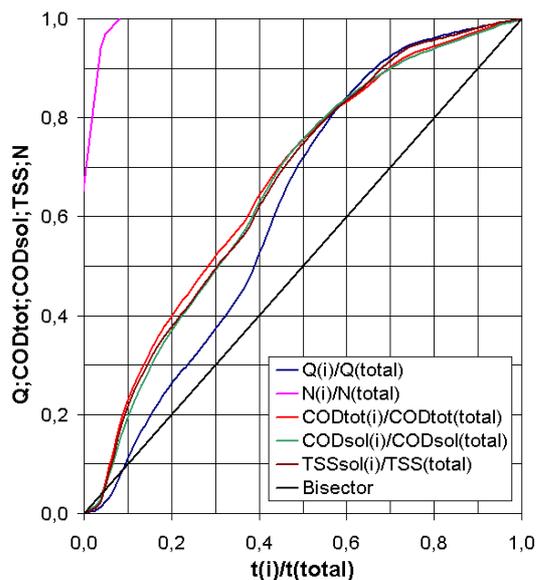
Mischwasserereignis 09 (18.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	10:06-16:57
Dauer Mischwasserabfluss:	3,90 [h]
Niederschlagshöhe:	3,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,87 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,57 [d]
Abflussmenge:	7573 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2468 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1195 [kg]

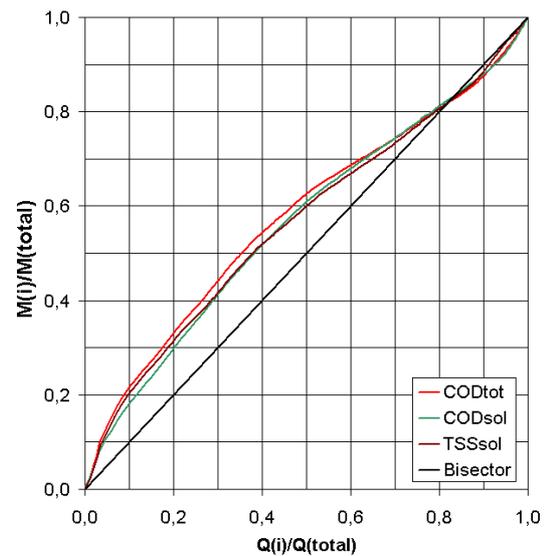
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

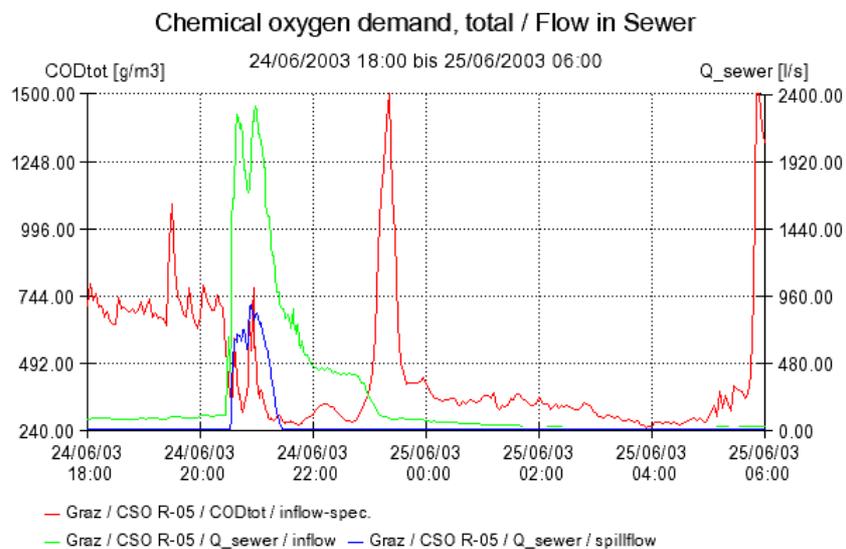
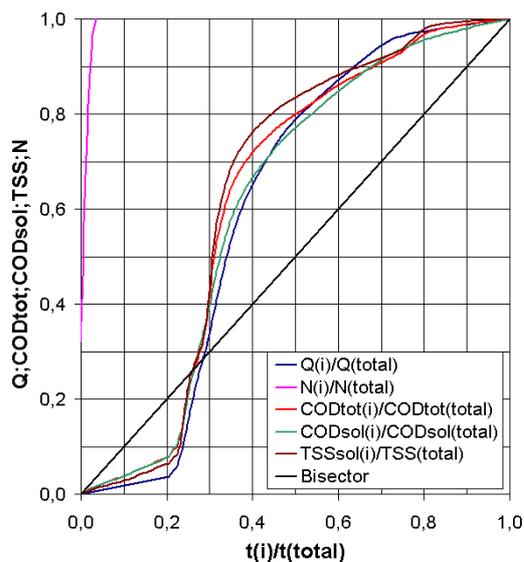
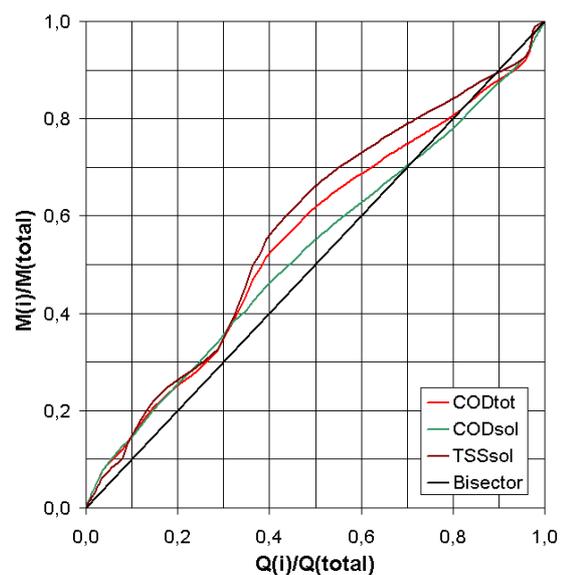


M(V) Diagramm



Mischwasserereignis 10**(24.06.2003-25.06.2003)**

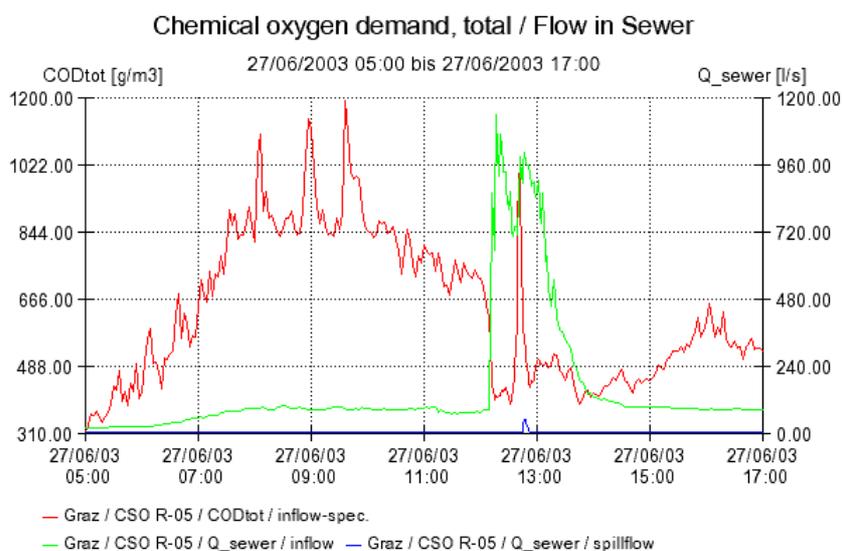
Periode Mischwasserabfluss:	19:30-00:21
Dauer Mischwasserabfluss:	4,90 [h]
Niederschlagshöhe:	6,10 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	6,78 [mm/h]
Maximale Intensität:	42,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	6,02 [d]
Abflussmenge:	9314 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3879 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2183 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

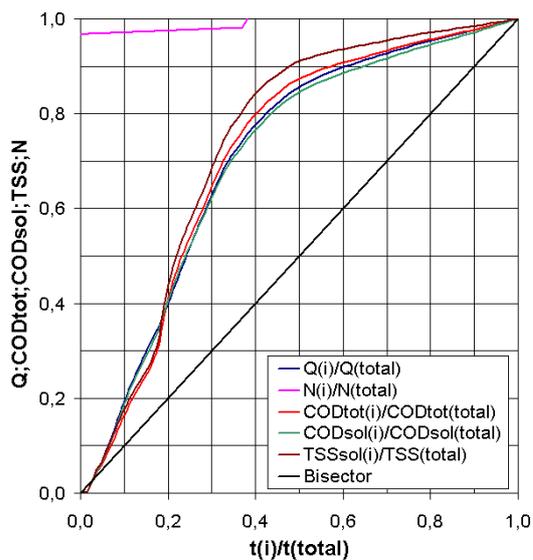
Mischwasserereignis 11 (27.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	12:09-15:15
Dauer Mischwasserabfluss:	3,15 [h]
Niederschlagshöhe:	5,50 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	8,15 [mm/h]
Maximale Intensität:	42,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	2,64 [d]
Abflussmenge:	4500 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2441 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1022 [kg]

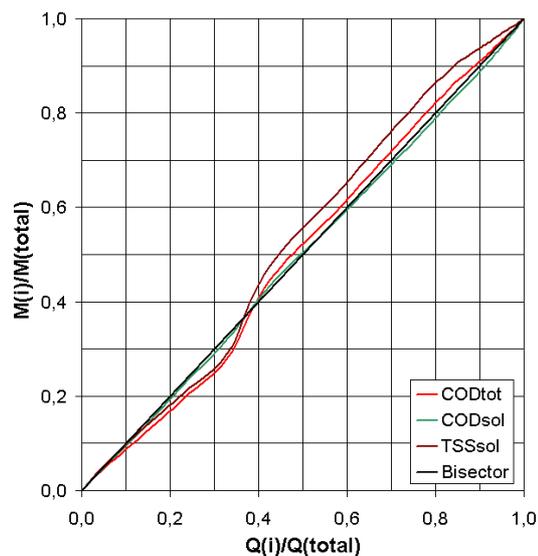
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

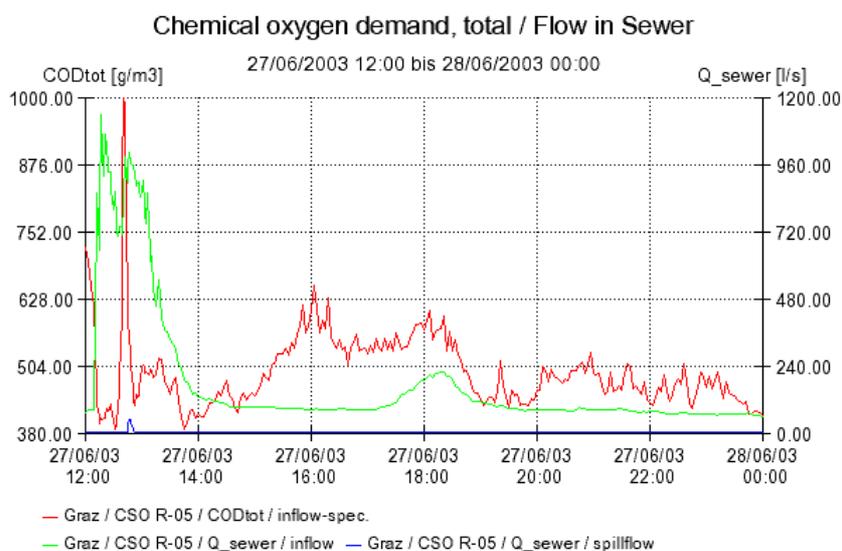
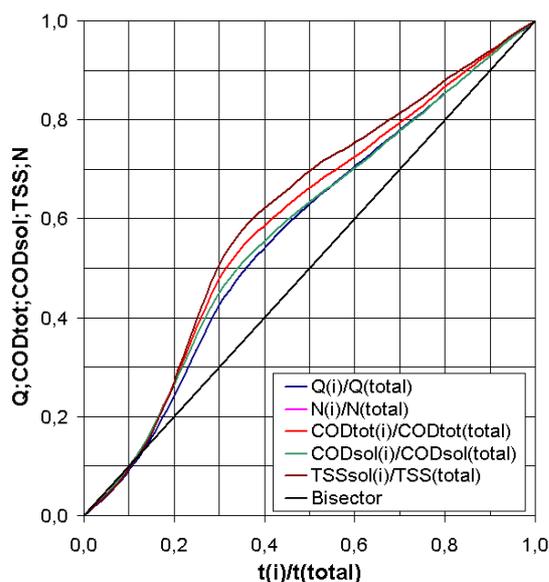
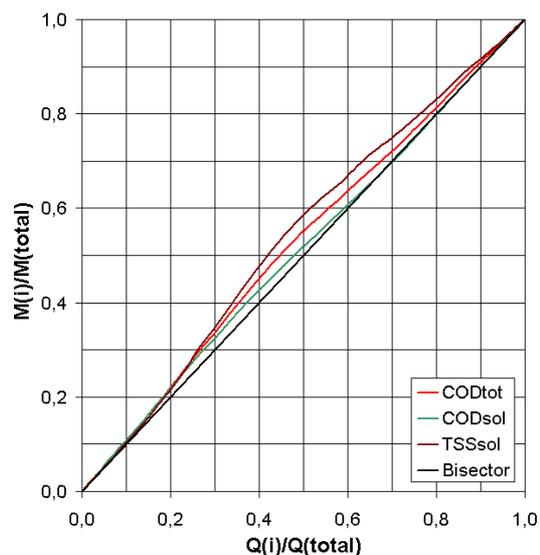


M(V) Diagramm



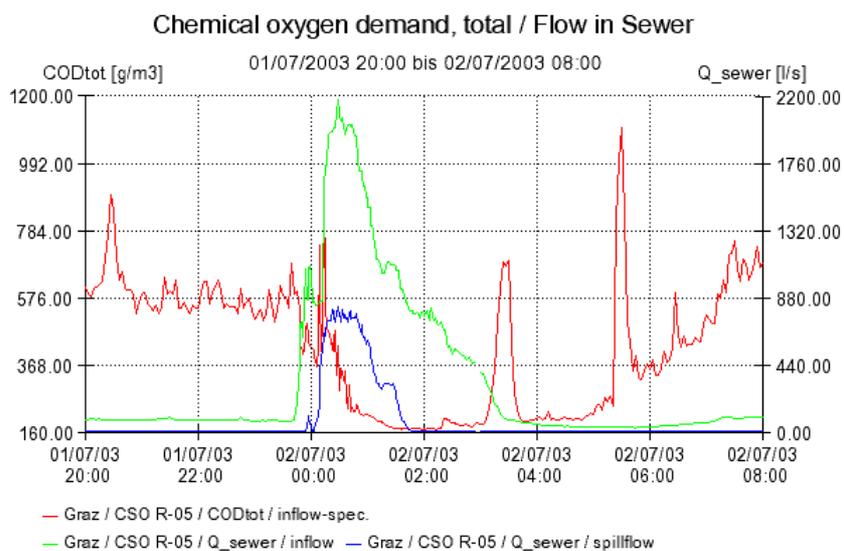
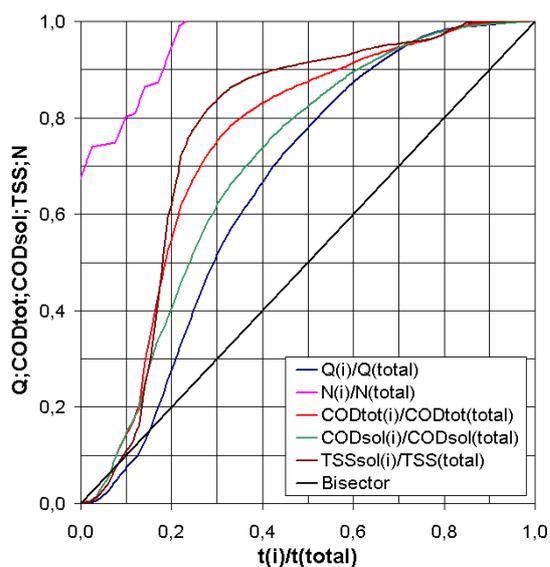
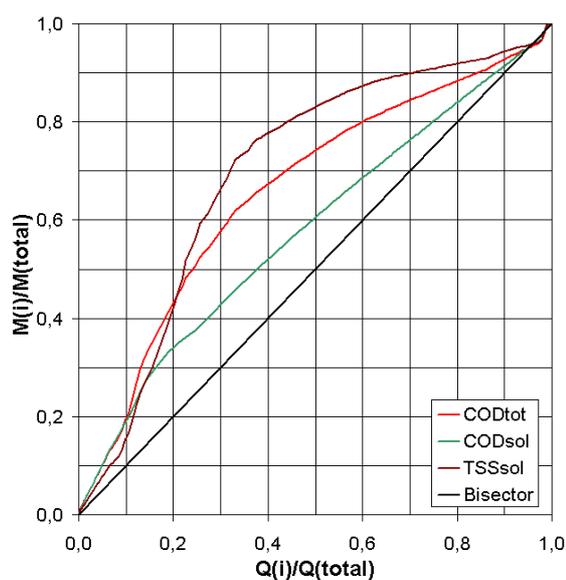
Mischwasserereignis 12 (27.06.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	17:09-21:54
Dauer Mischwasserabfluss:	4,80 [h]
Niederschlagshöhe:	0,8 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,45 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,13 [d]
Abflussmenge:	1920 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1113 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	354 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 13**(01.07.2003-02.07.2003)**

