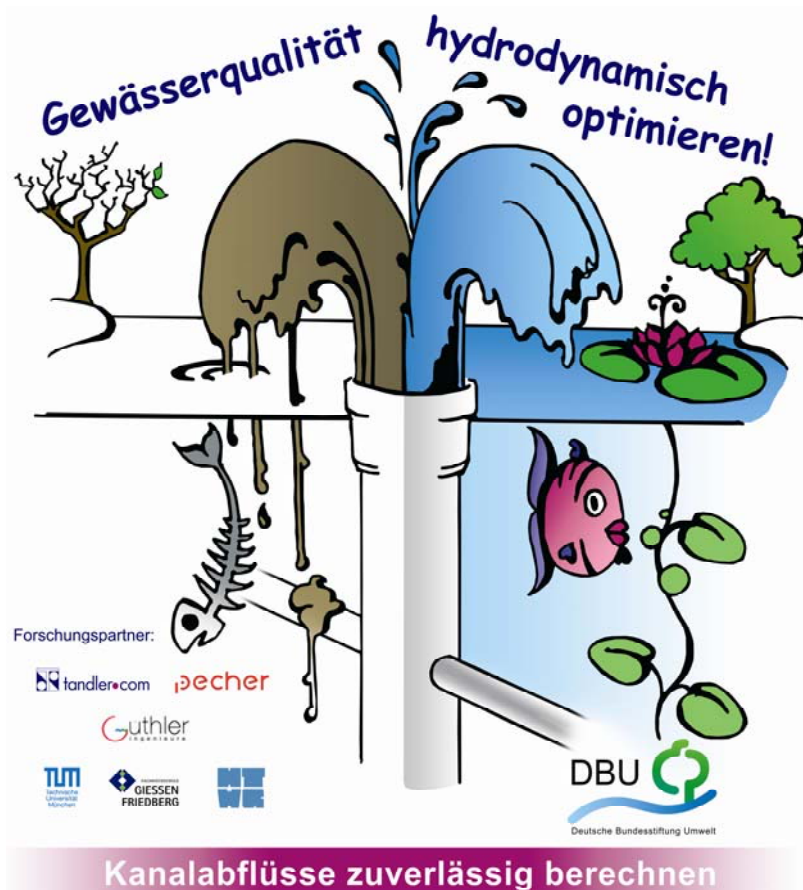


Projekt: AZ 23419/23-2

Titel

**„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von
Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnet-
zen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“**



Projekt: AZ 23419/23-2.....	1
1. Beschreibung des Forschungsprojektes	5
2. Zusammenfassung	6
3. Ausgangssituation	9
4. Veränderung des Erkenntnisstandes	11
5. Projektstruktur und Projektverlauf	12
5.1. Projektpartner.....	12
5.2. Teilprojekte (Projektphase 2)	13
5.2.1. Teilprojekt 1: Berechnungsverfahren.....	13
5.2.2. Teilprojekt 2: Steuerbare Elemente	13
5.2.3. Teilprojekt 3: Genehmigungsbehörden	13
5.3. Aufgabenverteilung	14
5.3.1. tandler.com GmbH.....	14
5.3.2. Dr. Pecher AG	14
5.3.3. FH Konstanz / GÜthler Ingenieure	14
5.3.4. FH Gießen / Friedberg	14
5.3.5. Technische Universität München	14
5.4. Abstimmungsinstrumente und Kommunikation.....	14
6. Verfahren	15
6.1. Steuerelemente	16
6.1.1. Passive Steuerelemente.....	16
6.1.2. Aktive Steuerelemente	18
6.1.3. Laborversuche	19
6.2. Elektronische Steuer- und Überwachungssysteme	25
6.3. Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung	26
6.3.1. Durchmischungsansätze	27
6.3.2. Volumenbestimmung	29
6.4. Sanierungsvarianten	30
6.5. Zentralbeckenvariante.....	30
6.6. Ablagerungen.....	32
6.6.1. Schleppspannungsnachweis.....	32
6.6.2. Kanalschmutzpotential	34
6.6.3. Relatives Kanalschmutzpotential	35

6.6.4.	Spezifisches Kanalschmutzpotential	35
6.6.5.	Übertragung und Auswertung der Formeln in FLOW++	35
6.7.	Langzeitsimulation	35
6.8.	Verteilte Berechnung	38
6.9.	Komplexes Parallelschrittverfahren und Parallelisierung.....	40
6.9.1.	Verfahrensbeschreibung (hydrodynamische Kanalnetzberechnung)	40
6.9.2.	Multiprocessing (Parallele Schmutzfrachtberechnung)	41
6.9.3.	Superparallele Schmutzfrachtberechnung	42
6.9.4.	Berechnungszeit.....	44
7.	Praktischer Nachweis	45
7.1.	Genehmigungsbehörden.....	46
7.1.1.	Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Bayern.....	46
7.1.2.	Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, Schwerpunkt und Anwendungsbeispiel Hessen	46
7.1.3.	Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Baden-Württemberg.....	50
7.1.4.	Projekte für Baden-Württemberg	52
7.1.5.	Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Nordrhein-Westfalen.....	54
7.1.6.	Generelle Erläuterungen zur Kalibrierung von Modellen zur Schmutzfrachtberechnung	55
7.1.7.	Ergebnisse einer Modellkalibrierung mit DYNA	57
7.2.	Messkampagne Bochum.....	58
7.2.1.	Bewertung der Einzelereignisse	59
7.2.2.	Zweiter Regenmesser mit 31 Jahren Kontinuum	60
7.2.3.	Berechnung mit und ohne Abflussbremsen.....	62
7.2.4.	Überstaunachweis mit Abflussbremsen	63
7.2.5.	Vergleich mit Zentralbeckenberechnung	63
7.2.6.	Fazit	64
7.3.	Praktischer Einsatz in Augsburg	65
7.3.1.	Projektbeschreibung	65
7.3.2.	Verfügbare Daten	66
7.3.3.	Modellaufbau	66
7.3.4.	Modellprüfung	67
7.3.5.	Schmutzfrachtberechnung.....	69
7.3.6.	Ergebnisse.....	69
7.4.	Praktischer Einsatz in Mülheim an der Ruhr	70
7.4.1.	Projektbeschreibung	70
7.4.2.	Verfügbare Daten	72
7.4.3.	Modellaufbau	72
7.4.4.	Anerkennung der Ergebnisse von FLOW++.....	72
7.5.	Referenzprojekte.....	73

8.	Ökologische Auswirkungen	74
9.	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	75
10.	PR und Publikationen	76
11.	Ausblick	76
12.	Danksagung.....	77
13.	Literatur.....	78
14.	Anhang	82

Anhang A1: Einsatz von ++SYSTEMS/DYNA/FLOW für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in den Bundesländern Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Anhang A2: Vergleich zwischen ++SYSTEMS/DYNA/FLOW und SMUSI anhand eines Anwendungsfalls in Hessen

Anhang B: Übersicht der unterschiedlichen Parameter FLOW++ und KOSIM

Anhang C: Automatische Zentralbeckenvariante

Anhang D: Protokoll des Beiratstreffen vom 20. November 2008

Anhang E: DWA Landesverbandstagung Nord Manuskript: Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgern durch innovative Systemelemente im Kanalnetz

