



# Diplomarbeit



zum Erwerb  
des akademischen Grades Diplomingenieur  
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

von

**Michael Wedenig**

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

Thema der Diplomarbeit:

**Quantifizierung von abgeschlagenen  
Schmutzfrachten aus einer Mischwasserentlastung  
in einen Vorfluter**

***(Quantification of Pollution Loads from a Combined  
Sewer Overflow into a Receiving Water)***

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

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

Graz, im Juni 2004

## 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, 16. Juni 2004

*Michael Wedenig eh.*

Michael Wedenig

Flüsse wissen, wohin sie fließen.

Sie sagen sich: „Es eilt nicht.

Eines Tages kommen wir an.“

*(Winnie Pooh)*

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meiner Mutter bedanken, welche mir durch ihre Unterstützung die Ausbildung an der Technischen Universität Graz überhaupt ermöglicht hat.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner inzwischen langjährigen Freundin: Neben deinem Verständnis und oftmaligen Verzicht auf gemeinsame Wochenenden hast du mich auch moralisch durch mein Studium begleitet.

Des weiteren möchte ich mich bei allen Freunden, Bekannten und Verwandten bedanken, die mich durch ihren Zuspruch und ihre Begleitung beim Studieren auf und abseits der Universität begleitet haben. Im Speziellen jenen, die mir bei der Verfassung dieser Arbeit korrekturlesend zur Seite gestanden sind.

Für die Begutachtung meiner Diplomarbeit möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz bedanken. Für die aufopfernde Betreuung beim Erstellen dieser Arbeit möchte ich Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber meinen Dank aussprechen, Türen und Ohren waren für mich und meine Probleme (Herausforderungen) immer geöffnet – Danke!

Ebenso möchte ich mich beim gesamten Laborteam des Institutes bedanken, ohne sie bestünde diese Arbeit nur aus Worten ohne Ergebnisse. Ein weiterer Dank gilt Herrn Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Martin Hochedlinger, der im unermüdlichen Einsatz für die Wissenschaft auch zur Entstehung dieser Diplomarbeit beigetragen hat.

## **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.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden alle im Untersuchungszeitraum (Oktober 2002 bis April 2004) stattgefundenen Entlastungsereignisse ausgewertet. Es wurden die Häufigkeiten und die Dauer der Mischwasserentlastungen und die daraus resultierenden abgeschlagenen Schmutzfrachten für den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und für die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) bestimmt. Eine weitere Aufgabe bestand darin, die Messstation über eine beschränkte Zeitdauer hinweg zu betreiben und fortwährend zu optimieren. Außerdem wurden vereinzelt die Online-Messwerte während auftretender Mischwasserereignisse mittels paralleler Laboranalysen validiert.

## **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 all overflow events during the period from October 2002 until April 2004 were analysed. Frequency and duration of the overflow events into the receiving water and the resulting overflowing pollution loads of Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) have been evaluated. Another assignment was to operate and to continuously optimize the sewer monitoring station during this period. During some overflow events parallel laboratory analysis had been made to validate the online measurements.

---

# INHALTSVERZEICHNIS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>Einleitung, Motivation und Ziel</i></b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b><i>Verschmutzungskonzentrationen in Mischkanalisationen</i></b>                   | <b>4</b>  |
| 2.1      | <b>Problemstellung von InSitu- bzw. Online-Messungen im Kanal</b>                    | <b>4</b>  |
| 2.1.1    | Anwendung der Online-Qualitätsmessung im Kanal                                       | 4         |
| 2.1.2    | Randbedingungen beim Einsatz von Online-Qualitätsmessungen                           | 5         |
| 2.1.3    | Durchführung von Online Messungen im Kanal   | 6         |
| 2.2      | <b>Ausgewählte Beispiele von Messungen in Kanälen</b>                                | <b>8</b>  |
| 2.2.1    | Untersuchung des Mischwasserabflusses und dessen Beschaffenheit                      | 8         |
| 2.2.2    | Schmutzfrachtuntersuchungen im Mischwassernetz der Stadt Braunschweig                | 13        |
| 2.2.3    | Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen | 19        |
| <b>3</b> | <b><i>Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft</i></b>                         | <b>22</b> |
| 3.1      | <b>Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik“</b>                               | <b>22</b> |
| 3.1.1    | Motivation und Zielsetzung des Projektes   | 22        |
| 3.1.2    | Beschreibung der Projektpartner, der Messstationen und ihrer Schwerpunkte            | 23        |
| 3.1.3    | Messnetzzentrale – Server des IMW-Netzes   | 24        |
| 3.2      | <b>Kanal-Online-Messstation Graz</b>   | <b>28</b> |
| 3.2.1    | Standort   | 28        |
| 3.2.2    | Aufbau der Messstation   | 30        |
| 3.2.3    | Betrieb der Messstation  | 37        |
| 3.2.4    | Validierung der Online-Messungen   | 41        |
| <b>4</b> | <b><i>Auswertung der Messergebnisse</i></b>  | <b>50</b> |
| 4.1      | <b>Vorbemerkungen</b>  | <b>50</b> |
| 4.2      | <b>Zusammenfassung der Entlastungsereignisse</b>                                     | <b>52</b> |
| 4.3      | <b>Auswirkungen der lokalen Kalibration auf die ermittelten Schmutzfrachten</b>      | <b>58</b> |
| <b>5</b> | <b><i>Zusammenfassung und Ausblick</i></b>   | <b>63</b> |
| <b>6</b> | <b><i>LITERATURVERZEICHNIS</i></b>   | <b>65</b> |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>7 ANHANG</b>  | <b>68</b> |
| <b>7.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>                       | <b>68</b> |
| <b>7.2 TABELLENVERZEICHNIS</b>                         | <b>70</b> |
| <b>7.3 Protokollierung</b>                             | <b>71</b> |
| 7.3.1 Digitales Wartungsbuch                           | 71        |
| 7.3.2 Proben-Reisepass                                 | 72        |
| <b>7.4 Validierung</b>                                 | <b>73</b> |
| 7.4.1 24-Stunden-Messkampagnen (ID-Messungen I und II) | 73        |

# 1 Einleitung, Motivation und Ziel

Am 23. Oktober 2000 hat das Europäische Parlament und der Rat die Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, die sogenannten Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), beschlossen. Im Vorwort zur dieser Richtlinie wird hierfür nachstehender Grund genannt: *„Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss“*.

In der EU-WRRL in Artikel 8 wird den Mitgliedsstaaten vorgeschrieben, dass Programme zur Überwachung des Zustandes des Oberflächengewässers, des Grundwassers und der Schutzgebiete aufgestellt werden müssen, um so einen umfassenden und zusammenhängenden Überblick über den Zustand der Gewässer gewinnen zu können.

Neben den quantitativen (hydrologischen) Kenngrößen, wie Menge, Wasserstand und Durchflussgeschwindigkeit, sind auch qualitative (gütemäßige) Parameter (ökologischer und chemischer Zustand, ökologisches Potential) in der Bewertung zu berücksichtigen. Die geforderten Überwachungsprogramme sollen laut EU-WRRL bis zum Dezember 2006 anwendungsbereit sein.

Abwasseremissionen in Oberflächengewässer werden in Österreich mit der sogenannten „Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung“ (AAEV, 1996) begrenzt. In dieser AAEV gibt es weitere abwasserspezifische Abwasseremissionsverordnungen (kurz: AEV), welche alle in der AAEV taxativ angeführt sind und die Emissionen dieser spezifischen Abwässer limitieren. Von diesen spezifischen AEV sind mittlerweile beinahe alle erschienen und in Kraft getreten. Eine der wenigen, die noch fehlt, betrifft die Einleitungen von Mischwasser. Das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMFLFUW) bereitet allerdings schon seit längerem eine sogenannte „Allgemeine Abwasseremissionsverordnung für Mischwasser“ (AEV Mischwasser) dazu vor. Diese liegt zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit als Entwurf vor.

Dieser Entwurf beinhaltet im Anhang A Emissionsbegrenzungen, sogenannte Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung, für insgesamt sechs Parameter (abfiltrierbare Stoffe, Ammonium, gesamt gebundener Stickstoff, Gesamt-Phosphor, Chemischer Sauerstoffbedarf, biochemischer Sauerstoffbedarf). Somit werden jährliche Mindestweiterleitungsgrade (siehe Tabelle 1-1) der im gesamten Einzugsgebiet einer Mischkanalisation abfließenden Schmutzfrachten prozentmäßig vorgegeben, welche zu einer Abwasserreinigungsanlage weiterzuleiten und dort entsprechend zu reinigen sind.

**Tab. 1-1 Mindestweiterleitungswirkungsgrade der geplanten AEV Mischwasser (Entwurf 2001)**

| <b>Nr.</b>  | <b>PARAMETER</b>                                | <b>Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung in % der im gesamten Einzugsgebiet der Mischkanalisation abfließenden Schmutzfrachten</b> |
|---|---|---|
| 1   | Abfiltrierbare Stoffe                           | 70 – 80 <sup>*)</sup>   |
| 2   | Ammonium-Stickstoff                             | 55 – 65 <sup>*)</sup>   |
| 3   | Gesamter gebundener Stickstoff TN <sub>b</sub>  | 55 – 65 <sup>*)</sup>   |
| 4   | Phosphor-Gesamt                                 | 55 – 65 <sup>*)</sup>   |
| 5   | Chemischer Sauerstoffbedarf CSB                 | 55 – 65 <sup>*)</sup>   |
| 6   | Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB <sub>5</sub> | 55 – 65 <sup>*)</sup>   |
| <sup>*)</sup> je nach Anforderungsklasse (abhängig vom Ausbaugrad der Abwasserreinigungsanlage) |   |   |

Jene Jahresschmutzfrachten, welche laut dieser Verordnung nicht in eine Abwasserreinigungsanlage weiterzuleiten sind, dürfen über dementsprechend dimensionierte Mischwasserentlastungsbauwerke unbehandelt in den Vorfluter abgeschlagen werden.

Eine hierfür notwendige messtechnische Überwachung erscheint auf Grund der Menge der zu messenden Parameter kaum realistisch durchführbar. Allerdings wird man in Österreich, mit großer Wahrscheinlichkeit zumindest, die in der AEV Mischwasser geforderte Dauer und Häufigkeit von Entlastungsereignissen in den Vorfluter messtechnisch erfassen müssen.

Im Stadtgebiet Graz wurde im Rahmen des interuniversitären Forschungsprojektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ (kurz: IMW) eine Messstation zur Online-Quantifizierung von abgeschlagenen Schmutzfrachten in die Mur errichtet. Insgesamt befinden sich in Graz ca. 50

solcher Mischwasserentlastungsbauwerke, von denen allerdings nicht alle direkt in die Mur entlasten. Von keinem dieser Entlastungsbauwerke ist bisher die Häufigkeit und die Dauer von Entlastungsereignissen bekannt, ganz abgesehen von irgendwelchen abgeschlagenen Schmutzfrachten.

Ziel dieser Diplomarbeit ist einerseits der Betrieb und die Optimierung dieser Messstation über eine beschränkte Zeitspanne hinweg und andererseits die Auswertung aller bisher aufgezeichneten Entlastungsereignisse in die Mur. Neben der Dauer und Häufigkeit von Entlastungsereignissen sollen auch die abgeschlagenen Schmutzfrachten erfasst werden.

## 2 Verschmutzungskonzentrationen in Mischkanalisationen

### **2.1 Problemstellung von InSitu- bzw. Online-Messungen im Kanal**

Die folgenden Überlegungen stammen weitgehend aus zwei Veröffentlichungen von M. SCHEER (2000 und 2003), welche die Möglichkeiten und besonderen Herausforderungen von Messungen der Mischwasserqualität im Kanal behandeln. SCHEER bezieht die dargestellten Betriebserfahrungen und Empfehlungen aus einer dreimonatigen Messkampagne, welche mit einer mobilen Mess- und Probenahmeeinrichtung im Zuge einer dreimonatigen Messkampagne durchgeführt wurde.

#### **2.1.1 Anwendung der Online-Qualitätsmessung im Kanal**

Online-Messgeräte zur Erfassung stofflicher Parameter werden bisher überwiegend unter relativ kontrollierbaren Bedingungen auf Kläranlagen zur Selbstüberwachung eingesetzt. Die technischen Möglichkeiten Online-Messungen im Kanal durchzuführen sind zwar vorhanden, auf Grund von ungünstigeren Randbedingungen jedoch mit Schwierigkeiten verbunden.

Folgende Fragestellungen<sup>1</sup> sollen die Notwendigkeit von Online-Messungen hinsichtlich einer gütegeregelten Bewirtschaftung darlegen:

- Durchführung von befristeten Messprogrammen zur Ermittlung einer Planungsgrundlage. Die in diesem Fall eingesetzten Messgeräte verbleiben nur für die Zeitdauer der Beprobung im Kanal.
- Steuerung der Kanalnetze unter Berücksichtigung der aktuellen Abwasserbeschaffenheit. Sind aktuelle Messwerte in das Regelkonzept integriert, müssen diese kontinuierlich gemessen werden. Die in diesem Fall eingesetzten Messgeräte verbleiben während des ganzen Betriebszeitraumes im Kanal. Die Zuverlässigkeit muss deshalb für einen langen Zeitraum gewährleistet sein.

---

<sup>1</sup> Scheer, M.; Schilling, W. (2003): Einsatz von Online-Messgeräten zur Beurteilung der Mischwasserqualität im Kanal, KA-Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr.5

- Hinzu kommt die Überwachung von Indirekteinleitungen zum Schutz des Ableitungs- und Kläranlagenbetriebes. Hierbei können hochkonzentrierte Einleitungen entdeckt und der Kläranlage gemeldet werden, um geeignete Maßnahmen dagegen ergreifen zu können.

### **2.1.2 Randbedingungen beim Einsatz von Online-Qualitätsmessungen**

Durch die im Rohabwasser vorhandenen Inhaltsstoffe, wie gelöste Stoffe und Schwebstoffe, Sandkörner, Haare, Fette, Äste, etc. sind für den Einsatz von Online-Analysegeräten oder –sonden innerhalb der Kanalisation Randbedingungen zu berücksichtigen, deren Rolle auf Kläranlagen weniger bedeutsam ist:

#### **Verzopfungen, Verstopfungen, Ablagerungen**

Um Konzentrationsmessungen im Kanal durchführen zu können, besteht immer ein Kontakt zwischen dem strömenden Abwasser und dem Entnahmeschlauch oder der Sonde. Weitere im Kanal installierte Geräte, Halterungen, etc. führen bei einem Regenereignis ebenfalls zu einem Wasserkontakt. Grundsätzlich gilt, dass sich an allen ins Abwasser ragenden Gegenständen Verzopfungen bilden können. An dem sich dadurch vergrößernden Hindernis werden weitere Stoffe hängen bleiben, welche zu einer zunehmenden Verengung des verfügbaren Querschnittes führen. Aus diesem Grund sind alle Kabel und Schläuche möglichst dicht an der Wand zu führen, wenn nicht sogar in diese einzufräsen und weitere, das Abwasser berührende Teile, möglichst verzopfungsfrei auszubilden. Bei Druck- und Geschwindigkeitssonden für den Einsatz im Kanal hat sich dies bewährt, schwieriger wird die strömungstechnisch günstige Ausbildung bei Entnahmeschläuchen und Sonden. Beeinträchtigungen des Messbetriebes können zusätzlich durch Verstopfungen und Ablagerungen erfolgen.

#### **Schwankender Wasserstand, Probenahmestelle**

In Mischwasserkanälen kommt es durch die unterschiedlichen Regen- und Trockenwetterabflüsse zu sehr unregelmäßigen Durchflüssen und in Folge daraus auch zu stark schwankenden Wasserspiegel. Dadurch kommt der vertikalen Situierung der Sonden zentrale Bedeutung zu, da eine zu hohe Anordnung zu keinen Messungen im Trockenwetterfall führt bzw. bei einer zu niedrigen Anordnung werden die Ergebnisse gegebenenfalls durch Sedimente verfälscht.

Bei der Festlegung einer bestimmten Entnahmestelle, aber auch bei der Situierung von Sonden direkt im Abwasserstrom gilt es zu beachten, dass sich die Abwasserstoffe im Abwasserkanal nicht gleichmäßig über den Kanalquerschnitt verteilen – eine homogene Vermischung existiert in der Regel nicht. Dadurch gilt es die Repräsentativität der erhaltenen Messwerte stets kritisch zu hinterfragen.

### **Dezentrale Lage der Messstelle**

Im Kanalnetz errichtete Messstellen liegen oft ungeschützt im Gelände oder in der Stadt. Um Zerstörungen und Manipulationen vorzubeugen, müssen die Geräte ausreichend gesichert werden. Eine Möglichkeit besteht darin die Geräte, falls diese explosionsgeschützt sind, direkt in einem Schacht zu platzieren. Oftmals führen diese abgelegeneren Lagen auch dazu, dass vor Ort keine Strom- und Wasserversorgung vorhanden ist. Die Installation von wartungsarmen und fernsteuerbaren Geräten ist hinsichtlich der Zeitersparnis von personellem Aufwand vor Ort anzustreben.

### **Sicherheitsanforderungen**

Sämtliche durch den Gesetzgeber festgelegten Sicherheitsanforderungen für den Kanal müssen bei Errichtung, Wartung und Betrieb der Messstelle eingehalten werden. Bei der Anordnung von Messgeräten direkt im Kanal ist auf eine entsprechende Explosionsschutz-Zertifizierung der Geräte zu achten, ist diese nicht vorhanden, muss diesem Umstand durch eine dementsprechende Anordnung Rechnung getragen werden (ev. Bypassleitung aus dem Kanal).

### **2.1.3 Durchführung von Online Messungen im Kanal<sup>2</sup>**

Durch die Durchführung der Messungen direkt im Kanal entfallen u.a. aufwendige und störungsanfällige Systemteile wie Pumpe und Bypassleitungen. Im günstigsten Fall kann das gesamte Mess- und Datenspeicherungssystem unterhalb eines Kanaldeckels angeordnet werden. Die verzopfungsfreie Ausführung und der Schutz vor Beschädigungen durch Störstoffe wurden bereits erwähnt.

### **Probenentnahme und -transport**

Beim Einsatz von Analysegeräten oder beim Einsatz von Messsonden nicht direkt im Kanal, sollten einige Aspekte bei der Auswahl des Pumpsystems beachtet werden. Die Pumpe muss selbstansaugend sein, da eine Platzierung der Pumpe im Kanal auf Grund der Einengung des Querschnittes ausgeschlossen werden sollte. Der Betrieb der Pumpe darf auch durch größere und verzopfungsauslösende Störstoffe (z.B. Hygieneartikel) nicht gestört werden. Ist am Entnahmeschlauch ein Sieb oder Filterkorb angeordnet, so wird zwar das Ansaugen gröberer Stoffe und damit die Verstopfungsgefahr verringert, jedoch dadurch die Verzopfungsanfälligkeit im Kanal größer.

---

<sup>2</sup> Scheer, M. (2000): Online-Belastungsmessungen im Kanalnetz – Betriebserfahrungen bei Einsatz einer mobilen Messstation, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Bd.38 S. 97f

Alle Leitungen sollten frei von Knicken oder Taschen sein, damit Verstopfungen verhindert bzw. zumindest minimiert werden. Weiters sind entsprechende Reinigungs- und Rückspüleinrichtungen vorzusehen, um Verstopfungen und einen Verbleib von Restflüssigkeit im Saugschlauch zu vermeiden. Zu lange Transportleitungen sollten vermieden werden, da sie die Gefahr der Probenverfälschung durch Ausbildung eines Biofilms sowie Trennung zwischen sedimentierbaren und gelösten Stoffen begünstigen.

### **Probenaufbereitung**

Verstopfungen und Ablagerungen beeinträchtigen den Probentransport innerhalb eines Messgerätes. Weiters verfälschen Trübungen photometrische Messungen. Beide Probleme können durch Siebung oder Filtration verhindert werden. In Abhängigkeit von der Intensität der Vorbehandlung verändert sich die Probe, da die durch die Vorbehandlung aus der Probe entfernten Stoffe nicht mitanalysiert werden. Dabei ist stets zu überprüfen, ob dies mit der Zielsetzung der Untersuchung vereinbar ist. So weit es möglich ist, kann aus Gründen der Repräsentativität und geringerer Investitions- und Verbrauchskosten sowie einer kürzeren Verzögerungszeit bei der Messwertausgabe auf eine Probenaufbereitung verzichtet werden.

### **Messwertausgabe, Speicherung, Fernübertragung**

Bei Messgeräten, die nur eine begrenzte Zeit im Kanalnetz installiert sind, können die Messwerte in einem Datenlogger vorort temporär zwischengespeichert und später ausgelesen werden. Der Einfluss von Störungen kann in diesem Fall nur durch Kontrollen vor Ort erfolgen. Eine sichere und zeitsparendere Möglichkeit, vor allem bei entlegenen Messstellen oder längeren Messkampagnen, ist die Datenfernübertragung in eine Zentrale. Dadurch können Störungen und Unregelmäßigkeiten rasch erkannt und z.B. entsprechende Wartungsmaßnahmen zielgerichtet veranlasst werden. Zusätzlich entfällt auch das Datenauslesen vor Ort.

Die Messung von Abwasserbelastungen im Kanal mit Online-Insitu-Messgeräten ist ein gänzlich neuer Aspekt. Die technischen Möglichkeiten, die für eine Bewirtschaftung und Steuerung von Kanalnetzen interessanter Stoffparameter online zu erfassen, sind durchaus gegeben. Weiters ist zu erwarten, dass durch die steigende Nachfrage von Anwendern die Geräte hinsichtlich der Empfindlichkeit gegen Fest- und Fettstoffe, der Wartungsintervalle und des Explosionsschutzes ständig verbessert werden.

Online-Messungen der Abwasserqualität im Rohabwasser stellen die Grundlage für eine Weiterentwicklung der frachtbezogenen Kanalnetzbewirtschaftungen dar.

## **2.2 Ausgewählte Beispiele von Messungen in Kanälen**

### **2.2.1 Untersuchung des Mischwasserabflusses und dessen Beschaffenheit**

#### **2.2.1.1 Messungen im Mischsystem München-Harlaching**

In den Jahren 1975 bis 1981 wurden im Rahmen eines Sonderforschungsprojektes der Technischen Universität München Mischwasserabflussdaten gesammelt, welche GEIGER (1984) seinen Untersuchungen zu Grunde legte. Die nachfolgenden Überlegungen stellen eine Zusammenfassung dieser Untersuchungen dar.

Das für die Untersuchungen ausgewählte Messgebiet umfasste den Stadtteil Harlaching im Süden Münchens mit einer Größe von ca. 540 ha. In diesem Stadtteil lebten im Untersuchungszeitraum in etwa 27.000 Personen. Neben der Besiedlungsdichte zwischen 50 Einwohner/ha bis 250 Einwohner/ha schwankt im Untersuchungsgebiet auch der Anteil der befestigten Flächen zwischen 25% und 85%. Die Entwässerung dieses Stadtteils erfolgt durch ein stark vermaschtes Mischwasserkanalnetz.

Neben der genauen Erfassung von Niederschlag und Abfluss wurden auch eine vom Messaufwand her zu bewältigende Anzahl von Wasserinhaltsstoffen gemessen. Dazu wurden folgende Parameter: Temperatur, Leitfähigkeit, Trübung, Abfiltrierbare Stoffe, BSB<sub>5</sub>, CSB, Gesamtkohlenstoff, Kjeldahl-Stickstoff und Phosphor.

Um Mischwasserabflüsse charakterisieren zu können, erfordert es laut GEIGER neben der Angabe von Mittel- und Maximalwerten der einzelnen Parameter, auch einer mehr oder weniger kontinuierlichen Erfassung des Abflusses und einer hohen Probendichte. Eine exakte zeitliche Synchronisation der verschiedenen Messgrößen ist ebenso erforderlich, wie eine elektronische Datenerfassung, welche eine effiziente Bearbeitung und Auswertung dieser ermöglicht.

#### **Messstationen:**

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte an drei Stellen mit Hilfe von Ombrometern und Hellmannschreiber, welche auch für einen Winterbetrieb ausgelegt waren.

Für die restlichen Parameter wurde am Sammelpunkt des Abflusses aus dem Untersuchungsgebiet an einem Regenüberlauf eine Messstation errichtet. Diese war so konzipiert, dass automatisiert über einen längeren Zeitraum Abwasserproben gezogen und die physikalischen Messgrößen automatisch



Messsonden verzichtet werden, da selbst bei sorgfältigster Wartung eine Beeinflussung der Messungen durch diese nicht auszuschließen ist.

Bei der Errichtung der Messstation wurde auf die Möglichkeit einer Implementierung eines Störmeldesystems verzichtet. Die Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass gemessen an den Ausfallszeiten, den Betriebsstörungen und den damit entstandenen Datenlücken derartige Investitionen gerechtfertigt gewesen wären.

Es stellte sich heraus, dass selbst bei automatischer Datenerfassung in regenintensiven Zeiten auf Grund der mit der Probenahme einhergehenden Tätigkeiten eine tägliche Besetzung der Messstation angebracht gewesen wäre.