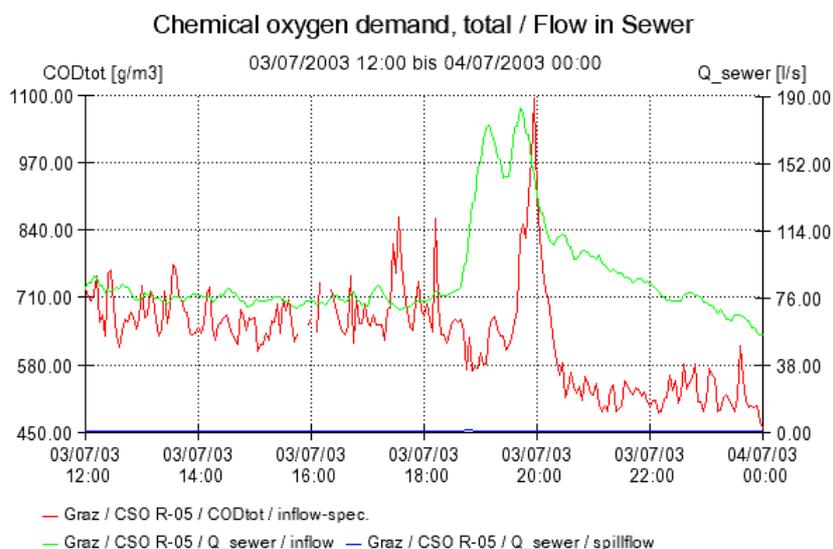
Periode Mischwasserabfluss:	23:39-04:12
Dauer Mischwasserabfluss:	4,60 [h]
Niederschlagshöhe:	11,1 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	5,12 [mm/h]
Maximale Intensität:	18,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	4,23 [d]
Abflussmenge:	13047 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3378 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1706 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

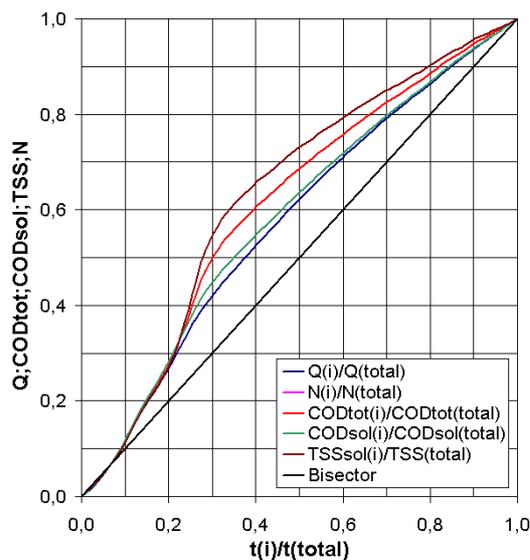
Mischwasserereignis 14 (03.07.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	18:36-23:39
Dauer Mischwasserabfluss:	5,10 [h]
Niederschlagshöhe:	0,9 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,35 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,51 [d]
Abflussmenge:	1904 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1371 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	457 [kg]

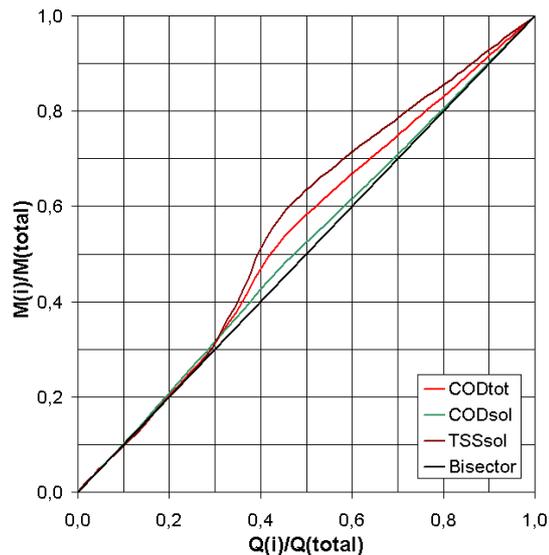
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



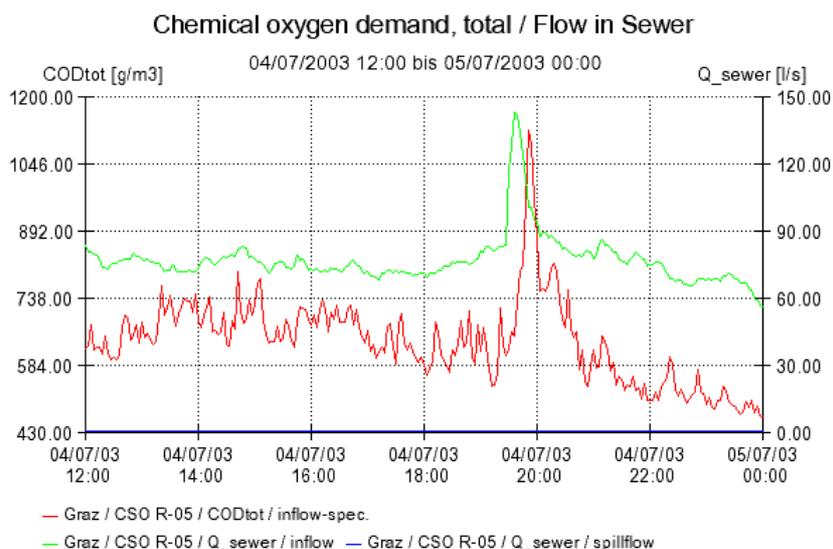
M(V) Diagramm



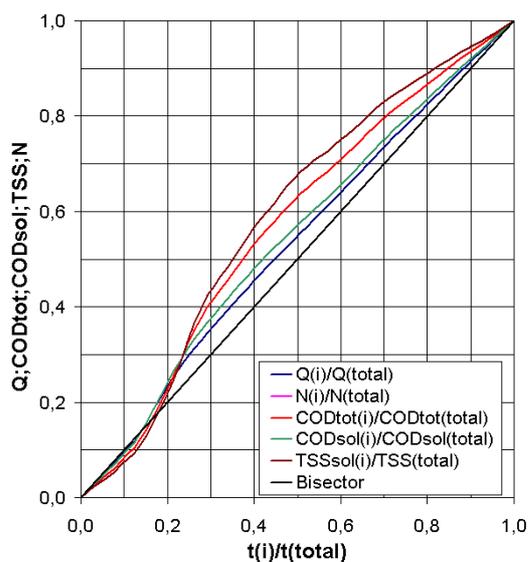
Mischwasserereignis 15 (04.07.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	19:06-22:18
Dauer Mischwasserabfluss:	3,25 [h]
Niederschlagshöhe:	0,3 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	4,50 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,75 [d]
Abflussmenge:	1014 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	801 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	280 [kg]

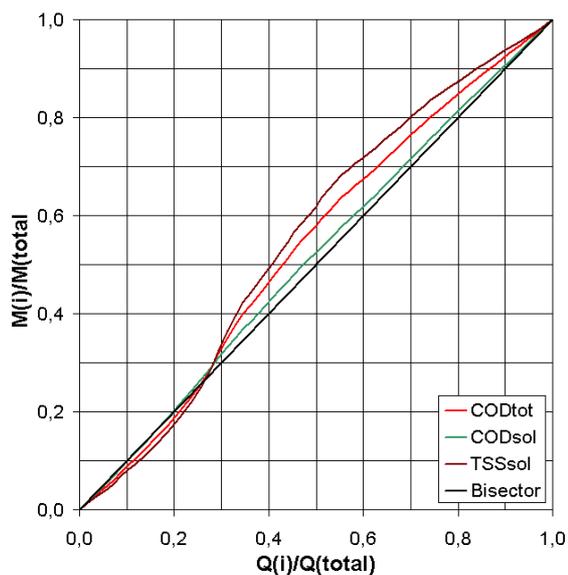
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



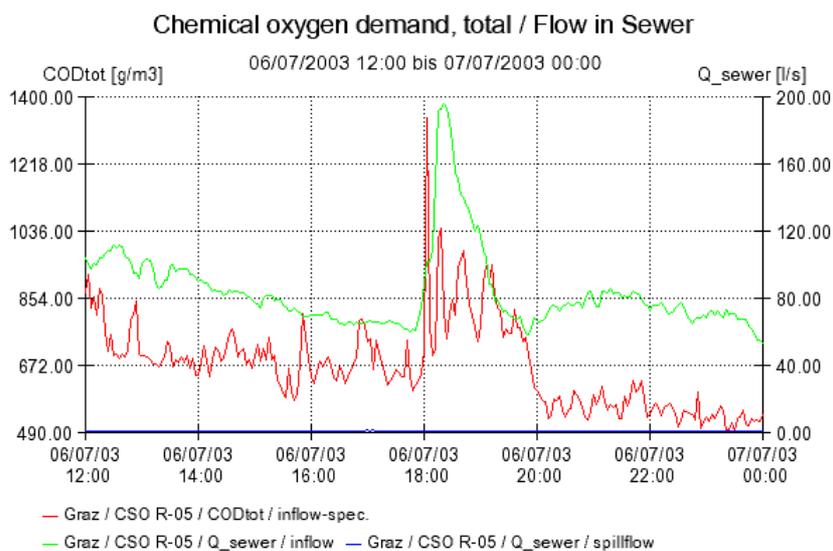
M(V) Diagramm



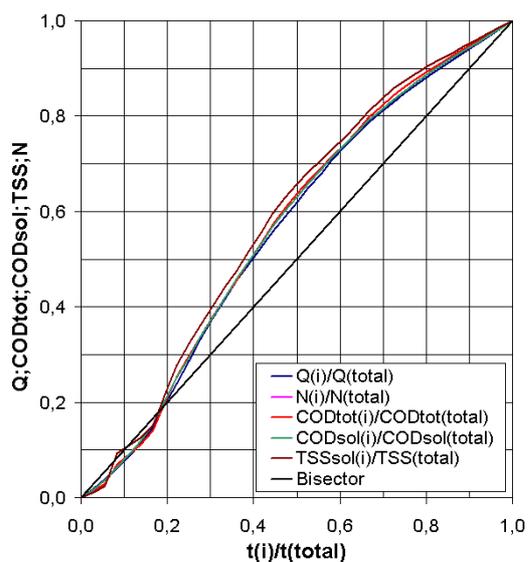
Mischwasserereignis 16 (06.07.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	17:57-19:42
Dauer Mischwasserabfluss:	1,80 [h]
Niederschlagshöhe:	0,7 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	4,67 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,95 [d]
Abflussmenge:	754 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	797 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	317 [kg]

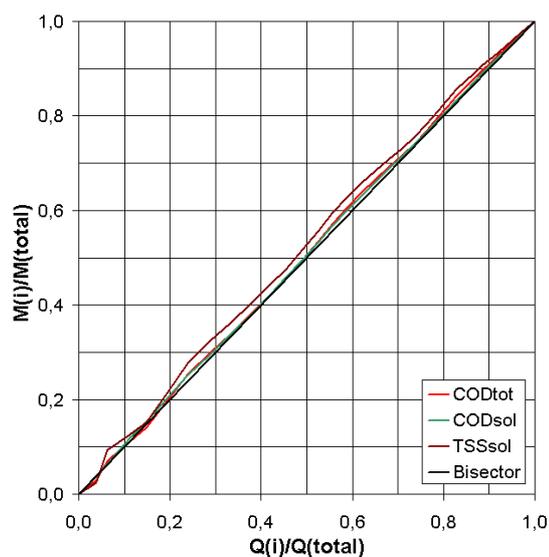
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

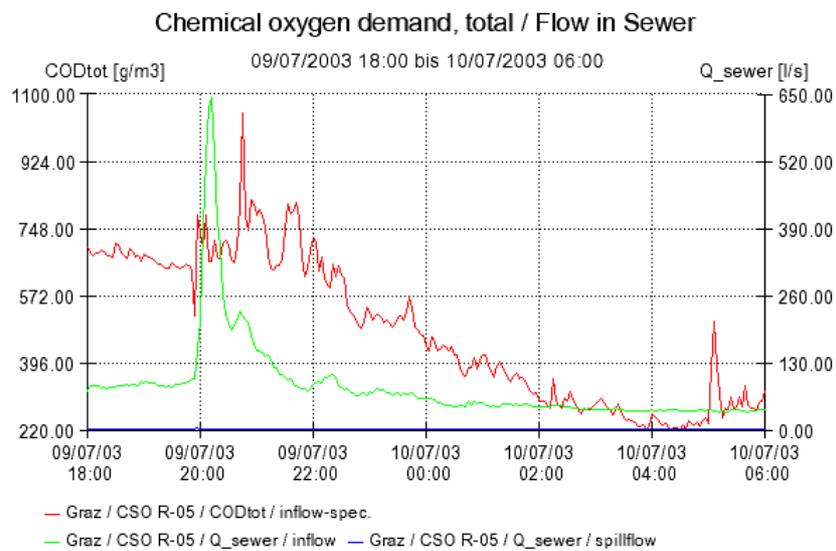
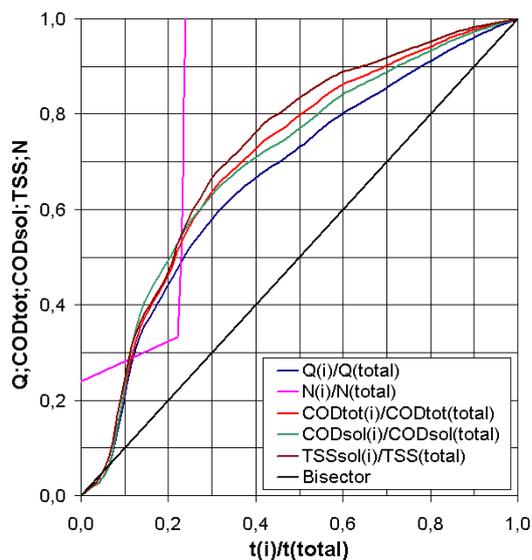
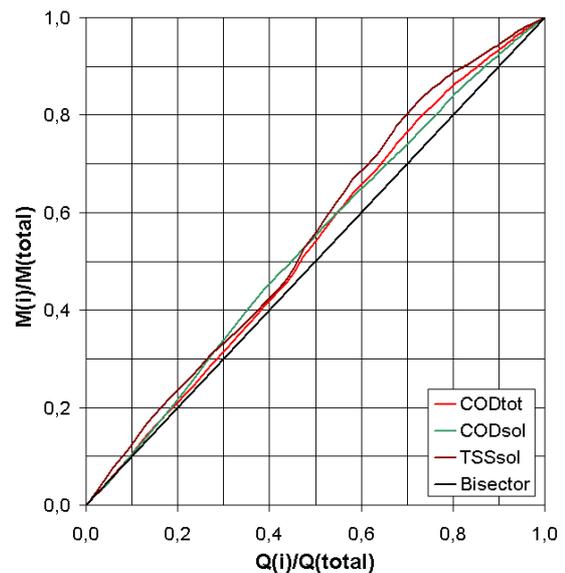


M(V) Diagramm



Mischwasserereignis 17**(09.07.2003-10.07.2003)**

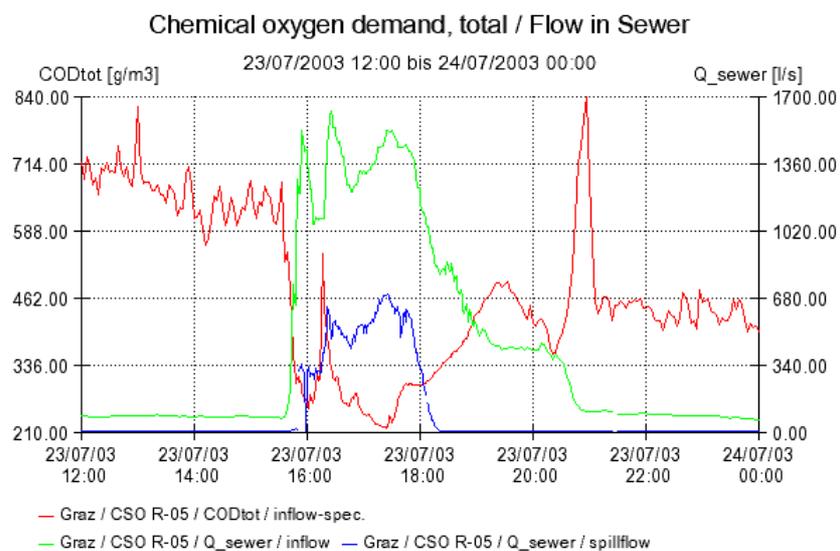
Periode Mischwasserabfluss:	19:45-00:30
Dauer Mischwasserabfluss:	4,80 [h]
Niederschlagshöhe:	0,6 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	5,0 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	3,10 [d]
Abflussmenge:	2273 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1819 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	628 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

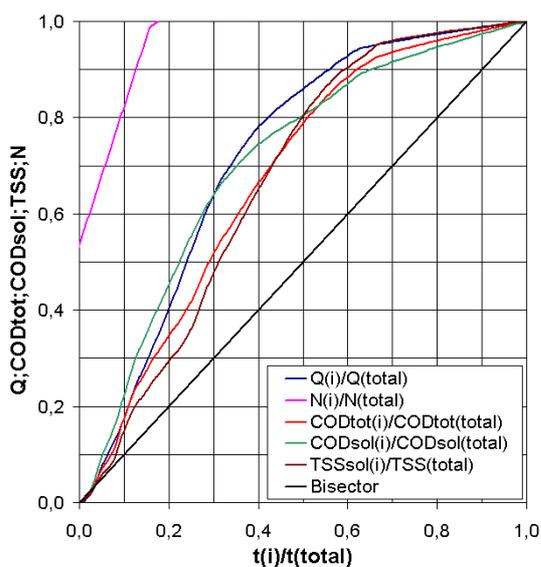
Mischwasserereignis 18 (23.07.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	15:39-23:39
Dauer Mischwasserabfluss:	8,05 [h]
Niederschlagshöhe:	16,8 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	6,59 [mm/h]
Maximale Intensität:	18,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,55 [d]
Abflussmenge:	17381 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	5572 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2639 [kg]