Anhang F: A128: Grenzen der Anwendbarkeit

Anhang G: Nachuntersuchung der Laborversuche an der TU-München

Anhang H: Stellungnahme der Unteren Wasserbehörde (UWB) Mülheim an der Ruhr über das Softwareprogramm „FLOW++“

Anhang I: Offizielle Bestätigung der Schmutzfrachtberechnung für die Stadt Landshut

Anhang J: Vergleichsrechnung Bochum: Programmnahe Darstellung der Simulation von Entlastungsfrachten - Optimierte Betrachtung des Kanalnetzes

1. Beschreibung des Forschungsprojektes

Mit dem Forschungsvorhaben „Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“ werden folgende Technologien entwickelt und untersucht:

- Ein Verfahren zur kombinierten Simulation von extremen Abflüssen für den hydraulischen Nachweis von Kanalisationsnetzen sowie einer Schmutzfrachtberechnung für den Nachweis des Entlastungsverhaltens von Entwässerungssystemen mit einem Modell, ohne Systemvereinfachungen (Feinnetz) auf der Basis einer hydrodynamischen Abflusstransportberechnung.
- Die Modellierung und Simulation von Systemelementen zur Optimierung der Abflussprozesse, einerseits durch Volumenaktivierung und andererseits durch Vermeidung eines unkontrollierten Einstauverhaltens in den Schachtbauwerken.
- Desweiteren muss untersucht werden inwieweit dieses Verfahrens (FLOW++) als anerkanntes Nachweisinstrument in den jeweiligen Bundesländern etabliert werden kann.

Das Problem der Rechenzeiten bei hydrodynamischer Abflusssimulation eines Langzeitkontinuums wird durch den Einsatz von Multiprozessortechnologien erheblich reduziert. Mit dem Ergebnis des Projektes sollen Planende und Genehmigungsbehörden über ein wirksames, auf Multiprozessortechnologie und auf dem komplexen Parallelschrittverfahren [R. Tandler, 1994] basierendes Instrument verfügen, um möglichst präzise, aber auch einfach die hydraulischen und ökologischen Auswirkungen einer Planung beim Einsatz moderner Steuerungselemente abschätzen und beurteilen zu können.

An dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Vorhaben sind folgende Partner beteiligt:

- tandler.com GmbH (Buch am Erlbach) – Antragsteller und Projektleitung
- Dr. Pecher AG (Erkrath)
- GÜthler Ingenieurteam GmbH (Waldshut-Tiengen)
- Fachhochschule Konstanz
- Fachhochschule Gießen
- Technische Universität München

Die Systementwicklungen erfolgen auf der Basis des seit Jahren bewährten Kanalnetzrechnungsprogramms DYNA in Kombination mit dem Grafischen Informations- und Systemdatenverwaltungssystem ++SYSTEMS. Bei den modellierten Systemelementen handelt es sich zum Teil um Systeme, deren Entwicklung bereits von der DBU gefördert worden sind, so dass hier eine Weiterentwicklung bisheriger Forschungsergebnisse erzielt wird. Die Wirkungen der damals geförderten Steuerelemente können nunmehr im Gesamtkontext eines Kanalnetzes geprüft bzw. nachgewiesen werden. Dieser Nachweis erleichtert den praktischen Einsatz der Steuerelemente erheblich.

Die untersuchten Möglichkeiten und Systementwicklungen der kombinierten hydrodynamischen Simulation des Abflusstransportes sowohl für die hydraulischen Nachweise als auch für die Schmutzfrachtberechnung weisen folgende Vorteile auf:

- Für die Schmutzfrachtberechnung ist keine Modellabstraktion durch Systemvereinfachungen erforderlich.
- Die Modellkalibrierung ist mit reduziertem Aufwand möglich.
- Eine höhere Genauigkeit der Simulationsergebnisse wird erreicht, da Schmutzfrachtberechnungen mit hydrologischen Modellen höhere Modellgenauigkeiten und deterministische Verfahrensfehler aufweisen und zudem derzeit selten kalibriert werden.
- Systemeinheiten und Steuerelemente können im Modell abgebildet werden.
- Der Gesamtaufwand für die Systemmodellierung wird deutlich reduziert.
- Die nicht unerheblichen Kosten einer kontinuierlichen Modell- und Datenpflege können auf die beiden Aufgaben „hydraulischer Nachweis“ und „Schmutzfrachtnachweis“ verteilt werden.

2. Zusammenfassung

Das übergeordnete Ziel des F&E Projektes „Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“ ist die Minderung der Schmutzfrachtausträge unter Beibehaltung des Entwässerungskomforts (Überstauachweis). Unterstützt werden diese Ziele durch eine verbesserte und vereinfachte Planung gesteuerter Systeme. Das Projekt wurde in die drei Teilbereiche (-projekte) Berechnungsverfahren, steuerbare Elemente und Abgleich mit den Genehmigungsbehörden aufgeteilt.

Das Teilprojekt Berechnungsverfahren umfasst die Umsetzung der hydrodynamischen Simulationsverfahren (FLOW++) für die Schmutzfrachtberechnung nach [ATV-A128,1992] und Schleppspannungsberechnung in Wechselwirkung mit den sicherheitstechnischen Aussagen hinsichtlich des Überstauachweises, wie in [DWA-A118, 2006] und [DIN EN 752, 2008] gefordert. Der Schmutzfrachtaustrag wird in jährlicher Menge, jährlicher Anzahl bzw. Häufigkeit und jährlicher Dauer ausgewiesen. Auch die Gesamtbilanz wird auf ein gesamtes Jahr bezogen ausgewiesen. Bei Einzelereignissen kann es aufgrund fehlerhafter Eingabedaten (z.B. ungenaue Regendaten, starke lokale Begrenzung von Starkregenereignissen) zu starken Abweichungen in den Ergebnissen kommen. Aus diesem Grund ist die Betrachtung von Einzelregenereignissen nur bedingt sinnvoll und an strikte Auflagen hinsichtlich der Datenqualität gebunden. Um eine möglichst exakte Simulation der realen Gegebenheiten gewährleisten zu können, werden die vorliegenden Kanalnetz- und Einzugsgebietsdaten vollständig und wirklichkeitsgetreu genutzt. Hierfür kann im entwickelten Verfahren der individuelle Bodenaufbau bzw. Bodenspeicher, individuelle Versickerungskapazität (cf-Werte), eine verteilte Beregnung, die individuelle Oberflächencharakteristika und ein automatisches Individualkonzept für Schächte und Bauwerke genutzt werden. Durch die verwendete Parallelisierungstechnologie konnte zum ersten Mal bei einem

großen Kanalnetz (>25.000 Elemente) auf einem 8-Prozessorsystem (2 x Intel XEON E5450) die 100-fache Echtzeit überschritten werden.