### Laboranalysen:

Da Wasserproben auf Grund ihrer physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften einer ständigen Veränderung unterworfen sind, wäre es erstrebenswert die Analysen immer sofort nach der Probenahme durchzuführen, im optimalsten Fall sogar an Ort und Stelle. Diese Vorgehensweise war bei der Vielzahl der zu analysierenden Proben nicht möglich, weshalb die Einzelproben bis zu ihrer Auswertung tiefgefroren wurden. Da es zu unterschiedlichen Lagerungszeiten der tiefgefrorenen Proben vor der Analyse gekommen ist, wurde der Einfluss dieser Lagerungszeit auf das Analyseergebnis gesondert untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

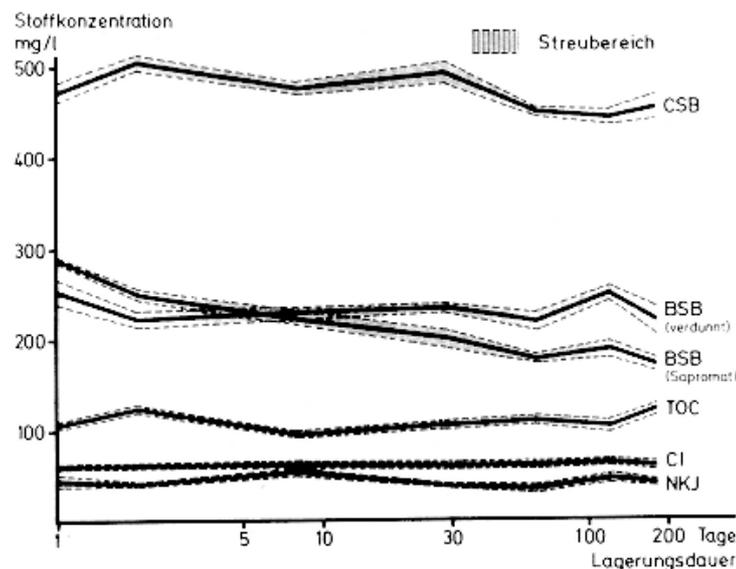


Abb. 2.2 Einfluss der Probenlagerungszeit auf das Analyseergebnis

Anhand der Abbildung 2.2 ist ersichtlich, dass es bei den beiden Parametern CSB und TOC nach einem Tag Konservierung zu einer kurzfristigen Erhöhung der Werte gegenüber den frisch analysierten Proben kam. Nach einer Woche stellten sich beide Parameter wieder auf den Anfangswert ein. Allerdings war beim CSB bei einer Konservierung über vier Wochen ein Abfallen des Messwertes unter den Anfangswert zu beobachten, daher erscheint eine Konservierung von CSB-Proben über (diese) vier Wochen hinaus als nicht zweckmäßig. Im Gegensatz dazu konnte beim TOC keine wesentliche Abhängigkeit von der Konservierungszeit festgestellt werden. Der BSB<sub>5</sub>-Wert erfuhr keine Stabilisierung, zurückzuführen ist dies auf die zwar verminderte aber dennoch vorhandene Aktivität der Bakterien bei Tiefgefrieren. GEIGER zieht daraus die Erkenntnis, dass bei dem BSB<sub>5</sub> mit dem Analyseergebnis auch die Dauer des Tiefgefrierens angegeben werden sollte.

### 2.2.1.2 Zusammenfassende Erkenntnisse

Zusammenfassend können folgende Erkenntnisse aus den Messungen von GEIGER gezogen werden:<sup>3</sup>

- Die Häufigkeiten von Kenngrößen des Abflusses, der Stoffkonzentrationen und der Stofffrachten eines Ereignisses sind verschieden.
- Bei Abflussbeginn wurden bei den AFS in 25%, bei allen anderen Stoffen in weniger als 15% der Fälle ein ausgeprägter Spülstoß verzeichnet.
- Eine Abhängigkeit des Spülstoßes von der einem Ereignis vorausgegangenen Trockenperiode konnte nicht bestätigt werden.
- Eine Bemessung von Regenüberläufen nach dem ATV-Arbeitsblatt A 128 wird der Zielsetzung, 90% der absetzbaren Stoffe und der biologisch abbaubaren Stoffe der Kläranlage zuzuführen, durchaus gerecht.
- Entlastungswassermengen lassen nur bedingt Rückschlüsse auf entlastete Schmutzfrachten zu.
- Notwendigkeit zur Entwicklung von Kriterien zur Kontrolle von Mischwasserentlastungen, welche der Art und Nutzung der Gewässer entsprechen.

---

<sup>3</sup> vgl. Geiger, W. F. (1984): Mischwasserabfluss und dessen Beschaffenheit – ein Beitrag zur Kanalnetzplanung, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 50, Technische Universität München

Weiters wurde festgestellt, dass das Ausmaß der Beeinträchtigung der Vorfluterqualität einerseits von den Vorbelastungen des Vorfluters selbst und andererseits von der Dauer und Häufigkeit der Mischwasserbelastung abhängt. GEIGER gibt auf Basis seiner durchgeführten Untersuchungen und vorliegender Erfahrungen verschiedener Kanalnetzplanungen einen ersten Vorschlag von Grenzwerten für Häufigkeit und Dauer von Mischwasserentlastungen. In Tab. 2-1 sind diese Grenzwerte in Abhängigkeit der Güteklasse und der Gewässernutzung aufgelistet.

**Tab. 2-1 Vorschlag von Grenzwerten für Häufigkeit und Dauer von Mischwasserentlastungen (GEIGER 1984)**

| Güteklasse | Vorbelastung Güteklasse | Gewässernutzung           | Entlastungshäufigkeit |                  | mittl. Entlastungsdauer (pro Entlastung) Minuten |
|------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|--|
|            |                         |                           | jährlich<br>Anzahl    | Sommer<br>Anzahl |  |
| II         | ≲ II                    | Erholungszwecke allgemein | < 20                  | < 15             | < 60   |
| II         | ≲ II                    | Badegewässer              | < 10                  | < 5              | < 30   |
| II         | ≲ II                    | Fischereigew.             | < 30                  | < 20             | < 30   |

## **2.2.2 Schmutzfrachtuntersuchungen im Mischwassernetz der Stadt Braunschweig**

### **2.2.2.1 Einleitung**

Der bisherige Kenntnisstand über Mischwasserkonzentrationen in Mischwasserkanälen basierte im Wesentlichen auf zwei Untersuchungen an steiler geneigten Kanalnetzen in München-Harlaching (GEIGER) und Stuttgart-Büsnau (KRAUTH).

Nach MACKE (2003) wurde im Jahr 1988 im relativ flachen Mischwassernetz der Stadt Braunschweig ein umfangreiches Messprogramm gestartet. Zielvorgabe bei diesen im Rahmen des Schwerpunktforschungsvorhabens der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführten Untersuchungen zum Thema „Stoffaustrag aus Kanalisationen“ war es, Mischwasserschmutzwasserfrachten in flachen Kanalnetzen zu bestimmen.

MACKE geht davon aus, dass die Gesamtmenge und der zeitliche Verlauf der Schmutzfracht, die aus einem Kanalnetz während eines Regenereignisses abfließt, vor allem durch die Menge von akkumulierten Ablagerungen beeinflusst wird. Er unterscheidet in weiterer Folge zwei Ablagerungsarten, welche für die Beurteilung des zeitlichen und mengenmäßigen Verlaufes eines Spülstoßes (first flush) infolge Kanalablagerungen eine Rolle spielen.

Typ I: Ablagerungen, die zufolge geringer Durchflüsse (vor allem in den Nachtstunden) auftreten und relativ einfach ausspülbar sind.

Typ II: Ablagerungen, die weder im Verlauf von Trockenwetterganglinien noch bei Regenereignissen vollständig ausspülbar sind.

Ein wesentlicher Punkt in den Untersuchungen von KRAUTH und GEIGER war es, dass es auf Grund der steiler geneigten Kanalnetze zu keinen Ablagerungen des Typs II kam. Im Gegensatz dazu haben die Untersuchungen in Braunschweig gezeigt, dass flachere Netze diese bleibenden Ablagerungen sehr wohl aufweisen.

### **2.2.2.2 Beschreibung der Untersuchungsgebiete**

Im Zeitraum von 1989 bis 1994 wurden in drei unabhängigen Teilsystemen des Mischwasserkanalnetzes der Stadt Braunschweig Niederschläge, Abflüsse, Schmutzkonzentrationen erfasst und analysiert.

Bei den betrachteten Untersuchungsgebieten handelt es sich um Netze mit sehr flachen Kanälen und relativ dichter großstädtischer Bebauung. Das Gebiet BS I kann als wenig vermascht und als nicht vorentlastet angesehen werden. Die Hauptentlastung des stark vermaschten Gebietes BS II findet an dessen Endpunkt statt. Das Gebiet BS III umfasst das gesamte Mischwasserkanalnetz der Stadt und

beinhaltet somit BS I und BS II. Auf Grund einer Vielzahl von Sonderbauwerken (Drosselstrecken, Dükern und Kanalstauräumen) treten in großen Teilen des Mischwassernetzes bei Regenabflüssen zu rückgestauten Abflussverhältnissen, welche zu bleibenden Ablagerungen führen.

Die Tab. 2-2 zeigt die charakteristischen Kenndaten der drei Untersuchungsgebiete in Braunschweig I (östliches Untersuchungsgebiet), Braunschweig II (Innenstadt) und Braunschweig III (gesamtes Mischwassernetz Braunschweig) im Vergleich zu den früheren Untersuchungsgebieten München-Harlaching und Stuttgart-Büsnau und den in Graz durchgeführten Untersuchungen von GRUBER et al. (2004).

**Tab. 2-2 Wichtigste Kenndaten der Untersuchungsgebiete mit Mischwassernetzen inkl. Graz (MACKE et al.; GRUBER et al. 2004)**

| Untersuchungsgebiete |   | Graz               | Stuttgart<br>Büsnau | München<br>Harlaching | Braunschweig I<br>östl. Ringgebiet | Braunschweig II<br>Innenstadt     | Braunschweig III<br>MW-Kanalisation |
|----------------------|---|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                      |   | 1                  | 2                   | 3                     | 4                                  | 5                                 | 6 = 4 + 5                           |
| Literaturquelle      |   | Gruber et al. 2004 | Krauth 1970         | Geiger 1984           | Schulz 1995,<br>Macke et al. 2002  | Schulz 1995,<br>Macke et al. 2002 | Schulz 1995,<br>Macke et al. 2002   |
| Einzugsgebiet        | Fläche $A_{ges}$ [ha]                       | 351                | 31,4                | 540                   | 80                                 | 81 - 95                           | 636                                 |
|                      | Fläche $A_{red}$ [ha]                       | 102                | 11,7                | 189                   | 32                                 | 60                                | 330                                 |
|                      | Geländegefälle $I_G$ [%]                    | 1,5                | bis 6               | 1,2                   | 0,1                                | 0,1                               | 0,1                                 |
| Kanalnetz            | mittl. Kanalgefälle $I_K$ [%]               | 1,6                | 1 - 3               | 0,6                   | 0,13                               | 0,1                               | 0,3                                 |
|                      | mittl. Fließzeit $t_f$ [min]                | ≈ 75               | ≈ 7                 | 10 - 50               | 18                                 | 99                                | 127                                 |
|                      | mittl. Trockenwetterabfluss $Q_{t24}$ [l/s] | 56 ± 10            | ≈ 4                 | 78                    | 22                                 | 146                               | 484                                 |
|                      | $c_{TWA}$ CSB [mg/l]                        | 682 ± 58           | 443                 | 440                   | 616                                | 522                               | 679                                 |
|                      | $c_R$ CSB [mg/l]                            | 311                | -                   | 163                   | 282                                | 321                               | 288                                 |

### 2.2.2.3 Messprogramm

Für die Niederschlagsregistrierung wurden sechs über das gesamte Stadtgebiet verteilte Niederschlagsmessgeräte nach dem Wippensystem mit einer Auflösung von 0,1 mm verwendet. Zur kontinuierlichen Erfassung der Kanalabflüsse und Entlastungen wurde eine Reihe von Dauermessstellen zur Aufzeichnung von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit betrieben. An den Hauptentlastungsstellen kamen selbstentleerende, automatische Probennehmer mit bis zu 16 Einzelproben pro Zyklus zum Einsatz. Weiters wurden die einzelnen Messstellen mit der Möglichkeit einer Datenfernüberwachung und –fernsteuerung der Probennehmer versehen.

Die verwendete Probenahmesoftware ermöglichte eine optimale Verteilung der Einzelproben eines Zyklus auf die gesamte Abflusswelle, d.h. es wurden zu Beginn einer Abflusswelle in kurzen Abständen Proben gezogen, damit größere Schwankungen der Konzentrationen zu Beginn besser erfasst werden konnten (Spülstoßproblematik).

Innerhalb des dreizehnjährigen Zeitraumes wurden insgesamt rund 500 Mischwasserabflussereignisse in ihrem Verlauf erfasst. Zusammen mit 32 beprobten Trockenwettertageszyklen ergaben sich ca. 12.000 Einzelproben mit ca. 40.000 Einzelanalysen der Verschmutzungsparameter. Neben den Leitparametern CSB und AFS wurde auch noch eine Reihe weiterer Parameter bestimmt.

### 2.2.2.4 Auswertungen und Messergebnisse

#### Methoden:

Grundlage sämtlicher Auswertungen war die so genannte Zwei-Komponenten-Methode, welche besagt, dass sich der Mischwasserabfluss (hydraulisch und auch frachtbezogen) aus den beiden Komponenten Trockenwetterabfluss und Regenwasserabfluss zusammensetzt. Die zugehörigen Kenngrößen für den Mischwasser- und Trockenwetterabfluss lassen sich durch Messungen und Beprobung direkt ermitteln. Die daraus resultierende Differenz ergibt die dem Regenabfluss zugehörige Komponente. Bezüglich des Abflussvolumens wurde zwischen dem im Kanal und dem auf der Oberfläche abfließenden Wasser nicht unterschieden. In stofflicher Hinsicht war jedoch eine Unterscheidung erforderlich, da jene durch Regenabflüsse ausgelösten stofflichen Vorgänge (wie z.B. die Remobilisierung von Ablagerungen und Sielhaut) rechnerisch dem Regenwasseranteil zugeordnet werden müssen. Die zugehörige Schmutzfracht setzt sich aus einem Schmutzfrachtpotential der Oberfläche und jenem aus dem Kanal zusammen:

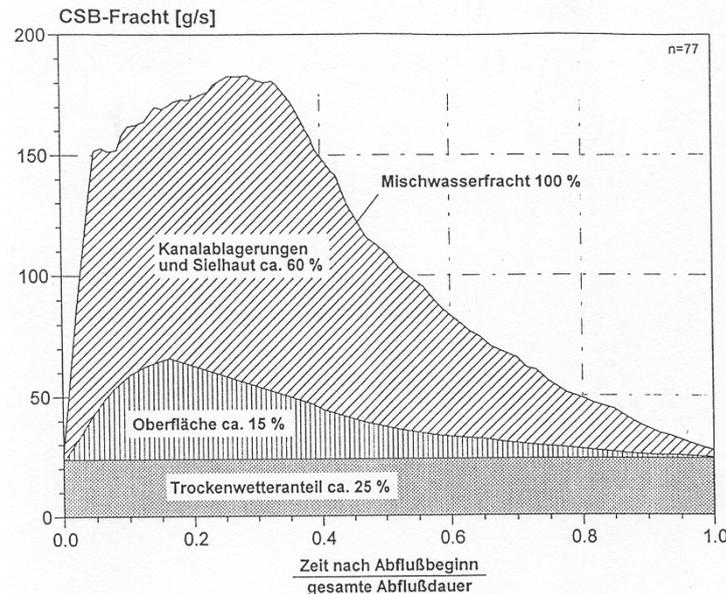
$$\text{Gesamtfrachtpotential (RWA)} = \text{Oberflächenpotential} + \text{Kanalpotential}^4$$

Eine detaillierte Aufschlüsselung der im Mischwasser enthaltenen Frachten zeigt Abbildung 2.3, hierbei wurde die mittlere Mischwasserfrachtganglinie für den CSB nach Herkunft der Einzelkomponenten über eine auf die gesamte Abflussdauer normierte Zeitachse dargestellt. Als Basis für diese Darstellung dienten 77 ausgewertete Mischwasserereignisse aus dem Einzugsgebiet BS I. Es ist ersichtlich, dass bei Regenwasserabfluss ca. 25% der Fracht den Trockenwetteranteil bilden und dass allein der Anteil der Remobilisierung von Ablagerungen und Sielhaut ca. 60% der Gesamtfracht entspricht. Die restlichen 15% ergeben sich aus dem Einfluss der Oberfläche. Das Kanalpotential entspricht somit ca. dem Vierfachen des Oberflächenpotentials.

---

<sup>4</sup> vgl. Macke, E.: Flachstrecken und Ablagerungen, TU Braunschweig

Das Arbeitsblatt A128 der ATV (1992) leitet im Vergleich dazu die mittlere Regenwasserverschmutzung ausschließlich aus dem Oberflächenpotential ab, weshalb dieser Ansatz den Verhältnissen in flachen Kanalnetzen (vgl. Abb. 2.3) nicht gerecht wird.



**Abb. 2.3 Aufteilung der mittleren Mischwasserfrachtganglinie (CSB) nach Herkunft der Einzelkomponenten (DE VRIES 1993)**

Bei den Untersuchungen in Braunschweig hat sich weiters gezeigt, dass dieses Kanalpotential durch aufeinanderfolgende Regenereignisse nicht wesentlich beeinflusst wird.

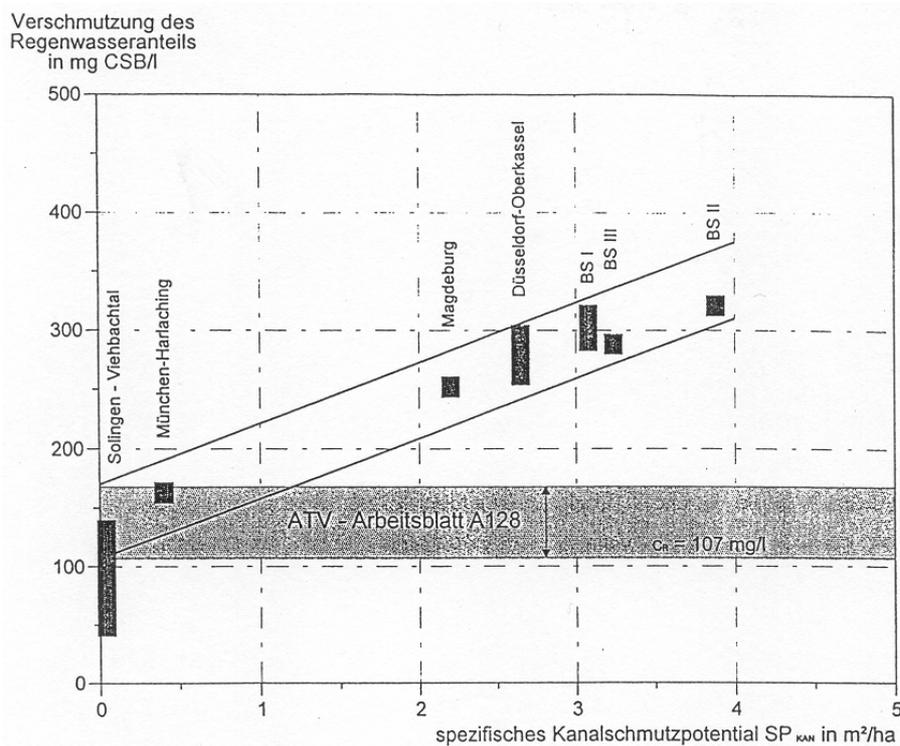
In den von MACKE et al. (2003) durchgeführten Untersuchungen wurde deutlich, dass die Verschmutzungskonzentration in ablagerungsbehafteten Kanalnetzstrukturen auf Grund der Remobilisierung von Ablagerungen bei einem Spülstoß erheblich höher ist als bislang angenommen wurde. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen die Folgerung zu, dass die in flachen Netzen festgestellten hohen Konzentrationen vor allem von dem im Trockenwetterabfluss aufgebauten Frachtpotential des Kanalnetzes abhängen.

In weiterer Folge wurde eine Kennzahl für das spezifische Kanalschmutzpotential entwickelt ( $SP_{KAN}$ ), welche mit der Verschmutzungskonzentration korreliert und für die bisher bekannten Untersuchungsgebiete tabellarisch und graphisch dargestellt (siehe Tab. 1-1 und Abb. 2.4). Daraus wird deutlich, dass die in flachen Kanalnetzen, wie sie vor allem in urbanen Gebieten anzutreffen sind, erhebliche Kanalschmutzpotentiale vorhanden sind. In Abb. 2.4 ist die im ATV Arbeitsblatt A128 angenommene Verschmutzungskonzentration des Regenanteils mit  $c_R = 107 \text{ mg CSB/l}$  (grau schraffierter Bereich) eingetragen. Dieser Ansatz wird offensichtlich in steilen Kanalnetzen den tatsächlichen Bedingungen gerecht, währenddessen er für flachere Netze wie z.B. Braunschweig die tatsächlichen

Verhältnisse nicht korrekt wiedergibt. Hier muss von den zwei- bis dreifachen Verschmutzungskonzentrationen ausgegangen werden muss.

**Tab. 2-3 Spezifisches Kanalschmutzpotential  $SP_{KAN}$  und Verschmutzung des Regenwasseranteils im Mischwasser  $c_R$  (CSB) für ausgewählte Gebiete**

| Untersuchungsgebiet | Beschreibung   | $A_{red}$ [ha] | $SP_{KAN}$ [ $m^2/ha$ ] | $c_R$ - CSB [mg/l] |
|---------------------|--|----------------|-------------------------|--------------------|
| Solingen            | steiles Kanalnetz  | 87             | $\approx 0$             | 40 - 140           |
| Düsseldorf          | flaches, vermaschtes Kanalnetz   | 61             | 2,65                    | 253 - 305          |
| München             | steiles Kanalnetz mit z.T. flach verlegten Anfangshaltungen, vermascht | 189            | $\approx 0,4$           | 163                |
| Magdeburg           | flaches, vermaschtes Kanalnetz   | 856            | 2,20                    | 252                |
| BS I                | flaches Kanalnetz, z.T. Ablagerungen                                   | 32             | 3,08                    | 282 - 332          |
| BS II               | flaches Kanalnetz, stark vermascht, z.T. Ablagerungen                  | 60             | 3,88                    | 321                |
| BS III              | Gesamtnetz, vermascht, z.T. Ablagerungen                               | 330            | 3,24                    | 288                |



**Abb. 2.4 Mittlere Verschmutzung im Regenwasseranteil in Abhängigkeit vom spezifischen Kanalschmutzpotential**

### **Schlussfolgerungen für die Praxis<sup>5</sup>**

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass der hohe Einfluss der Kanalablagerungen auf die Mischwasserverschmutzungskonzentrationen durch eine Intensivierung der Kanalreinigung mit vertretbarem Aufwand reduziert werden kann. Umfangreiche Ablagerungsmessungen im Kanalnetz von Braunschweig haben gezeigt, dass sich analog zu den Verhältnissen in einem Fließgewässer im Kanal ebenfalls sehr schnell ein Gleichgewichtszustand im Bezug auf die Ablagerungen einstellt.

Es stellt sich jedoch nun die berechtigte Frage, welche Auswirkungen diese Erkenntnisse auf die Praxis haben. Die strikte Verwendung von höheren Verschmutzungskonzentrationen im Regenwasserabfluss würde zu einer drastischen Erhöhung der Entlastungsfrachten unter sonst gleichen Bedingungen führen. Daraus würde sich jedoch die Notwendigkeit einer erheblichen Reduktion der bisher zulässigen abgeschlagenen Schmutzfrachten an Überlaufbauwerken ableiten, was automatisch eine Erhöhung des erforderlichen Speichervolumens zur Folge hätte. Es ist bisher jedoch noch nicht wirklich gelungen, die Auswirkungen von Mischwasserabschlägen auf das Gewässer in ihrer gesamten Komplexität zufriedenstellend zu simulieren, weshalb man bei der Reduktion von Mischwassereinleitungen auch nicht von einer automatischen Verbesserung der Gewässerqualität ausgehen kann. MACKE kommt somit zu dem Schluss, dass es keinen Sinn macht die bisherigen Anforderungen an die Mischwasserableitung zu verschärfen, solange eine zuverlässige Beurteilung der Effizienz bestimmter Maßnahmen nicht möglich ist.

Es wird vielmehr empfohlen, die Gewässersituation differenzierter zu betrachten. Gestützt auf Untersuchungen zur Gewässergüte unter Berücksichtigung der biologischen und physikalisch-chemischen Parametern kann der Handlungsbedarf bedeutend besser abgeschätzt werden. Diese Vorgangsweise ist kostenintensiver, führt allerdings zu effizienteren und vor allem zu kostenoptimierten Lösungen im Sinne des Gewässerschutzes.