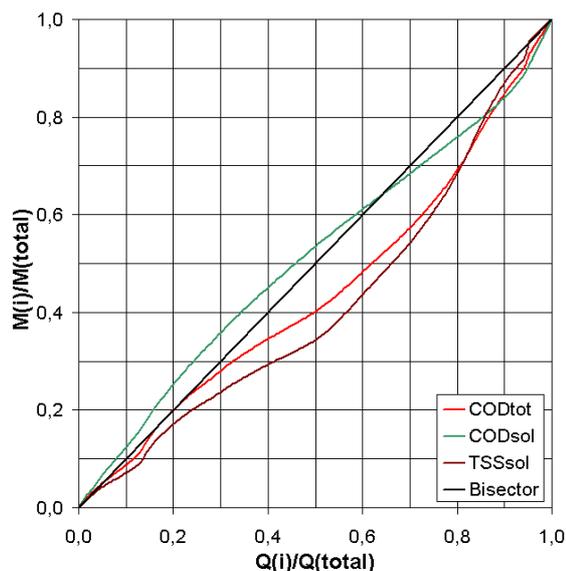
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

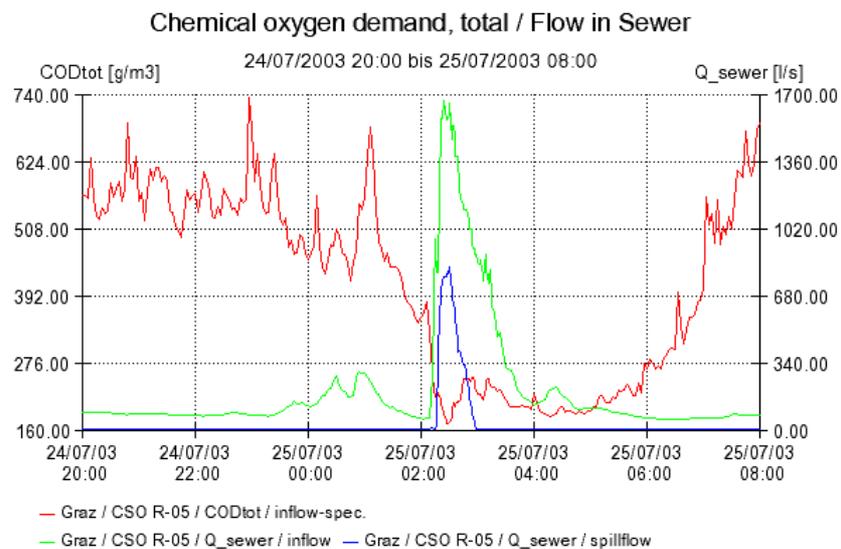
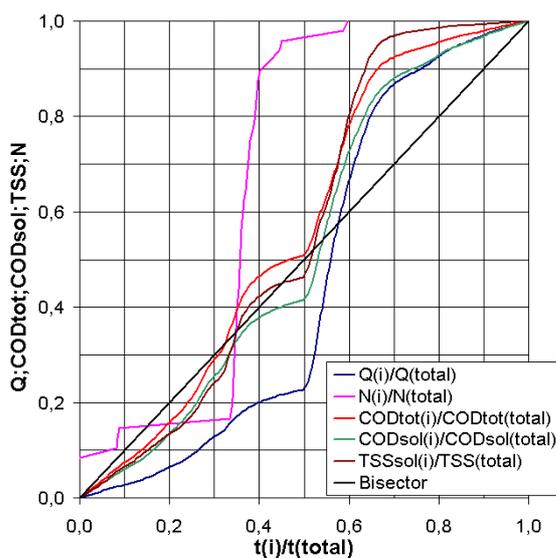
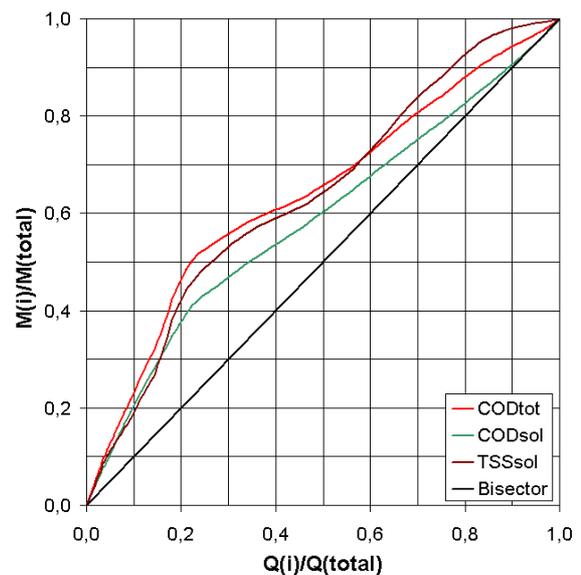


M(V) Diagramm



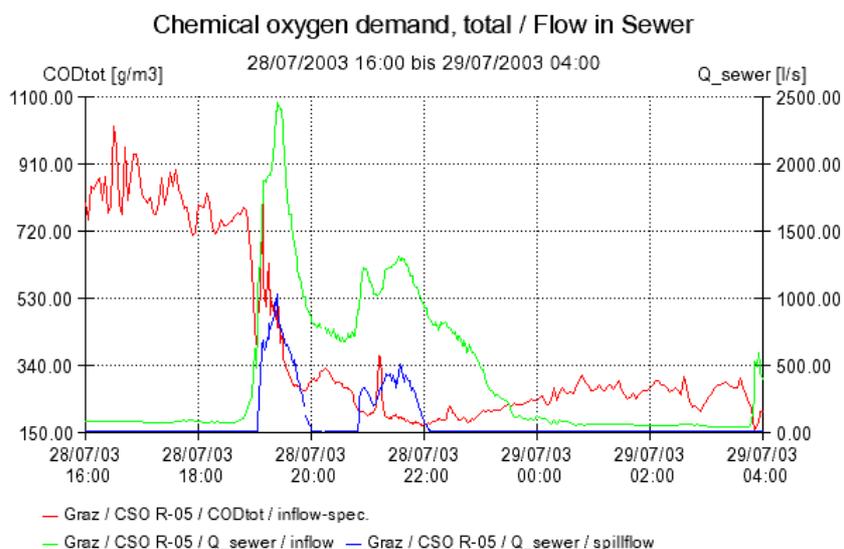
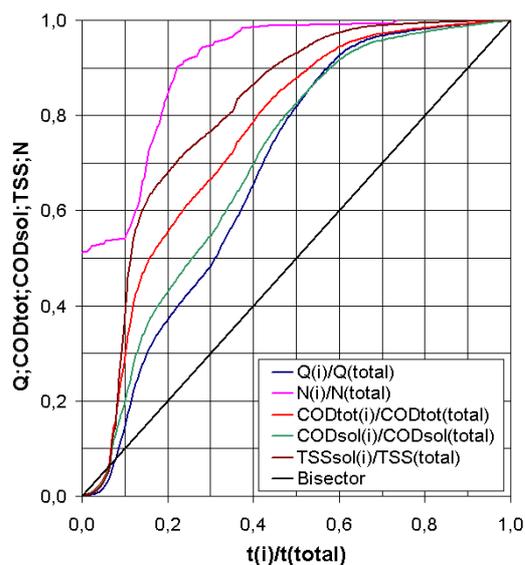
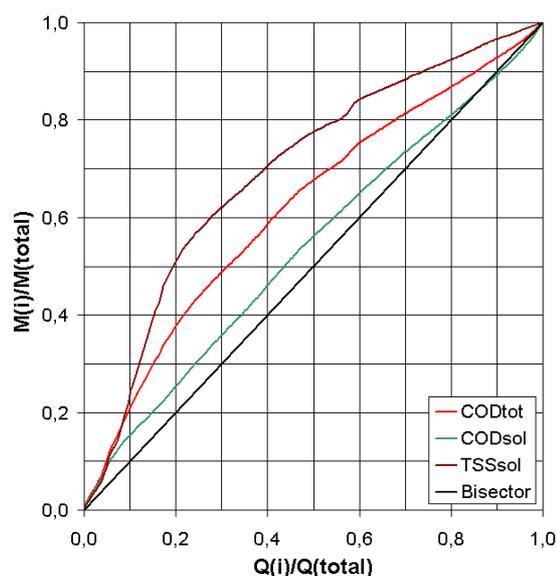
Mischwasserereignis 19**(24.07.2003-25.07.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	22:30-05:54
Dauer Mischwasserabfluss:	7,45 [h]
Niederschlagshöhe:	4,80 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,80 [mm/h]
Maximale Intensität:	12,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,21 [d]
Abflussmenge:	7658 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1946 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	714 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

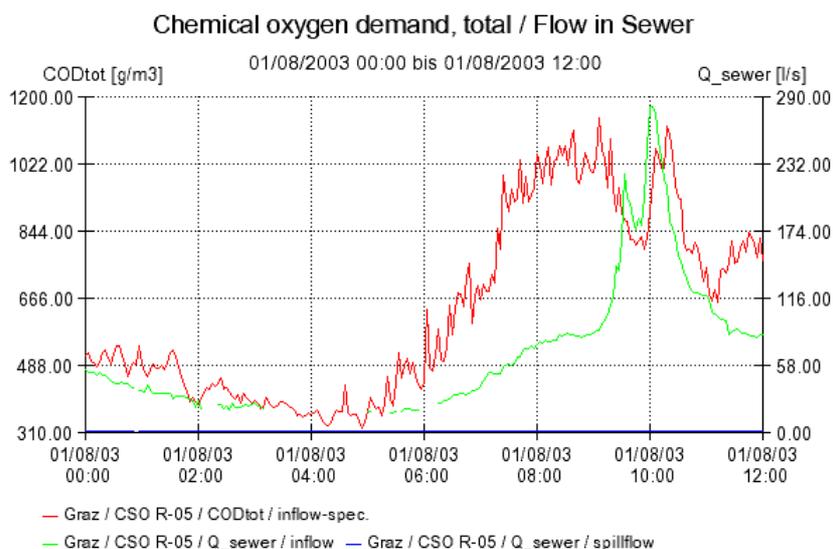
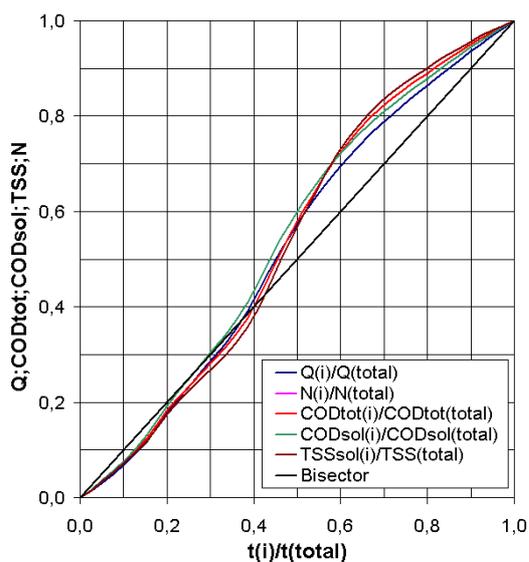
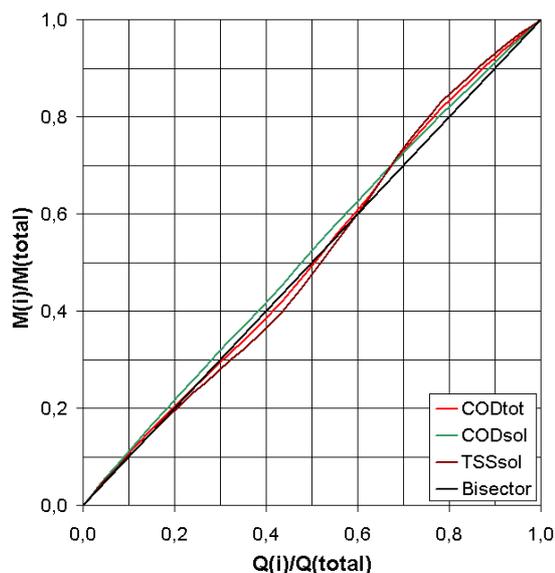
Mischwasserereignis 20**(28.07.2003-29.07.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	18:42-01:48
Dauer Mischwasserabfluss:	7,15 [h]
Niederschlagshöhe:	17,50 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,72 [mm/h]
Maximale Intensität:	36,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	3,61 [d]
Abflussmenge:	16729 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1527 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2060 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

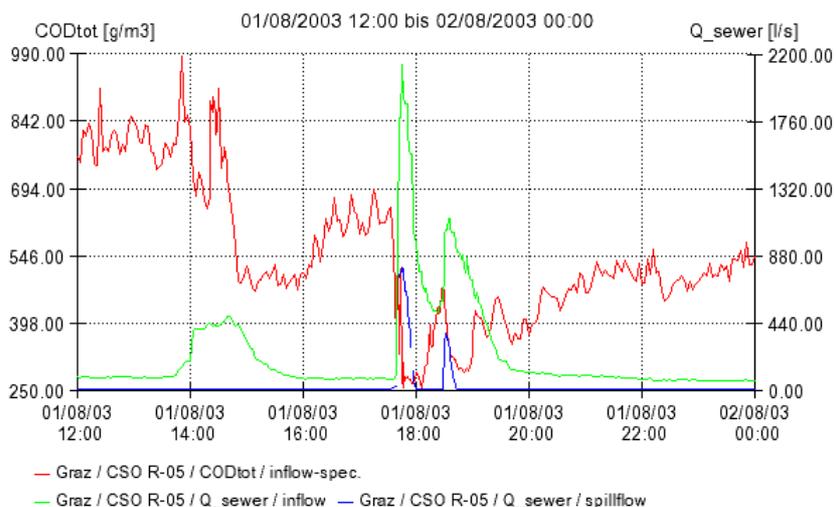
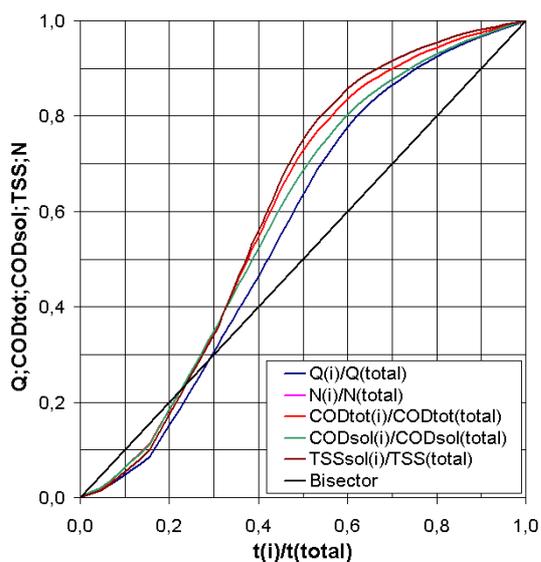
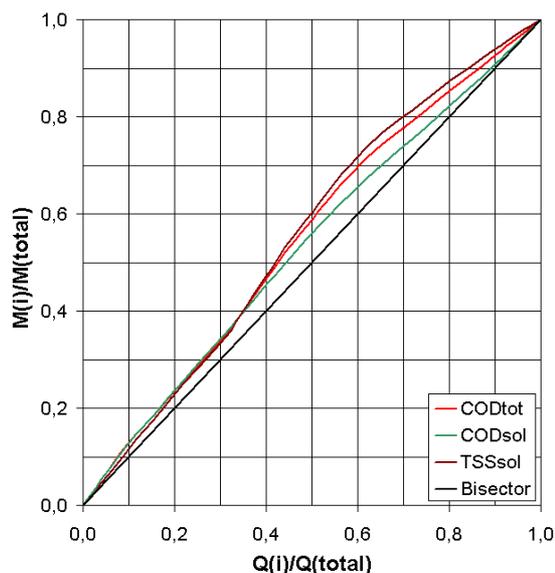
Mischwasserereignis 21**(01.08.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	9:15-11:09
Dauer Mischwasserabfluss:	1,95 [h]
Niederschlagshöhe:	0,70 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,80 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,46 [d]
Abflussmenge:	1184 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1074 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	383 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