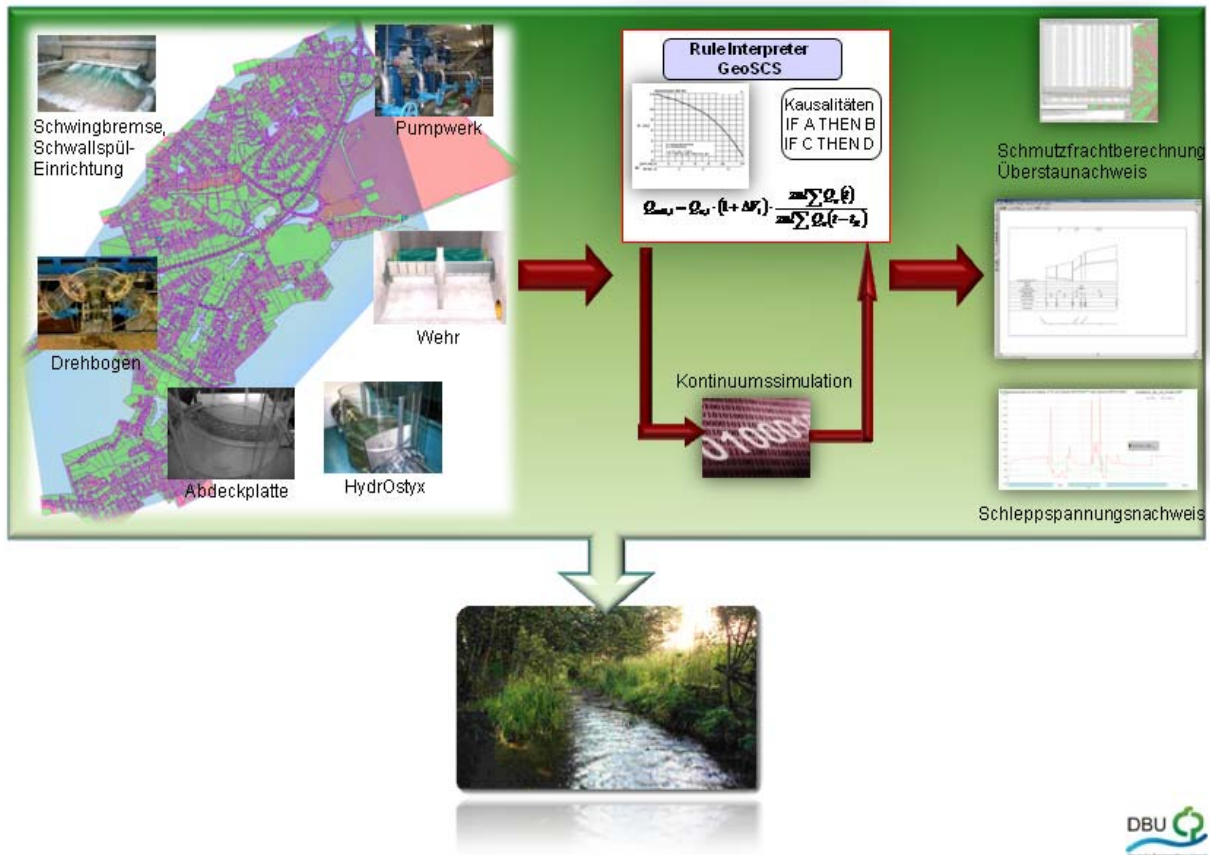


Abbildung 1: Projektübersicht

Um die gesteuerten Abflüsse [DWA-M180, 2005] in den Kanalnetzen zu simulieren und die im Kanal vorhandenen und aktivierten Volumina nachzuweisen, wurden die, in den letzten Jahren von einem Teil der Projektpartner entwickelten Steuerkomponenten in das Verfahren integriert. Das Teilprojekt der steuerbaren Elemente unterteilt sich in die passiv und aktiv gesteuerten Elemente. Als abflussbeeinflussende passive Komponenten wurden die bereits von der DBU geförderten HydroStyx [W. Lutz et al., 2001] Armaturen und Gerinneabdeckungen [F. Valentin, 2003] in die Simulationsverfahren integriert. Die passiven Steuerelemente wurden anhand der Ergebnisse von Laborversuchen an der Technischen Universität München und der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Konstanz verifiziert. Des Weiteren sollten die aktiven Steuerungselemente Drehbogen, Pumpwerke und Druckrohr-Teilnetze, Schwallspüleinrichtungen, bewegliche Wehre und Schieber in das neue Verfahren integriert werden.

Die umgesetzten Komponenten wirken hinsichtlich der Abflüsse entgegengesetzt zueinander. In einem stark verästelten Kanalnetz mit inhomogener Einzugsgebietsstruktur variieren die Auswirkungen beider Komponenten in Bezug auf den Gewässer- und Überflutungsschutz und sind stark von den

lokal auftretenden geographischen und topologischen Strukturen abhängig. Die Auswertung der Projektgebiete (Kapitel 7) hat ergeben, dass bei entsprechender Anordnung beider Komponenten ein höherer Entwässerungskomfort bei gleichzeitig niedrigeren ökologischen Belastungen erreicht werden kann. An der Hochschule Konstanz wurde an mehreren Projektgebieten die Wirkung der neuen Techniken im Vergleich zu bisherigen hydrologischen Simulationsverfahren aufgezeigt. Weitere von der tandler.com GmbH betreute Bewertungen von Projektgebieten in Augsburg, Landshut, Bochum und Mühlheim ergänzen die umfassenden Arbeiten zur Verifikation der mit dem neuen Verfahren berechneten Ergebnisse. Im Rahmen der Vorstellung der Ergebnisse bei den Genehmigungsbehörden der Länder (Nordrhein-Westfalen, Hessen, Baden-Württemberg, Bayern) wurden zusätzliche Vergleiche und Gegenüberstellungen mit hydrologischen Verfahren (siehe Kapitel 7.1) erarbeitet.

Das Teilprojekt – „Abgleich mit den Genehmigungsbehörden“ - beinhaltet Untersuchungen zu den Anforderungen bei der Genehmigung von Kanalisationssystemen, insbesondere dem Nachweis der Mischwasserbehandlung, in verschiedenen Bundesländern im Hinblick auf die Anwendung des neu entwickelten Verfahrens FLOW++. Eine Untersuchung in den verschiedenen Ländern ist notwendig, da deren Vorgehen bei der Genehmigung nicht einheitlich ist und teilweise starke Unterschiede aufweist, z.B. bei der Verwendung von Simulationsprogrammen für Schmutzfrachtsimulationen. In diesem Projekt wurden im Speziellen die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen berücksichtigt, wobei die Schwerpunkte auf den ersten drei Bundesländern lagen.