---

<sup>5</sup> vgl. Macke, E.; Hartmann, A.; von Koerber, N. (2002): Zur Schmutzfracht von Regenwasser in großen, flach verlegten Mischwassernetzen, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 1 S. 40f

### **2.2.3 Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen**

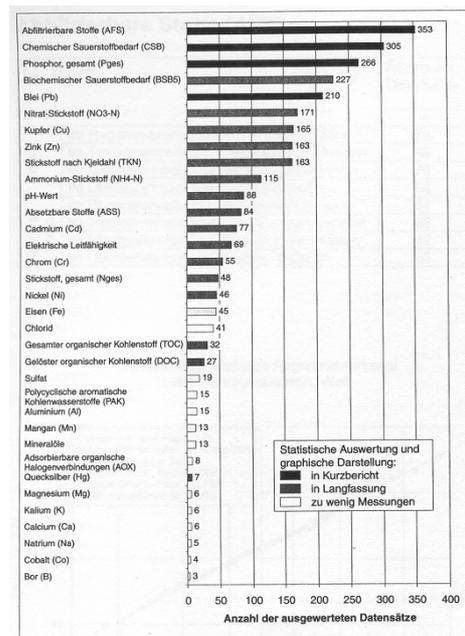
Der Mangel an aussagekräftigen Messdaten aus Kanalisationen veranlasste im Jahr 2001 die ATV-DVWK ein Projekt im Rahmen ihres Forschungsfonds zu unterstützen. Die Ziele dieses Forschungsprojektes waren der Aufbau, die Vergrößerung und die Verfestigung eines Datenpools weltweit gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen.

Die Grundidee hinter diesem Datenpool war es, dass durch die statistische Verdichtung und graphische Darstellung von bekannten Messergebnissen ein Werkzeug geschaffen wird, welches Abwasserfachleuten eine Hilfestellung zur Regenwasserbehandlung, zur Plausibilitätsprüfung von Schmutzfrachtsimulationen und zur Interpretation neuer Messergebnisse dienen sollte. Weiters sollte dieser Datenpool auch zur Bearbeitung neuer ATV-DVWK-Arbeitsblätter herangezogen werden können.

#### **Aufbau des Datenpools**

Als Inputdaten für diesen Datenpool dienten neben der Bibliothek des Projektantragstellers UFT Umwelt- und Fluid-Technik GmbH, die Fachbibliothek des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und die Zentralbibliothek der Universität Karlsruhe sowie die Einträge in der internationalen ESPM-Datenbank (Environmental Science and Pollution Management). Insgesamt standen für den Datenpool insgesamt 425 Berichte zur Verfügung, von denen letztendlich nach einer weiteren Evaluierung bezüglich Aktualität, Plausibilität und Verwertbarkeit 176 Literaturquellen als Datengrundlage verwendet wurden.

Diese 176 Literaturstellen lieferten in Summe 425 Datensätze, von denen sich jeder auf eine oder einige wenige Messstellen oder Messkampagne beziehen. Es ergaben sich somit Einzelmesswerte zu insgesamt 34 Parametern (Auflistung siehe Abb. 2.5). Hierbei wird auch ersichtlich, welchen Parametern in der Vergangenheit besonderes Augenmerk geschenkt wurde. So liegt für die konventionellen Abwasserparameter wie AFS, CSB, BSB<sub>5</sub> und Phosphor eine sehr hohe Datendichte vor, ebenso für Blei. Im Gegensatz dazu ist der weltweite Bestand an Datensätzen für TOC und DOC relativ gering. Es muss weiters darauf hingewiesen werden, dass von vornherein auf die Erfassung von Durchflüssen mitzuerfassen. Erfasst wurden also lediglich die Konzentrationen (Quotient aus Stofffracht und hydraulischer Fracht).



**Abb. 2.5 Erfasste Parameter und Anzahl der ausgewerteten Datensätze**

Wissend um die Anforderungen an einen repräsentativen Datensatz und die vielen Fehlerquellen bei der Beprobung von Abwasserströmen, setzte diese Studie bewusst auf die „große Zahl“ der Messdaten. Damit besteht die berechtigte Hoffnung, dass sich Messfehler und Systemunterschiede teilweise gegenseitig aufheben und sich ein realitätsnahes Bild der üblichen Schmutzstoffkonzentrationen in Kanalisationen ergibt.<sup>6</sup>

### Auszug aus den Ergebnissen

Für 20 der 34 Abwasserparameter wurde eine statistische und graphische Auswertungen erarbeitet. Für die restlichen 14 Parameter waren die Datenmengen für eine derartige Auswertung nicht ausreichend, diese sind in Abb. 2.5 mit einem weißen Balken versehen.

In der statistischen Auswertung wurde zwischen Messergebnissen von Messungen aus Zentraleuropa und jenen aus dem Rest der Welt unterschieden. In weiterer Folge wurden jeweils vier Szenarien unterschieden:

- im Regenwasserkanal (bei Regen) in der Trennkanalisation – Szenario A
- im Trockenwetterabfluss (kein Regen) der Mischkanalisation – Szenario B
- im Mischwasserabfluss (bei Regen) der Mischkanalisation – Szenario C und
- im Überlaufwasser der Mischkanalisation (von Regen-, Becken- und Klärüberläufen bei Regen) – Szenario D

<sup>6</sup> vgl. Brombach, H.; Fuchs, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisation, KA-Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr. 4, S. 441f

Die folgende Tabelle 2-4 soll einen groben Überblick über die Anzahl der einzelnen Datensätze und ihrer Bandbreite am Beispiel der abfiltrierbaren Stoffe geben. Zur graphischen Darstellung wurde der sogenannte „lognormal probability plot“ gewählt, d.h. die Messdaten werden logarithmisch auf der Ordinate über einer symmetrisch verzerrten Wahrscheinlichkeits-Abszisse aufgetragen.

**Tab. 2-4 Statistische Hauptzahlen der Daten zur Konzentration der Trockensubstanz der abfiltrierbaren Stoffe (AFS)**

| C_AFS          |   | Anzahl der Datensätze | Bandbreite<br>Min    Max | Arithmetisches<br>Mittel | Standard-<br>abweichung | Unteres<br>Quartil | Median | Oberes<br>Quartil |
|----------------|---|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|--------|-------------------|
|                |   | n                     | in mg TS/l               |                          |                         |                    |        |                   |
| Welt           | Im Regenwasserkanal der Trennkanalisation     | 178                   | 2,0 - 3093,0             | 281,6                    | 427,8                   | 74,0               | 141,0  | 279,7             |
|                | Im Trockenwetterabfluss der Mischkanalisation | 49                    | 15,0 - 757,0             | 201,6                    | 139,2                   | 108,5              | 164,0  | 269,6             |
|                | Im Mischwasserabfluss der Mischkanalisation   | 70                    | 54,3 - 1440,0            | 346,8                    | 240,4                   | 197,0              | 285,5  | 439,3             |
|                | Im Überlaufwasser der Mischkanalisation       | 56                    | 35,3 - 661,0             | 226,7                    | 168,2                   | 105,0              | 174,5  | 288,3             |
| Zentral-europa | Im Regenwasserkanal der Trennkanalisation     | 51                    | 29,0 - 1535,0            | 318,8                    | 402,5                   | 77,5               | 153,0  | 284,0             |
|                | Im Trockenwetterabfluss der Mischkanalisation | 28                    | 108,0 - 757,0            | 249,0                    | 135,5                   | 135,5              | 154,5  | 300,5             |
|                | Im Mischwasserabfluss der Mischkanalisation   | 42                    | 54,3 - 986,0             | 315,9                    | 185,6                   | 177,5              | 264,0  | 423,3             |
|                | Im Überlaufwasser der Mischkanalisation       | 38                    | 35,3 - 661,0             | 228,7                    | 169,5                   | 114,2              | 175,0  | 278,0             |

## **3 Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft**

### **3.1 Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik“**

#### **3.1.1 Motivation und Zielsetzung des Projektes**

Grundlage und Motivation für die Durchführung des Projektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ waren zum einen das Inkrafttreten der EU-WRRL im Jahr 2000, die Verfügbarkeit neuartiger, innovativer Messsysteme zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Wasserqualitäten und Mengen und zum anderen die Tatsache, dass das bearbeitende Projektsteam bereits in zwei Vorgängerprojekte erfolgreich zusammengearbeitet hat.

##### **3.1.1.1 Gesetzliche Vorgaben:**

Ein wesentliches Ziel der europäischen Wasserpolitik ist die Förderung einer nachhaltigen und zukunftssicheren Wasserpolitik. Um dieser Zielvorgabe gerecht zu werden, wurde im Dezember 2000 im Amtsblatt der Europäischen Union die EU-Richtlinie 2000/60/EG (EU-Wasserrahmenrichtlinie, kurz EU-WRRL) verlautbart. Zusammenfassend fordert diese Richtlinie, dass einerseits eine weitere Verschlechterung des Zustandes aquatischer Ökosysteme und eine weitere Verschmutzung des Grundwassers zu verhindern ist und andererseits eine bereits bestehende Verschmutzung zu reduzieren und/oder zu sanieren ist. Letzten Endes soll ein „guter“ Zustand (= guter ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer, sowie guter quantitativer und chemischer Zustand des Grundwassers) bis spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie erreicht werden.

Auf der anderen Seite erschien im Jahr 2001 auf nationaler Ebene, ein Entwurf einer Abwasseremissionsverordnung für Mischwasser (AEV Mischwasser), welcher im Bereich von Mischwasserentlastungen ein umfangreiches Messprogramm samt Berichtswesen erforderlich machen wird.

Diese beiden rechtlichen Vorgaben werden in Österreich in den nächsten Jahren einen verstärkten Bedarf nach praxistauglichen (d.h. möglichst wartungsarmen und modular aufgebauten) Messsystemen zur Folge haben, was letzten Endes eine zentraler Motivationsfaktor zur Durchführung des IMW-Projektes war.

### 3.1.1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des interuniversitären Projektes IMW soll vor allem der Einsatz von innovativer Messtechnik an drei unterschiedlichen, wasserwirtschaftlichen Themenstellungen erprobt werden. Dabei wurde der Schwerpunkt vor allem auf die Entwicklung von Online-Messsystemen gelegt.

Durch den Einsatz von kontinuierlichen Messsystemen im Langzeitversuch können Messreihen erfasst werden, welche es ermöglichen, Perioden (Tages-, Wochen- und Jahrgänge) und Trends erkennen zu können. Erst durch die Messung solcher Perioden und Trends lassen sich Einzelereignisse zuverlässig erkennen, erfassen und auswerten.

Ein weiteres zentrales Ziel war es eine zentrale Messnetzzentrale zu entwickeln und zu installieren. Diese dient neben der zentralen Verwaltung aller anfallenden Daten auch der öffentlichen Präsentation derselben.

### 3.1.2 Beschreibung der Projektpartner, der Messstationen und ihrer Schwerpunkte

Zur Bearbeitung dieses Forschungsprojektes formierte sich im Jahr 2000 ein bewährtes Projektteam bestehend aus drei Universitätsinstituten und einem Ingenieurbüro zur Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“.

#### Das Projektteam

- **Universität für Bodenkultur** – Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft; Abteilung für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz  
*Schwerpunkt: Gewässermonitoring an der Donau*
- **Technische Universität Graz** – Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau  
*Schwerpunkt: Kanalmonitoring im Bereich von Mischwasserentlastungen in Graz und Wien*
- **Technische Universität Wien** – Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft  
*Schwerpunkt: Monitoring auf Kläranlagen mit dem Schwerpunkt Respirometrie*
- **Büro DDI Dieter Depisch & DI Silvia Kerschbaumer-Depisch Ziviltechniker GmbH**  
*Schwerpunkt: Projektmanagement*

In nachstehender Abbildung (3.1) sind die einzelnen Projektpartner mit ihren Messstationen und Schwerpunkten nochmals zusammengefasst.

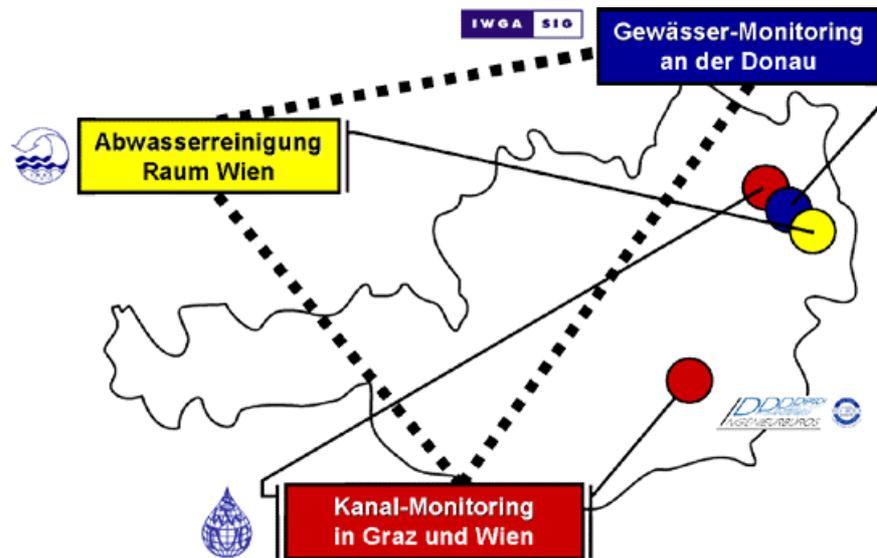


Abb. 3.1 Übersicht über Projektpartner, Standorte und Schwerpunkte

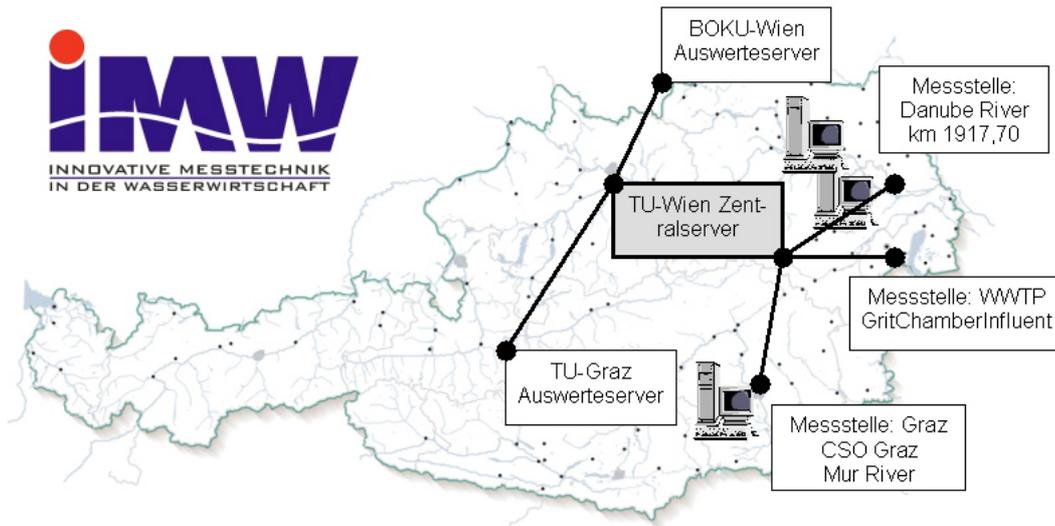
### 3.1.3 Messnetzzentrale – Server des IMW-Netzes

#### 3.1.3.1 Konzeption

Ein deklariertes Ziel des IMW-Projektes war und ist es, die gemessenen Parameter auch der Öffentlichkeit möglichst transparent zu präsentieren. Hierfür war die Entwicklung einer zentrale Datenbank erforderlich. Auf diesem Zentralserver sind auch die einzelnen Systemapplikationen installiert.

Da zu erwarten war, dass es zu einem erheblichen Datenverkehr durch den direkten Zugriff auf die Daten von mehreren dislozierten Arbeitsplätzen aus kommen wird, wurden neben dem bereits erwähnten Zentralserver zwei weitere Auswerteserver installiert. Diese beiden Auswerteserver enthalten das vollständige Abbild der zentralen Datenbank und werden durch tägliches Kopieren der Datenbank aktuell gehalten.

In Abb. 3.2 ist in schematischer Art und Weise der Standort der drei Server und der Messstellen (ausgenommen der Kanalmesstation Wien) des IMW-Netzes dargestellt.



**Abb. 3.2 Schematische Lage der Server und Messstellen des IMW-Netzes**

Neben der Möglichkeit einer öffentlichen Auswertung, welche im nächsten Punkt ein wenig genauer beschrieben wird, bietet die IMW-Messnetzzentrale auch einen Bereich, der nur internen Benutzern über eine Web-Applikation zugänglich ist. Diese dient der zentralen Verwaltung des Messnetzes und unterteilt sich in vier Funktionsgruppen::

#### **Auswertung:**

Mit Hilfe der Funktion Auswertung kann man sich einerseits, wie in der öffentlichen Auswertung, Diagramme zu einzelnen Parametern erstellen lassen, andererseits hat man hier auch die Möglichkeit sich Sondenspektren und Messwerttabellen anzeigen zu lassen. Zusätzlich erlaubt dieses Menü den Zugriff auf alle Logbuch-Einträge (Protokollierung von bestimmten Systemzuständen und Ereignissen) des IMW-Netzes.

#### **Konfiguration:**

Diese Funktion führt in das umfangreichste und „mächtigste“ Untermenü der Messnetzzentrale. Hier können unter anderem Benutzer, neue Untersuchungsgebiete und Sonden angelegt werden. Weiters bietet sich hier die Möglichkeit, Plausibilitätsgrenzen zu definieren oder eine Dienstzuteilung, einen Bereitschaftsdienst oder eine Überwachung mittels Email- oder SMS-Alarmierung zu konfigurieren. Außerdem erlaubt diese Funktion die Parametrierung, d.h. die Eingabe von Laufzeitdaten und Betriebsparametern, der Messnetzzentrale. Abbildung 3.3 zeigt die Unterfunktionen des Konfigurationsmenüs.

**DFÜ:**

Die DFÜ-Funktion (Datenfernübertragung) dient zur Steuerung der einzelnen Messstationen, sowie der Konfiguration und Überwachung der Datenübertragungsprogramme.

**Daten:**

Diese Funktion bietet die Möglichkeit der Eingabe von Referenzwerten, weiters erlaubt die Unterfunktion „Manuelle Korrektur“ die Korrektur (Änderung) der in der Datenbank gespeicherten Präsentationsmesswerte (die Rohdaten werden hierbei nicht verändert).

Mit Hilfe der Unterfunktion „Export“ kann man direkt Daten aus der Datenbank in eine sogenannte Fingerprint-Datei exportieren. Neben den geforderten Parametern kann hier auch der gewünschte Zeitraum voreingestellt werden. Weiters kann zwischen atomaren Werten (Rohdaten) und arithmetischen Mittelwerten (mit verschiedenen Aggregationsintervallen, wie Halbestunde, Stunde, Tag, Woche und Monat) unterschieden werden. Zusätzlich zu den Messspektren des Spektrometers besteht die Möglichkeit, sich weitere, sogenannte Zusatzparameter (maximal sechs), aus der Datenbank zu exportieren. Dadurch kann über einen gewünschten Zeitraum eine vollständige Auflistung aller Messwerte generiert werden, welche in weiterer Folge die Basis für eine weitergehendere Auswertung darstellen kann.

| Auswertung            |                      | Konfiguration        |                         | DFÜ                        | Daten |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|-------|
| Benutzer              | Rollen               | Untersuchungsgebiete | Probenahmestellen       | Probenahmestellenparameter |       |
| Messstationen         | Kommunikationskanäle | Sonden               | Einheiten               | Parameter                  |       |
| Plausibilitätsgrenzen | Stationszustände     | Systemzustände       | Visualisierungsoptionen | Bereitschaftsdienst        |       |
| Dienstzuteilung       | Überwachung          |                      |                         |                            |       |

**Konfiguration**

Letzte Aktion:  
EMCS v1.1rc2, © 2002-2003 by xS+S

Angemeldet als: wedenig @ Produktionssystem (UG Admin (CSOs))  
Session gültig bis 06.02.2004 16:13 (Abmelden)

**Abb. 3.3 Hauptmenü der IMW-Messnetzzentrale mit Untermenü Konfiguration**

### 3.1.3.2 Internetdarstellung (öffentliche Auswertung)

Neben der bereits erwähnten Möglichkeit sich am Zentralserver oder an einem der beiden Auswerteserver als interner Benutzer anzumelden und mit Hilfe der Funktion Auswertung/Diagramme zu arbeiten, gibt es auch die Möglichkeit der „Öffentlichen Auswertung (Liniendiagramme)“, welche uneingeschränkt für jeden Interessierten zugänglich ist. Neben dem Zentralserver (<http://imw-zentralserver.iwag.tuwien.ac.at>) kann dies auch über einander beiden Auswerteserver (z.B. DB-Server Graz unter <http://imw-dbserver.tugraz.at>) erfolgen.

Dem Anwender bietet sich hier die Möglichkeit, beliebig viele Messreihen für jeweils zwei Parameter (aufgeteilt auf zwei Y-Achsen) in einem Diagramm darzustellen. Neben den gewünschten Parametern, können auch der Zeitbereich, die Skalierung und die Wertebasis individuell verändert werden.

In Abbildung 3.4 ist neben dem Verlauf der Durchflüsse  $Q_{\text{inflow}}$  (grüne Linie) und  $Q_{\text{spillflow}}$  (blau) auch der Parameter  $\text{COD}_{\text{tot}}$  (rot dargestellt) für die Dauer eines Tages (09.06.2003) dargestellt.

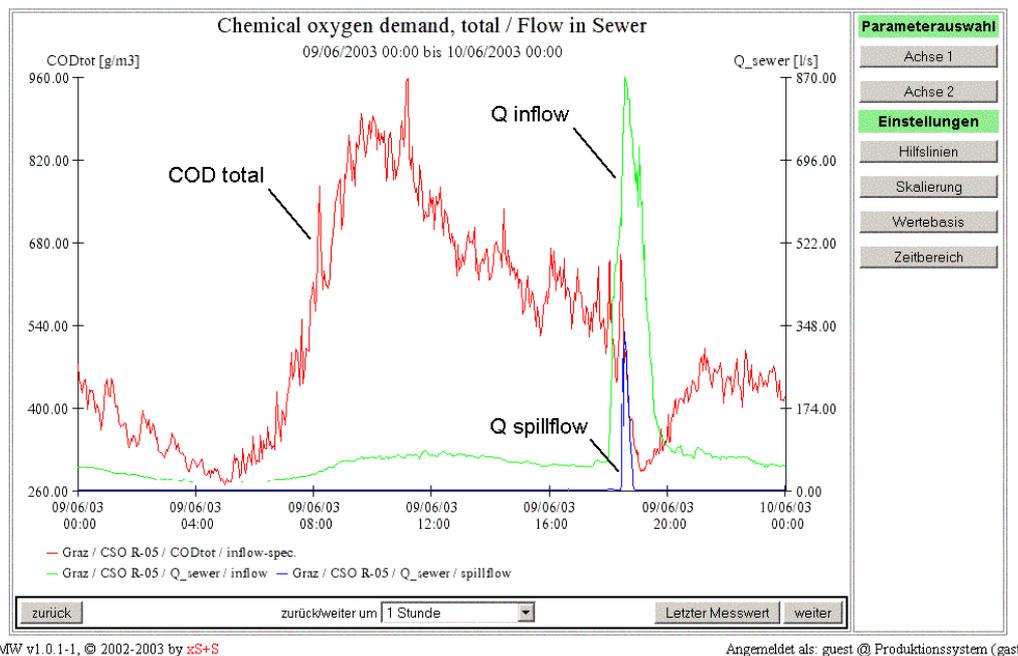


Abb. 3.4 Öffentliche Auswertung eines Tagesganges inklusive eines Entlastungsereignis

### **3.2 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 (combined sewer overflow) bezüglich ihres Standortes und Aufbaues beschrieben. Weiters wird auf einige Betriebserfahrungen und auch auf die Validierung der erhaltenen Online-Messdaten eingegangen.

#### **3.2.1 Standort**

##### **Anforderungen:**

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

- Mischwasserentlastung ohne Vorentlastungen
- Zugänglichkeit und Platz für das Aufstellen eines Messcontainers für die Unterbringung der nicht explosionsgeschützten elektronischen Geräte
- Vorhandensein der erforderlichen Infrastruktur (Strom, Wasser, Internetbandanbindung)
- 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 v. Suttner Friedensbrücke (siehe Abbildung 3.5) gewählt.

Ein weiterer äußerst positiver Aspekt des gewählten Standortes ist, dass der Gebäudekomplex in unmittelbarer Nähe des Containers die Heizungszentrale eines Möbelhauses beinhaltet, aus dem 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 351 ha auf, in welchem ca. 13.000 Personen leben bzw. arbeiten. Eine genauere Betrachtung des Einzugsgebietes wurde in einer weiteren Diplomarbeit (Haring, P., 2004) an der TU-Graz im Rahmen des IMW-Projektes behandelt.

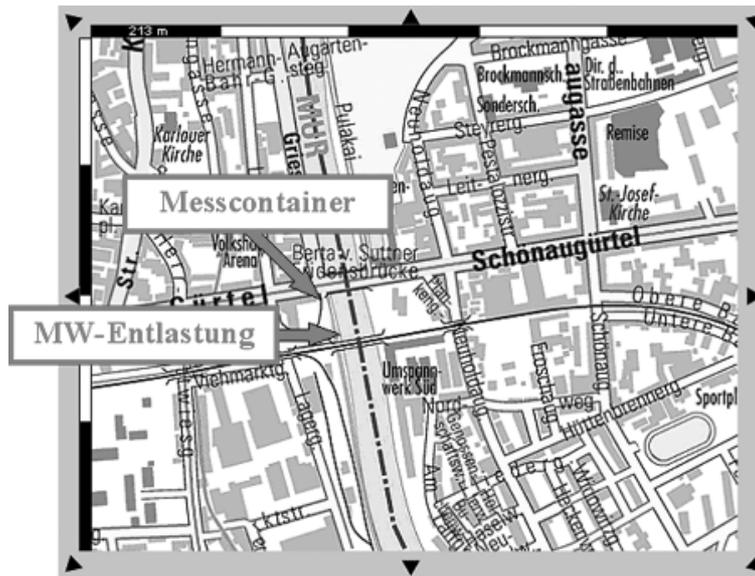


Abb. 3.5 Standort des Messstation Graz mit der zugehörigen Mischwasserentlastung in die Mur

### 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. 90m.

Wie in Abbildung 3.6 ersichtlich mündet die Drosselstrecke nach ca. 3 m in einen der großen Hauptsammler des Kanalnetzes von Graz, welcher die Zugänglichkeit zur Mischwasserkammer erschwert, da er diese durchkreuzt. 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. 90m langen Entlastungskanal ist auf Grund der geltenden Sicherheitsbestimmungen für den Einstieg in Kanalisationsanlagen nicht zulässig.