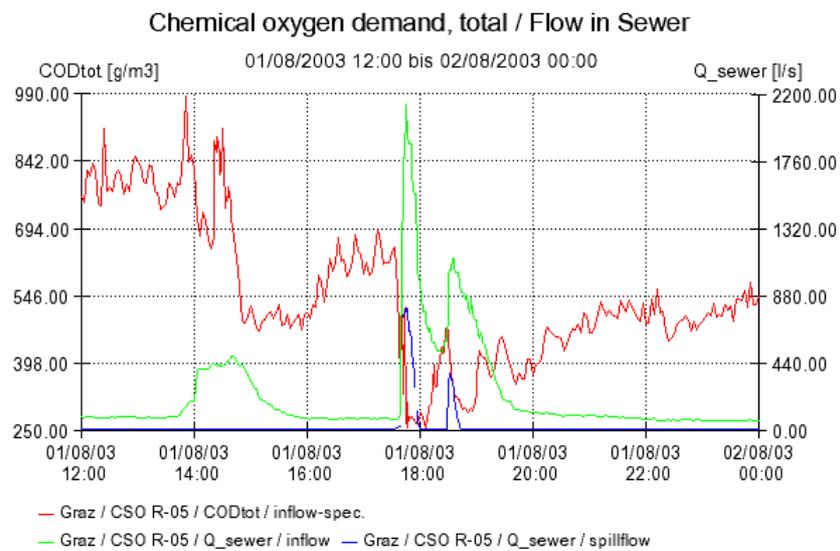
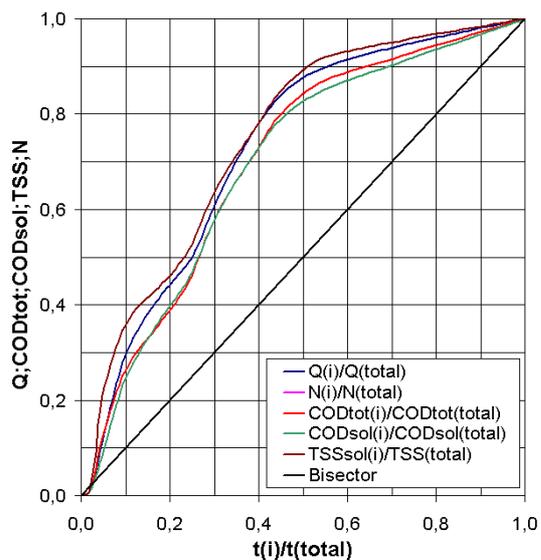
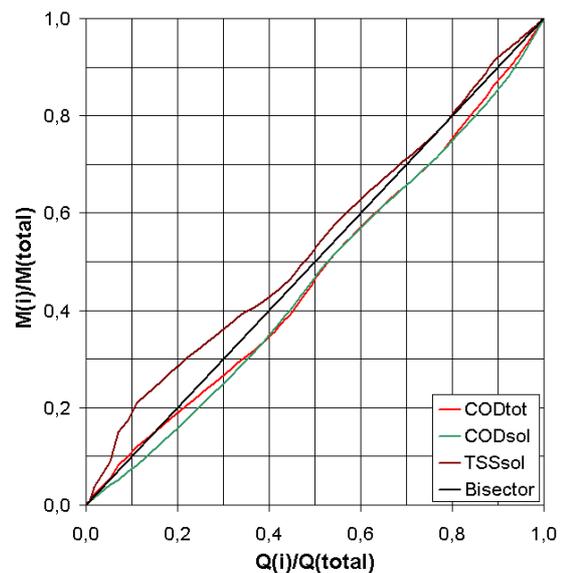
Mischwasserereignis 22**(01.08.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	13:42-15:54
Dauer Mischwasserabfluss:	2,25 [h]
Niederschlagshöhe:	1,90 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,22 [mm/h]
Maximale Intensität:	24,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,16 [d]
Abflussmenge:	2156 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1415 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	556 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

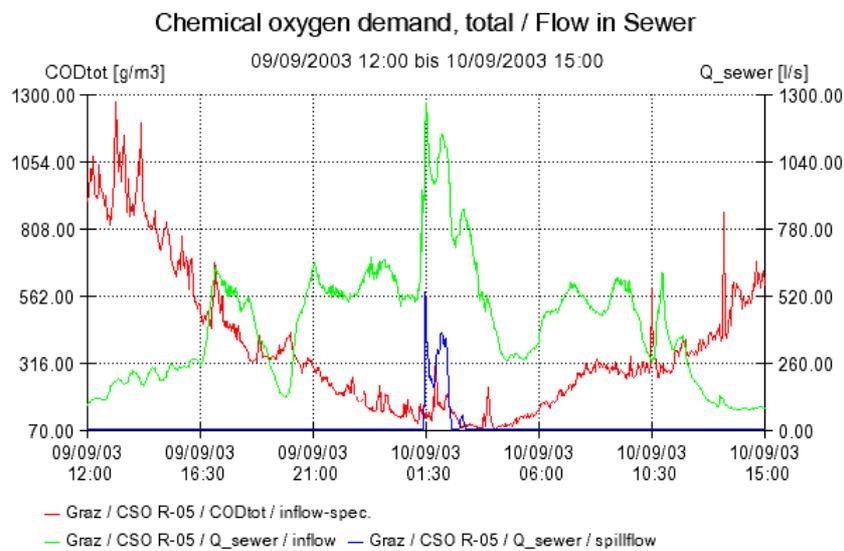
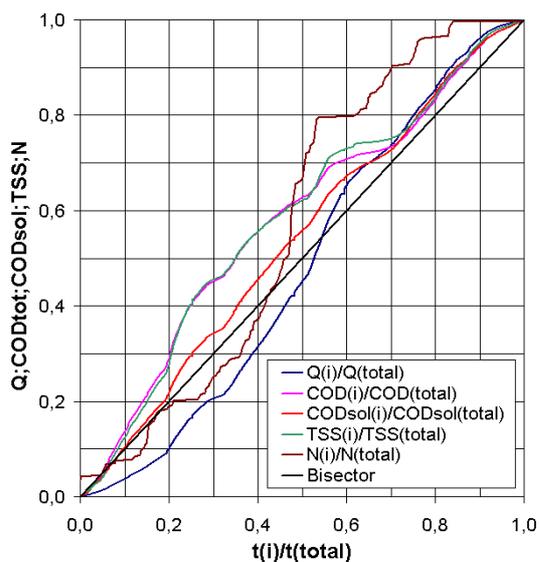
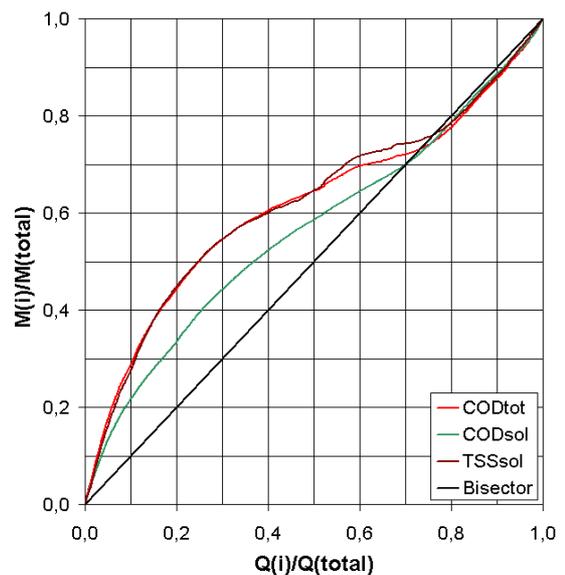
Mischwasserereignis 23**(01.08.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	17:39-21:09
Dauer Mischwasserabfluss:	3,55 [h]
Niederschlagshöhe:	5,60 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	21,11 [mm/h]
Maximale Intensität:	60,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,18 [d]
Abflussmenge:	6125 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2011 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	970 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 24**(09.09.2003-10.09.2003)**

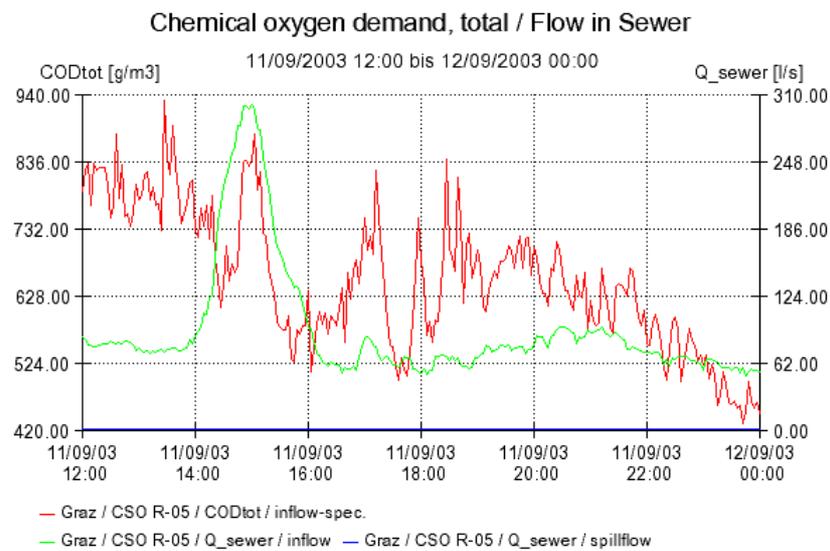
Periode Mischwasserabfluss:	11:45-14:09
Dauer Mischwasserabfluss:	26,40 [h]
Niederschlagshöhe:	23,9 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,02 [mm/h]
Maximale Intensität:	28,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	8,78 [d]
Abflussmenge:	39567 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	10631 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	4433 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

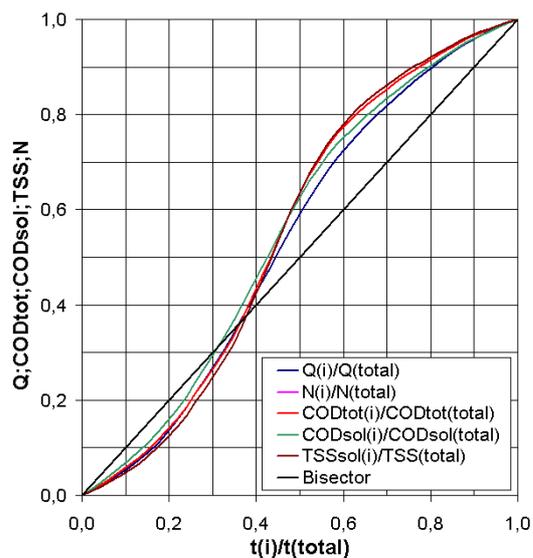
Mischwasserereignis 25 (11.09.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	13:57-16:15
Dauer Mischwasserabfluss:	2,3 [h]
Niederschlagshöhe:	0,50 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,90 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,11 [d]
Abflussmenge:	1474 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1028 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	416 [kg]

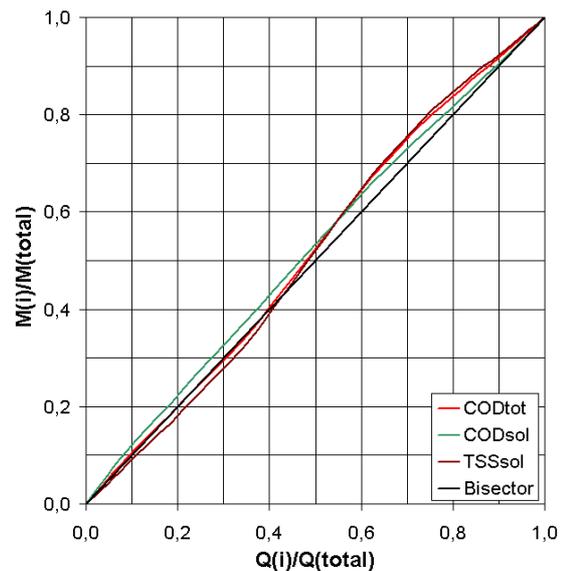
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

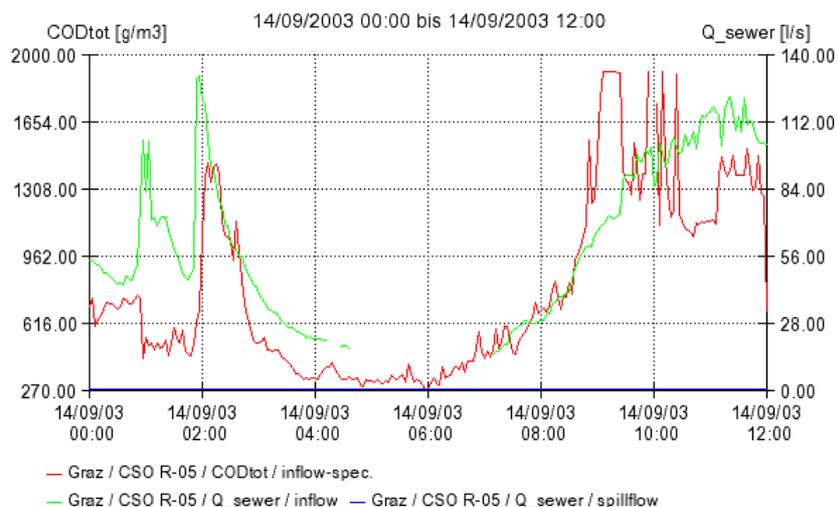
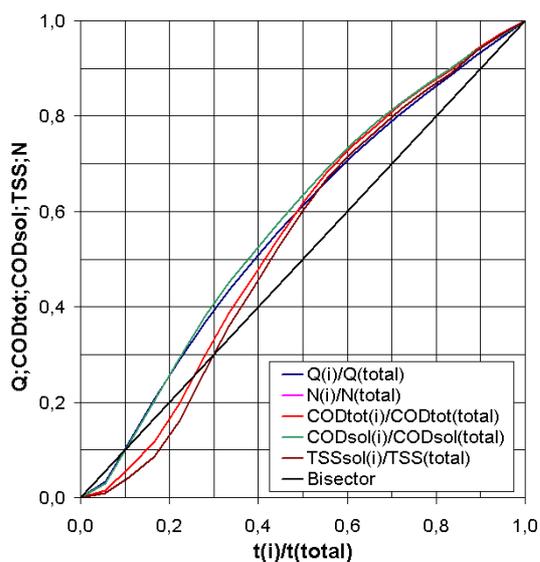
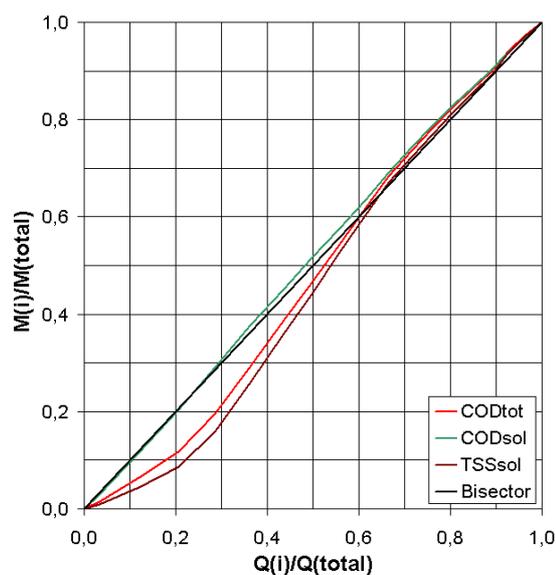


M(V) Diagramm



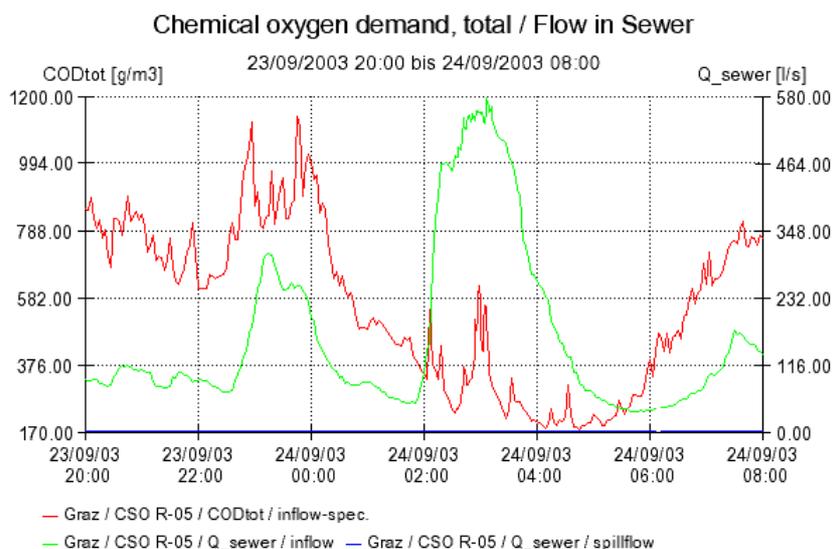
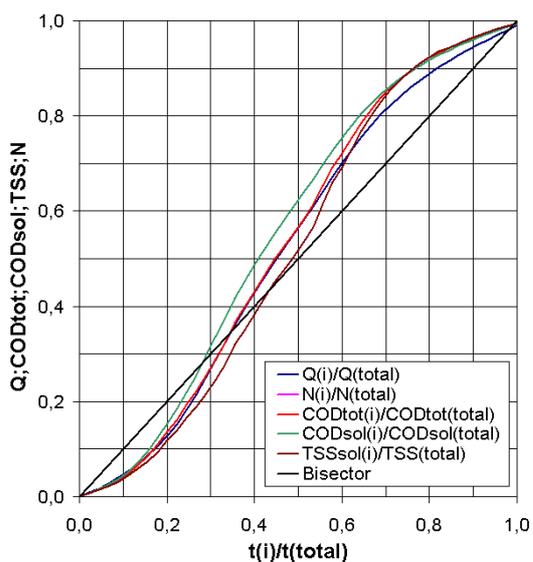
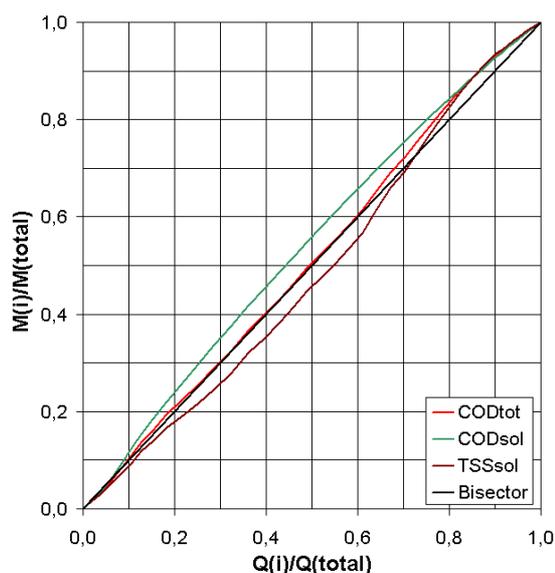
Mischwasserereignis 26**(14.09.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	01:48-02:42
Dauer Mischwasserabfluss:	0,90 [h]
Niederschlagshöhe:	0,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	4,50 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	2,17 [d]
Abflussmenge:	271 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	301 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	132 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 27**(23.09.2003-24.09.2003)**