Neben den Untersuchungen zu den Anforderungen zur Genehmigung wurden in diesem Teilprojekt die neuen Verfahren an länderspezifischen Beispielen angewandt und mit den bisher verwendeten hydrologischen Verfahren verglichen. Zum einen konnte damit die Praktikabilität nachgewiesen werden. Zum anderen wurden die Möglichkeiten der Anwendung im Rahmen der Genehmigung aufgezeigt. Die Vorstellung des Projektes und der Anwendungsfälle bei den Genehmigungsbehörden stieß auf positive Resonanz in Hinblick auf den Gewässerschutz. Zudem wurden Impulse zur Anwendung der hydrodynamischen Berechnung anstatt der bisher weitgehend üblichen Verwendung von hydrologischen Verfahren gegeben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit Hilfe des neuen Simulationsverfahrens FLOW++ eine bisher unerreichte, realitätsnahe Planung ermöglicht wird. Diese führt in fast allen durchgeführten Vergleichsrechnungen, gegenüber den traditionellen Vorgehensweisen zu einem insgesamt reduzierten Entlastungsverhalten der Mischwasseranlagen. Allerdings konnte auch bei einigen der betrachteten Einzelanlagen insbesondere in den oberen Netzteilen ein umgekehrtes Verhalten beobachtet werden. Dies bedeutet, dass durch den Einsatz des neuen Verfahrens und der Implementierung der Steuerkomponenten zum einen Kanalnetze sehr einfach saniert werden können (einfache Steuerelemente), zum anderen sogar teure Baumaßnahmen komplett eingespart werden können. Insgesamt geht es um die Einsparung von unnötigen Reserven, dort wo diese nicht benötigt und in Anspruch genommen werden, sowie um die Schaffung zusätzlicher Sicherheiten dort, wo diese ge-

braucht werden, also um eine Vergleichmäßigung der Sicherheiten und damit um eine Optimierung der Mischsysteme bei begrenzten Budgets. Das Einsparpotential ist um ein Vielfaches höher als der Aufwand, der betrieben werden muss, um das neue Verfahren einzuführen. Durch die modernen Modellierungswerkzeuge, die im Zuge dieses Projektes geschaffen wurden, werden zusätzlich Einsparpotentiale gegenüber den traditionellen Herangehensweisen bei der Projektbearbeitung aktiviert. Es müssen keine fehleranfälligen Grobnetze erstellt werden und das gleiche Modell bzw. auch der gleiche Berechnungslauf können für die Schmutzfrachtberchnung und den Überflutungsnachweis verwendet werden.

Als Ergebnis dieses F&E Projektes kann den Partnern, Genehmigungsbehörden, Hochschulen, Betreibern, planenden und ausführenden Ingenieurbüros ein wirksames, auf Multiprozessortechnologie und auf dem komplexen Parallelschrittverfahren [R.Tandler, 1994] basierendes Instrument zur präzisen, aber auch einfachen Abschätzung und Beurteilung der hydraulischen und ökologischen Situation im Kanalnetz bzw. im Gewässer zur Verfügung gestellt werden. Das Verfahren eignet sich sowohl zur Bestimmung des IST-Zustands als auch für den Vergleich verschiedener Planungszustände zur Optimierung der hydraulischen und ökologischen Auswirkung geplanter Netzerweiterungen und Optimierung mit den im Verfahren berücksichtigten Steuerkomponenten.

3. Ausgangssituation

Die Entwicklung von Schmutzfrachtberechnungsmethoden begann Ende der sechziger Jahre und wurde seitdem durch immer weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten intensiviert. Die bisher in der Praxis angewandten hydrologischen Modelle wie beispielsweise KOSIM und SMUSI verwenden für die Berechnung von Abflussganglinien vereinfachte Übertragungsfunktionen. Dabei werden die realen Verhältnisse des Kanalnetzes nur grob angenähert wiedergegeben. Durch die Einschränkung der damaligen Rechner mit ihrer Speicherfähigkeit und Schnelligkeit war gerade bei Langzeitsimulationen eine Vereinfachung der Abläufe notwendig, um überhaupt in einem vertretbaren Arbeits- und Zeitaufwand zu einem Rechenergebnis zu gelangen. Durch die Vereinfachung der Rechenmodelle konnte zwar eine Reduzierung der Rechenzeit erzielt werden, jedoch gehen hierbei viele Informationen über die realen Abflussvorgänge in einem Kanalsystem verloren. Gerade die Linearität, welche eine Eigenschaft der Übertragungsfunktionen ist, ist in der Wirklichkeit nicht gültig. Hier kann es zu extremen Abweichungen von Berechnungsergebnissen und Realität kommen.

Folgende Nachteile ergeben sich konkret bei der Verwendung von hydrologischen Kanalnetzmodellen:

- Das Abflussgeschehen und somit die Speicherwirkung des Kanalnetzes wird nicht erfasst, und hydraulische Besonderheiten wie Einstau, Verzweigung, Rückfluss und Abstürze können nicht

berücksichtigt werden. Füllstände werden nicht oder nur ungenau berechnet. Es handelt sich hierbei um deterministische Fehler, die auch bei Kalibrierungen Probleme verursachen.

- Es ist eine zusätzliche eingehende Untersuchung des Kanalnetzes bzw. ein Nachweis der hydraulischen Gleichwertigkeit von Grobnetz und detailliertem Kanalnetz notwendig.
- Aufgrund eingeschränkter Ausgabemöglichkeiten der Programme können die Berechnungsergebnisse nicht umfassend geprüft werden.
- Das erforderliche Beckenvolumen für den Gewässerschutz nach ATV-A 128 ist deutlich höher als bei hydrodynamischen Schmutzfrachtberechnungen.

Werden jedoch hydrodynamische Modelle zur Berechnung verwendet, so werden auch unterschiedliche Fließzustände berücksichtigt. Die physikalischen-hydraulischen Gesetzmäßigkeiten des Fließvorgangs im Kanal können explizit gelöst werden. Die hierbei berechneten Ergebnisse entsprechen mehr den realen Verhältnissen. Auch stellt die Rechenzeit aufgrund der heute vorhandenen leistungsstärkeren Rechner kein Hindernis mehr dar.

Zu Beginn des Projektes konnte mit dem Programmsystem ++SYSTEMS/DYNA bereits in vertretbarer Zeit eine hydrodynamische Überstauberechnung durchgeführt werden. Allerdings war es zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich, den vollständigen Nachweis nach ATV-A 128 abzuwickeln, da die Vorberechnung mittels fiktivem Zentralbecken und die Schmutzfrachtberechnung noch fehlte.

Durch die ständige Weiterentwicklung des Programmsystems ++SYSTEMS/DYNA wurde die Rechendauer immer weiter verkürzt. Auch die Funktion des verteilten Rechnens, welche in FLOW++ genutzt werden kann, trägt zu schnelleren Ergebnissen bei. Im Vergleich zum Beginn des Forschungsprojektes sind hier enorme Fortschritte gemacht worden. Diese zeigen, dass es nur noch eine Frage der Zeit ist, bis die Rechenzeiten hydrodynamischer Langzeitsimulation genauso zeiteffizient gestaltet werden kann wie bei hydrologischen Langzeitsimulationen.

Unter dem Titel „Beeinflussung der Leistungsfähigkeit von Kanalstrecken durch konstruktive Veränderung im Bereich der Schächte“ [F. Valentin, 2003] lieferte Herr Prof. Dr.-Ing. F. Valentin den Beweis, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit von Kanalstrecken durch Beseitigung von Schachtverlusten auf einfache, kostengünstige Art erhöht und damit das Abflussverhalten verbessert werden kann.