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.

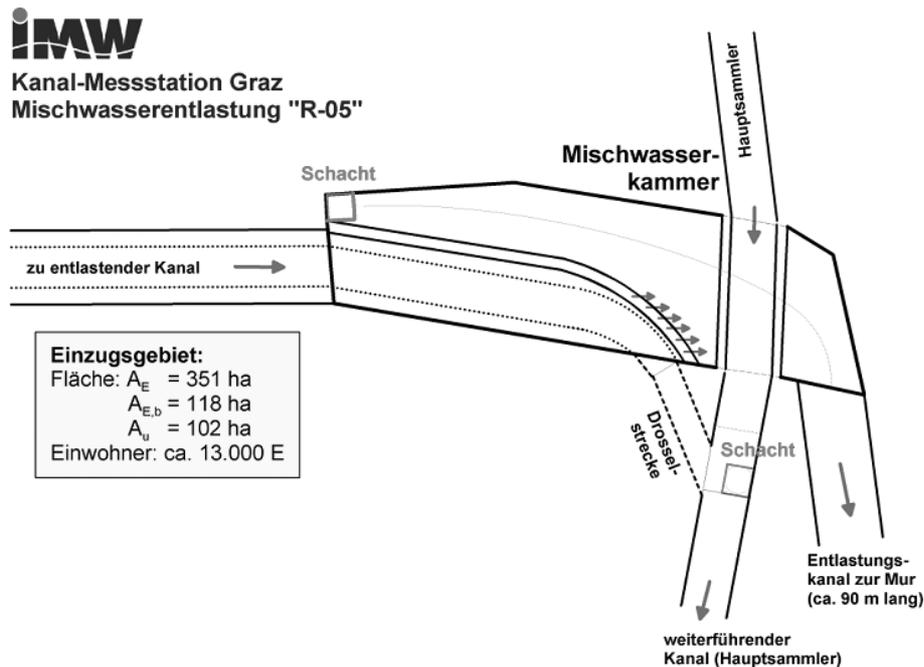


Abb. 3.6 Geometrie des Mischwasserüberlaufbauwerkes der Messstation Graz

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurden die anfallenden Daten stündlich über eine GSM-Verbindung vom Zentralserver abgerufen. Im März 2003 wurde jedoch direkt im Kanal ein ca. 200 m langes Glasfaserkabel zum benachbarten Veterinäramt der Stadt Graz verlegt, wodurch es möglich wurde, einerseits die Daten kostengünstiger und schneller in die Messnetzzentrale zu überspielen und andererseits das von der Kamera am Videorecorder anstehende Videosignal über einen Videosever der TU-Graz ins Internet „zustreamen“ und damit auch allgemein zugänglich zu machen.

### 3.2.2 Aufbau der Messstation

#### 3.2.2.1 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 3.7.

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

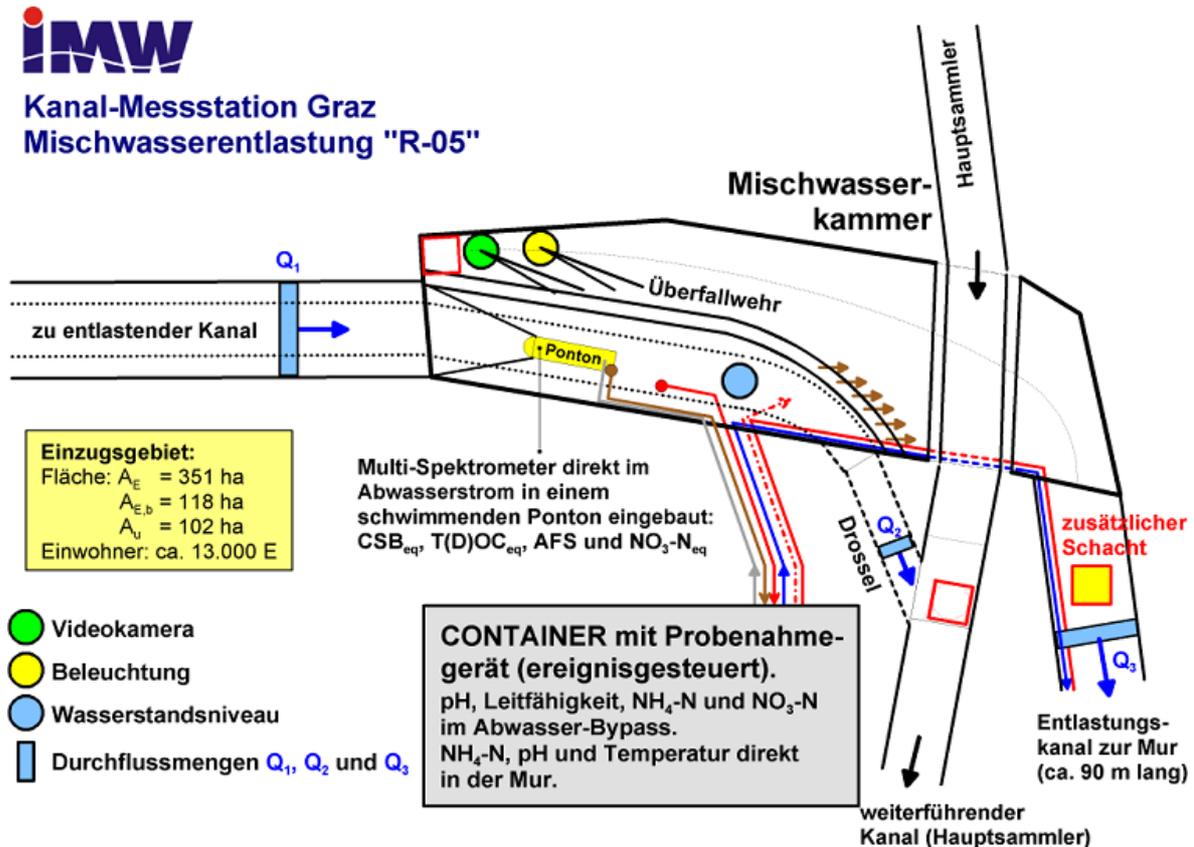


Abb. 3.7 Übersicht über die installierten Mess- bzw. Überwachungssysteme

### 3.2.2.2 Messtechnische Einrichtungen

#### Ponton mit eingebautem Multi-Spektrometer

Zentraler Sensor der Online-Messstation Graz ist die Multi-Spektrometer-Sonde der Firma s::can. Mit Hilfe dieser Sonde werden nicht, wie bei konventionellen spektrometrischen Laboruntersuchungen üblich nur die Absorption bei einer bestimmten Wellenlänge gemessen (wie z.B. photometrischen Bestimmung von Ammonium-Stickstoff), sondern ein ganzes Absorptionsspektrum im Wellenlängenbereich 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 gegenüberliegenden 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 einiger Abwassersummenparameter ( $CSB_{eq}$ ,  $AFS_{eq}$  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 und parallel dazu mit Hilfe der entsprechenden Kalibrationen (darauf wird im Kapitel 3.3.4 noch näher eingegangen) die Konzentrationen. Zur besseren Übersichtlichkeit wird in der

vorliegenden Arbeit bei den Spektrometer-Messwerten der Index „eq“ hinzugefügt, um eine Unterscheidung zu den Laborwerten zu ermöglichen.

Mit Hilfe von Seilabspannungen von der Decke und den Wänden der Mischwasserkammer wird das Ponton bei Trockenwetterabfluss wenige Zentimeter über der Sohle bzw. im Mischwasserfall im Bereich der Überlaufschwelle fixiert. Damit ist es auch möglich, die Konzentrationen der in die Mur abgeschlagenen Wassermengen onlinemäßig zu erfassen.

Die Abbildungen 3.8 und 3.9 zeigen einen Querschnitt durch das im Kanal schwimmende Ponton sowie die Installation des Pontons im Kanal.

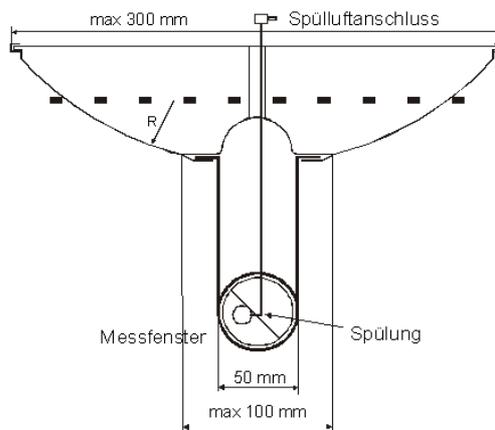


Abb. 3.8 Schnitt durch das Ponton

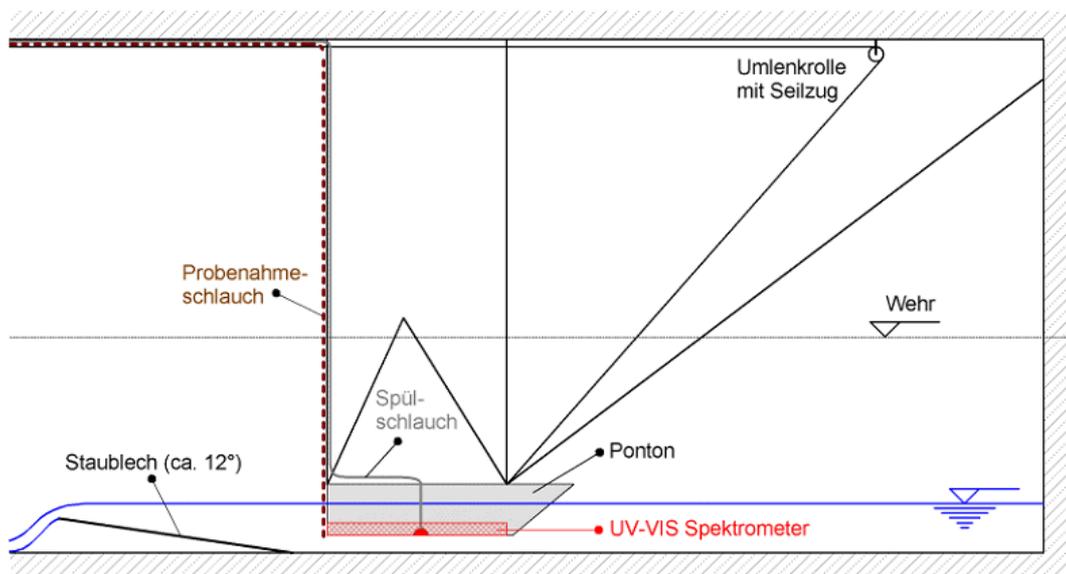


Abb. 3.9 Ansicht des Pontons im Kanal inkl. Stablech

### Ionenselektive Sonden, Bypass

Neben den Spektrometer-Parametern wurde versucht, zusätzlich auch noch einige Parameter mit Ionen-selektiven Sonden der Firma Nadler kontinuierlich zu messen. Diese verfügen jedoch über keine ausreichende Explosionsschutz-Zertifizierung, was zur Folge hatte, dass aus dem Kanal zusätzlich auch noch ein Bypass installiert werden musste. Durch diesen kann aus dem Kanal über einen Saugschlauch Abwasser in den Container gesaugt werden, über eine mit den Ionen-selektiven Sonden bestückte Messstrecke geführt und anschließend über ein weiteres 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 Spülung dieser Sonden erfolgt mit Wasser. Tabelle 3-1 zeigt die im Bypass installierten Sensoren.

**Tab. 3-1 Online-Messwerte des Bypass-Systems**

| Parameter                   | Bezeichnung in der MNZ         | Messsystem      |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|
| $Q_{\text{bypass}}$ [l/min] | Flow in Bypass                 | MID             |
| LF [ $\mu\text{S/cm}$ ]     | Leitfähigkeit                  | Elektrochemisch |
| T1 [°C]                     | bypass-T1 (Temperatur)         |                 |
| T2 [°C]                     | bypass-T2 (Temperatur)         |                 |
| pH [1]                      | pH-Wert                        | PH-Elektrode    |
| NH <sub>4</sub> -N [mg/l]   | Ammonium Nitrogen              | Ionen-selektiv  |
| NO <sub>3</sub> -N [mg/l]   | Nitrate nitrogen   bypass-ion. | Ionen-selektiv  |

### Durchflussmeseinrichtungen im Kanal

Um Schmutzfrachten zu ermitteln, sind neben Konzentrationen auch Durchflussmessungen der entsprechenden Ströme erforderlich. In Abb. 3.7 wurden bereits die drei Durchflussmengen  $Q_1$  (Zufluss zur Mischwasserkammer, inflow),  $Q_2$  (Durchfluss in der Drossel, outflow) und  $Q_3$  (Entlastungsdurchfluss, spillflow) graphisch dargestellt. Um eine vollständige hydraulische Bilanzierung aufstellen zu können, müsste man alle drei Durchflüsse messtechnisch erfassen.

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 zugehörige Geschwindigkeit wird mit Hilfe des sogenannten Radar-Doppler-Verfahrens ermittelt. Voraussetzung zur Ermittlung einer Geschwindigkeit mit diesem Verfahren ist das Vorhandensein von Oberflächenwellen, an denen die ausgesendeten Wellen reflektiert werden. Dies führte vor allem in den Nachtstunden bei kleinen Durchflüssen zu fehlenden Messwerten. Die entlastete

Durchflussmenge wird mittels einer Ultraschall-Kreuzkorrelations-Sonde mit externem Höhenstandssensor gemessen. Leider ist es bis dato noch nicht möglich gewesen den weiterführenden Drosselabfluss messtechnisch zu erfassen.

Mit beschriebenen zwei erfassten Durchflüssen kann zwar die weiterführende Wassermenge durch Differenzbildung der beiden ermittelt werden, was jedoch auf Grund der beiden fehlerbehafteten Messgrößen nur zu einer groben Abschätzung des Drosselabflusses führen kann.

#### **Mursonde**

Da die gesamte Telemetrie für die Kanalmessungen vor Ort vorhanden war, hat man sich auch dazu entschlossen zusätzlich eine Art Gewässer-Monitoring-Messstelle an der Mur zu betreiben. In unmittelbarer Nähe der Ausleitung des Entlastungskanals in die Mur befindet sich die zentrale Schneeabwurfstelle der Grazer Wirtschaftsbetriebe, welche sich hervorragend zur Installation eines weiteren SONDENSYSTEMS eignete. Neben der Gewässertemperatur und dem pH-Wert wird hiermit Hilfe einer weiteren Ionen-selektiven Sonde der Ammonium-Stickstoff online gemessen. Um diese Sonden vor Treibgut und Ähnlichem zu schützen, wurden sie von einem Stahlkorb geschützt und an der Schneeabwurfstelle befestigt.

#### **3.2.2.3 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 in der Messstation einerseits die Steuerung der angeschlossenen Geräte (Sonden, Videorekorder, Schweinwerfer und Probenehmer) und andererseits die Auswertung und Speicherung der erfassten Messdaten sowie in weiterer Folge die Übertragung dieser in die Messnetzzentrale über GSM bzw. Internet.

#### **Zusätzliche Arbeitsstation vor Ort**

Der oben erwähnte Industrie-PC lässt sich mit einer normalen Arbeitsstation „Remote“ verbinden, wodurch das händische Navigieren und Eingeben von Daten über den Touch-Screen des con::stat entfallen kann. Da es außerdem möglich ist auf diese Arbeitsstation auch von extern zuzugreifen, ist eine Fernsteuerung der Station auch vom Institut aus gegeben. Des Weiteren sind auf dieser Arbeitsstation die gängigen Microsoft Office Anwendungen installiert, wodurch eine Protokollierungsmöglichkeit und auch über dementsprechende Programme (ftp) eine Möglichkeit zum zusätzlichen Datentransfer gegeben ist.

Weiters übernimmt diese Arbeitsstation auch das Übertragen des Videosignals ins Internet.

#### **Video**

Das Videosignal der Videokamera im Inneren der Mischwasserkammer wird einerseits mit Hilfe des Breitband-Internetanschlusses ins Internet „gestreamt“ und andererseits können damit mit Hilfe eines Videorekorders ereignisgesteuerte Videos aufgenommen werden. Der Videorekorder im Messcontainer schaltet sich zusammen mit einem 500W-Scheinwerfer im Kanal ab einer definierten Wasserstandshöhe ( $H_{\text{chamber}}$ ) ein. Dadurch ist es möglich alle Entlastungsereignisse auf Video aufzunehmen. Voraussetzung hierfür ist das zeitgerechte Wechseln der einzelnen Videobänder.

#### **Probenahmegerät**

Das Probenahmegerät der Firma Sigma ist über einen ca. 10 m langen Schlauch direkt mit dem Heck des Pontons verbunden. Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass annähernd ähnliche Abwasserqualitäten gezogen werden, wie sie dem am Messfenster der Spektrometersonde vorbeifließenden Mediums entsprechen. Die Installation des Probenehmers hat den großen Vorteil, dass man für das Ziehen von Referenzproben nicht in den Kanal einsteigen muss. Außerdem ist es damit auch möglich, durch Ansteuerung über den Industrie-PC ereignisgesteuerte Proben zu ziehen, d.h. es wird ab einem gewissen Wasserstand die Probenahme gestartet. Damit konnten über die Sommermonate 2003 hinweg zu insgesamt 13 Überlaufereignissen Referenzprobensätze (á 23 Einzelproben) gezogen und anschließend im Labor analysiert werden.

#### **Pumpe**

Wie bereits erwähnt, war es auf Grund der nicht mit Explosionsschutz erhältlichen Sensoren erforderlich, eine Bypassleitung in den Messcontainer zu führen. Hierfür war es erforderlich, eine Pumpe zu installieren, welche die Saughöhe (inklusive Verluste) von ca. 6 m überwinden kann. Die Wahl fiel auf eine explosionsgeschützte Peristaltikpumpe mit regelbarer Durchflussmenge. Im Falle von kleineren Verzopfungen im Saugschlauch ermöglicht die Pumpe auch eine Rückspülung.

#### **Kompressor**

Sowohl die s::can-Sonde als auch die Ionen-selektiven Elektroden bedürfen einer regelmäßigen Spülung. Dies geschieht im Falle der s::can-Sonde mit Hilfe des Mediums Luft. Der Spüldruck (ca. 5 bar) wird mit Hilfe eines Kompressors zur Verfügung gestellt. Gesteuert wird die Spülung durch den schon beschriebenen 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 Ionen-selektiven Sonden in der Mur wurden ebenso mit Luft gespült, jene im Bypass installierten Sonden werden allerdings mit Wasser gespült.

#### **Höhensensor (H3) des Kanalbauamtes**

Zusätzlich zu den beiden Durchflussmessgeräten wurde vom Kanalbauamt der Stadt Graz ein weiterer Höhengensensor in der Mischwasserkammer installiert. Dieser soll auch nach Beendigung des Forschungsprojektes in der Kammer installiert bleiben und zumindest die Dauer und Häufigkeit von Entlastungsereignissen liefern. Mit Hilfe dieses Höhenstandssensors werden der Videorekorder und der Scheinwerfer höhenstandsabhängig, also ereignisgesteuert, ein bzw. ausgeschaltet.

### **3.2.3 Betrieb der Messstation**

In diesem Unterkapitel sollen kurz einige Erfahrungen und Schwierigkeiten beim Betrieb der Messstation Graz dargestellt werden. Die Überlegungen stammen teils aus Berichten und Besprechungen des gesamten in Graz beteiligten Teams, aber auch aus bei der Mitarbeit gewonnenen eigenen Erfahrungen.

#### **3.2.3.1 Ponton**

Eines der größten Probleme zu Beginn der Messungen war es, dass das Ponton nach einem Regenereignis nicht mehr von selber in die Trockenwetterrinne zurückgefunden hat und auf der außenseitigen Perme liegen geblieben ist. Um dies zu verhindern, d.h. um zu gewährleisten, dass das Ponton immer wieder selbstständig mit dem fallenden Wasserspiegel zurück in die Abwasserrinne gelangt, wurde eine seitliche Abhängung des Pontons installiert. Die folgenden beiden Abbildungen dienen zur Veranschaulichung der Problematik.



**Abb. 3.10** Lage des Pontons nach einem Regenereignis



**Abb. 3.11** die adaptierte seitliche Seilabspannung

Da das Ponton bei niedrigen Wasserständen mit seinem Kiel knapp über der Kanalsohle schwamm, kam es bei geringeren Durchflüssen immer wieder zu Verzopfungen und Anlandungen. Zur Behebung dieser war es immer notwendig, dass jemand in den Kanal eingestiegen ist, um das Ponton hochzuheben und die gegebenenfalls die Verzopfungen und Anlandungen zu beseitigen. Eine erste Verbesserung dieser Situation konnte mit einem Seilzug bewerkstelligt werden, wodurch die Verzopfungen unterhalb des Pontons problemlos aus dem Messcontainer an der Oberfläche durch einfaches „Zupfen“ an einem Stahlseil beseitigt werden konnten. Dies erleichterte zwar die Wartungsarbeiten, da das Einsteigen in den Kanal entfiel, allerdings war ein beinahe täglicher Aufenthalt vor Ort nicht vermeidbar. Aus diesem Grund wurde schließlich ein Staublech in einem Winkel von  $12^\circ$  stromabwärts des Pontons eingebaut mit dem Zweck, einen kleinen Aufstau im Bereich des Pontons zu erzeugen und somit die Möglichkeit einer Verzopfung hintanzuhalten (siehe Abb. 3.9). Unbewusst ergab sich dadurch ein weiterer positiver Aspekt, da es durch die turbulenteren Strömung nach dem Staublech zu keinen Fettablagerungen im Bereich des Drosseleinlaufes mehr kommt.

#### **3.2.3.2 Bypass**

Wie bereits erwähnt, war es auf Grund der fehlenden Explosionsschutz-Zertifizierung einiger Sonden notwendig, einen Bypass aus dem Kanal in den Messcontainer zu führen. Dieser wurde ähnlich der Probenahme ereignisgesteuert betrieben, d.h. ab einem Wasserstand von 40 cm sollte Abwasser aus dem Kanal durch die Messarmaturen durchgepumpt und anschließend wieder in den Kanal zurückgeleitet werden. Der vorerst gewählte Ansaugpunkt im Kanal befand sich direkt vor dem Einlauf der Drosselstrecke. Es zeigte sich aber, dass es an dieser Stelle und vor allem durch die Anordnung des Ansaugschlauches sehr leicht zu Verzopfungen kam. Aus diesem Grund wurde der Bypass in die unmittelbare Nähe des Pontons verlegt und der Ansaugpunkt nicht mehr direkt in der Trockenwetterrinne installiert, sondern in die Perme integriert, um die Gefahr einer Verzopfung im Ansaugbereich zu vermeiden. Die beiden Abbildungen Abb. 3.12 und Abb. 3.13 zeigen die anfängliche und derzeitige Lage des Bypasses im Kanal. Leider kam es durch die Abwasserbestandteile wie Fäkalteilchen, Sandkörner, Zigarettenstummel und Ähnlichem immer wieder zu Verstopfungen in den Messarmaturen. Dieser Umstand führte unter anderem auch dazu, dass es zu Rissen in den Schläuchen und in Folge daraus zu einer erheblichen Verunreinigung des Messcontainers kam. Die Reinigung der Messarmaturen von den erwähnten Bestandteile ist neben einer zeitaufwendigen, auch eine nicht gerade angenehme Tätigkeit. Zur Lösung dieses Problems wird gerade ein

Prototyp einer alternativen Anordnung der Messarmaturen durch die Mitarbeiter des Institutes entwickelt.

Da der Bypassschlauch wie bereits erwähnt regelmäßig mit Wasser gespült wurde, befanden sich die Ionen-selektiven Sonden zumeist in reinem Wasser. Die Ergebnisse der Laborreferenzanalysen lassen den Rückschluss zu, dass dieser Umstand einen erheblichen Einfluss auf die Messwerte hatte.



**Abb. 3.12** Anfänglicher Ansaugpunkt des Bypasses



**Abb. 3.13** Bypass neu, Staublechströmung und ausgebaute s::can-Sonde

#### 3.2.3.3 Protokollierung

Auf Basis eines bereits vorhandenen Protokolls wurde eine MS Access-Datenbank mit einer einfach zu bedienenden Eingabemaske erstellt. Regelmäßige Tätigkeiten, wie das Wechseln von Videobändern oder das Transportieren von Proben ins Labor, sind damit durch simples Markieren mit geringem Zeitaufwand für die Protokollierung möglich. Dieses *Digitale Wartungsbuch* befindet sich direkt auf der Arbeitsstation im Messcontainer, wodurch der Arbeitsaufwand einer späteren Übertragung erheblich minimiert wurde. Um eine Sicherung dieser Daten zu gewährleisten, wird diese Datenbank in regelmäßigen Abständen auf den Server des Institutes gesichert. Das erwähnte Eingabeprotokoll ist in Abbildung 7.1 ersichtlich.