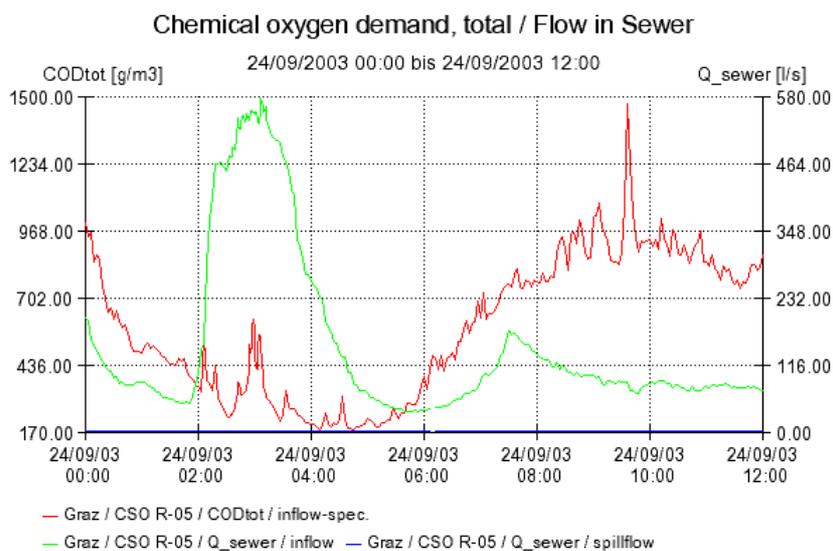
Periode Mischwasserabfluss:	22:33-00:48
Dauer Mischwasserabfluss:	2,25 [h]
Niederschlagshöhe:	0,40 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,320 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	9,86 [d]
Abflussmenge:	1489 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1316 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	450 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

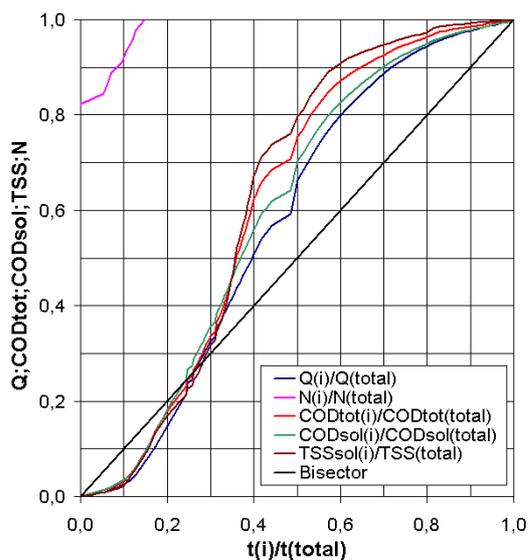
Mischwasserereignis 28 (24.09.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	01:45-05:15
Dauer Mischwasserabfluss:	3,50 [h]
Niederschlagshöhe:	4,50 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,73 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,12 [d]
Abflussmenge:	3799 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1090 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	362 [kg]

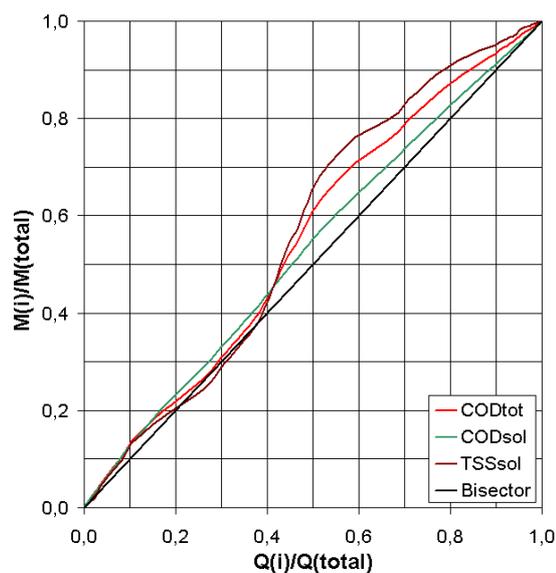
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



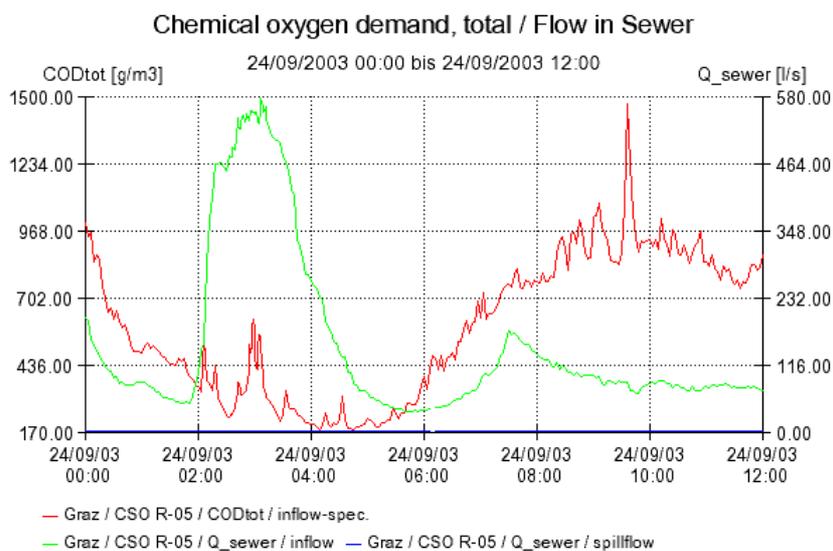
M(V) Diagramm



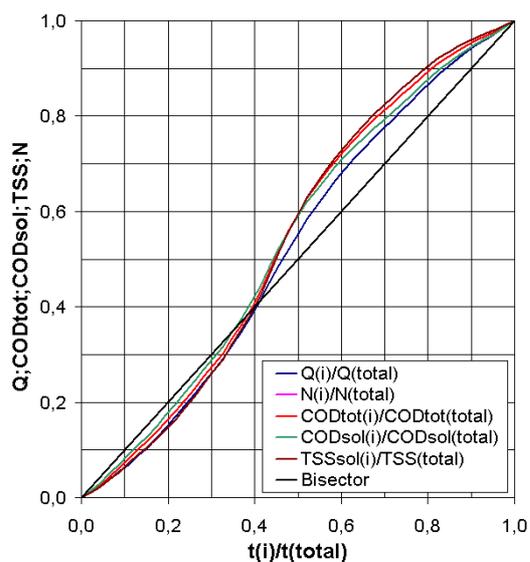
Mischwasserereignis 29 (24.09.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	13:39-15:54
Dauer Mischwasserabfluss:	2,30 [h]
Niederschlagshöhe:	0,40 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,71 [mm/h]
Maximale Intensität:	0,75 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,40 [d]
Abflussmenge:	1190 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	895 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	331 [kg]

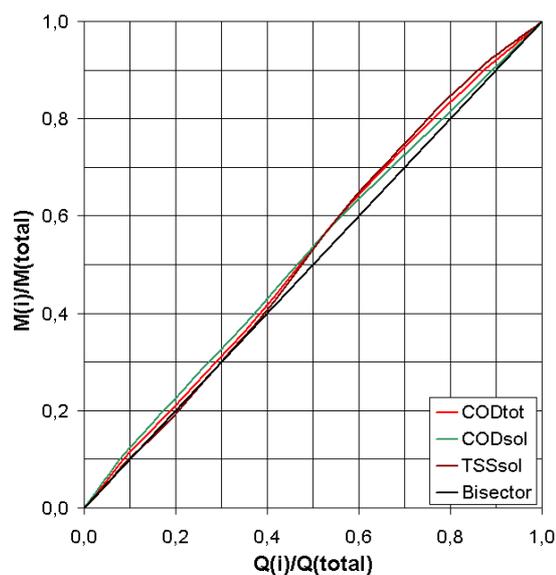
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



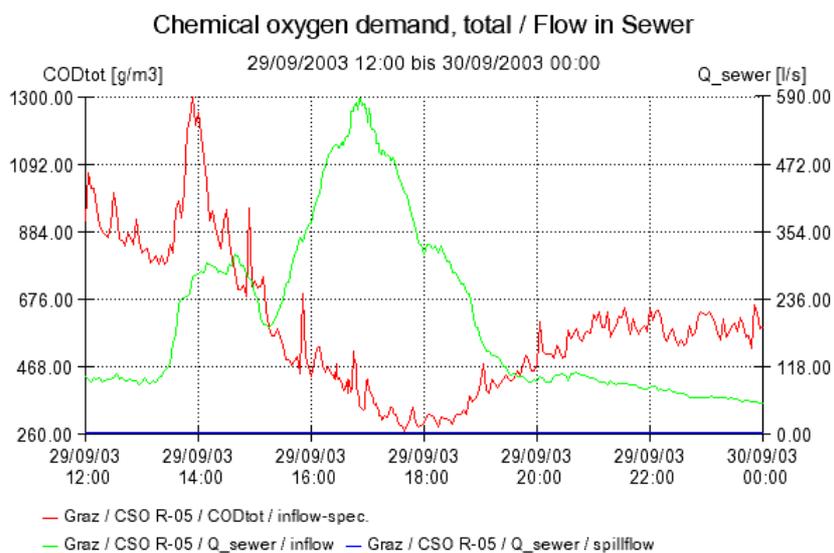
M(V) Diagramm



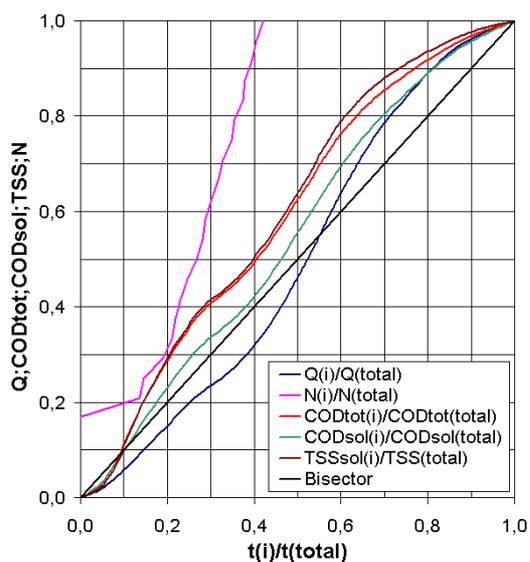
Mischwasserereignis 30 (29.09.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	13:15-19:45
Dauer Mischwasserabfluss:	6,50 [h]
Niederschlagshöhe:	2,40 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,75 [mm/h]
Maximale Intensität:	3,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	5,02 [d]
Abflussmenge:	7231 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3800 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1602 [kg]

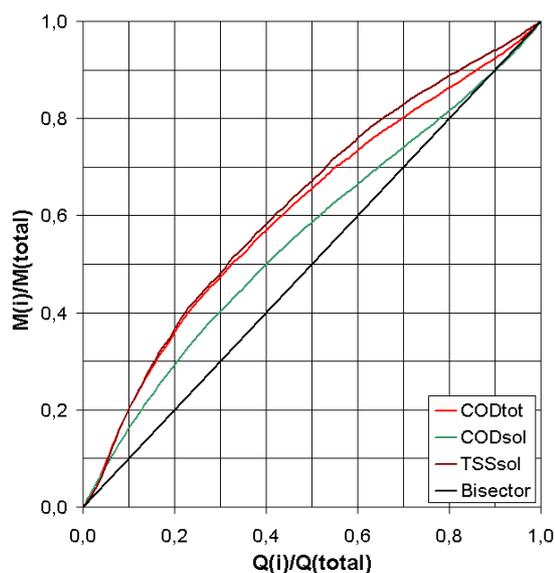
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

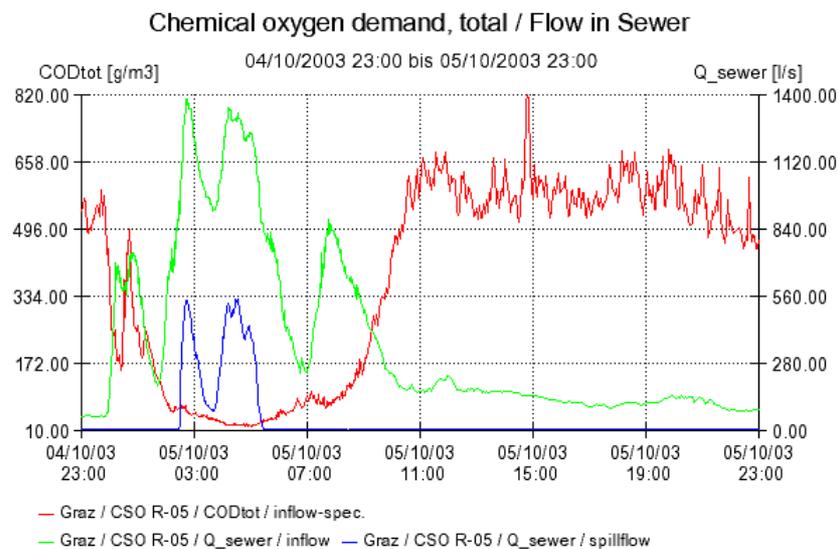
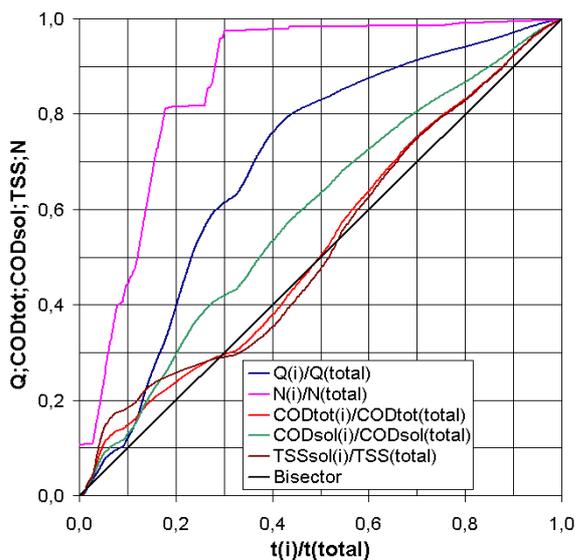
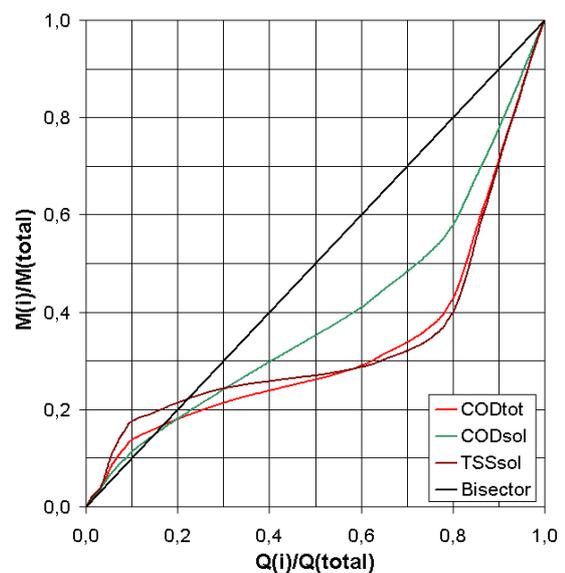


M(V) Diagramm



Mischwasserereignis 31**(04.10.2003-05.10.2003)**

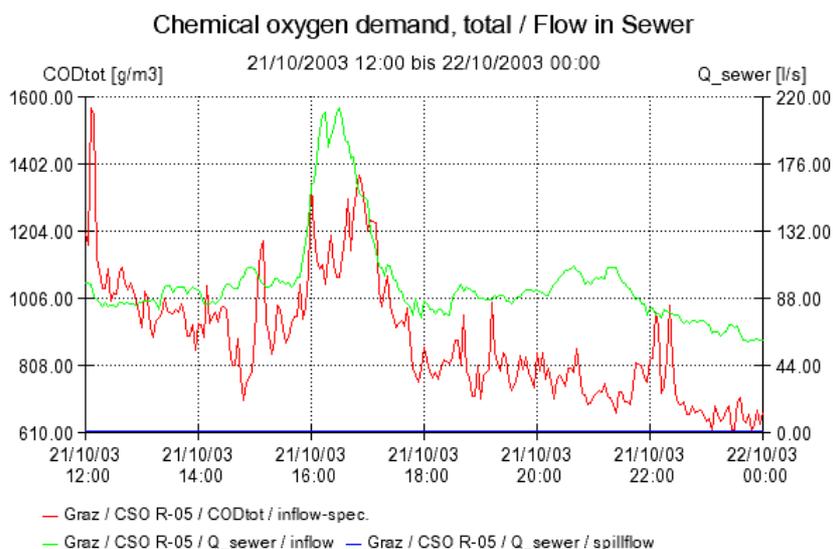
Periode Mischwasserabfluss:	23:54-22:27
Dauer Mischwasserabfluss:	22,55 [h]
Niederschlagshöhe:	23,80 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,06 [mm/h]
Maximale Intensität:	12,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,52 [d]
Abflussmenge:	31669 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	6488 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1917 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