Im Rahmen der Entwicklung des „Verfahrens zum gebremsten Abfluss in Kanalisationen mittels HydroStyx-Armaturen“ [W. Lutz et al., 2001] konnte von Prof. Dr.-Ing. Werner Lutz und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Harald Güthler nachgewiesen werden, dass bei gezieltem Einsatz der Armaturen Kanalvolumen als Retentionsvolumen so genutzt werden kann, dass sowohl eine Regenwasserbehandlung als auch durch Verzögerung von Abflüssen die hydraulische Leistungssteigerung von Kanalnetzen erreicht werden kann.

Beide Projekte wurden von der Bundesstiftung Umwelt gefördert und veröffentlicht. Weitere Elemente, die das Abflussverhalten beeinflussen, werden ebenfalls in Betracht gezogen. Hierzu ist auch das bereits geförderte Element mit der Bezeichnung Drehbogen dazu zu rechnen.

4. Veränderung des Erkenntnisstandes

Finanzielle Mittel

Aufgrund der Kürzungen der beantragten Mittel seitens der DBU für die zweite Leistungsphase dieses Projektes musste auf die Umsetzung des Verfahrens GeoSCS (Geoscientific-Control and Monitoring System) zur globalen Steuerung und Kontrolle des Systems, während der Simulation, verzichtet werden. Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel konnte lediglich die Spezifikation des Verfahrens GeoSCS wie in Kapitel 6.2 beschrieben, erstellt werden, nicht jedoch die Simulation des in Dresden installierten Drehbogens und der anderen von einem Leitsystem abhängigen Komponenten. Diese Änderungen im Funktionsumfang wurden der DBU zu Projektbeginn mitgeteilt.

Ablagerungen

Die Schleppspannungsbetrachtungsweise wurde gemäß der neuen Richtlinie A110 [DWA-A 110, 2006] der DWA implementiert (Kapitel 6.6). Hier ist entscheidend, wie lange die vorherrschende Schleppspannung einen gewissen Minimalwert überschreitet. Als Folgerung dieser Betrachtungsweise ergibt sich, dass eine HydrOstyx Abflussbremse nicht zwangsläufig die Ablagerungsgefahr erhöht. Durch den abgeflachten, aber erheblich längeren Abfluss können ggf. die Anforderungen erst eingehalten werden.

5. Projektstruktur und Projektverlauf

5.1. Projektpartner

Antragsteller / Projektleitung			
	tandler.com GmbH	Dipl.-Math. Reinhard Tandler ufo@tandler.com	Am Griesberg 25-27, 84172 Buch am Erlbach
Forschungspartner (mit DBU Förderung)			
	Güthler Ingenieurteam GmbH	Dipl.-Ing. Harald Güthler ch@guethler-ingenieure.de	Schaffhauserstr. 103, 79761 Waldshut-Tiengen
	Dr. Pecher AG	Dr.-Ing. Helmut Grüning helmut.gruening@pecher.de	Klinkerweg 5, 40688 Erkrath
	Fachhochschule Gießen-Friedberg	Prof. Ulf Theilen ulf.theilen@bau.fh-giessen.de	Wiesenstr. 14, 35390 Gießen
 Fachhochschule Konstanz	Fachhochschule Kon- stanz	Prof. Werner Lutz wlutz@htwg-konstanz.de	Brauneggerstr. 55, 78462 Konstanz
	Technische Universität München	Prof. Manhart M.Manhart@bv.tu-muenchen.de	Arcisstrasse 21, 80290 München
Forschungspartner (ohne DBU Förderung)			
	Ingenieurbüro Scheer	Dr.-Ing. Martina Scheer info@ib-scheer.de	Am alten Bahnhof 7a, 87527 Sonthofen
	Stadt Mülheim an der Ruhr	Dipl.-Ing. Bettina Neumann Bettina.Neumann@stadt-mh.de	Waldstr. 22, 45468 Mülheim a. d. Ruhr
	Stadt Augsburg	Dipl.-Ing. Günther Ziechert	Annastrasse 16, 86150 Augsburg

Tabelle 1: Forschungs- und Projektpartner

5.2. Teilprojekte (Projektphase 2)

5.2.1. Teilprojekt 1: Berechnungsverfahren

5.2.1.1. Schleppspannung

- Vollständige Umsetzung der Funktionalitäten der Schleppspannungsberechnung
- Erweiterte Ergebnisdarstellung

5.2.1.2. Schmutzfrachtberechnung

- Vollständige Umsetzung des Nachweisverfahrens und Erweiterung der Ergebnislisten
- Gesonderte Betrachtung von Trennsystemen
- Einarbeiten von Anforderungen der Genehmigungsbehörden und praxisnahen Aufgabenstellungen begleitend zu den Aufgabenpaketen der Projektpartner

5.2.2. Teilprojekt 2: Steuerbare Elemente

5.2.2.1. Bremse

- Verifikation anhand der Laborversuche
- Aufzeichnen der Abfluss-, Geschwindigkeits- und Schleppspannkurven

5.2.2.2. Abdeckplatte

- Erweiterte Auswertung der Laborversuche und Verifikation des Berechnungsverfahrens

5.2.2.3. Bewegliches Wehr

- Anforderungs- und Systemanalyse
- Integration in Berechnungsverfahren und Aufzeichnung der Flutkurven

5.2.2.4. Pumpwerke und Druckwehre

- Anforderungs- und Systemanalyse
- Integration in Berechnungsverfahren und Aufzeichnung der Hysterese bei Pumpwerken

5.2.3. Teilprojekt 3: Genehmigungsbehörden

- Nordrheinwestfalen
- Hessen
- Baden-Württemberg
- Eruiern der Genehmigungsverfahren für weitere Bundesländer

5.3. Aufgabenverteilung

5.3.1. tandler.com GmbH

- Projektleitung
- Umsetzung der Verfahren für den Schleppspannungsnachweis
- Umsetzung der Verfahren für den Schmutzfrachtnachweis
- Integration der passiven Steuerelemente (HydrOstyx und Gerinneabdeckung) in das Simulationsverfahren
- Kalibrierung der HydrOstyx Armatur und der Gerinneabdeckungen anhand der Laborversuche an FH Konstanz und der TU München
- Integration der aktiven Steuerelemente (bewegliches Wehr, Pumpwerke und Druckrohrsysteme) in das Simulationsverfahren
- Validation und Verifikation des entwickelten Simulationsverfahrens anhand des Projektgebietes Bochum-Schattbach

5.3.2. Dr. Pecher AG

- Test und Verifikation Teilprojekt „Berechnungsverfahren“ und „Steuerbare Elemente“
- Genehmigungsbehörde Nordrheinwestfalen

5.3.3. FH Konstanz / Gütler Ingenieure

- Test und Verifikation Teilprojekt „Berechnungsverfahren“ und „Steuerbare Elemente“
- Laborversuch HydrOstyx Armatur
- Genehmigungsbehörde Baden-Württemberg

5.3.4. FH Gießen / Friedberg

- Test und Verifikation Teilprojekt „Berechnungsverfahren“ und „Steuerbare Elemente“
- Genehmigungsbehörde Hessen

5.3.5. Technische Universität München

- Erweiterte Auswertung Laborversuche zur Gerinneabdeckung

5.4. Abstimmungsinstrumente und Kommunikation

Die Kontrolle des Projektverlaufs erfolgt anhand eines MS Projekt Projektplans. Alle Aufgaben werden zusätzlich in einer Aufgabenliste verwaltet und ständig bzgl. ihres Status aktualisiert und kontrolliert. Für die einheitliche Dokumentation der Arbeitspakete und aller durchgeführten Tätigkeiten sind Vorla-

gen vorhanden. Für alle durchgeführten Workshops und Projekttreffen werden Protokolle angefertigt und archiviert. Ein speziell für das Projekt angefertigtes gesichertes Onlineportal, auf das alle Projektpartner uneingeschränkt Zugriff haben, dient als Kommunikations- und Informationsaustauschzentrale. Dort finden sich alle projektrelevanten Dokumente und Informationen. Das Portal umfasst Dokumente zur Projekt- und Terminsteuerung, alle Protokolle und Präsentationen, Spezifikationen, Literaturlisten, Terminlisten und einen eigenen Bereich zum Austausch von Daten beliebiger Größe.