Durch das Einführen dieser Datenbank ist es zu jeder Zeit möglich, eine chronologische Zusammenstellung diverser baulicher Veränderungen bzw. Wartungstätigkeiten wie z.B. Reinigung des Pontons zu erstellen.

Weiters hat es sich als nützlich erwiesen, dass alle gezogenen Proben eine Art „Reisepass“ mit auf den Weg bekommen. Dieser soll den Werdegang der Probe von der Aktivierung des Probenehmers bis zur Analyse im Labor mitdokumentieren. Dieses Instrument unterstützt die Qualitätssicherung im Labor, da damit mitprotokolliert wird wer, was, wann und wie gemacht hat. Abb. 7.2 zeigt den Aufbau des verwendeten Proben-Reisepasses.

Wie bereits erwähnt wurden Videoaufzeichnungen von Entlastungsereignissen bzw. Regenereignissen in Abhängigkeit des Wasserstandes in der Mischwasserkammer gemacht. Zusätzlich hat es sich auch als nützlich erwiesen, gewisse bauliche Änderungen und besondere Ereignisse (wie z.B. das Auftreten einer optischen Veränderung des Abwasserstroms) über die in der Kammer installierte Kamera festzuhalten. Dadurch kam es zu einer Ansammlung von zur Zeit 16 Videotapes (à 240min). Um eine lückenlose Dokumentation zu ermöglichen, war es notwendig dieses gesamte Videomaterial aufzuarbeiten. Es wurde ein Videoverzeichnis angelegt, indem detaillierte Aufzeichnungen von Anfang und Ende jeder aufgenommenen Sequenz mittels Datum, Uhrzeit und auch Zählerstand des Videorekorders inklusive einer optischen Beschreibung des Aufgezeichneten geführt wurden. Dadurch wurde die Suche nach bestimmten Videosequenzen erheblich erleichtert und eine zusätzliche chronologisch gereichte Projektsbeschreibung erreicht.

### 3.2.4 Validierung der Online-Messungen

Eine in der Messtechnik weit verbreitete Meinung lautet „Wer misst, misst Mist!“<sup>7</sup>. Um gerade diesem Spruch nicht gerecht zu werden, müssen bei jeder Art von Messung die Messwerte stets kritisch hinterfragt bzw. validiert werden. Im Rahmen der Messstation Graz geschah bzw. geschieht das auf zwei im folgenden näher beschriebene Arten.

#### 3.2.4.1 Labor-Vergleichsmessungen

Zu Beginn des Sommers 2003 stellte sich die grundsätzliche Frage, in wie fern sich die online gemessenen Werte von den konventionell im Labor analysierten Proben unterscheiden. Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, wurde das Probenahmegerät so getriggert, dass ab einer Wasserstandshöhe von 70 cm die Probenahme gestartet wurde. Dies bedeutet, dass der Reihe nach 23 Flaschen mit einem Volumen von ca. 900 ml Probevolumen (schwankt auf Grund des Feststoffgehaltes des angesaugten Abwassers) aus dem Kanal befüllt wurden. Mehrere Versuche haben gezeigt, dass das Probenahmegerät zum Füllen einer Probeflasche im allgemeinen ca. 80 Sekunden benötigt (inkl. Schwenken des Füllarmes), dies ist für die zeitliche Zuordnung von großer Bedeutung, da das Probenahmegerät selbst nur den Startzeitpunkt der Probenahme speichert. Parallel dazu misst die Spektrometersonde (ebenso getriggert ab  $H_{\text{chamber}} = 70\text{cm}$ ) bereits im Intensivintervall von einer Minute.

In den Monaten Juni, Juli und August konnten damit bei 13 Entlastungsereignisse insgesamt 299 Einzelproben gezogen und im Labor analysiert werden. Neben den Parametern Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), Nitratstickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) wurden auch der Trockensubstanzgehalt (TS) und der homogenisierte chemische Sauerstoffbedarf ( $\text{CSB}_{\text{hom}}$ ) der Laboranalysen mit den Online-Messwerten verglichen. Ein Beispiel dieses Vergleichs ist in Tabelle Tab. 3-2 für ein Mischwasserüberlaufereignis am 24. Juni 2003 dargestellt. Die Probenahme startete um 20<sup>31</sup> und endete um ca. 21<sup>00</sup>. Deutlich erkennbar ist, dass die Online-Werte für  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{NO}_3\text{-N}$  erhebliche Differenzen zu den Laborwerten aufwiesen. Bei den Trockensubstanzgehalten und auch bei den  $\text{CSB}_{\text{hom}}$ -Werten ist zu erkennen, dass einige Messwerte relativ geringe Abweichungen aufweisen. Bei anderer Werten ergeben sich aber erhebliche Differenzen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Spektrometersonde mit der von der Firma voreingestellten globalen Kalibration gemessen hat. Ähnliches gilt für den in Abb. 3.14 graphisch dargestellten Vergleich von CSB und AFS für ein Ereignis vom 27.06.2004 (die Probenahme startete hier um 12<sup>15</sup>).

---

<sup>7</sup> Quelle und Autor unbekannt

Diese Vergleichsmessungen führten dazu, dass in weiterer Folge in mehreren Messkampagnen versucht wurde, diese Werkseinstellungen (globale Kalibration) an die vorhandene Abwassermatrix in Graz anzugleichen (lokale Kalibration).

**Tab. 3-2 Vergleich der Online-Messwerte mit den Laboranalysen am Beispiel des Überlaufereignisses vom 13.06.2003**

| Startzeit<br>Proben- | Proben- | NH4-N           |                  | NO3-N           |                  | TS              |                  | CSB <sub>hom</sub> |                  | CSB <sub>memf.</sub> |                  |
|----------------------|---------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|------------------|
|                      |         | Labor<br>[mg/l] | Nadler<br>[mg/l] | Labor<br>[mg/l] | Nadler<br>[mg/l] | Labor<br>[mg/l] | s::can<br>[mg/l] | Labor<br>[mg/l]    | s::can<br>[mg/l] | Labor<br>[mg/l]      | s::can<br>[mg/l] |
| 16:36:00             | 1       |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                    |                  |                      |                  |
| 16:37:20             | 2       | 7,050           | 0,53             | 1,830           | 0,524            | 417             | 425              | 488                | 629              | 203                  | 45               |
| 16:38:40             | 3       | 6,570           | 0,53             | 2,050           | 0,510            | 473             | 389              | 488                | 573              | 188                  | 42               |
| 16:40:00             | 4       | 6,075           | 0,46             | 1,970           | 0,546            | 535             | 353              | 449                | 527              | 185                  | 41               |
| 16:41:20             | 5       | 5,740           | 0,48             | 2,050           | 0,540            | 417             | 353              | 410                | 527              | 186                  | 38               |
| 16:42:40             | 6       | 5,470           | 0,50             | 1,940           | 0,539            | 471             | 344              | 390                | 513              | 179                  | 35               |
| 16:44:00             | 7       | 5,440           | 0,50             | 2,110           | 0,534            | 453             | 345              | 390                | 526              | 187                  | 38               |
| 16:45:20             | 8       | 5,900           |                  | 2,190           |                  | 500             |                  | 410                |                  |                      | 39               |
| 16:46:40             | 9       | 5,580           | 0,45             | 2,290           | 0,557            | 454             | 322              | 410                | 517              | 187                  | 38               |
| 16:48:00             | 10      | 5,660           | 0,44             | 2,070           | 0,557            | 483             | 315              | 429                | 506              | 183                  | 39               |
| 16:49:20             | 11      | 5,470           | 0,45             | 1,890           | 0,548            | 493             | 402              | 410                | 504              | 152                  | 38               |
| 16:50:40             | 12      | 5,300           | 0,44             | 1,780           | 0,538            | 435             | 325              | 390                | 295              | 61                   | 35               |
| 16:52:00             | 13      | 5,200           | 0,41             | 1,760           | 0,568            | 425             | 876              | 449                | 810              | 74                   | 33               |
| 16:53:20             | 14      | 4,820           | 0,39             | 1,230           | 0,560            | 431             | 622              | 153                | 820              | 192                  | 40               |
| 16:54:40             | 15      | 8,420           | 0,40             | 0,590           | 0,555            | 843             | 460              | 647                | 649              | 165                  | 67               |
| 16:56:00             | 16      | 13,520          | 0,40             | 0,200           | 0,545            | 761             | 415              | 1271               | 593              | 157                  | 75               |
| 16:57:20             | 17      | 7,920           |                  | 1,510           |                  | 1078            |                  | 570                |                  |                      | 44               |
| 16:58:40             | 18      | 6,440           | 0,38             | 1,240           | 0,573            | 938             | 331              | 460                | 474              | 134                  | 36               |
| 17:00:00             | 19      | 5,420           | 0,37             | 1,260           | 0,570            | 963             | 316              | 405                | 453              | 128                  | 32               |
| 17:01:20             | 20      | 5,000           | 0,39             | 1,230           | 0,560            | 766             | 294              | 328                | 420              | 122                  | 29               |
| 17:02:40             | 21      | 3,960           | 0,38             | 1,340           | 0,552            | 803             | 290              | 339                | 415              | 120                  | 26               |
| 17:04:00             | 22      | 3,400           | 0,38             | 1,340           | 0,584            | 719             | 278              | 328                | 391              | 115                  | 34               |
| 17:05:20             | 23      | 3,300           | 0,58             | 1,160           | 0,360            | 759             | 258              | 339                | 372              | 112                  | 21               |
| 17:06:40             | 24      | 3,000           | 0,57             | 1,250           | 0,373            | 746             | 249              | 317                | 361              | 110                  | 21               |

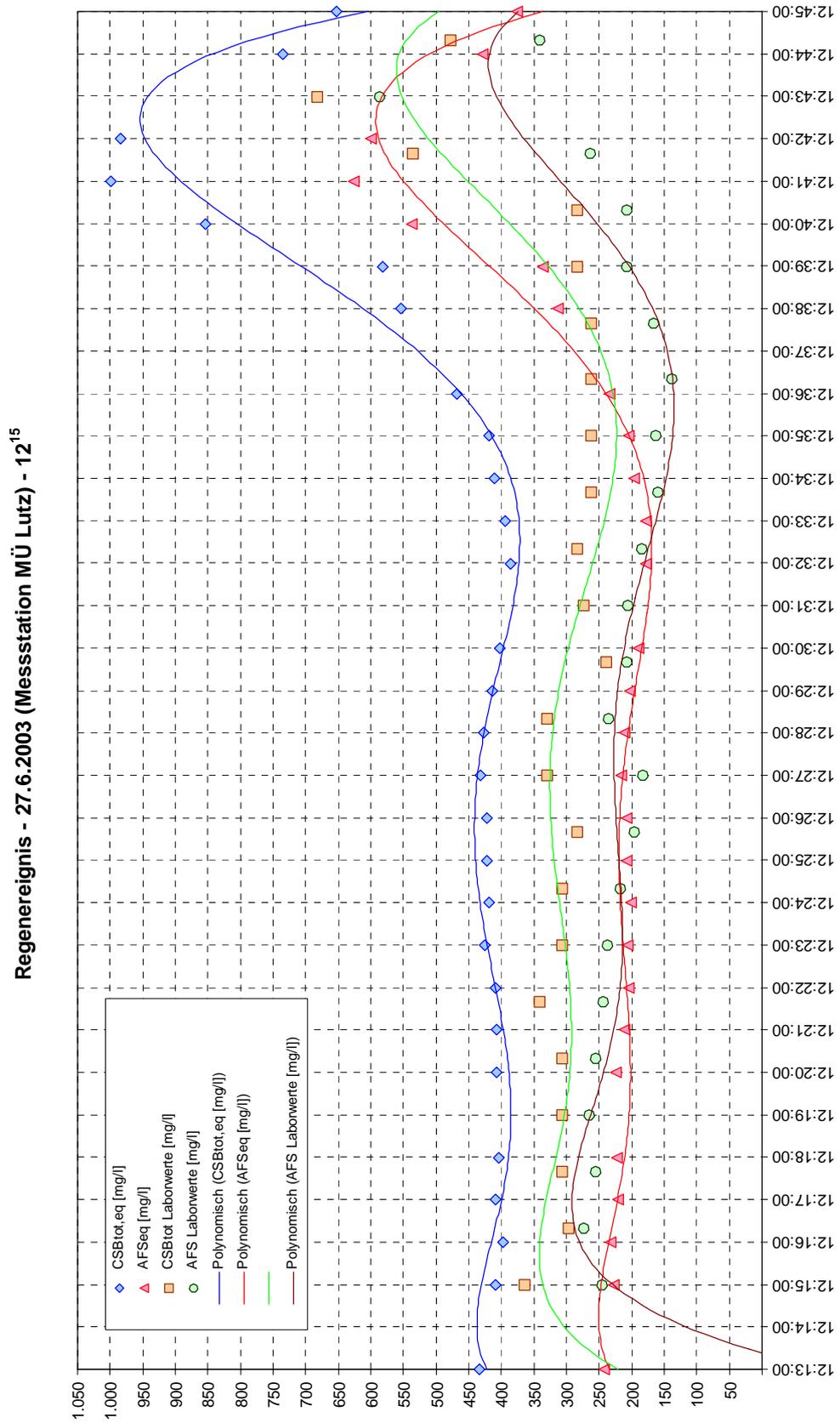


Abb. 3.14 Graphischer Vergleich der Online- mit den Labormesswerten am Beispiel des CSB und der AFS (HOCHEDLINGER 2004)

### 3.2.4.2 Verbesserung der lokalen Kalibration

#### **Globale und lokale Kalibration**

Die Schlagworte globale und lokale Kalibration sind bereits mehrmals gefallen. Welche Bedeutung kommt diesen beiden Begriffen nun eigentlich zu?

Auf Basis einer Vielzahl durchgeführter Untersuchungen ist es der Firma s::can gelungen, eine Art Werkseinstellung für die Spektrometersonden für verschiedene Abwassertypen zu finden, welche bezogen auf eine durchschnittlich kommunale Abwassermatrix zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Die Zusammensetzung des Abwassers eines bestimmten Einzugsgebietes setzt sich aber aus einer Vielzahl von Faktoren (wie z.B. angeschlossene Industrie, Indirekteinleiter, etc.) zusammen und kann kaum mit „durchschnittlich kommunal“ zusammengefasst werden. Es ist also zumeist erforderlich, diese globale Kalibration an die jeweilige Abwassermatrix anzupassen. Und genau dies geschieht durch die sogenannte „lokale Kalibration“. Hierbei werden parallel zur spektrometrischen Messung auch sogenannte ID-Proben gezogen und danach im Labor untersucht. Mit Hilfe dieser, sowohl online gemessenen als auch im Labor analysierten ID-Proben, kann eine lokal verbesserte Kalibration der Spektrometersonde durchgeführt werden.

Um eine verbesserte lokale Kalibration, d.h. eine an die lokal vorhandene Abwassermatrix besser angepasste Kalibration zu erhalten, wurden im Fall der Messstation Graz zwei 24-Stunden-Messkampagnen durchgeführt. Der Zyklus von 24 Stunden wurde gewählt, um die Abwasserdynamik eines gesamten Tages erfassen zu können. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden stündlich die erwähnten IDs gezogen und im Labor des Institutes analysiert.

#### **Messkampagnen**

Ziel dieser beiden Messkampagnen im Sommer 2003 war es eine Kalibrations- bzw. ID-Datenbank mit ID-Proben zu erstellen bzw. zu erweitern. Grundlage dieser Datenbank stellen konventionelle Laboranalysen dar, welche mit Hilfe der Software den Spektrometerwerten gegenübergestellt werden. Die im Messcontainer gezogenen Proben wurden nach dem Transport ins Labor hinsichtlich folgender Parameter analysiert: TS, NO<sub>3</sub>-N, CSB<sub>hom</sub> und CSB<sub>memf</sub>. Zusätzlich zu diesen vier Parametern wurden bei der ersten der beiden Messkampagnen (7./8. Juli 2003) auch die spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254nm und 436nm (SAC254 bzw. SAC436) ausgewertet. Die diesbezüglichen Laboranalysen ergaben jedoch hierfür keine brauchbaren Ergebnisse, worauf bei der zweiten 24-Stunden-Messkampagne auf deren Bestimmung verzichtet wurde. Um Basiswerte für eine weitere Diplomarbeit zu erhalten, wurde bei dieser (zweiten) Messkampagne (3./4. September 2003) bei zwölf der 24 IDs der sogenannte BDOC (biogenic dissolved organic carbon) ebenfalls mitbestimmt. Dies

hatte zur Folge, dass ein sofortiger Transport der frisch gezogenen Probe ins Labor zu erfolgen hatte.

Eine detaillierte Auflistung der im Zuge der Kampagnen miterfassten Informationen zu den einzelnen IDs befindet sich im Anhang in der Tab. 7-1 zu dieser Arbeit beigelegt.

Der grobe Ablauf einer lokalen Kalibration samt zugehöriger ID-Probennahme soll im folgenden kurz beschrieben werden:

1) *Start der Probenahme*

Die Sempel-IDs wurden stündlich in einen entsprechend großen Messbehälter gezogen und anschließend in vorbereitete, beschriftete Transportbehälter umgefüllt.

2) *Aufnahme der Fingerprints mit mehreren Messungen (samples), während der gesamten Saugzeit des Probenahmegerätes*

Die während der Saugzeit des Probenahmegerätes aufgenommenen Fingerprints (d.h. Absorptionsspektren) wurden im Anschluss daran automatisch gemittelt und in der Kalibrationsdatenbank mit der zugehörigen ID-Nummer gespeichert.

3) *Transport der (ev. mit Schwefelsäure) stabilisierten Proben ins Labor*

Der erste Transport erfolgte bei der ersten Messkampagne nach zwölf gezogenen Proben d.h. nach zwölf Stunden, die weiteren nach Ziehen der letzten Probe nach 24 Stunden. In der Zwischenzeit wurden die mit Schwefelsäure auf  $\text{pH} < 2$  zusätzlich stabilisierten Proben im gekühlten Probenehmer gelagert. Da bei der zweiten Messkampagne bei den ersten zwölf Proben auch der BDOC gemessen wurde, war es erforderlich die einzelnen Proben sofort nach der Probennahme ins Labor zu transportieren und sie nicht mit Schwefelsäure zu konservieren.

4) *Analyse der Proben im Labor*

Die Erfahrungen dieser beiden Messkampagnen haben gezeigt, dass zur Absicherung der Referenzwerte eine Doppelbestimmung der Sample-IDs empfohlen wird.

5) *Eingeben der Laborwerte in die Kalibrationsdatenbank*

Nach Vorliegen der im Labor analysierten Parameter, wurden diese Referenzwerte in die Kalibrationsdatenbank vor Ort eingegeben. Ein Auszug aus der Kalibrationsdatenbank mit den bereits eingegebenen Laborwerten für die IDs 1 bis 20 ist in Abb. 3.15 dargestellt.

6) Durchführung der lokalen Kalibration

Die Software ana::pro erlaubt zwei unterschiedliche Durchführungen der lokalen Kalibration. Einerseits kann man bei der automatische Kalibration das Nichtberücksichtigen von Ausreißern der Software selbst überlassen oder diese andererseits manuell entfernen. Nach erfolgter Kalibration ist es erforderlich dieser einen Namen zu vergeben unter welchem die Kalibration danach abgespeichert wird. Weiters fragt die Software ab, ob diese neue Kalibration sofort aktiviert werden soll. Abb. 3.16 zeigt eine durchgeführte lokale Kalibration am Beispiel des homogenisierten CSBeq. Graphisch dargestellt ist die sehr gute, neue Kalibrationskurve samt dem zugehörigen Konfidenzintervall. Weiters ist ein Ausreißer-Messwert zuerkennen, welcher bei der automatischen lokalen Kalibration durch die Software automatisch entfernt wurde.

| S-ID | Date of Sample   | current name | TSSeq | NO3-Neg | CODeq  | CODteq | SAC254 | SAC436 | T   | Lf  |
|------|------------------|--------------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| 1    | 2003.07.07 18:01 | 280.00       | 5.06  | 763.00  | 188.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 2    | 2003.07.07 19:01 | 270.00       | 0.58  | 763.00  | 215.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 3    | 2003.07.07 20:01 | 274.00       | 0.56  | 964.00  | 237.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 4    | 2003.07.07 21:01 | 238.00       | 0.51  | 740.00  | 314.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 5    | 2003.07.07 22:01 | 226.00       | 0.61  | 673.00  | 233.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 6    | 2003.07.07 23:01 | 274.00       | 0.36  | 695.00  | 210.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 7    | 2003.07.08 00:01 | 170.00       | 0.31  | 606.00  | 188.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 8    | 2003.07.08 01:01 | 112.00       | 0.23  | 493.00  | 157.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 9    | 2003.07.08 02:01 | 80.00        | 0.33  | 381.00  | 143.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 10   | 2003.07.08 03:01 | 64.00        | 0.29  | 358.00  | 130.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 11   | 2003.07.08 04:01 | 32.00        | 0.32  | 224.00  | 90.00  | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 12   | 2003.07.08 05:01 | 10.00        | 0.27  | 224.00  | 108.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 13   | 2003.07.08 06:01 | 44.00        | 0.36  | 398.00  | 123.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 14   | 2003.07.08 07:01 | 288.00       | 0.60  | 774.00  | 191.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 15   | 2003.07.08 08:01 | 332.00       | 0.49  | 863.00  | 191.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 16   | 2003.07.08 09:01 | 656.00       | 0.30  | 1261.00 | 202.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 17   | 2003.07.08 10:01 | 360.00       | 0.32  | 951.00  | 202.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 18   | 2003.07.08 11:01 | 324.00       | 1.14  | 818.00  | 179.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 19   | 2003.07.08 12:01 | 328.00       | 1.30  | 973.00  | 213.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |
| 20   | 2003.07.08 13:01 | 554.00       | 0.49  | 1128.00 | 201.00 | NaN    | NaN    | NaN    | NaN | NaN |

Abb. 3.15 Auszug aus der Kalibrationsdatenbank mit den bereits eingegebenen Laborwerten

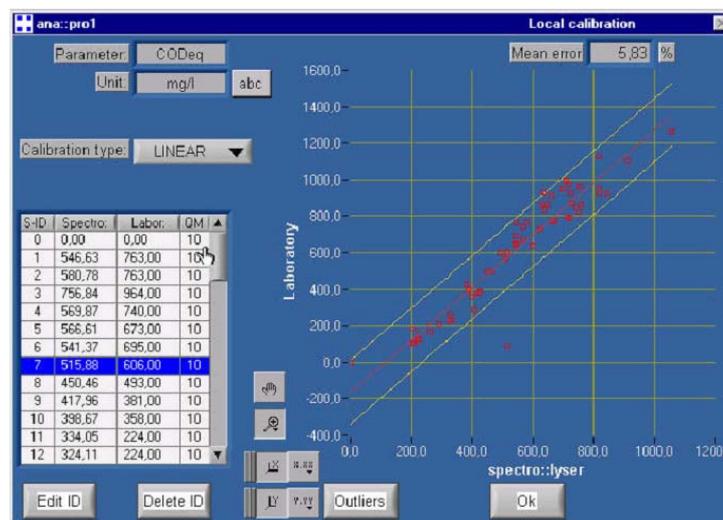


Abb. 3.16 Darstellung der lokalen Kalibration für den Parameter COD<sub>eq</sub> im ana::pro

### Erkenntnisse aus den Messkampagnen

Grundsätzlich hätten die für eine lokale Kalibration erforderlichen ID-Proben auch zu willkürlichen Zeitpunkten gezogen werden können. Um aber den Tagesverlauf der Konzentrationen (im Speziellen des CSB) möglichst vollständig erfassen zu können, war es notwendig diese Proben über einen Zeitraum von 24-Stunden zu ziehen. Wie bereits erwähnt, geschah dies stündlich (genaue Zeitpunkte siehe Tab. 7-1 im Anhang). Abbildung 3-17 zeigt am Beispiel der zweiten 24h-Messkampagne einerseits die absoluten Differenzen zwischen den Labor- und Spektrometerwerten des CSB und andererseits auch die zugehörigen relativen Fehler dieser Abweichungen. Daraus wird deutlich, dass während der Tagesstunden die Spektrometerwerte stets kleiner als die parallelen Laborwerte waren. Im Gegensatz dazu kehrte sich während der Nachtsstunden dieser Trend um und die Spektrometerwerte zeigten tendenziell Überbefunde. Auch waren die relativen Abweichungen während der Nachtsstunden auffällig hoch. Diese Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass es bei größeren Konzentrationen also während der Tagesstunden aber auch bei durch Regenereignissen ausgelöste Spülstöße die Online-Werte absolut gesehen gegenüber den Laborwerten zu gering sind. Im umgekehrten Fall sind die in den Nachstunden und bei größerer Verdünnung (Regenereignisse) erhaltenen Absolutwerte tendenziell zu hoch. Die graphische Darstellung dieser absoluten und relativen CSB-Abweichungen sind in Abb. 3.17 am Beispiel der zweiten Messkampagne dargestellt. Neben den Entnahmezeitpunkten und den im Labor gemessenen CSB-Werten sind sowohl die absoluten, als auch die relativen Abweichungen zu den Online-Werten dargestellt.