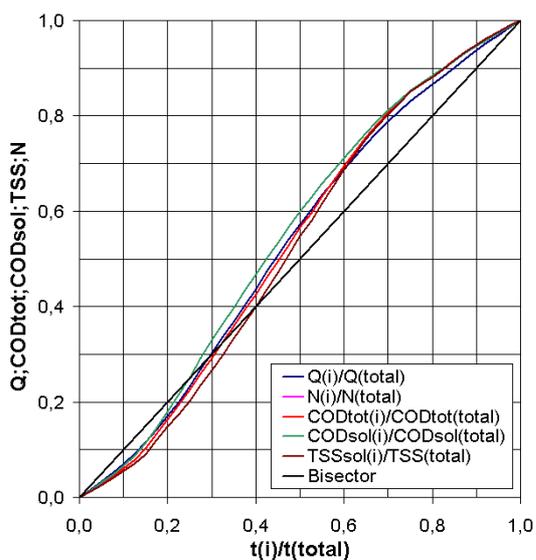
Mischwasserereignis 32 (21.10.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	15:42-17:39
Dauer Mischwasserabfluss:	2,00 [h]
Niederschlagshöhe:	0,80 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,65 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	13,58 [d]
Abflussmenge:	1062 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	1199 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	504 [kg]

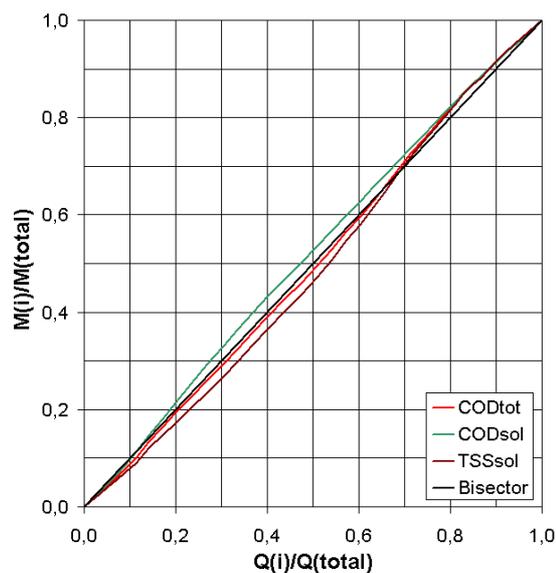
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



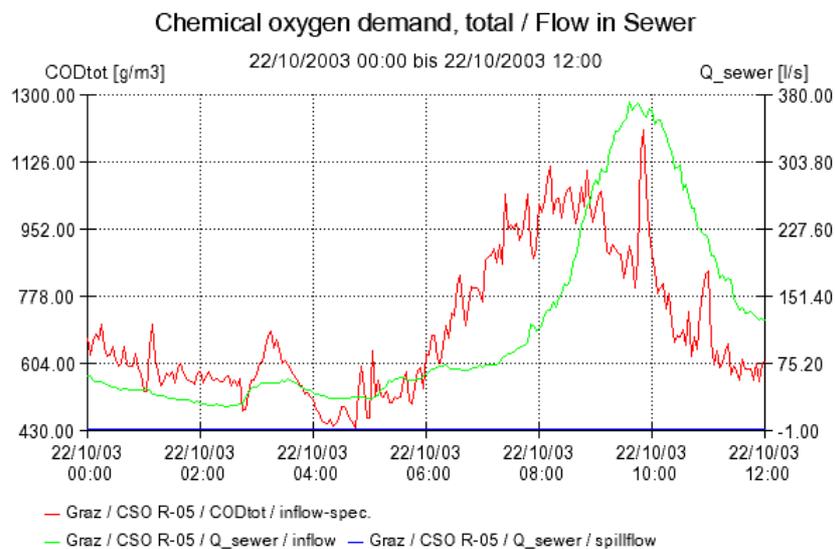
M(V) Diagramm



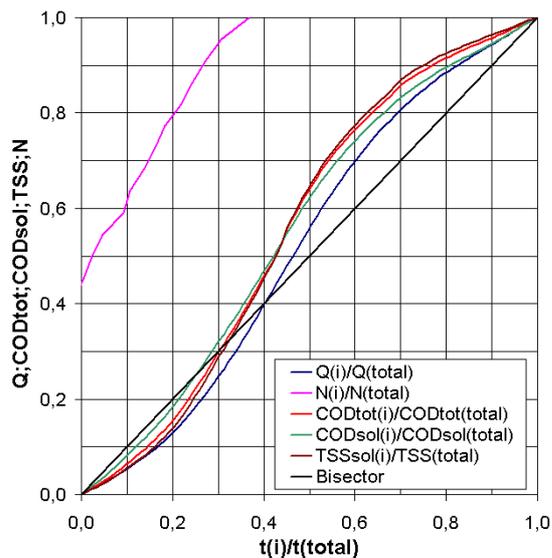
Mischwasserereignis 33 (22.10.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	07:48-12:24
Dauer Mischwasserabfluss:	4,65 [h]
Niederschlagshöhe:	2,20 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,36 [mm/h]
Maximale Intensität:	0,40 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,22 [d]
Abflussmenge:	3740 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3150 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1400 [kg]

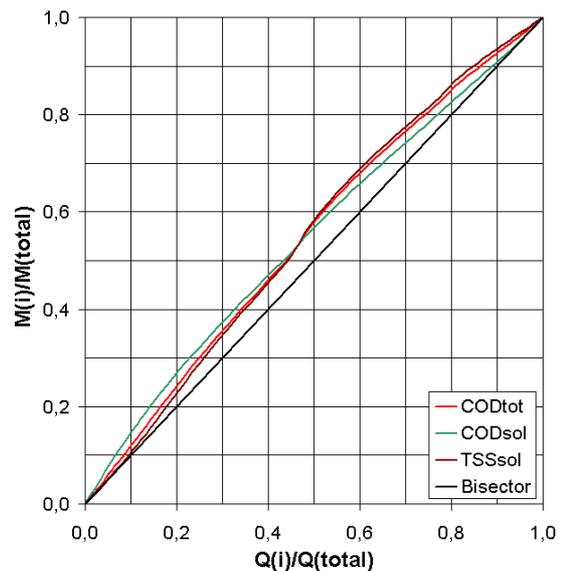
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

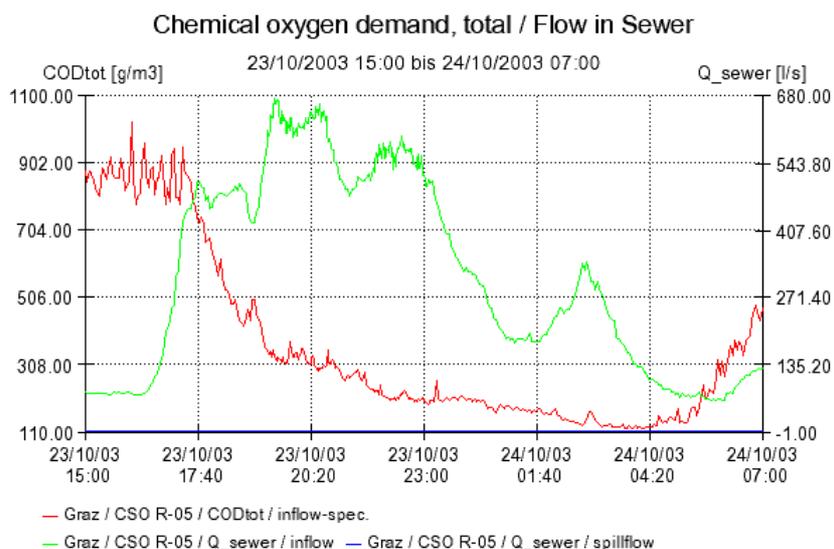
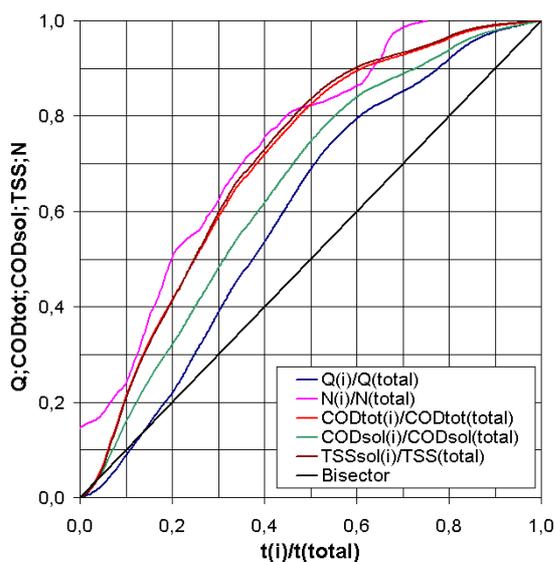
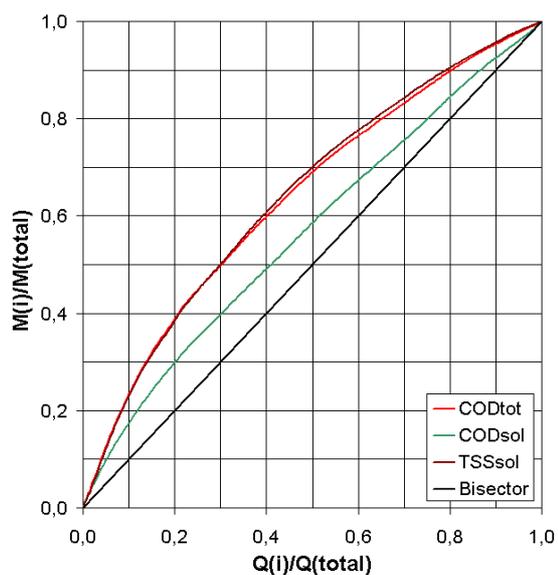


M(V) Diagramm



Mischwasserereignis 34**(23.10.2003-24.10.2003)**

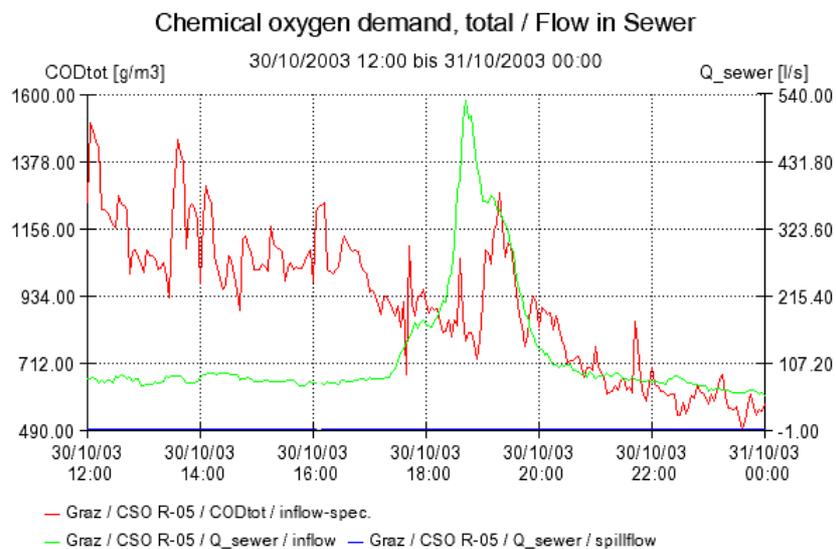
Periode Mischwasserabfluss:	16:36-05:30
Dauer Mischwasserabfluss:	12,95 [h]
Niederschlagshöhe:	15,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,21 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,31 [d]
Abflussmenge:	17059 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	5845 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2896 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

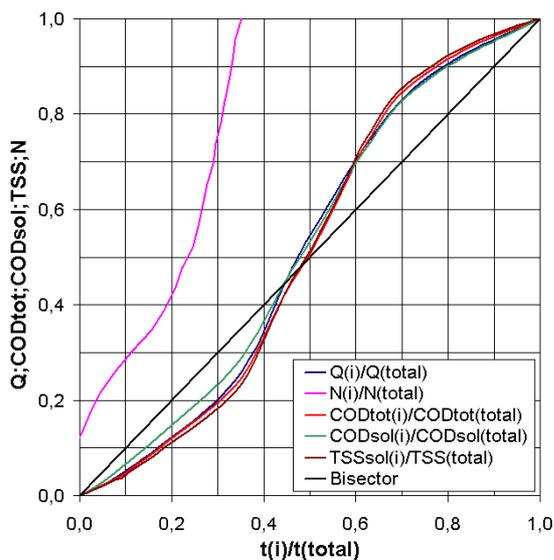
Mischwasserereignis 35 (30.10.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	17:24-20:36
Dauer Mischwasserabfluss:	3,25 [h]
Niederschlagshöhe:	2,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,17 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	6,52 [d]
Abflussmenge:	2715 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	2502 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1192 [kg]

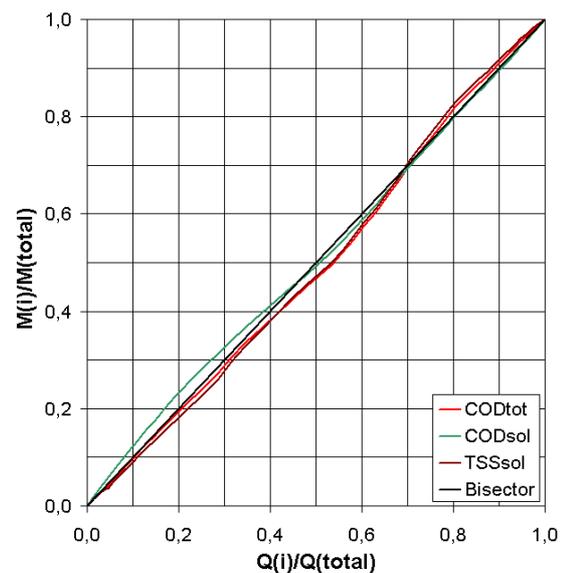
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

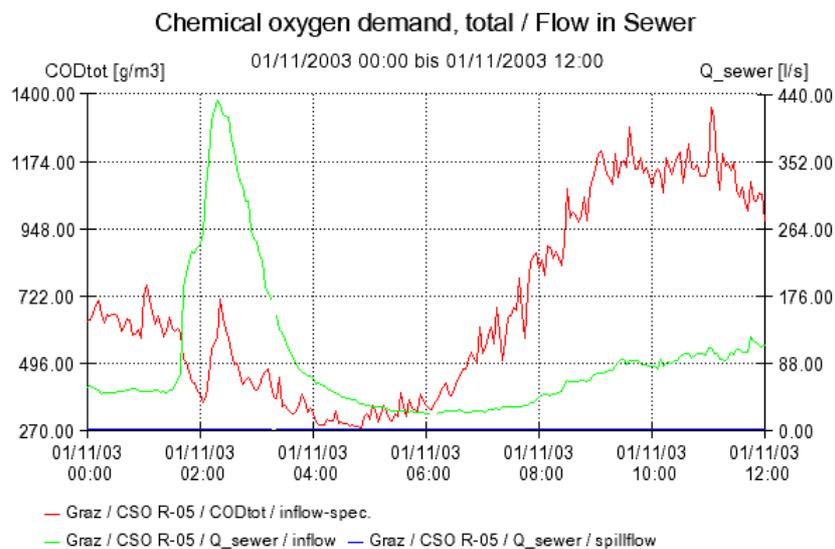
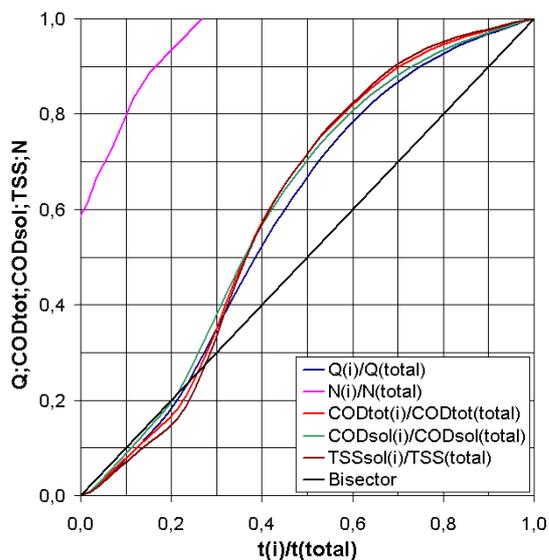
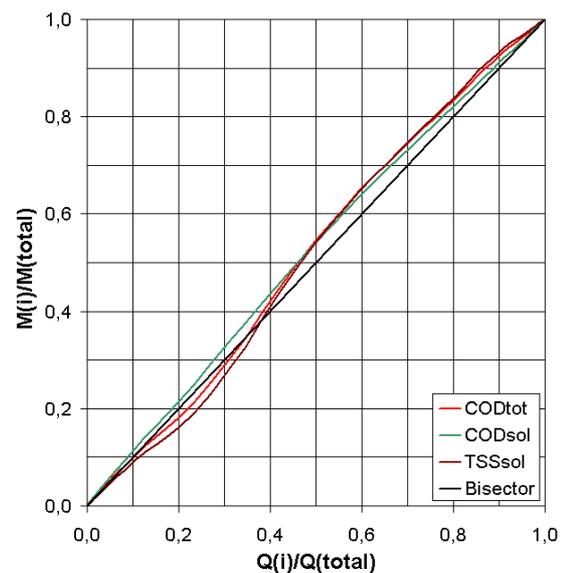