Zusätzlich zu den veranstalteten Workshops, an denen nur die themenspezifisch zuständigen Projektpartner teilnehmen, wurden in regelmäßigen Abständen Projektmeetings veranstaltet. Alle Projektpartner sind dabei zur Teilnahme verpflichtet. Es dient zum Informationsaustausch, Vorlegen der Ergebnisse, zur Diskussion und zur Festlegung der nächsten Arbeitsschritte.

6. Verfahren

Die Berechnung der Schmutzfrachtausträge und der Schleppspannungen sowie der Nachweis der passiven und aktiven Steuerelemente setzen auf das von Dipl.-Math. Reinhard Tandler entwickelte „Komplexe Parallelschrittverfahren“ [R. Tandler, 1994] auf. Diese spezielle Art der Lösung (konjugiert komplex) der Bewegungsgleichung innerhalb der Saint-Venant'schen Differenzialgleichungen zur hydrodynamischen Kanalnetzberechnung wurde in Kooperation zwischen der tandler.com GmbH und der Dr. Pecher AG in dem Programmsystem ++SYSTEMS / DYNA umgesetzt und hat sich im jahrzehntelangen praktischen Einsatz bewährt. Das „Komplexe Parallelschrittverfahren“ profitiert in zweifacher Art und Weise von der Ausweitung der Lösungen der Saint Venant'schen Differenzialgleichungen auf der komplexen Zahlenebene.

Der komplexe Anteil der Lösungen dient als Indikator für lokale und globale Schwingungsvorgänge im Kanalnetz. Durch die zusätzlich dynamisch gestaltete Bestimmung des Folgezeitschritts können so auch kurzzeitige Schwingungsvorgänge nachgebildet werden. Eine Lösung besteht in jeder hydraulischen Situation, sogar bei Schießen und Fließumkehr.

Der direkte Lösungsansatz erlaubt die vielfach beschleunigte parallele Berechnung der Abflussvorgänge auf Multiprozessorsystemen, mit denen mittlerweile jedes Standard PC System ausgerüstet ist. Durch eine geeignete zeitliche Aufteilung der Regenereignisse auf verschiedene physikalisch getrennte und lediglich über ein Netzwerk verbundene Rechensysteme sind langjährige detaillierte Langzeitsimulationen mittlerer bis großer Kanalnetze möglich.

6.1. Steuerelemente

6.1.1. Passive Steuerelemente

HydrOstyx-Verfahren

Das Verfahren sieht die Bildung von Speicherkaskaden in Kanälen durch Anwendung technisch einfacher HydrOstyx[®]-Armaturen, der sogenannten HydrOstyx[®]-Abflussbremse[®] sowie der HydrOstyx-Schwingbremse, als Instrumente vor.

Der Name HydrOstyx gliedert sich in Hydro, was keiner näheren Erläuterung bedarf und dem Wort Styx. Styx ist in der griechisch-römischen Mythologie der Fluss der Unterwelt, der diese mit trübem, schlammigem Wasser in neunfacher Windung umgibt, den Hades in sieben Windungen durchfließt, ehe er als Quellfluss neu entspringt. Dies entspricht sinngemäß übertragen unserem Abwasserfluss, der sich in zahlreichen Windungen durch die Ortslagen quält, dann durch die Kläranlage fließt und am Ende als sauberes Gewässer wieder entspringt.

Durch die Bildung von Speicherkaskaden mit diesen einfachen robusten und aus Edelstahl hergestellten HydrOstyx[®]-Armaturen wird auf kostengünstige Art die Aktivierung und Nutzung von Retentionsvolumen in Entwässerungssystemen ermöglicht.

Mit Hilfe dieser Technik wird das Abflussverhalten in Kanälen bewusst geändert, sodass die folgenden vier Ziele erreicht werden können:

- Regen- bzw. Mischwasserbehandlung durchführen
- Hydraulische Verhältnisse im Kanalnetz verbessern
- Zuflüsse in Vorflutern quantitativ ändern und regeln
- Durch Abflusssteuerung Kläranlagenfunktionen optimieren

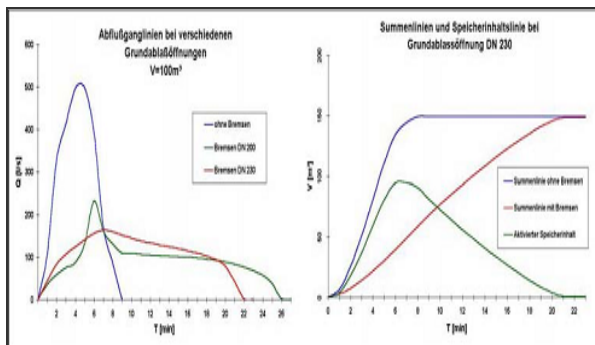
Speicherkaskaden in Entwässerungssystemen sind Retentionskanäle mit einer Ablauf- bzw. Abflussbarriere, in der eine den jeweiligen unterschiedlichen Erfordernissen angepasste Sohlöffnung für den Normal- bzw. Trockenwetterabfluss und eine Überlaufschwelle für den Spitzenabfluss angebracht ist.

Die „Abflussbarriere“ – in unserem Fall die innovative HydrOstyx[®]-Abflussbremse[®] bzw. Schwingbremse[®] – ist in einem Kaskadenbauwerk bzw. Kanalschacht untergebracht. Solche Speicherkaskaden lassen sich als Einzelsystem oder auch im Verbund mit Stauraumkanälen oder Regenüberlaufbecken als Verbundbeckenlösung realisieren. Sie wirken in sich wie Regenrückhaltebecken.

Nach Befüllung der oberen Speicherkaskade überläuft diese in den untenliegenden Kanal bzw. in die nächste Kaskade, während im Grundablass die gezielt eingestellte Wassermenge weiter dorthin fließt.

Entlastungen im Vorfluter können sowohl oberhalb der Speicherkaskaden als auch unterhalb dieser erfolgen. Hierbei sind zahlreiche technische Lösungen möglich.