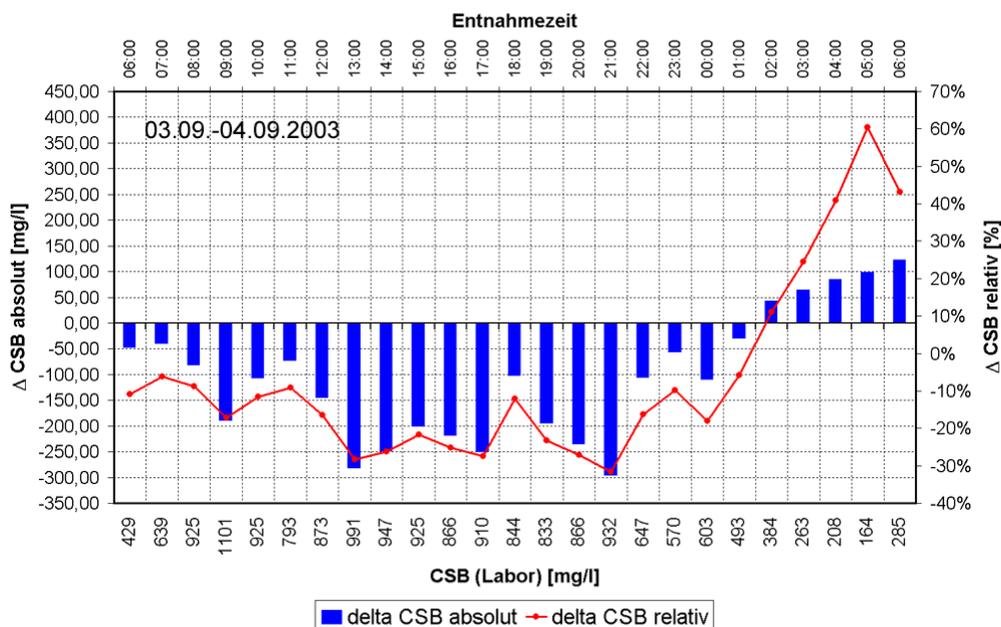
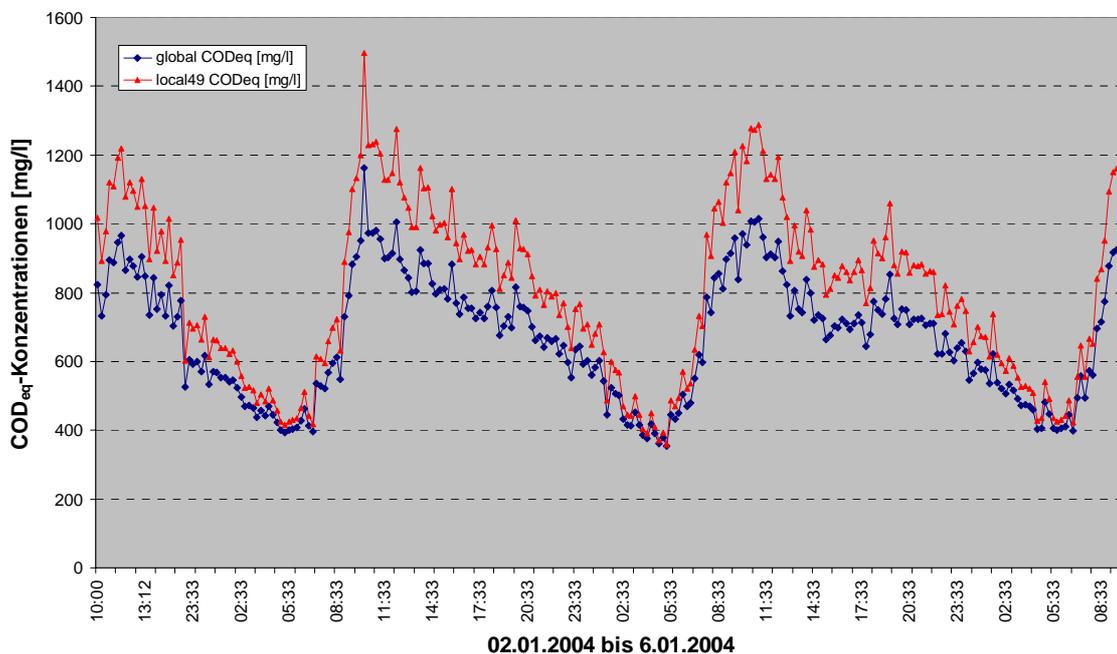


Abb. 3.17 Validierung der Online-Werte  $CSB_{\text{hom}}::CSB_{\text{eq}}$  im Zuge der zweiten Messkampagne (GRUBER et. al, 2004)

In den vorangegangenen Ausführungen wurde ausgiebig über den Sinn und den Ablauf einer lokalen Kalibration berichtet. Allerdings welche Auswirkungen eine solche auf die online-Messwerte hat, wurde bisher noch nicht erwähnt. Abb. 3.18 zeigt diese Auswirkungen für den Zeitraum vom 02.02. bis zum 06.02.2004 am Beispiel der  $\text{COD}_{\text{eq}}$ -Konzentrationen. Es wird deutlich, dass in diesem Zeitraum die globale Kalibration, also die Werksteinstellung (blaue Linie), zu meist geringere Konzentrationen ergibt als die lokale Kalibration unter Berücksichtigung der 49 Trockenwetter-IDs. Zusammenfassend lässt sich daraus ableiten, dass alle bisherigen Trockenwetterkonzentrationen und in weiterer Folge auch die Trockenwetterfrachten zu geringe Werte ergeben haben.

Da jedoch bei allen Spektrometermessungen auch die vollständigen Spektren mitgespeichert wurden, ist es mit der Software ana::pro möglich, alle Konzentrationen mit verbesserten lokalen oder gar neuen globalen Kalibrationen „offline“ noch einmal neu berechnen zu lassen und damit zu korrigieren. Die in Abbildung 3-18 dargestellte lokale Verbesserung wurde mit dieser Offline-Funktion der Software ermittelt und zeigt die bereits erwähnten Auswirkungen einer verbesserten lokalen Kalibration am Beispiel einer Trockenwetterganglinie des CSB.



**Abb. 3.18** Auswirkungen der lokalen Kalibration am Beispiel des  $\text{COD}_{\text{eq}}$  für den Zeitraum vom 02.01. bis 06.01.2004

### **3.2.4.3 Conclusio aus der Validierung durch die beiden Messkampagnen**

Bereits nach den ersten Vergleichsergebnissen aus dem Labor des Institutes war es ersichtlich, dass die Abweichungen für einige Parameter  $\text{NO}_3\text{-N}$  erheblich waren. Selbst die in weiterer Folge durchgeführten lokalen Kalibrationen konnten für diese Parameter keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern. Aus diesem Grund wurde in weiterer Folge auf eine genauere Auswertung dieser Parameter vorerst verzichtet.

Im Gegensatz dazu lieferten die ersten lokalen Kalibrationen für den homogenisierten CSB und den Trockensubstanzgehalt bereits relativ gute Verbesserungen.

Auf Basis der durch die zwei Messkampagnen gewonnenen IDs in der Kalibrationsdatenbank erschien es sinnvoll, eine Validierung der Online-Werte nicht durch weitere lokale Kalibrationen zu erreichen, sondern das bereits vorhandene Know-how dahingehend zu nutzen, um gemeinsam mit der Firma *s::can* eine verbesserte neue globale Kalibration zu finden. Aus diesem Grund wurde von 31.03. bis 01.4.2004 eine dritte 24h-Messkampagne durchgeführt. Diese unterschied sich zu den beiden anderen dadurch, dass zusätzlich zur Probenahme mit dem Probennehmer auch Proben direkt im Kanal durch Schöpfen gewonnen wurden. Weiters kam bei dieser Messkampagne III neben der im Ponton eingebauten Sonde eine weitere Spektrometersonde für parallele Referenzmessungen zum Einsatz.

Ziel dieser dritten Messkampagne war es, nach Möglichkeit alle erfassbaren Fehlereinflüsse (Probenahme, Proben transport, Probenvorbehandlung und Probenkonservierung) zu ermitteln und daraus dann gemeinsam mit der Firma *s::can* eine neue globale Kalibration für die vorhandene Abwassermatrix zu entwickeln. Da die Auswertungen dieser Messkampagnen zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit noch nicht abgeschlossen sind, konnten deren Ergebnisse in dieser Diplomarbeit nicht mehr berücksichtigt werden.

## 4 Auswertung der Messergebnisse

### 4.1 Vorbemerkungen

#### **Untersuchungszeitraum und ausgewertete Parameter**

Alle in diesem Kapitel durchgeführten Auswertungen beziehen sich auf den Untersuchungszeitraum ab der Inbetriebnahme der Messstation Graz im Oktober 2002 bis einschließlich Jänner 2004 – einige Abbildungen und Tabellen beinhalten zusätzliche Auswertungen bis inklusive April 2004. Für diese gesamte Periode wurden Auswertungen für die Parameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und für die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) gemacht. Alle anderen gemessenen Parameter wurden in dieser Arbeit auf Grund der erheblichen Differenzen, welche sich im Zuge der Validierung ergeben haben, nicht berücksichtigt.

#### **Definition von Entlastungsereignissen**

Um Entlastungsereignisse genauer analysieren bzw. auswerten zu können bedarf es zunächst einer Definition eines Überlaufereignisses. Da der Abfluss jene Größe darstellt, welche auch die Auslegung der einzelnen Komponenten eines Kanalisationssystems bestimmt, erscheint es naheliegend, diesen auch der Ereignisdefinition zu Grunde zu legen. Allerdings ist eine Definition mit Hilfe des Durchflusses  $Q_3$  (also des Entlastungsabflusses) nur unter Festlegung gewisser Randbedingungen möglich. In Folge dessen wurde unter Einbeziehung aller am Projekt beteiligten Personen auf Basis bereits vorliegender Auswertungen ein Ereignis folgendermaßen definiert: Als primäres Kriterium für ein vorhandenes Entlastungsereignis wurde ein Abfluss im Entlastungskanal von  $Q_3 \geq 3,0$  l/s vorausgesetzt. Um zu garantieren, dass es sich bei diesem Abfluss auch tatsächlich um ein Entlastungsereignis handelt, wurde als Zusatzkriterium ein Mindestzufluss zur Mischwasserkammer von  $Q_1 \geq 600$  l/s (Plausibilitätskriterium) festgelegt.

Weiters war es für die Auswertung der Häufigkeiten und Dauer von Entlastungsereignissen notwendig, festzulegen, wann ein Ereignis endet und wann ein neues Ereignis beginnt. Diesbezüglich wurde definiert, dass zwischen zwei Ereignissen ein Zeitfenster von mindestens zwei Stunden vorhanden sein muss. Sollte es also zu einer kürzeren Unterschreitung als 120 Minuten der definierten Ereigniskriterien kommen, wird dies als ein zusammenhängendes Ereignis betrachtet.

### **Datengrundlage**

Es wurde bereits erwähnt, dass in der Messnetzzentrale neben den gemessenen Parametern auch die vollständigen Absorptionsspektren gespeichert werden und daher auch wieder exportierbar sind. In einem ersten Schritt wurden jeweils für eine Zeitspanne von einer Woche diese Spektren zusammen mit den zusätzlich erfassten 18 Parametern exportiert. Um diese exportierten Daten besser zu strukturieren und für eine Auswertung gezielter aufzubereiten, wurden in einem zweiten Schritt zwei verschiedene Arten von Dateien erstellt, welche jeweils einen Zeitraum über ein gesamtes Monat beinhalten. Eine dieser Dateien enthielt nur die gemessenen Absorptionsspektren und diente in weiterer Folge als Eingangsfile für eine „Offline-Berechnung“ der Stoffkonzentrationen. Die andere Datei (eine MS Excel Tabelle) bestand aus allen neben den Spektren miterfassten Parametern, von denen vor allem die beiden Kanaldurchflüsse ( $Q_{\text{inflow}}$  und  $Q_{\text{spillflow}}$ ) für die weiteren Auswertungen von Bedeutung waren.

Im Zuge der Auswertungen wurde festgestellt, dass es immer wieder zu Ausfällen und damit zu fehlenden Messwerten gekommen ist. Weiters gab es oftmals auch unrealistische Werte (wie beispielsweise negative Durchflüsse oder Konzentrationen). Diese fehlenden oder unplausiblen Werte wurden mittels einer linearen Interpolation von benachbarten Werten korrigiert.

### **Verwendete Kalibration**

Die Ergebnisse der durchgeführten „Offline-Berechnung“ der Stoffkonzentrationen sind direkt von der verwendeten Kalibration abhängig, weshalb der verwendeten Kalibration eine wesentliche Bedeutung zu kommt. Eine primäre Aufgabenstellung dieser Arbeit war es, die abgeschlagenen Schmutzfrachten zu quantifizieren. Für die Darstellung der im Untersuchungszeitraum stattgefundenen Entlastungsereignisse (Kapitel 4.2) wurde die globale Kalibration (= Werkseinstellung) gewählt, wohl wissend, dass diese auf Basis einer durchschnittlich kommunalen Abwassermatrix erstellt wurde und wie die Validierungsuntersuchungen gezeigt haben, von der Grazer-Abwassermatrix zum Teil doch deutlich abweicht.

Im Zuge von zwei Messkampagnen konnte eine lokale Kalibration (local49) gefunden werden, welche auf Basis der globalen Kalibration besser an die örtlichen Verhältnisse angepasst ist. In Kapitel 4.3 werden die Auswirkungen dieser verbesserten Kalibration auf die jeweiligen Schmutzfrachten im Vergleich zur globalen Kalibration dargestellt.

### **Ermittlung der Schmutzfrachten**

Die Berechnung der Schmutzfrachten erfolgte durch einfache Multiplikation der Komponenten Konzentration [mg/l], Durchfluss [l/s] und dem der Messwerte zugeordneten Zeitintervall [min] mit den zugehörigen Umrechnungsfaktoren. Es gilt zu erwähnen, dass die Validierung der jeweiligen Durchflüsse nicht Gegenstand dieser Arbeit war und die Durchflüsse daher auch als vorgegebene Messgrößen angenommen wurden. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Ergebnisse sind einerseits die direkte Abhängigkeit der Schmutzfrachten vom Durchfluss, d.h. bei einem 10%igen Fehler der Durchflussmesswerte ergibt sich ein aliquoter Fehler bei den Frachten und andererseits kam es bei extremen Einzelereignissen fallweise zu Messbereichsüberschreitungen. Hierbei wurde mit einem über den entsprechenden Zeitraum konstanten Durchfluss gerechnet, was bei den betreffenden Entlastungsereignissen einen Minderbefund der abgeschlagenen hydraulischen und stofflichen Frachten zur Folge hatte.

### **4.2 Zusammenfassung der Entlastungsereignisse**

Auf Basis der monatlichen Parameterdateien wurde für jedes Monat im Untersuchungszeitraum eine Ergebnis- bzw. Berechnungstabelle erstellt. In diese Tabellen wurden anschließend die offline berechneten Stoffkonzentrationen eingefügt und daraus für die einzelnen Entlastungsereignisse die abgeschlagenen Frachten ermittelt.

Um einen Überblick über die im Untersuchungszeitraum stattgefundenen Entlastungsereignisse zu geben, wurden in Tabelle 4-1 die Monatssummen der hydraulischen und stofflichen Frachten inklusive der Anzahl der Entlastungen und der zugehörigen Dauer für jedes Monat zusammengestellt. Daraus folgt, dass im Zeitraum zwischen Oktober 2002 bis einschließlich April 2004 insgesamt 34 Entlastungsereignisse beobachtet wurden. Insgesamt betrug die in diesem Zeitraum abgeschlagene hydraulische Fracht ca. 65.400 m<sup>3</sup> und die Gesamtdauer dieser Entlastungen konnte mittels der getroffenen Ereignisdefinition mit ca. 52,5 Stunden ermittelt werden. Die erfassten Entlastungsereignisse lassen auch einen Rückschluss auf die jährliche Verteilung der Niederschläge zu. In den Monaten Dezember, Jänner und Februar des betrachteten Zeitraumes konnten keine Ereignisse beobachtet werden, in den Sommermonaten Juni und Juli traten hingegen beinahe die Hälfte aller erfassten Ereignisse auf. Da aber genau in diesen Monaten die Mur in der Regel über einen niedrigen Durchfluss verfügt, ist eine negative Beeinflussung des Gewässers auf Grund der Mischwasserentlastungen nicht auszuschließen.

Innerhalb dieser gesamten Zeitspanne von 52,5 Entlastungsstunden wurden ca. 18 Tonnen homogener chemischer Sauerstoffbedarf und rund 12 Tonnen abfiltrierbare Stoffe abgeschlagen. Im Zuge der Auswertungen ergaben sich für den membranfiltrierten CSB ca. 5,7 Tonnen. Allerdings ergaben die Validierungsuntersuchungen, dass es bei Verwendung der globalen Kalibration besonders beim  $CSB_{memf.}$  zu erheblichen Differenzen zu den Laborwerten kam.

Ende August 2003 fiel auf Grund eines technischen Defektes der Industrie-PC für einen Zeitraum von ca. zwei Wochen aus. Während dieser Zeit kam es bedingt durch starke Niederschläge zu außerordentlichen Entlastungsereignissen, welche allerdings aus dem genannten Grund nicht messtechnisch erfasst werden konnten. Die einzige vorliegende Information über diesen Zeitraum resultiert aus der Durchflussmessung  $Q_3$ , da dieses Messgerät die abgeschlagene hydraulische Fracht auch in Form eines Summenzählers fortwährend mitspeichert. Auf Grund dieser Summe konnte festgestellt werden, dass innerhalb dieser zwei Wochen ca. ein Viertel der bis zu diesem Zeitpunkt entlasteten hydraulischen Fracht (also ca.  $11.000 \text{ m}^3$ ) unbeobachtet in die Mur abgeschlagen wurde. Da diesem Zeitraum eine Trockenperiode von ca. 2-3 Wochen vorangegangen war, kann angenommen werden, dass sich die abgeschlagenen Stofffrachten in einer ähnlichen Größenordnung bewegt haben wie in den Monaten Juni und Juli 2003. Dabei handelt es sich aber lediglich um eine Vermutung, da keinerlei Schmutzkonzentrationen aus dieser Periode bekannt sind.

Tab. 4-1 Überblick der Entlastungsereignisse vom Oktober 2002 bis April 2004

| Jahr, Monat  |           | Anzahl der Entlastungen [-] | Dauer [hh:mm] | $Q_{Entlastung}$ in [ $\text{m}^3$ ] | CSB-Fracht (hom.) in [kg] | CSB-Fracht (mf.) in [kg] | AFS in [kg]   |
|--------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| 2002         | Oktober   | 3                           | 09:55         | 5.705                                | 1.906                     | 369                      | 1.352         |
|              | November  | 2                           | 01:52         | 1.588                                | 357                       | 112                      | 165           |
|              | Dezember  | 3                           | 02:33         | 641                                  | 78                        | 32                       | 23            |
| 2003         | Januar    | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
|              | Februar   | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
|              | März      | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
|              | April     | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
|              | Mai       | 1                           | 01:34         | 284                                  | 117                       | 33                       | 77            |
|              | Juni      | 9                           | 09:40         | 15.528                               | 4.697                     | 1.367                    | 3.403         |
|              | Juli      | 6                           | 11:41         | 24.125                               | 6.799                     | 2.396                    | 4.574         |
|              | August    | 1                           | 01:04         | 734                                  | 236                       | 81                       | 160           |
|              | September | 1                           | 01:40         | 1.079                                | 208                       | 78                       | 112           |
|              | Oktober   | 3                           | 06:20         | 11.732                               | 2.121                     | 826                      | 1.178         |
|              | November  | 3                           | 02:26         | 2.519                                | 893                       | 262                      | 537           |
|              | Dezember  | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
|              | 2004      | Januar                      | 0             | 00:00                                | 0                         | 0                        | 0             |
| Februar      |           | 0                           | 00:00         | 0                                    | 0                         | 0                        | 0             |
| März         |           | 1                           | 03:09         | 787                                  | 209                       | 40                       | 159           |
| April        |           | 1                           | 00:40         | 701                                  | 325                       | 60                       | 299           |
| <b>Summe</b> |           | <b>34</b>                   | <b>52:34</b>  | <b>65.424</b>                        | <b>17.944</b>             | <b>5.656</b>             | <b>12.041</b> |

Eine detaillierte Auswertung hinsichtlich aller Entlastungsereignisse ist in Tabelle 4-2 dargestellt. In dieser Tabelle scheinen neben den hydraulischen und stofflichen Entlastungsfrachten jedes Entlastungsereignisses auch die zugehörigen hydraulischen und stofflichen Frachten des Zuflusses in die Mischwasserkammer auf. Somit könnte theoretisch auch der sogenannte „outflow“, also die weiterführende Fracht durch einfache Differenzenbildung ermittelt werden.

Allerdings gilt es dabei zu berücksichtigen, dass es bei einigen Ereignissen zu Messbereichsüberschreitungen der Durchflussmessungen gekommen ist. Die betreffenden Ereignisse sind in Tabelle 4-2 in der Spalte „overrange“ mit einem entsprechenden Index versehen.

Hierbei gilt folgende Unterteilung:

- i Messbereichsüberschreitung des  $Q_{\text{inflow}}$
- s Messbereichsüberschreitung des  $Q_{\text{spilllow}}$
- s,i Überschreitung bei beiden Durchflüssen

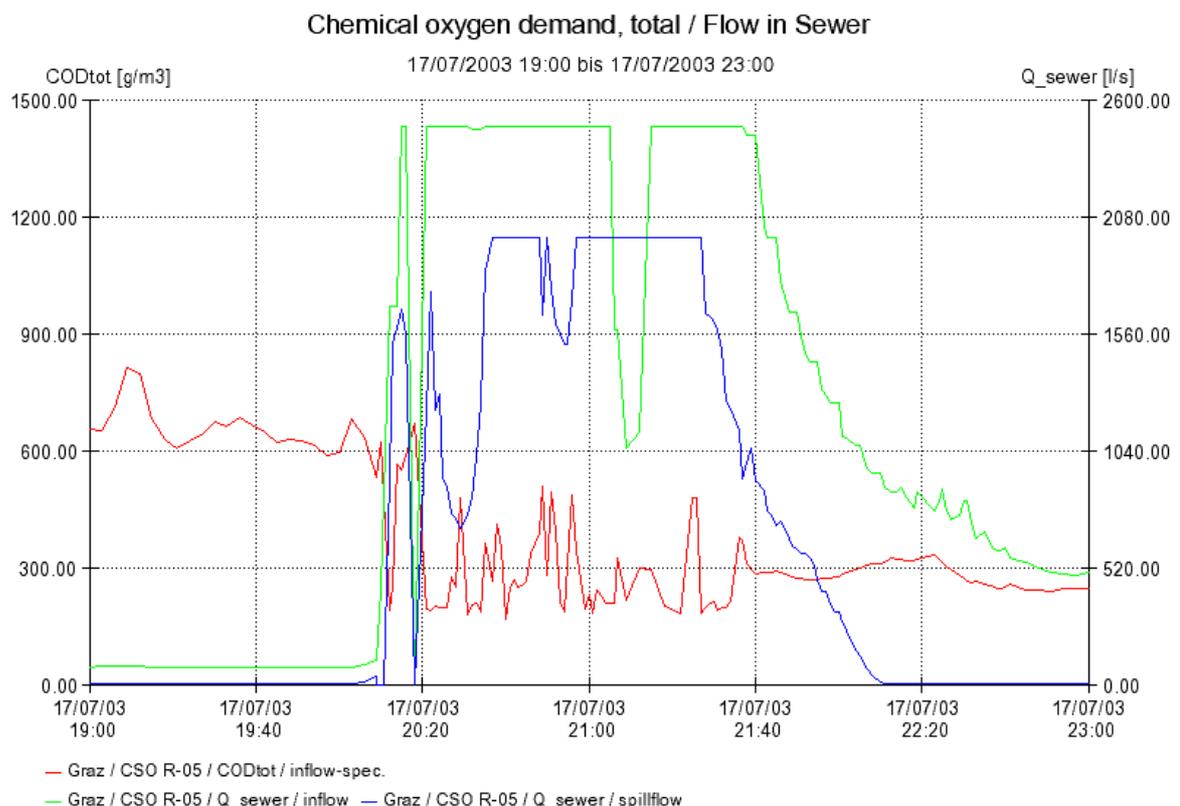
Bezüglich der ermittelten Stofffrachten und auch hydraulischen Frachten ergeben sich durch diese Messbereichsüberschreitungen teilweise deutlich zu geringe Werte, da in diesen Zeitbereichen jeweils mit einem konstanten Durchfluss gerechnet wurde.