M(V) Diagramm



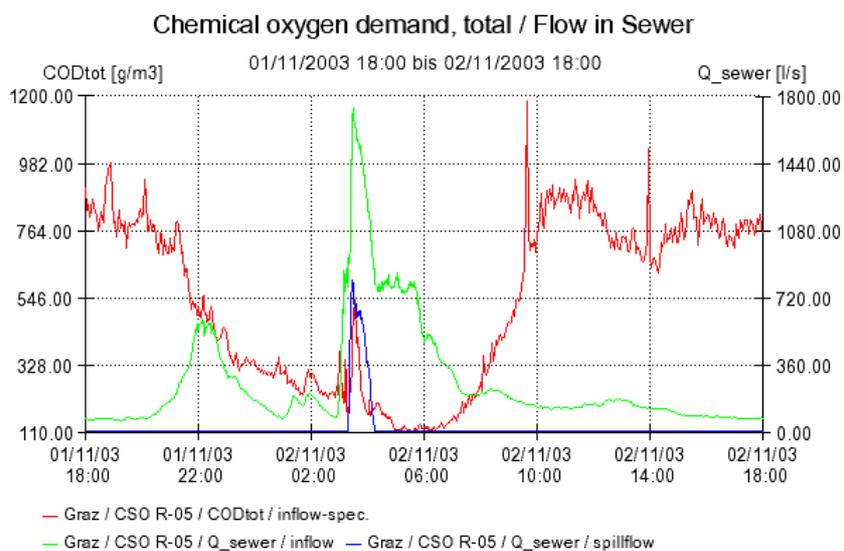
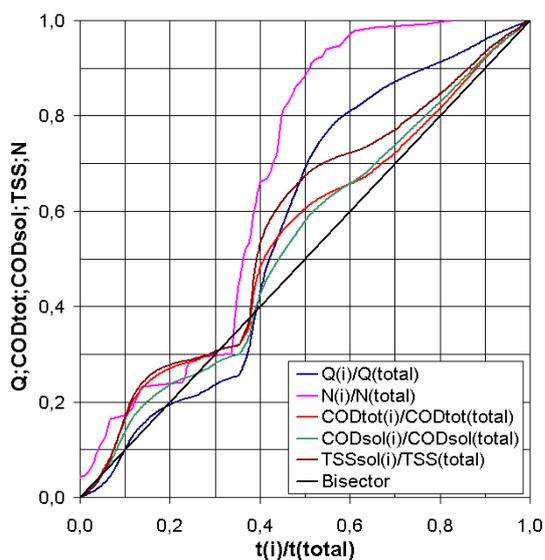
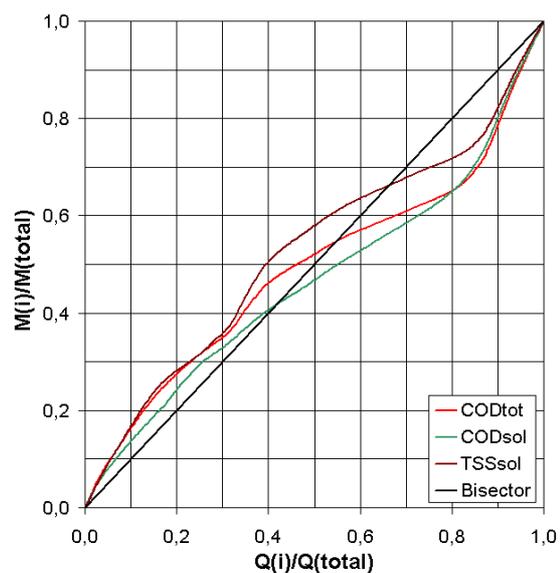
Mischwasserereignis 36 (01.11.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	01:39-03:57
Dauer Mischwasserabfluss:	2,35 [h]
Niederschlagshöhe:	1,80 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,27 [mm/h]
Maximale Intensität:	3,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,28 [d]
Abflussmenge:	1981 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	973 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	402 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 37**(01.11.2003-02.11.2003)**

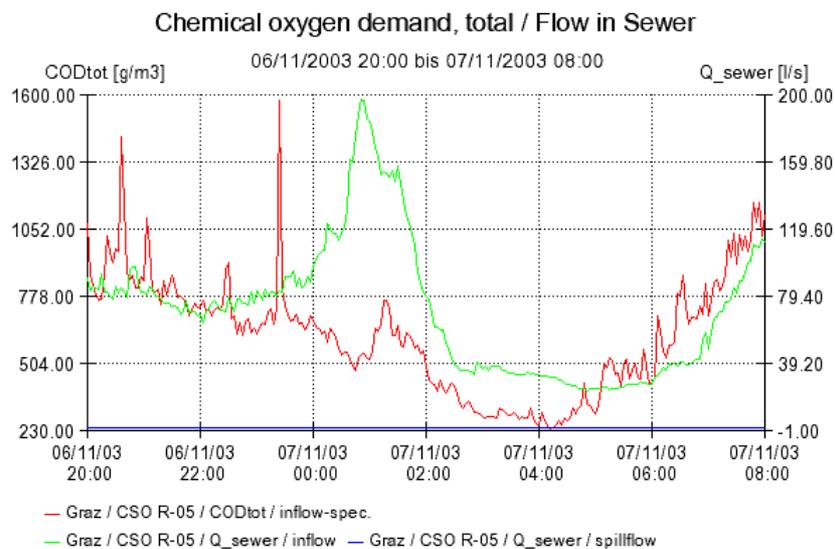
Periode Mischwasserabfluss:	20:33-14:57
Dauer Mischwasserabfluss:	18,45 [h]
Niederschlagshöhe:	13,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	2,63 [mm/h]
Maximale Intensität:	6,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,28 [d]
Abflussmenge:	21574 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	7870 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	3357 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

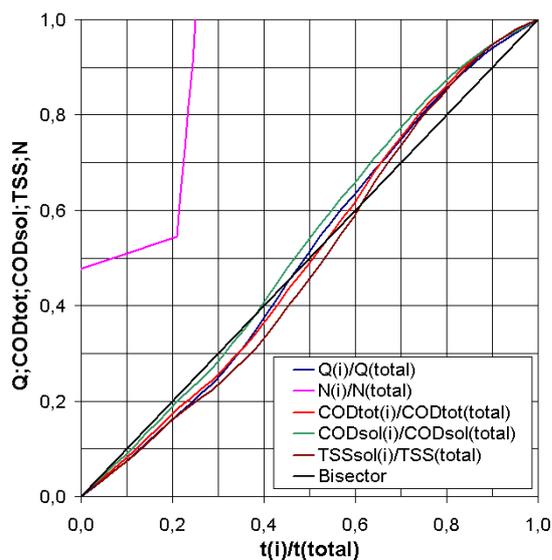
Mischwasserereignis 38 (07.11.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	00:00-02:03
Dauer Mischwasserabfluss:	2,00 [h]
Niederschlagshöhe:	1,10 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,44 [mm/h]
Maximale Intensität:	7,32mm/h
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	4,43 [d]
Abflussmenge:	1019 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	613 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	236 [kg]

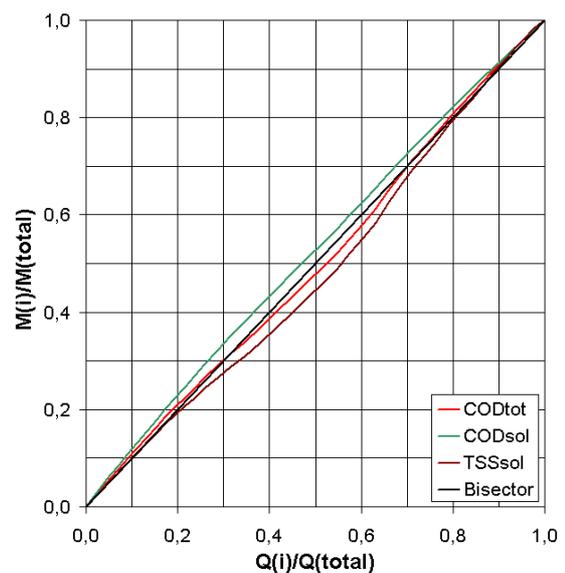
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



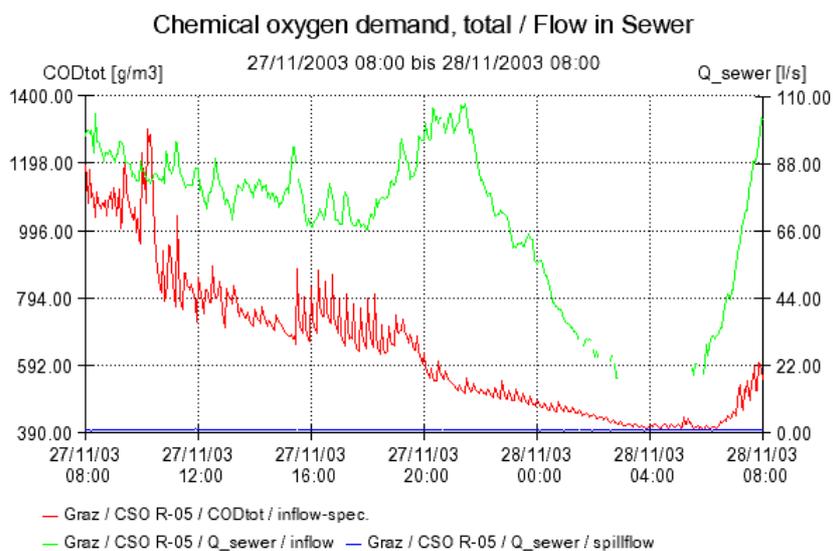
M(V) Diagramm



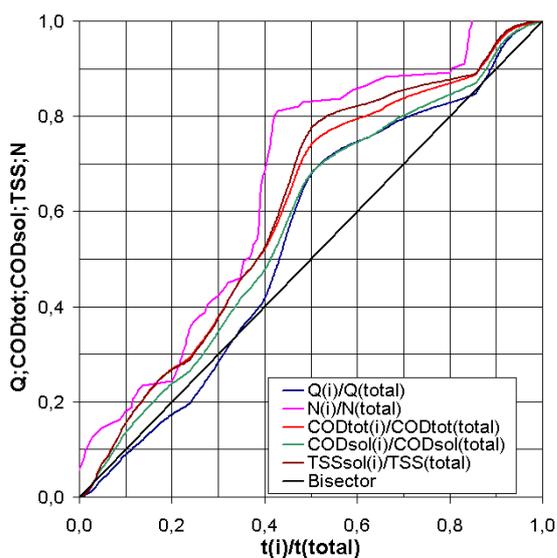
Mischwasserereignis 39 (26.11.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	09:30-23:39
Dauer Mischwasserabfluss:	14,15 [h]
Niederschlagshöhe:	11,10 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,89 [mm/h]
Maximale Intensität:	18,00 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	8,30 [d]
Abflussmenge:	15876 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	10446 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	4581 [kg]

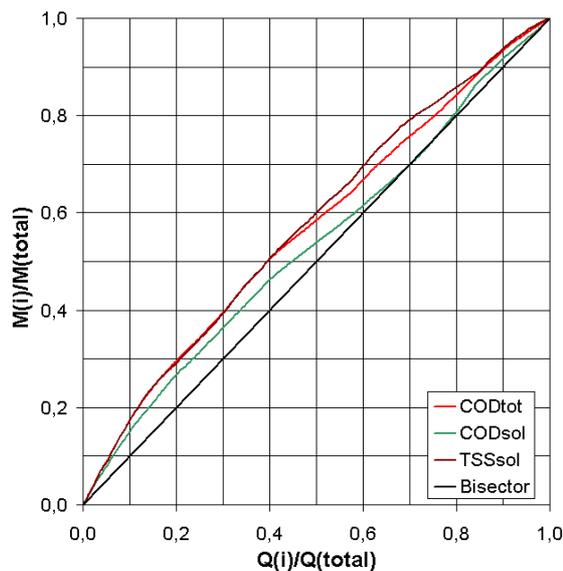
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm



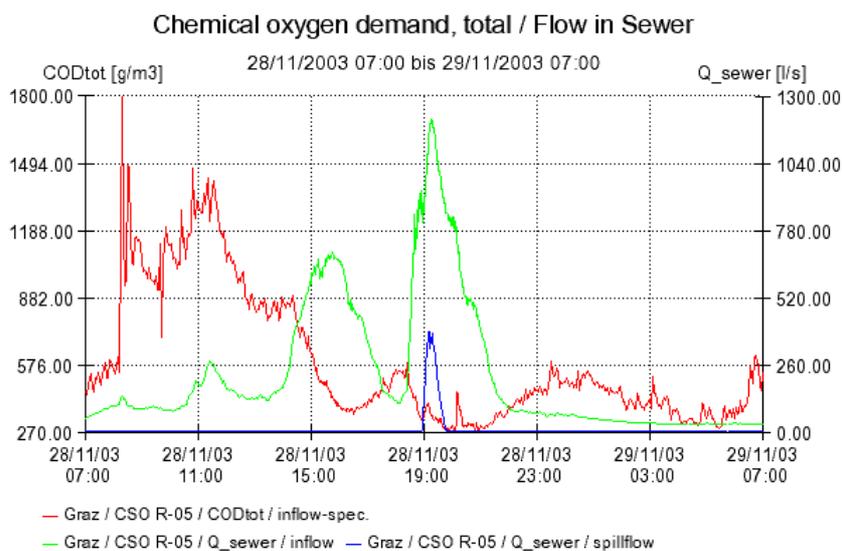
M(V) Diagramm



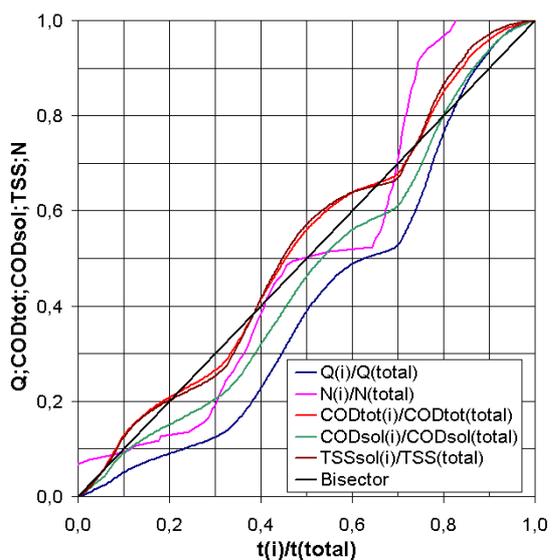
Mischwasserereignis 40 (28.11.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	10:33-21:54
Dauer Mischwasserabfluss:	11,35 [h]
Niederschlagshöhe:	10,30 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	1,05 [mm/h]
Maximale Intensität:	7,70 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	1,25 [d]
Abflussmenge:	16343 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	8411 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	3766 [kg]

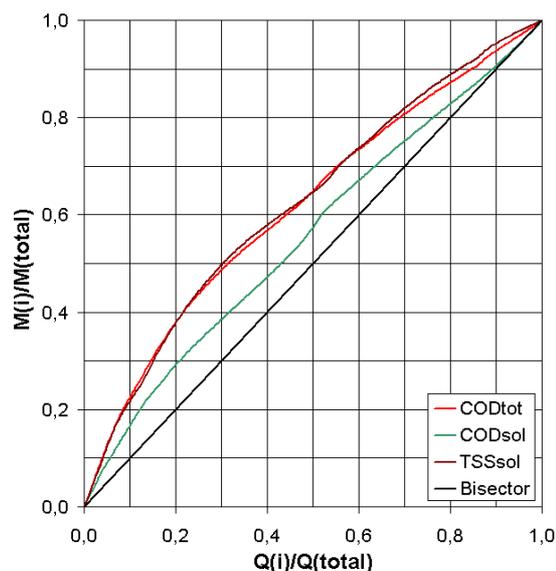
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