Ganglinie, Summenlinie und Speicherinhaltslinie



Speicherkaskade / Ganglinie rot entspricht gebremstem und blau ungebremstem Abfluss

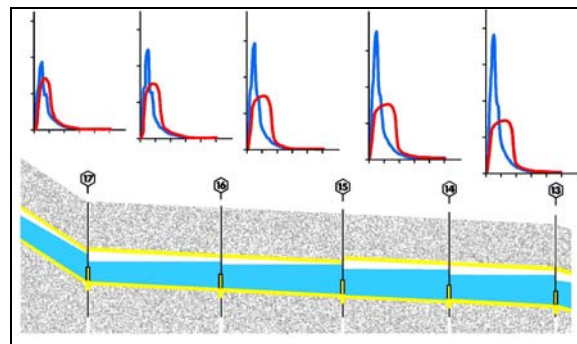


Abbildung 2: HydrOstyx

Die HydrOstyx Armaturen können direkt in FLOW++ modelliert werden. Hierbei stehen zwei Typen von Sonderbauwerken zur Verfügung, Typ 62: Abflussregulierung mit Wehrkrone und Typ 63: Abflussregulierung mit Wehröffnung. Bei diesen Sonderbauwerken kann mittels der Eingabe einer Wandöffnung der Grundablass der Abflussbremse eingestellt werden.

Gerinneabdeckungen

Gerinneabdeckungen [F. Valentin, 2003] im Bereich der Schachtberme bewirken hydraulisch genau das Gegenteil der HydrOstyx®-Abflussbremse®. Die Energieumwandlungsprozesse bei Einstau des Schachtes über Profilscheitel werden gedämpft und damit wird weniger kinetische Energie in Lage- und Reibungsenergie umgewandelt, als

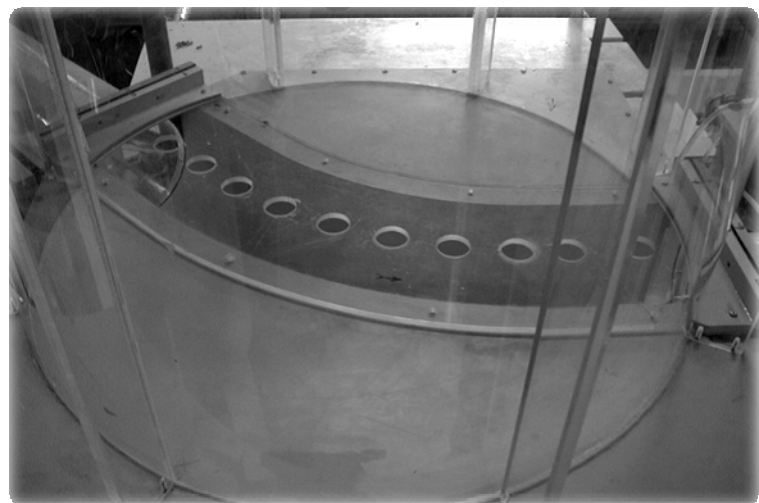


Abbildung 3: Gerinneabdeckung

ohne eine solche Gerinneabdeckung. Es spielen sich dabei vielfältige Umwandlungsprozesse ab. Man spricht auch von einem Einlaufverlust infolge einer plötzlichen Erweiterung und einer anschließenden plötzlichen Verengung, darüber hinaus auch von einem unelastischen Stoß gegen die sich der Fließbewegung entgegenstellende Schachtwand. Es bleibt mehr Energie unterhalb des Schachtes zur Verfügung, mit der daraus resultierenden positiven Wirkung gegen das Entstehen von Ablagerungen oder deren Beseitigung. Allerdings erhöht sich unterhalb der eingebauten Komponente das Risiko von Einstau, Entlastung, sowie Überstau und Überflutung. Die genau umgekehrte Wirkung stellt sich dagegen oberhalb der installierten Gerinneabdeckung ein. Der oberhalb liegende Teil des Kanalnetzes bekommt eine deutlich geringere Neigung zu Rückstauereffekten.

Synthese

Infolge ihrer gegenteiligen Wirkungsweisen sind beide Armaturen in Fachkreisen umstritten. Anhänger der einen sind meistens Gegner der anderen Armatur und umgekehrt. Die DBU hat in einer vorausschauenden und innovativen Entscheidung beide Komponenten zum Gegenstand ihrer Förderung erhoben. Interessant sind auch die deutlichen Unterschiede der Beurteilung der beiden Komponenten in Abhängigkeit von den geografischen Gegebenheiten. Dort wo die Kanalnetze flach sind, und damit insgesamt wenig Energie zur Verfügung steht, ist verständlicherweise die Neigung zu den Gerinneabdeckungen größer, während in steilen Netzen, wo ohnehin genügend Lageenergie zur Verfügung steht, die Bedenken gegenüber der Abflussbremse deutlich geringer sind.

Häufig sind jedoch die Kanalnetze nicht einheitlich flach, sondern flache Gebiete wechseln sich mit steileren ab. Somit können wohl beide Armaturen in ihren gegenteiligen Wirkungen bei Einsatz an geeigneten Stellen in fast jedem Kanalnetz eine positive Wirkung entfalten. Vorausgesetzt ist jedoch ihr Nachweis in dreierlei Hinsicht:

- Belastungen der Gewässer
- Hinsichtlich Überstau bzw. Überflutung
- Ablagerungen

Alle drei Komponenten des Nachweises sind nunmehr anhand eines einzigen Detailmodells nachweisbar. Das hierfür entwickelte Werkzeug FLOW++ integriert nunmehr alle hierzu notwendigen Arbeitsschritte, unabhängig von Größe und Typ des Kanalnetzes und seiner Einzugsgebiete.

6.1.2. Aktive Steuerelemente

Lokale Steuerungen im entwickelten Simulationsverfahren sind über Drossel- und Pumpenkennlinien möglich. Auch ein weiter entfernter Bezugsschacht kann als Basis für den Füllstandswert zur Ermittlung des Drossel- bzw. Pumpenabflusses herangezogen werden.

Über die neu eingeführten Hysterese-Parameter können für Ein- und Ausschaltzeitpunkte unterschiedliche Füllstände ins Spiel gebracht werden. Schwallwellen in Form gedämpfter Schwingungen bei den

Durchflüssen durch plötzliche Änderungen von Schieberstellungen oder Pumpleistungen können somit erzeugt und realitätsnah simuliert werden. (Selbst die Wellenausbreitung infolge eines Dammbrechens wurde am Lehrstuhl für Strömungsmechanik in Budapest auf diese Weise bereits nachgebildet.)

Pumpwerk und Druckrohrleitungen



Hysteresekurve

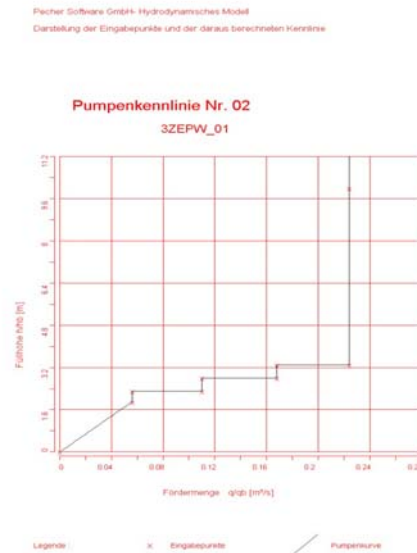


Abbildung 4: Aktive Steuerelemente - Pumpwerk und Druckrohrleitungen

Bewegliche Wehre werden als Vorgabe mit einem gewissen Stauziel belegt. Dieses Stauziel wird vom Verfahren im Rahmen des möglichen Gültigkeitsbereiches automatisiert eingehalten und fließt in die Simulationsergebnisse mit ein. Die Simulation stellt die Machbarkeit der Einhaltung des gewünschten Stauzieles fest. Das Stauziel kann nicht eingehalten werden, wenn ein im Netz unterhalb erzeugter Rückstau einen höheren Wasserspiegel zur Folge hat, oder wenn ein Zufluss das Leistungsvermögen der tiefsten Wehrabsenkung überschreitet.