Tab. 4-2 Zusammenstellung aller beobachteten Entlastungsereignisse

| Year-Month       | Nr. | Temporal description of the overflows |                   |               |             | Flow in sewer |                | Pollution loads as a result of the global calibration |                             |                                |                             |                                |               |                 |
|------------------|-----|---------------------------------------|-------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|---|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|-----------------|
|                  |     | over-range                            | Date [dd.mm.yyyy] | Start [hh:mm] | End [hh:mm] | Period [min]  | inflow [m]     | spillover [m]   | Load <sub>inflow</sub> [kg] | Load <sub>spillover</sub> [kg] | Load <sub>inflow</sub> [kg] | Load <sub>spillover</sub> [kg] |               |                 |
| 2002-10          | 01  |                                       | 12.10.2002        | 09:45         | 14:35       | 295           | 15.998         | 3.614   | 5.651,8                     | 1.265,0                        | 1.113,6                     | 257,2                          | 4.009,0       | 873,6           |
|                  | 02  |                                       | 18.10.2002        | 01:15         | 03:20       | 125           | 5.534          | 940   | 1.567,0                     | 229,2                          | 440,7                       | 68,1                           | 723,8         | 97,4            |
| 2002-11          | 03  |                                       | 18.10.2002        | 06:25         | 09:15       | 175           | 9.678          | 1.151   | 3.209,6                     | 411,6                          | 494,2                       | 43,9                           | 2.503,1       | 380,8           |
|                  | 04  |                                       | 18.11.2002        | 05:42         | 06:46       | 65            | 3.490          | 1.150   | 710,0                       | 228,7                          | 243,9                       | 79,6                           | 294,8         | 93,6            |
| 2002-12          | 05  |                                       | 22.11.2002        | 15:56         | 16:42       | 47            | 2.189          | 438   | 596,9                       | 128,0                          | 157,9                       | 32,8                           | 325,4         | 71,6            |
|                  | 06  |                                       | 3.12.2002         | 05:46         | 06:05       | 20            | 792            | 23  | 88,1                        | 2,6                            | 39,3                        | 1,1                            | 21,0          | 0,6             |
| 2003-05          | 07  |                                       | 5.12.2002         | 10:45         | 11:16       | 32            | 1.300          | 58  | 184,6                       | 8,2                            | 66,9                        | 3,0                            | 68,9          | 3,1             |
|                  | 08  |                                       | 6.12.2002         | 12:16         | 13:55       | 101           | 4.505          | 560   | 535,6                       | 66,7                           | 224,9                       | 27,9                           | 153,1         | 19,6            |
| 2003-06          | 09  |                                       | 20.5.2003         | 13:02         | 14:35       | 94            | 3.913          | 284   | 1.522,1                     | 116,5                          | 438,9                       | 32,8                           | 979,2         | 77,0            |
|                  | 10  |                                       | 7.6.2003          | 22:51         | 23:56       | 66            | 5.237          | 2.006   | 2.260,7                     | 882,6                          | 548,2                       | 210,6                          | 1.934,7       | 762,3           |
| 2003-07          | 11  |                                       | 9.6.2003          | 18:26         | 18:50       | 25            | 1.172          | 276   | 535,9                       | 131,9                          | 173,3                       | 42,4                           | 309,0         | 76,3            |
|                  | 12  |                                       | 13.6.2003         | 16:30         | 17:19       | 52            | 3.655          | 1.319   | 1.792,8                     | 670,3                          | 497,2                       | 174,6                          | 1.320,9       | 514,5           |
| 2003-08          | 13  |                                       | 14.6.2003         | 22:53         | 01:53       | 181           | 14.134         | 6.089   | 3.082,6                     | 1.302,8                        | 1.089,2                     | 460,3                          | 1.768,1       | 751,7           |
|                  | 14  |                                       | 16.6.2003         | 20:01         | 20:29       | 30            | 2.394          | 756   | 765,9                       | 258,6                          | 216,1                       | 68,6                           | 579,3         | 208,2           |
| 2003-09          | 15  |                                       | 18.6.2003         | 10:21         | 12:05       | 105           | 5.226          | 722   | 1.608,4                     | 179,0                          | 530,0                       | 59,7                           | 869,0         | 97,5            |
|                  | 16  |                                       | 18.6.2003         | 19:02         | 19:54       | 53            | 5.662          | 2.534   | 1.207,1                     | 503,6                          | 308,3                       | 133,9                          | 1.058,9       | 444,2           |
| 2003-10          | 17  |                                       | 24.6.2003         | 20:30         | 21:27       | 60            | 5.846          | 1.812   | 2.362,9                     | 761,4                          | 690,6                       | 214,8                          | 1.654,7       | 545,0           |
|                  | 18  |                                       | 27.6.2003         | 12:45         | 12:52       | 13            | 459            | 13  | 241,2                       | 6,7                            | 77,8                        | 2,1                            | 131,1         | 3,6             |
| 2003-11          | 19  |                                       | 1.7.2003          | 23:56         | 01:47       | 112           | 9.368          | 2.924   | 2.804,5                     | 905,8                          | 1.042,2                     | 320,7                          | 1.654,0       | 564,1           |
|                  | 20  | s. i                                  | 17.7.2003         | 20:12         | 22:11       | 121           | 15.260         | 9.560   | 4.359,5                     | 2.734,1                        | 1.424,0                     | 880,4                          | 3.519,4       | 2.299,8         |
| 2003-12          | 21  |                                       | 23.7.2003         | 01:16         | 02:30       | 75            | 8.372          | 3.255   | 2.045,6                     | 757,5                          | 785,8                       | 285,2                          | 1.163,0       | 449,5           |
|                  | 22  |                                       | 23.7.2003         | 15:45         | 18:18       | 156           | 12.071         | 4.021   | 3.419,0                     | 1.112,7                        | 1.308,9                     | 429,0                          | 1.678,6       | 541,3           |
| 2004-01          | 23  |                                       | 25.7.2003         | 02:14         | 02:59       | 47            | 3.517          | 1.175   | 741,6                       | 236,7                          | 323,1                       | 106,4                          | 337,6         | 103,1           |
|                  | 24  |                                       | 28.7.2003         | 19:00         | 22:07       | 190           | 13.146         | 3.191   | 4.061,7                     | 1.052,0                        | 1.533,3                     | 373,9                          | 2.139,4       | 616,2           |
| 2004-02          | 25  |                                       | 1.8.2003          | 17:41         | 18:44       | 64            | 3.906          | 734   | 1.246,8                     | 236,2                          | 465,1                       | 81,0                           | 722,5         | 160,5           |
|                  | 26  |                                       | 10.9.2003         | 01:26         | 03:05       | 100           | 5.740          | 1.079   | 1.048,8                     | 207,7                          | 407,1                       | 77,5                           | 532,2         | 112,0           |
| 2004-03          | 27  |                                       | 3.10.2003         | 21:22         | 23:14       | 113           | 10.531         | 4.580   | 2.444,7                     | 1.011,8                        | 830,4                       | 334,4                          | 1.551,8       | 682,8           |
|                  | 28  |                                       | 4.10.2003         | 07:27         | 08:52       | 88            | 8.675          | 3.747   | 1.522,2                     | 637,8                          | 597,7                       | 245,7                          | 839,8         | 371,7           |
| 2004-04          | 29  |                                       | 5.10.2003         | 02:30         | 05:28       | 179           | 12.296         | 3.404   | 1.708,0                     | 470,9                          | 890,4                       | 245,9                          | 449,7         | 124,0           |
|                  | 30  |                                       | 2.11.2003         | 03:20         | 04:17       | 58            | 4.532          | 1.596   | 1.434,9                     | 531,8                          | 417,2                       | 150,0                          | 863,1         | 326,2           |
| 2004-05          | 31  |                                       | 26.11.2003        | 15:32         | 16:06       | 35            | 1.956          | 280   | 951,9                       | 131,5                          | 264,4                       | 37,0                           | 581,4         | 80,5            |
|                  | 32  |                                       | 28.11.2003        | 18:57         | 19:49       | 53            | 3.237          | 643   | 1.128,5                     | 229,8                          | 375,0                       | 75,0                           | 628,9         | 130,6           |
| 2004-06          | 33  |                                       | 24.3.2004         | 16:17         | 19:14       | 189           | 10.743         | 787   | 2.832,2                     | 208,8                          | 558,9                       | 40,3                           | 2.103,4       | 159,4           |
|                  | 34  |                                       | 19.4.2004         | 14:39         | 15:18       | 40            | 2.869          | 701   | 1.289,1                     | 325,2                          | 239,3                       | 60,0                           | 1.187,3       | 298,9           |
| <b>summation</b> |     |                                       |                   |               |             | <b>3.154</b>  | <b>217.405</b> | <b>65.424</b>   | <b>60.962</b>               | <b>17.943,7</b>                | <b>18.814</b>               | <b>5.656,1</b>                 | <b>38.656</b> | <b>12.041,1</b> |

Das sowohl hydraulisch als auch stofflich gesehene größte Entlastungsereignis konnte in den Abendstunden des 17. Juni 2003 erfasst werden. Abbildung 4.1 zeigt die graphische Darstellung der Durchflüsse und des  $CSB_{\text{hom}}$  dieses Ereignisses. Man erkennt die deutlich ausgeprägten Messbereichsüberschreitungen der beiden Durchflussmessungen (horizontale Linien in der Abbildung), welche beispielsweise für den Zufluss eine zeitliche Ausdehnung von ca. 40 Minuten hatte. Hinsichtlich der Entlastungsdauer war dieses Ereignis mit ca. 2 Stunden zwar nicht außerordentlich lang, jedoch wurden in diesem Zeitraum mehr als  $9.500 \text{ m}^3$  Mischwasser ungeklärt in die Mur abgeschlagen. Auf der stofflichen Seite ergaben die Auswertungen eine abgeschlagene Schmutzfracht von mehr als 2,7 t für den  $CSB_{\text{hom}}$  und über 2,3 t für die AFS – dies entspricht ungefähr 16% bzw. 20% der gesamten bis zu diesem Zeitpunkt beobachteten, entlasteten CSB- bzw. AFS-Frachten.

Wie bereits erwähnt dürfte allerdings in der oben genannten Zeitperiode des Industrie-PC-Ausfalles zumindest ein ebenso starkes Entlastungsereignis stattgefunden haben.



**Abb. 4.1 Entlastungsereignis vom 17. Juni 2003, Messbereichsüberschreitung der beiden Durchflüsse**

Bei fast allen Entlastungsereignissen konnte ein ausgeprägter Spülstoß (first flush) beobachtet werden. Ein Zusammenhang mit vorangegangenen Trockenperioden konnte allerdings nicht bestätigt werden. Weiters ist es auf Grund der unterschiedlichen Charakteristiken der erfassten Entlastungen nicht sinnvoll, beispielsweise Angaben über eine mittlere Dauer eines Entlastungsereignisses oder einer mittleren abgeschlagenen CSB-Fracht zu machen. Hierfür sind die Streuungen der einzelnen Einflussgrößen, wie Niederschlagsintensität, Niederschlagsdauer, Ablagerungen im Kanal zu groß und vielfach unbekannt.

Da die erstellten Ergebnisstabellen den Umfang dieser Diplomarbeit unnötig vergrößern würden, ist auf das Beilegen dieser Tabellen zu dieser Arbeit verzichtet worden.

### **4.3 Auswirkungen der lokalen Kalibration auf die ermittelten Schmutzfrachten**

In Kapitel 3.2.4 wurden die Auswirkungen der lokalen Kalibration „local49“ hinsichtlich eines Trockenwetterabflusses bereits aufgezeigt, wobei es mit der globalen Kalibration tendenziell während des Tages zu Unterbefunden kommt. Weiters konnte bei der 24h-Messkampagne II die Vermutung bestätigt werden, dass bei stärkerer Verdünnung des Abwassers (z.B. in den Nachtstunden) tendenziell Überbefunde zu beobachten sind. Diese Erkenntnisse wurden allerdings bisher nur aus zwei 24h-Messkampagnen bei Trockenwetterverhältnissen gewonnen. Eine entsprechend fundierte Evaluierung dieser Vermutung für den verdünnten Mischwasserabfluss fehlt aber bis dato. Auf Basis der Ergebnisse der zwei 24h-Messkampagnen wurde allerdings, wie bereits erwähnt, eine verbesserte lokale Kalibration „local49“ erstellt. Zur Abschätzung der sich durch das Anwenden der lokalen Verbesserung ergebenden Veränderungen auf die abgeschlagenen Mengen wurden abschließend alle entlasteten Frachten sowohl auf Basis der globalen wie auch auf Basis der „local49“-Kalibration ermittelt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Zur besseren Übersicht wurden die Ergebnisse dieses Vergleiches in Tabelle 4-2 nur als Gesamtsummen der einzelnen Stofffrachten gegenübergestellt. Die dargestellten absoluten und relativen Differenzen beziehen sich jeweils auf die mittels globaler Kalibration ermittelten Frachten. In Abbildung 4.2 bis 4.4 sind die sich ergebenden Unterschiede zwischen der globalen und lokalen Kalibration für alle Einzelereignisse graphisch dargestellt. Die bereits früher angewendeten Indizes sollen auch hier Hinweise auf stattgefundene Messbereichsüberschreitungen der Durchflussmengenmessungen geben.

#### **Homogenisierter CSB (Abb. 4.2)**

Bei Betrachtung der einzelnen Entlastungsereignisse konnte bei den CSB-Frachten kein eindeutiger Trend festgestellt werden. Die relativen Abweichungen schwanken zwischen 14,7% und -83,4%. In Summe ergab sich dagegen eine doch sehr deutliche negative Abweichung von ca. -9% (d.h. ein Überbefund der globalen Werte). Absolut gesehen ergab sich mit der lokalen Kalibration eine ca. um 1,7 Tonnen geringere abgeschlagene  $CSB_{\text{hom}}$ -Fracht.

Die teilweise erheblichen relativen Differenzen traten vor allem bei frachtarmen Ereignissen auf. Dadurch sind diese Differenzen in Abbildung 4.2 auch schwer erkennbar. Einzig beim Ereignis Nummer 07 vom 6. Dezember 2002 ist diese große Differenz von ca. -74% deutlich erkennbar.

**AFS (Abb. 4.3)**

Im Gegensatz zum homogenisierten CSB ergaben sich für die AFS durchwegs eindeutige Überbefunde der globalen Werte. In Summe betrug die Differenz ca. 1,4 Tonnen, was einer relativen Abweichung von rund 12% entspricht. Allerdings gilt es auch hier zu erwähnen, dass sich bei frachtarmen Entlastungen teilweise sehr große relative Abweichungen ergaben.

**Membranfiltrierter CSB (Abb. 4.4)**

Die Abweichungen des  $CSB_{memf}$  zeigten in ihrem relativen Verlauf die kleinsten Schwankungen, waren allerdings in Summe mit einer Differenz von ca. 28% (dies entspricht absolut 1,6 Tonnen) am stärksten ausgeprägt.

**Tab. 4-3 Vergleich der Gesamtfrachten hinsichtlich der verwendeten Kalibration**

| verwendete Kalibration | CSB <sub>hom</sub> <sup>-</sup> Fracht | AFS-Fracht      | CSB <sub>memf</sub> <sup>-</sup> Fracht |
|------------------------|--|-----------------|---|
|                        | [kg]                                   | [kg]            | [kg]                                    |
| global                 | 17.943,7                               | 12.041,1        | 5.656,1                                 |
| local49                | 16.267,4                               | 10.655,6        | 4.061,7                                 |
| <b>Differenz</b>       | <b>absolut</b>                         | <b>-1.676,4</b> | <b>-1.594,4</b>                         |
|                        | <b>relativ</b>                         | <b>-9,34%</b>   | <b>-11,51%</b>                          |

Die Vermutung, dass es auch bei Entlastungsereignissen durch die auftretende Verdünnung und durch das Anwenden der globalen Kalibration zu deutlichen Überbefunden kommt, konnte also bestätigt werden.

Zur Zeit versucht man auf Basis einer dritten in der Zwischenzeit durchgeführten 24h-Messkampagne und der Ergebnisse der bisherigen Kalibrationsuntersuchungen eine neue globale Kalibration für die Abwassermatrix der Messstation Graz zu entwickeln. Da diese Untersuchungen derzeit noch im Laufen sind, konnten deren Ergebnisse im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht mehr berücksichtigt werden.

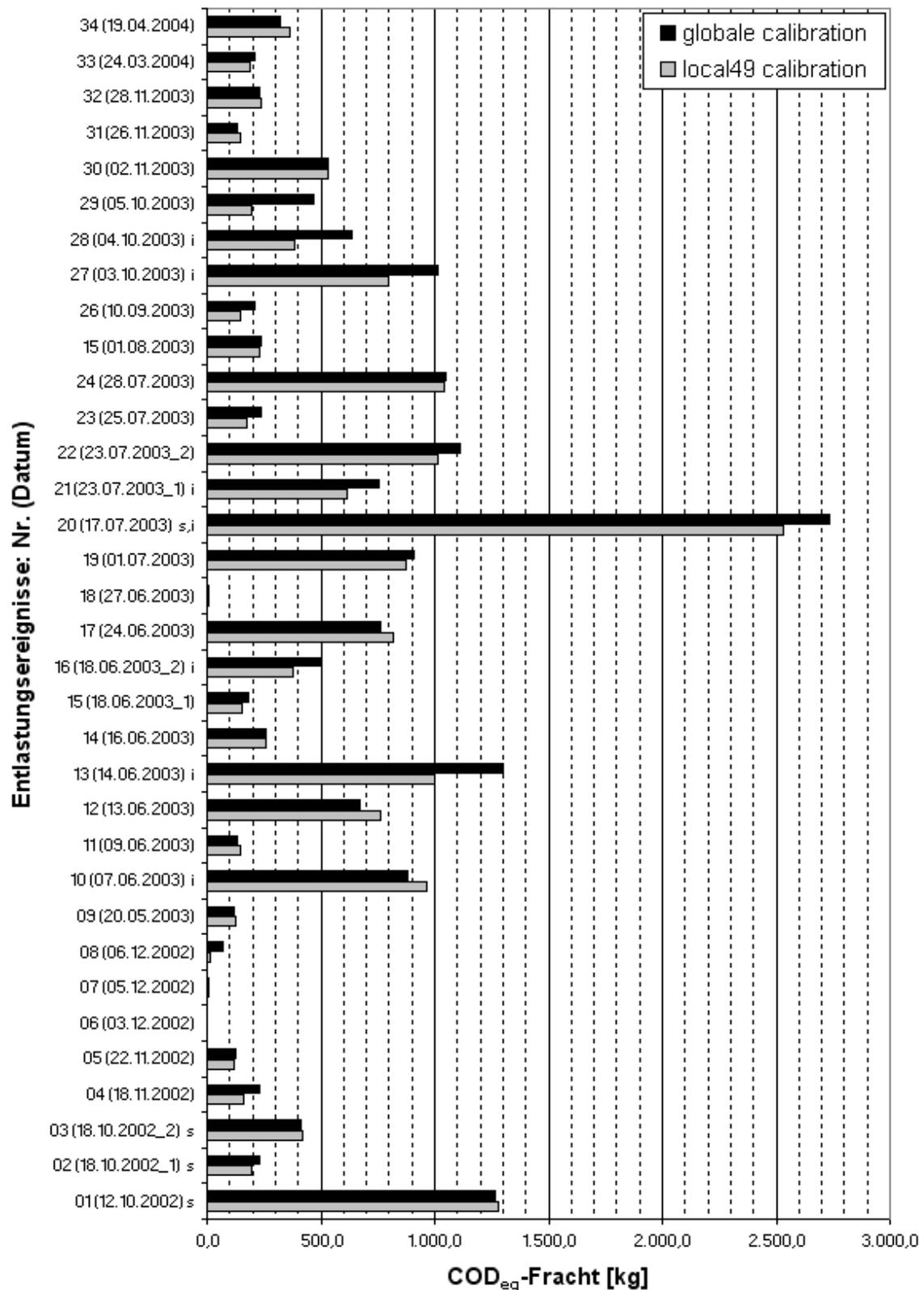


Abb. 4.2 Vergleich der homogenisierten  $CSB_{eq}$ -Ereignisfrachten zwischen globaler und lokaler Kalibration

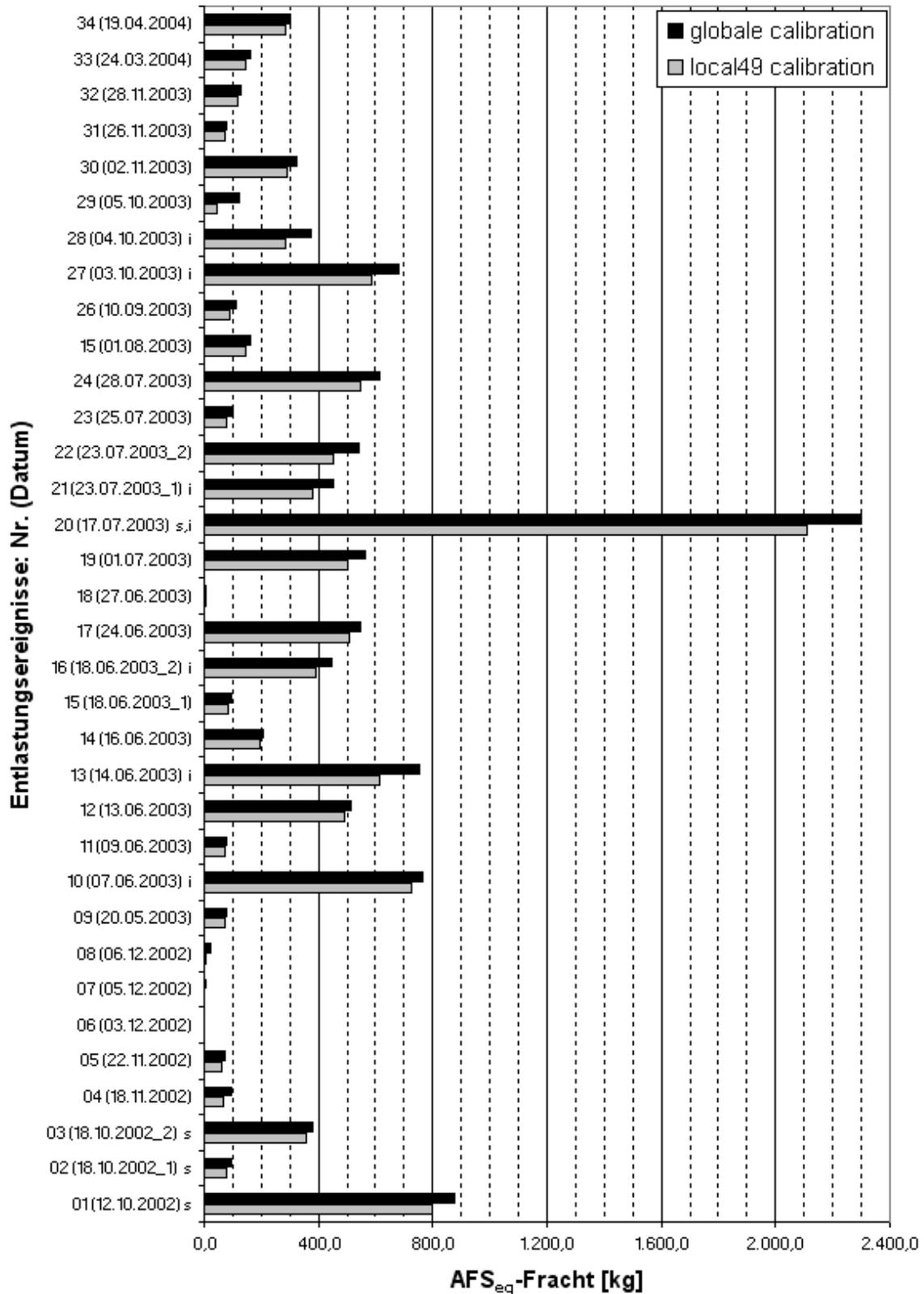


Abb. 4.3 Vergleich der AFS<sub>eq</sub>-Ereignisfrachten zwischen globaler und lokaler Kalibration

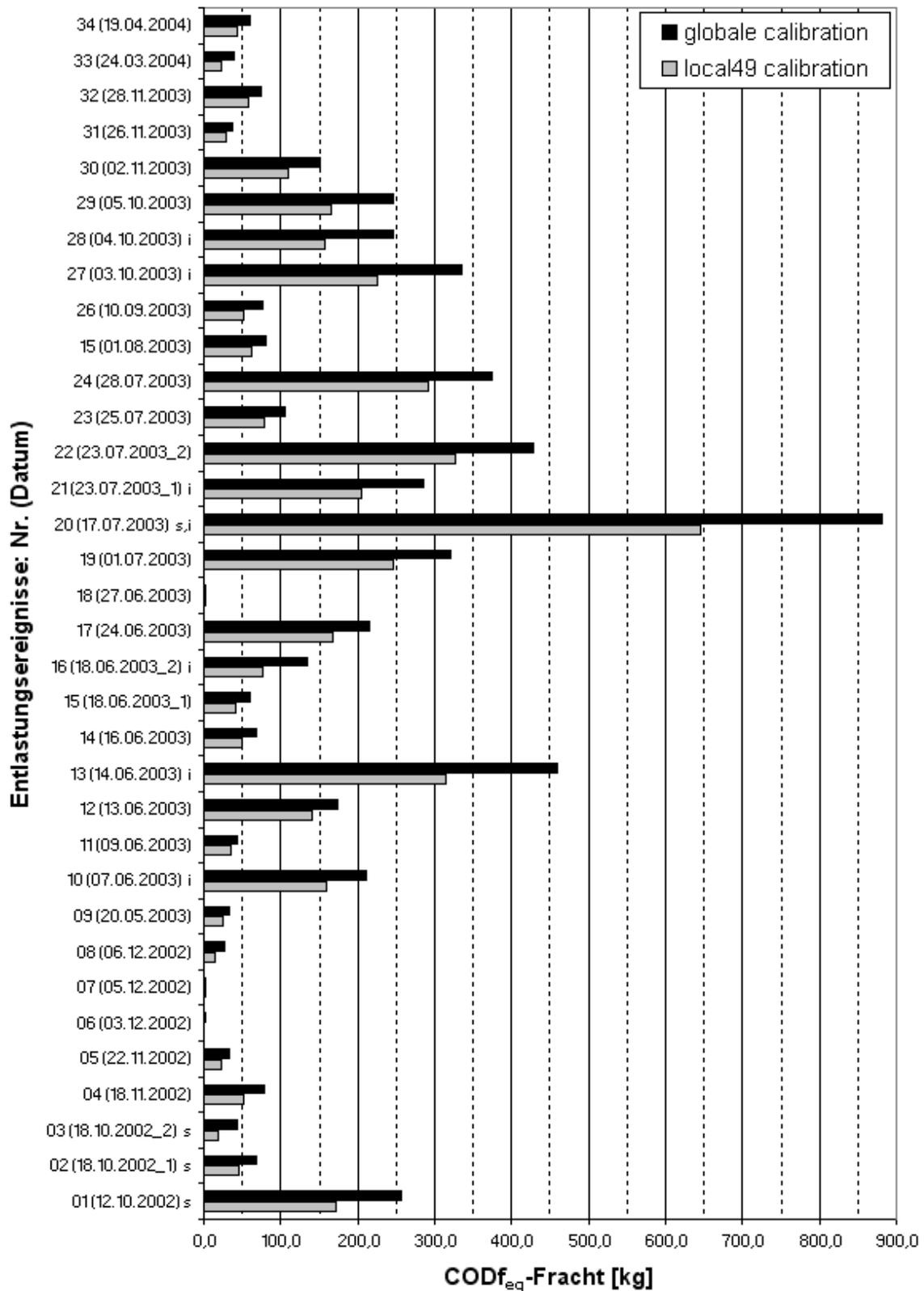


Abb. 4.4 Vergleich der membranfiltrierten CSBeq-Ereignisfrachten zwischen globaler und lokaler Kalibration

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kanal-Online-Messstation Graz hat im Rahmen des interuniversitären Forschungsprojektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ gezeigt, dass es technisch durchaus möglich ist, Online-Monitoring im Kanal erfolgreich zu betreiben. Neben der Dauer und Häufigkeit von Entlastungsereignissen war es möglich, auch Schmutzfrachten online zu quantifizieren.