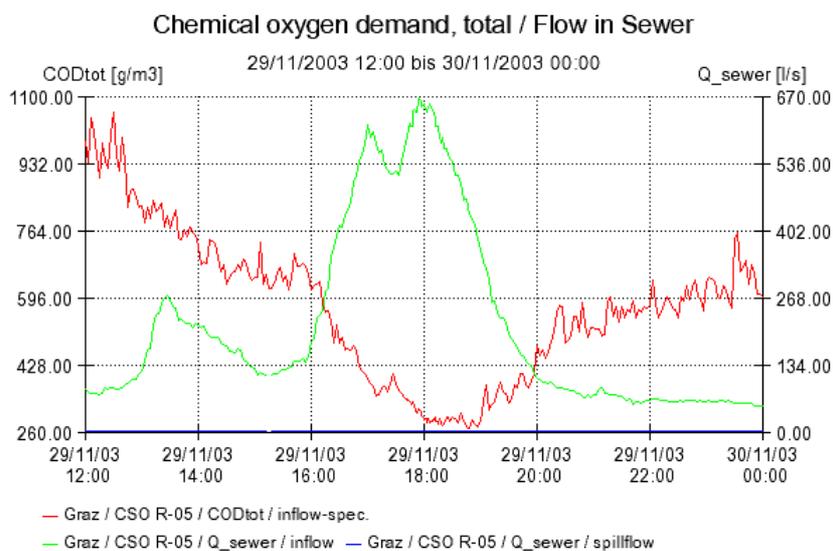
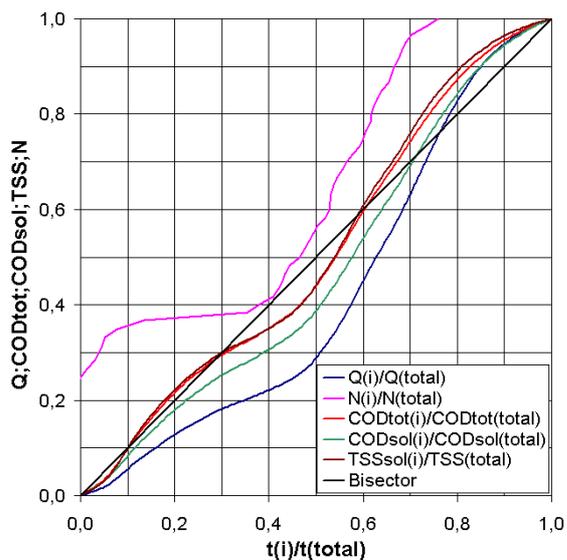
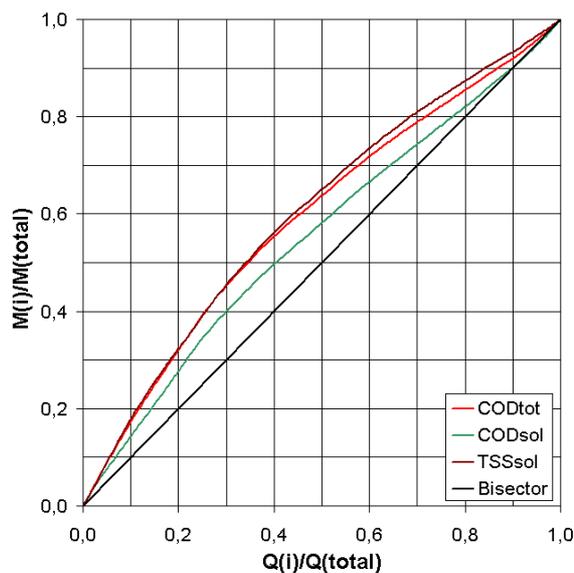


M(V) Diagramm



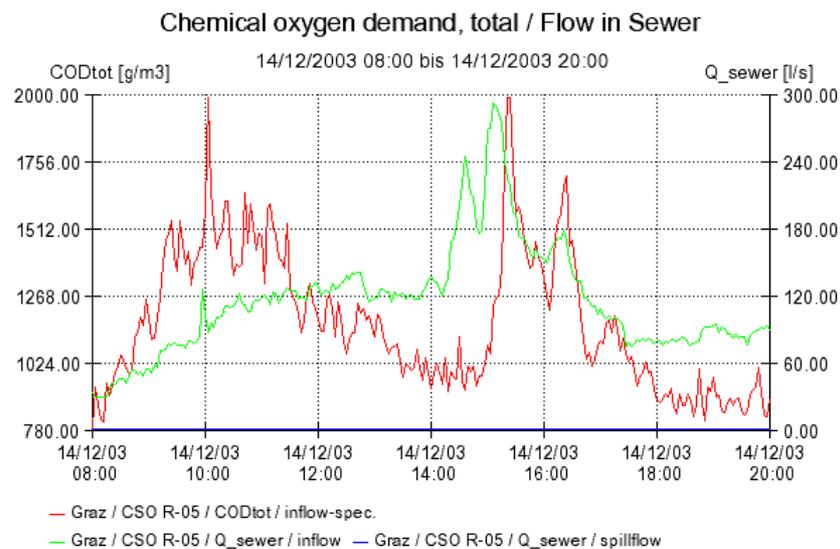
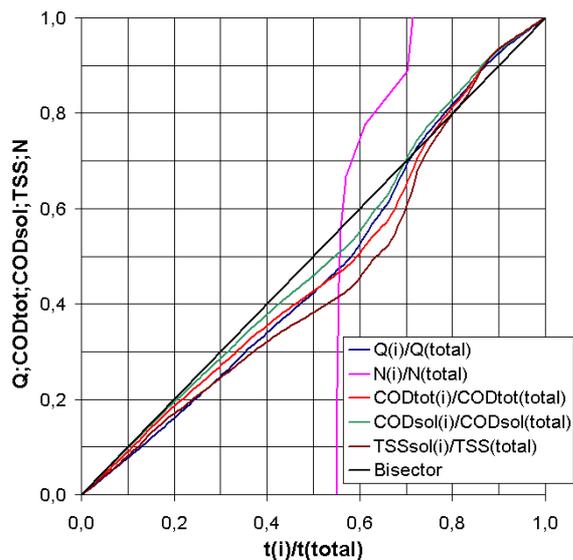
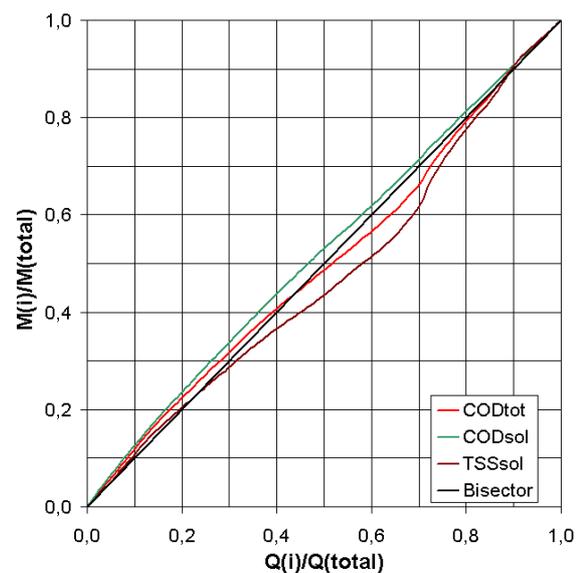
Mischwasserereignis 41 (29.11.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	12:42-20:03
Dauer Mischwasserabfluss:	7,35 [h]
Niederschlagshöhe:	6,00 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,97 [mm/h]
Maximale Intensität:	2,94 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,65 [d]
Abflussmenge:	8134 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3801 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1377 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 42 (14.12.2003)

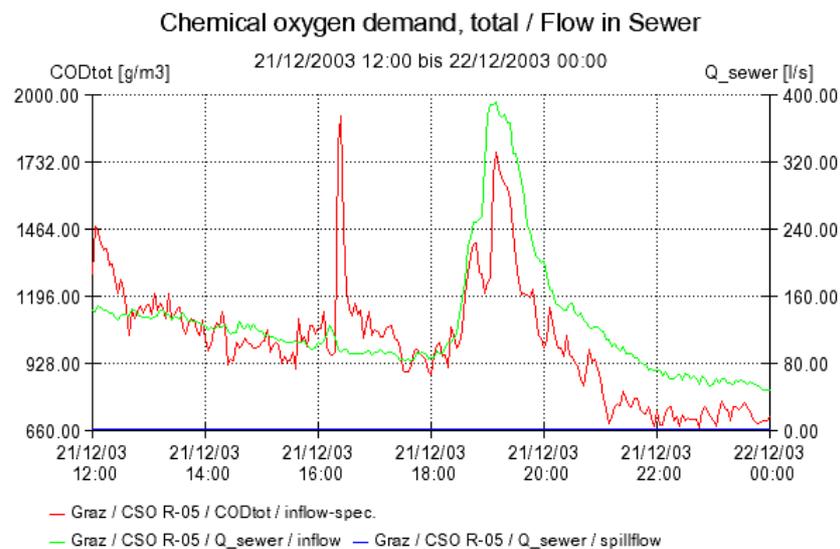
Periode Mischwasserabfluss:	10:09-17:24
Dauer Mischwasserabfluss:	7,25 [h]
Niederschlagshöhe:	0,90 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,82 [mm/h]
Maximale Intensität:	12,42 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	14,83 [d]
Abflussmenge:	3718 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	4615 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1858 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

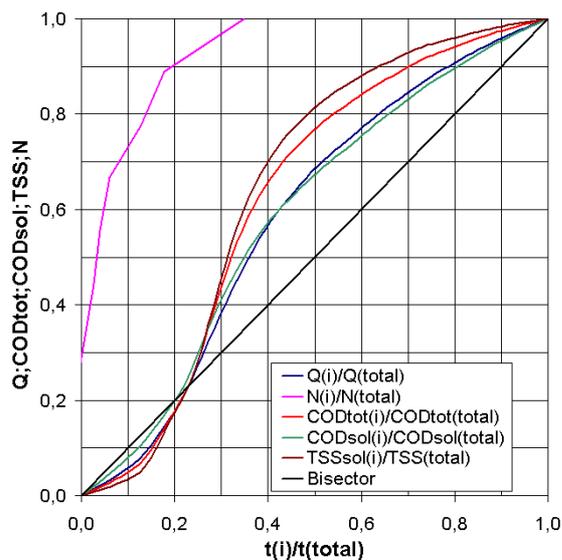
Mischwasserereignis 43 (21.12.2003)

Periode Mischwasserabfluss:	18:03-22:06
Dauer Mischwasserabfluss:	4,05 [h]
Niederschlagshöhe:	0,90 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,57 [mm/h]
Maximale Intensität:	1,80 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	5,31 [d]
Abflussmenge:	2564 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	3030 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	1462 [kg]

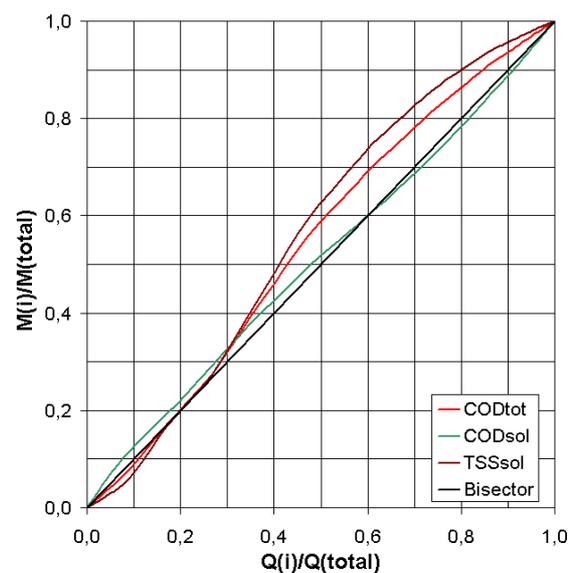
COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien



M(t) Diagramm

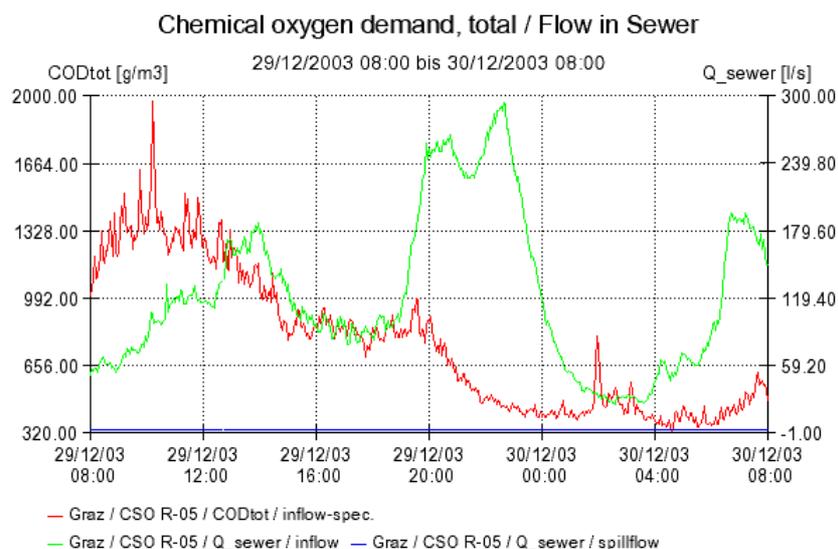
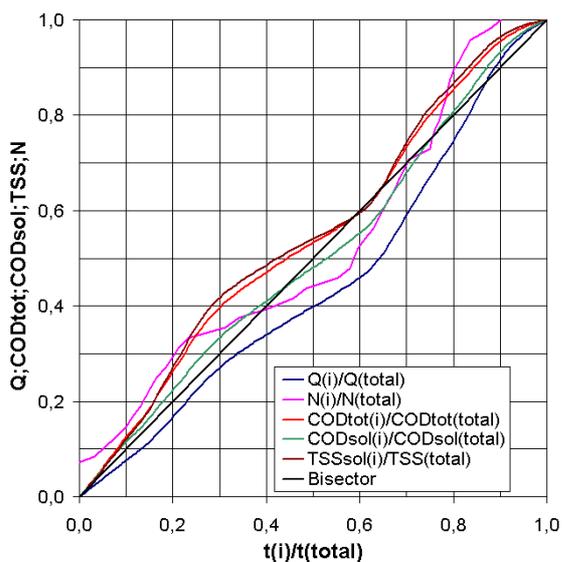
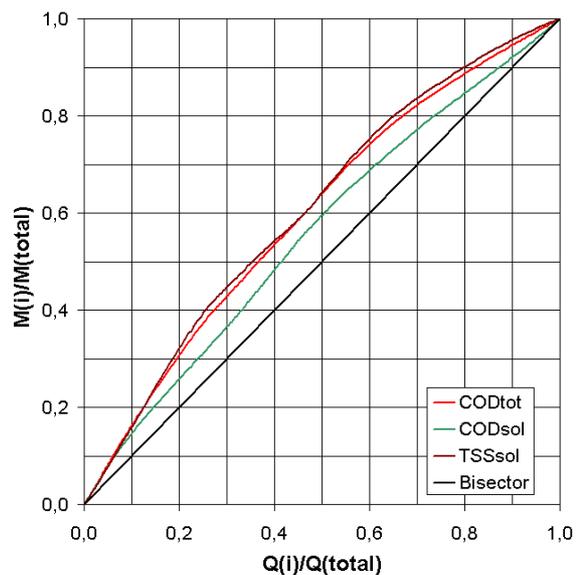


M(V) Diagramm



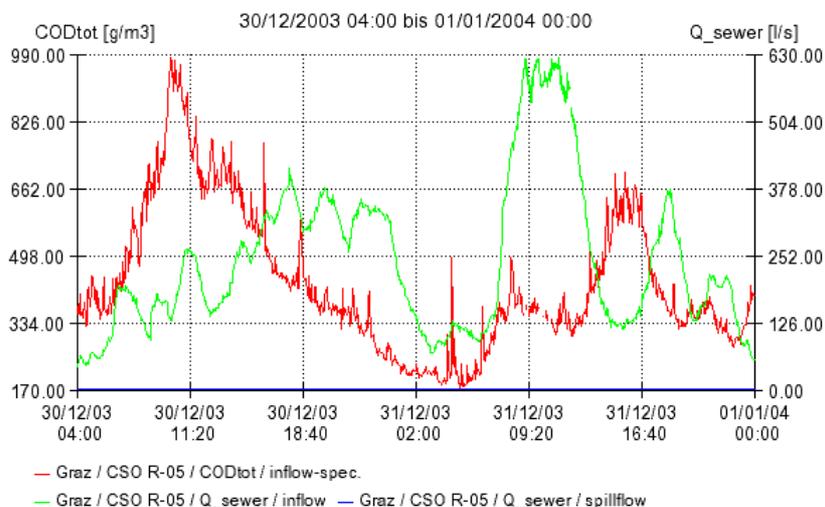
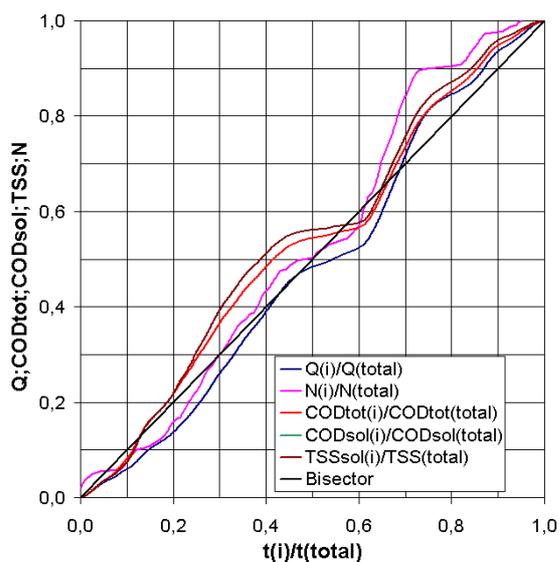
Mischwasserereignis 44**(29.12.2003-30.12.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	10:36-00:36
Dauer Mischwasserabfluss:	14,00 [h]
Niederschlagshöhe:	4,80 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,35 [mm/h]
Maximale Intensität:	1,80 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	7,10 [d]
Abflussmenge:	7796 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	6228 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	2523 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**

Mischwasserereignis 45**(30.12.2003-31.12.2003)**

Periode Mischwasserabfluss:	5:57-23:39
Dauer Mischwasserabfluss:	41,70 [h]
Niederschlagshöhe:	21,90 [mm]
Durchschnittliche Intensität:	0,52 [mm/h]
Maximale Intensität:	25,74 [mm/h]
Vorangegangene Trockenwetterperiode:	0,18 [d]
Abflussmenge:	37978 [m ³]
COD _{tot} – Fracht:	16614 [kg]
TSS _{sol} – Fracht:	6350 [kg]

COD_{tot}, Q₁ und Q₃ – Ganglinien**Chemical oxygen demand, total / Flow in Sewer****M(t) Diagramm****M(V) Diagramm**