Obwohl der Wartungsaufwand für den kontinuierlichen Betrieb der Messstation in der Zwischenzeit deutlich reduziert werden konnte, sind gesicherte Messungen im Kanal doch nur mit regelmäßigen Visitationen vor Ort möglich. Im Falle der Messstation Graz half daneben jedoch auch die permanente Videoüberwachung der Mischwasserkammer den Betreuungsaufwand deutlich zu reduzieren und ihn vor allem ereignisabhängig zu machen.

Hinsichtlich der mit einem UV-VIS-Spektrometer insitu ermittelten Stofffrachten hat sich gezeigt, dass eine Validierung der Stoffkonzentrationen für derartige Messungen unerlässlich ist. Verdeutlicht wurde dieses Erkenntnis durch den Einfluss einer sogenannten verbesserten lokalen Kalibration des Spektrometers auf die Messergebnisse. Es wurde allerdings die Erfahrung gemacht, dass diese Verbesserungen nicht pauschal betrachtet werden dürfen. So wurden zwar bei Entlastungsereignissen mit der sogenannten globalen Kalibration (= Werkseinstellung des Spektrometers auf Basis einer durchschnittlichen kommunalen Abwassermatrix) zu hohe Frachten ermittelt (siehe Kapitel 4), im Gegensatz dazu ergab diese im Trockenwetterfall aber tendenziell zu geringe Werte (siehe Kapitel 3). Dieses Verhalten deutete sich bei zwei bisher durchgeführten 24h-Messkampagnen an, wo es im Fall einer größeren Verdünnung des Abwassers (in den Nachtstunden) zu deutlichen Überbefunden gekommen ist. Für weiterführende Auswertungen erscheint es sinnvoll, eine Differenzierung der verwendeten Kalibration vorzunehmen – für die Aufzeichnung von Entlastungsereignissen sollte vielleicht eine andere Kalibration verwendet werden als im Trockenwetterfall. Weiters wurden mit der in dieser Arbeit verwendeten lokalen Kalibration zwar verbesserte (korrigierte) Ergebnisse für den CSB und die AFS erzielt, aber eine darauf aufbauende Verbesserung ist sicherlich erst mit Hilfe einer neuen globalen Kalibration zu erreichen. Zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit wurde bereits an der Entwicklung einer neuen globalen Kalibration seitens der Firma s::can gearbeitet, welche der vorherrschenden Abwassermatrix der Messstation Graz besser entsprechen sollte. Eine

Berücksichtigung dieser neuen globalen Kalibration war in dieser Diplomarbeit leider nicht mehr möglich. Die entsprechenden Auswirkungen auf die vorliegenden Auswertungen sollten sicherlich in diversen Nachfolgearbeiten untersucht werden. Wesentlich größere Auswirkungen auf die ermittelten Frachten könnte eine Validierung der Durchflussmessungen ergeben. Bisher war es nicht möglich, die vorhandenen Durchflussmesswerte auf Grund fehlender Referenzuntersuchungen zu überprüfen bzw. zu kalibrieren. Hier sind noch weitere Untersuchungen von Nöten.

Mit den vorhandenen Untersuchungsergebnissen lassen sich derzeit noch keine Prognosen betreffend einer jährlichen Anzahl von zu erwartenden Entlastungsereignissen oder Schmutzfrachten aufstellen. Die vorhandenen Ergebnisse und Erkenntnisse sollten jedoch mit bereits bekannten Modellierungsmodellen verglichen werden. Allerdings wären auch hierfür Messdaten über einen längeren als den betrachteten Untersuchungszeitraum von 19 Monaten wünschenswert.

Es war durch das Auftreten von technischen Defekten leider auch nicht möglich, ein gesamtes Jahr lückenlos zu erfassen, um am Beispiel dieser Mischwasserentlastung eine vollständige Jahresganglinie der hydraulischen und stofflichen Frachten erstellen zu können.

Wissenschaftlich interessant wäre es sicherlich, an allen (ca. 50) Mischwasserentlastungen von Graz ähnliche Messstationen zu errichten, um das gesamte Einzugsgebiet hinsichtlich der abgeschlagenen Schmutzfrachten vollkommen zu erfassen. Dies wäre zwar aus technischer Sicht kein Problem, jedoch kaum finanzierbar. Denkbar und meiner Meinung nach finanziell durchaus vertretbar wäre die Installation von entsprechenden Höhenstandssensoren samt der hierfür erforderlichen Telemetrie an allen Entlastungsbauwerken, wodurch es möglich wäre, zumindest die laut AEV Mischwasser (2001) Häufigkeiten und die Dauer von Mischwasserentlastungen zu erfassen.

Die Auswirkungen von Mischwasser- aber auch Regenwasserentlastungen auf einen Vorfluter lassen sich nur bei einer Gesamtbetrachtung des Kanalnetzes samt Kläranlage und der Vorflutersituation (Wasserführung, Temperatur und vorhandene Vorbelastungen) feststellen. So wirken sich abgeschlagene stoffliche aber auch hydraulische Frachten in einem leistungsfähigen Vorfluter wie beispielsweise der Mur weniger aus als in abflussschwächeren Fließgewässern.

Diese ganzheitliche Betrachtung wird auch in den bereits als Entwurf vorliegenden Regelwerken, wie der AEV Mischwasser und dem Regelblatt 19 (2003) des Österreichischen Wasser- und Abfallverbandes (ÖWAV) berücksichtigt und ist letztendlich auch durch die EU-WRRL (2000) vorgegeben.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- BROMBACH, H.; FUCHS, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisation, KA-Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr. 4, S. 441f.
- BROMBACH, H.; WÖHRLE, Ch. (1997): Gemessene Entlastungsaktivitäten von Regenüberlaufbecken, Korrespondenz Abwasser, Heft 1/1997, S. 44f.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (1996): Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV), Bundesgesetzblatt der Republik Österreich BGBl 1996/186, Wien.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2001): Entwurf der Verordnung über die Begrenzung von Emissionen aus Mischwasserentlastungen in Mischkanalisationen, Wien.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall – ATV-DVWK (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Arbeitsblatt A 128, GFA.
- Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik (2003): 1. Zwischenbericht des Forschungsprojektes „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft.
- GEIGER, W. F. (1984): Mischwasserabfluss und dessen Beschaffenheit – ein Beitrag zur Kanalnetzplanung, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 50, Technische Universität München.
- GRUBER, G.; HOCHEDLINGER, M.; KAINZ, H. (2003): Quantifizierung von Schmutzfrachten aus Mischwasserentlastungen mit Online-Messtechnik, Wiener Mitteilungen, ÖWAV-Seminar „Klärschlamm(2003), Band 184, TU Wien
- GRUBER, G.; PRESSL, A.; WINKLER, S.; ECKER, M. (2002): Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft – Quantifizierung von Schmutzfrachten im Bereich von Mischwasserentlastungen, Tagungsband zum Workshop „Online-Messungen im Kanal 2002“, iaks Ingenieurbüro für Abfluss-, Kläranlagen-, Steuerung GmbH, Sonthofen.
- GRUBER, G.; PRESSL, A.; WINKLER, S.; ECKER, M. (2003): IMW - Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft, Homepage zum Projekt - <http://www.sww.tugraz.at/imw>.

- GRÜNNING, H. (2001): Steuerstrategien durch Online-Messtechnik bei Mischwasserabfluss, VDI-Berichte Nr. 1619/2001 S. 193f, „Mess- und Regelungstechnik in abwasserspezifischen Anlagen“, Erkrath.
- HARING, P. (2004): Diplomarbeit – Modellierung von Entlastungsfrachten an einem Mischwasserüberlaufbauwerk am Beispiel Graz West, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU-Graz.
- HARTUNG, J. (1999): Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 12. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien.
- HARTUNG, J.; ELPELT, B. (1995): Multivariate Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 5. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien.
- HOCHEDLINGER, M.; KAINZ, H. (2003): Reduction of CSO Emissions on the Basis of Measured Waste Water Data with Probabilistic and Artificial Neuronal Network Tools, Proc. of 18th European Junior Scientist Workshop on Sewer Processes and Networks, Almogrove.
- KAINZ, H.; KAUCH, E.P.; RENNER, H. (2002): Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft, 1. Auflage, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz, Verlag Mainz.
- LUGSTEINER, H. (2003): Online-Plattform für Abwassertechniker, [www.abwassertechnik.at](http://www.abwassertechnik.at), Imst.
- MACKE, E. (2003): Flachstrecken und Ablagerungen, TU Braunschweig.
- MACKE, E.; KOERBER, N.; SANDER, T. (1987): Schmutzfrachtuntersuchungen im Mischwassernetz der Stadt Braunschweig, Mitteilungen des Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 94/1987 S. 377f.
- MACKE, E.; HARTMANN, A.; VON KOERBER, N. (2002): Zur Schmutzfracht von Regenwasser in großen, flach verlegten Mischwassernetzen, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 1 S. 40f.
- Österreichischer Wasser- und Abfallverband (2003): Entwurf des ÖWAV-Regelblatt 19 – Richtlinien für die Bemessung von Regentlastungen in Mischwasserkanälen, Stand 11.12.2003, Wien.
- Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- S::can Messtechnik GmbH (2003): Handbuch der Bediensoftware „ana::lyte“, Version 4.0, Wien.

- S::can Messtechnik GmbH (2002): Handbuch der Bediensoftware „ana::pro“, Version 3.5, Wien.
- S::can Messtechnik GmbH (2003): Handbuch der Bediensoftware „ana::pro“, Version 4.0, Wien.
- S::can Messtechnik GmbH (2001): Handbuch des Bedienrechners „con::stat“, Version 1.0, Wien.
- SCHEER, M. (2000): Online-Belastungsmessungen im Kanalnetz – Betriebserfahrungen bei Einsatz einer mobilen Messstation, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Bd.38 S. 97f.
- SCHEER, M.; SCHILLING, W. (203): Einsatz von Online-Messgeräten zur Beurteilung der Mischwasserqualität im Kanal, KA-Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr.5.
- DE VRIES, J.M. (1993): Bestimmung des Schmutzfrachtpotentials in flach verlegten Misch- und Trennnetzen infolge abfließenden Niederschlagswassers, Mitteilungen des Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 125.
- WEILANDT, H.; HAPPE, H.; ORTH, H. (2001): Aufbau und Betrieb von Messeinrichtungen zur Beurteilung der Gewässergestaltung durch Mischwassereinleitungen, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Bd.40 S. 33f.
- xS+S (2003): Beschreibung der Datenbank des IMW-Systems, Wien.

# 7 ANHANG

## 7.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Abb. 2.1  | Schematische Darstellung der Datenerfassung am Regenüberlauf Harlachinger Straße in München (GEIGER 1984) .....     | 9  |
| Abb. 2.2  | Einfluss der Probenlagerungszeit auf das Analyseergebnis.....   | 10 |
| Abb. 2.3  | Aufteilung der mittleren Mischwasserfrachtganglinie (CSB) nach Herkunft der Einzelkomponenten (DE VRIES 1993) ..... | 16 |
| Abb. 2.4  | Mittlere Verschmutzung im Regenwasseranteil in Abhängigkeit vom spezifischen Kanalschmutzpotential.....             | 17 |
| Abb. 2.5  | Erfasste Parameter und Anzahl der ausgewerteten Datensätze.....   | 20 |
| Abb. 3.1  | Übersicht über Projektpartner, Standorte und Schwerpunkte .....   | 24 |
| Abb. 3.2  | Schematische Lage der Server und Messstellen des IMW-Netzes .....   | 25 |
| Abb. 3.3  | Hauptmenü der IMW-Messnetzzentrale mit Untermenü Konfiguration  | 26 |
| Abb. 3.4  | Öffentliche Auswertung eines Tagesganges inklusive eines Entlastungsereignis .....                                  | 27 |
| Abb. 3.5  | Standort des Messstation Graz mit der zugehörigen Mischwasserentlastung in die Mur .....                            | 29 |
| Abb. 3.6  | Geometrie des CSO der Messstation Graz .....  | 30 |
| Abb. 3.7  | Übersicht über die installierten Mess- bzw. Überwachungssysteme ...   | 31 |
| Abb. 3.8  | Schnitt durch das Ponton .....  | 32 |
| Abb. 3.9  | Ansicht des Pontons im Kanal inkl. Staublech .....  | 32 |
| Abb. 3.10 | Lage des Pontons nach einem Regenereignis.....  | 37 |
| Abb. 3.11 | Die adaptierte seitliche Aufhängung (Führungsseile).....  | 37 |
| Abb. 3.12 | Anfängliche Lage des Bypasses .....   | 39 |
| Abb. 3.13 | Bypass neu, Staublechströmung und ausgebaute s::can-Sonde .....   | 39 |
| Abb. 3.14 | Graphischer Vergleich der Online- zu den Labormesswerten am Beispiel des CSB und der AFS (HOCHEDLINGER 2004) .....  | 43 |
| Abb. 3.15 | Auszug aus der Kalibrationsdatenbank mit den bereits eingegebenen Laborwerten .....                                 | 46 |
| Abb. 3.16 | Darstellung der lokalen Kalibration für den Parameter COD <sub>eq</sub> im ana::pro .....                           | 46 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Abb. 3.17 | Validierung der Online-Werte: $CSB_{\text{hom}}::CSB_{\text{eq}}$ .....   | 47 |
| Abb. 3.18 | Auswirkungen der lokalen Kalibration am Beispiel des $COD_{\text{eq}}$ für den Zeitraum vom 02.01. bis 06.01.2004 ..... | 48 |
| Abb. 4.1  | Entlastungsereignis vom 17. Juni 2003, Messbereichsüberschreitung der beiden Durchflüsse .....                          | 56 |
| Abb. 7.1  | Eingabemaske des „Digitalen Wartungsbuches“ der Messstation Graz .....  | 71 |
| Abb. 7.2  | Proben-Reisepass.....   | 72 |

---

## 7.2 TABELLENVERZEICHNIS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tab. 1-1 | Mindestweiterleitungswirkungsgrade der geplanten AEV<br>Mischwasser (Entwurf 2001) .....   | 2  |
| Tab. 2-1 | Vorschlag von Grenzwerten für Häufigkeit und Dauer von<br>Mischwasserentlastungen (GEIGER 1984).....   | 12 |
| Tab. 2-2 | Wichtigste Kenndaten der Untersuchungsgebiete mit<br>Mischwassernetzen inkl. Graz (MACKE et al.; GRUBER et al. 2004). 14                             |    |
| Tab. 2-3 | Spezifisches Kanalschmutzpotential $SP_{KAN}$ und Verschmutzung des<br>Regenwasseranteils im Mischwasser $c_R$ (CSB) für ausgewählte<br>Gebiete..... | 17 |
| Tab. 2-4 | Statistische Hauptzahlen der Daten zur Konzentration der<br>Trockensubstanz der Abfiltrierbaren Stoffe (AFS).....                                    | 21 |
| Tab. 3-1 | Online-Messwerte des Bypass-Systems .....  | 33 |
| Tab. 3-2 | Vergleich der Online-Messwerte mit der Laboranalyse am Beispiel<br>des Überlaufereignisses vom 13.06.2003 .....                                      | 42 |
| Tab. 4-1 | Überblick der Entlastungsereignisse vom Oktober 2002 bis April<br>2004 .....   | 53 |
| Tab. 4-2 | Zusammenstellung aller beobachteten Entlastungsereignisse.....   | 55 |
| Tab. 7-1 | Protokollierte Daten zu den einzelnen IDs .....  | 73 |



## 7.3.2 Proben-Reisepass

| Proben-Reisepass  |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>1) Aktivierung der Probennahme</b>   |  |  |  |
| ⊕ <u>durch wen?:</u>  | <input type="checkbox"/> Günter Gruber   | <input type="checkbox"/> Martin Hochedlinger |  |
|   | <input type="checkbox"/> Harald Gerhold  | <input type="checkbox"/> Roland Fuchs        |  |
|   | <input type="checkbox"/> Michael Wedenig   | <input type="checkbox"/> .....               |  |
| ⊕ <u>Start:</u>   | Datum: ..... Uhrzeit: ..... (lt. Sigma)  |  |  |
| ⊕ <u>Probensatz:</u>  | <input type="checkbox"/> rot <input type="checkbox"/> blau <input type="checkbox"/> grün <input type="checkbox"/> schwarz<br>mit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Konz. (400µl/600ml) geimpft: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |  |  |
| <b>2) Transport ins Labor</b>   |  |  |  |
|   |  | <u>Datum:</u> .....                          |  |
| ⊕ <u>durch wen?:</u>  | <input type="checkbox"/> .....   | <input type="checkbox"/> .....               |  |
| ⊕ <u>Probendaten:</u>   | Startdatum: ..... Startuhrzeit: ..... (lt. Sigma)  |  |  |
|   | Fehlermeldungen: .....   |  |  |
|   | .....  |  |  |
| ⊕ <u>Lagerung:</u>  | <input type="checkbox"/> eingekühlt  | <input type="checkbox"/> eingefroren         |  |
| <b>3) Analyse im Labor</b>  |  |  |  |
| ⊕ <u>aufgetaut am:</u>  | .....  |  |  |
| <input type="checkbox"/> TKN  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> NH <sub>4</sub> -N   | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> NO <sub>3</sub> -N   | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> TS   | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> CSB <sub>10m</sub>   | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> CSB <sub>50mf</sub>  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> DOC  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> SAC 254  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> SAC 436  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> Leitfähigkeit  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> BDOC   | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> .....  | am .....   | durch .....                                  |  |
| <input type="checkbox"/> .....  | am .....   | durch .....                                  |  |
| ⊕ <u>%www\daten\Projekte\IMW\Messstationen\MS-GRAZ\Auswertungen\Ereignisse\Regenereignisse\</u> | Filename: .....  |  |  |
|   | Probenreisepass  |  |  |

Abb. 7.2 Proben-Reisepass

## 7.4 Validierung

### 7.4.1 24-Stunden-Messkampagnen (ID-Messungen I und II)

Tab. 7-1 Protokollierte Daten zu den einzelnen IDs

| ID    | Datum      | Uhrzeit | Samples | Volumen | CSB-Bereich | Konserv.<br>mit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |
|-------|------------|---------|---------|---------|-------------|--|
| ID 01 | 2003-07-07 | 18:01   | 2       | 700ml   | -           | .Ja  |
| ID 02 | 2003-07-07 | 19:01   | 2       | 700ml   | -           | Ja   |
| ID 03 | 2003-07-07 | 20:01   | 2       | 700ml   | -           | Ja   |
| ID 04 | 2003-07-07 | 21:01   | 2       | 700ml   | -           | Ja   |
| ID 05 | 2003-07-07 | 22:01   | 2       | 700ml   | -           | Ja   |
| ID 06 | 2003-07-07 | 23:01   | 2       | 700ml   | -           | Ja   |
| ID 07 | 2003-07-08 | 00:01   | 2       | 940ml   | -           | Ja   |
| ID 08 | 2003-07-08 | 01:01   | 2       | 880ml   | -           | Ja   |
| ID 09 | 2003-07-08 | 02:01   | 2       | 870ml   | -           | Ja   |
| ID 10 | 2003-07-08 | 03:01   | 2       | 890ml   | -           | Ja   |
| ID 11 | 2003-07-08 | 04:01   | 2       | 900ml   | -           | Ja   |
| ID 12 | 2003-07-08 | 05:01   | 2       | 900ml   | -           | Ja   |
| ID 13 | 2003-07-08 | 06:01   | 2       | 900ml   | -           | Ja   |
| ID 14 | 2003-07-08 | 07:01   | 2       | 600ml   | -           | Ja   |
| ID 15 | 2003-07-08 | 08:01   | 2       | 1.000ml | -           | Ja   |
| ID 16 | 2003-07-08 | 09:01   | 2       | 800ml   | -           | Ja   |
| ID 17 | 2003-07-08 | 10:01   | 2       | 1.000ml | -           | Ja   |
| ID 18 | 2003-07-08 | 11:01   | 2       | 1.000ml | -           | Ja   |
| ID 19 | 2003-07-08 | 12:01   | 2       | 1.000ml | -           | Ja   |
| ID 20 | 2003-07-08 | 13:01   | 2       | 1.000ml | -           | Ja   |
| ID 21 | 2003-07-08 | 14:01   | 2       | 900ml   | -           | Ja   |
| ID 22 | 2003-07-08 | 15:01   | 2       | 900ml   | -           | Ja   |
| ID 23 | 2003-07-08 | 16:01   | 2       | 890ml   | -           | Ja   |
| ID 24 | 2003-07-08 | 17:01   | 2       | 880ml   | -           | Ja   |
| ID 25 | 2003-09-03 | 06:01   | 2       | 2.000ml | ~ 600       | Nein   |
| ID 26 | 2003-09-03 | 07:01   | 2       | 1.700ml | ~ 700       | Nein   |
| ID 27 | 2003-09-03 | 08:01   | 2       | 1.700ml | ~ 1.000     | Nein   |
| ID 28 | 2003-09-03 | 09:08   | 2       | 1.500ml | ~ 1.150     | Nein   |
| ID 29 | 2003-09-03 | 10:01   | 2       | 1.800ml | ~ 985       | Nein   |
| ID 30 | 2003-09-03 | 11:01   | 2       | 2.000ml | ~ 860       | Nein   |
| ID 31 | 2003-09-03 | 12:01   | 2       | 2.000ml | ~ 775       | Nein   |
| ID 32 | 2003-09-03 | 13:01   | 2       | 1.850ml | ~ 880       | Nein   |
| ID 33 | 2003-09-03 | 14:01   | 2       | 1.750ml | ~ 820       | Nein   |
| ID 34 | 2003-09-03 | 15:03   | 2       | 1.800ml | ~ 900       | Nein   |
| ID 35 | 2003-09-03 | 16:01   | 2       | 1.850ml | ~ 770       | Nein   |
| ID 36 | 2003-09-03 | 17:01   | 2       | 1.800ml | ~ 750       | Nein   |
| ID 37 | 2003-09-03 | 18:01   | 2       | 1.850ml | ~ 850       | 800µl  |
| ID 38 | 2003-09-03 | 19:01   | 2       | 1.800ml | ~ 820       | 800µl  |
| ID 39 | 2003-09-03 | 20:01   | 2       | 1.850ml | ~ 830       | 800µl  |
| ID 40 | 2003-09-03 | 21:04   | 2       | 1.650ml | ~ 750       | 800µl  |
| ID 41 | 2003-09-03 | 22:01   | 2       | 1.800ml | ~ 620       | 800µl  |
| ID 42 | 2003-09-03 | 23:01   | 2       | 1.750ml | ~ 600       | 800µl  |
| ID 43 | 2003-09-04 | 00:01   | 2       | 1.750ml | ~ 530       | 800µl  |
| ID 44 | 2003-09-04 | 01:01   | 2       | 1.800ml | ~ 500       | 800µl  |
| ID 45 | 2003-09-04 | 02:01   | 2       | 1.850ml | ~ 460       | 800µl  |
| ID 46 | 2003-09-04 | 03:01   | 2       | 1.800ml | ~ 330       | 800µl  |
| ID 47 | 2003-09-04 | 04:01   | 2       |         | ~           | 800µl  |
| ID 48 | 2003-09-04 | 05:01   | 2       |         | ~           | 800µl  |
| ID 49 | 2003-09-04 | 06:01   | 2       |         | ~           | 800µl  |