6.1.3. Laborversuche

HydrOstyx

Bei der Entwässerung von Siedlungsgebieten sind teure Maßnahmen zum Schutz der Siedlungen und der Gewässer vor Hochwasser und Schmutzstoffen erforderlich. Mit den Zielsetzungen „Kosteneinsparung“ und „Verbesserung des Gewässerschutzes“ hat der beratende Ingenieur Dipl.-Ing.(FH) Harald Güthler aus Waldshut-Tiengen das Verfahren des „HydrOstyx“ gebremsten Abflusses entwickelt und im Dezember 1995 zum Patent angemeldet. Die im Rahmen des Verfahrens benutzte neue technische Einrichtung ist die HydrOstyx-Abflussbremse. Bei der HydrOstyx-Abflussbremse handelt es sich um eine technische Einrichtung, die wegen ihrer Einfachheit ein preiswertes Drosselorgan im

Abwasserkanal darstellt, welches ohne Fremdenergie weitgehend wartungsfrei und betriebssicher funktioniert. Die HydrOstyx-Abflussbremse kann sowohl in bestehende als auch in neue Abwasserkanäle eingebaut werden.

Wesentliche Grundlagen für die hydraulische Beurteilung der Neuentwicklung wurden durch hydraulische Untersuchungen der HydrOstyx-Abflussbremse im Wasserbaulabor der Hochschule Konstanz geschaffen (Abbildung 5). Hierzu wurden unterschiedliche Varianten in einem Plexiglasmodell untersucht. Es zeigte sich, dass die Überfall- und Durchflussbeiwerte für die HydrOstyx-Abflussbremse etwa den Werten entsprechen, die in der Literatur zu finden sind. Bei Einstau und Vollenfüllung unter Überdruck lassen sich die gesamten Energieverluste im Schachtbauwerk mit $h_{v,E} = \zeta_s v^2/2g$ berechnen. Die im Labor ermittelten Verlustbeiwerte ζ_s sind stark abhängig von der Größe der Sohlöffnungen und der Form und Anordnung der HydrOstyx-Abflussbremse im Schacht. Falls eine HydrOstyx-Abflussbremse in einen beengten Schacht eingebaut wird, empfiehlt sich die „gerade, senkrechte Anordnung in Schachtmitte“, da bei dieser Variante die geringsten Schachtverluste ζ_s auftreten. Mit den Ergebnissen der Modellversuche im Wasserbaulabor lassen sich nun die hydraulischen Nachweise für den praktischen Einsatz von HydrOstyx-Abflussbremsen durchführen. Hiermit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts das Steuerungselement „HydrOstyx-Abflussbremse“ in das hydrodynamische Berechnungsmodell integriert und durch umfangreiche Simulationsberechnungen verifiziert und überprüft.



Abbildung 5: HydrOstyx-Abflussbremsen im Versuchskanal

Die Versuchsanordnungen wurden mit FLOW++ wie folgt modelliert und für vier unterschiedliche Gefälleverhältnisse zwischen 0 und 3 % nachgerechnet und bestätigt.

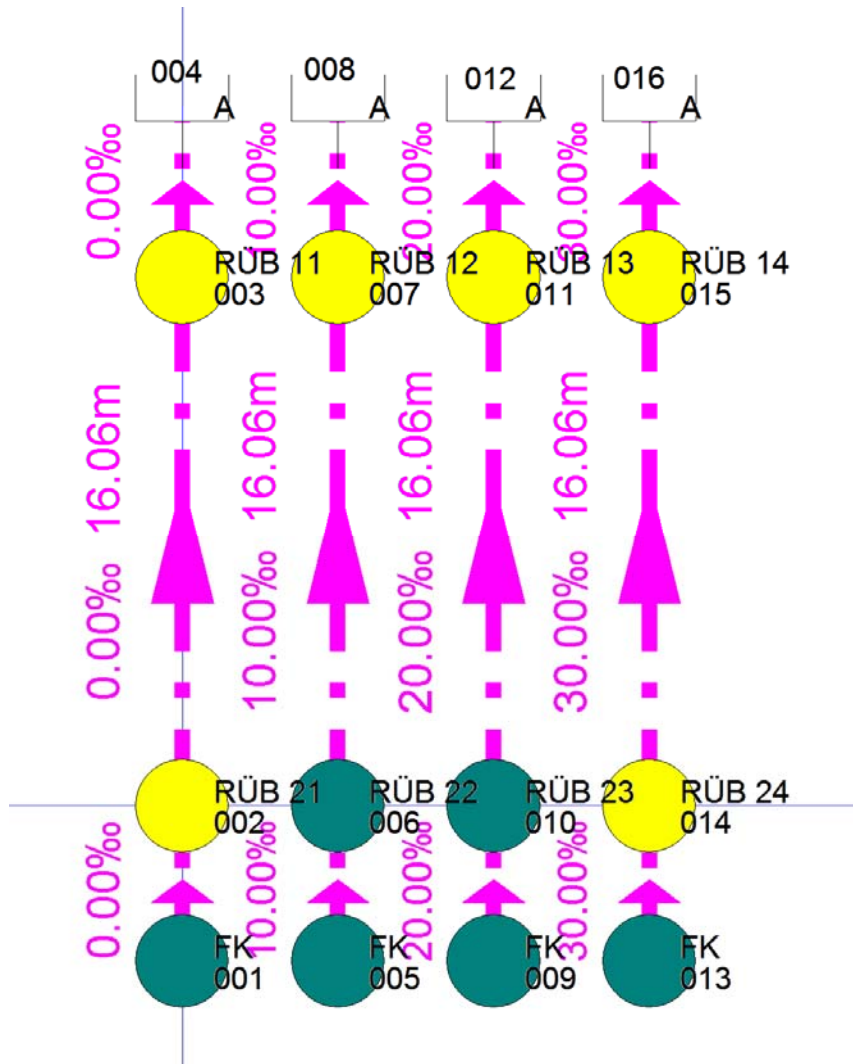


Abbildung 6: Modellierung in ++SYSTEMS / FLOW++

Ein konstanter Zufluss wird an den Anfangsknoten 001,005,009 sowie 013 eingespeist. Es wurden die Durchflüsse 125 l/s, 109.5 l/s, 97,84 l/s und 68 l/s berechnet und mit den Ergebnissen der Laborversuche verifiziert.

Das Ergebnis dieser Berechnung für den Durchfluss 125 l/s wird im Längsschnitt in Form des [Wasserspiegel-](#) und [Energienlinienverlaufs](#) verdeutlicht:

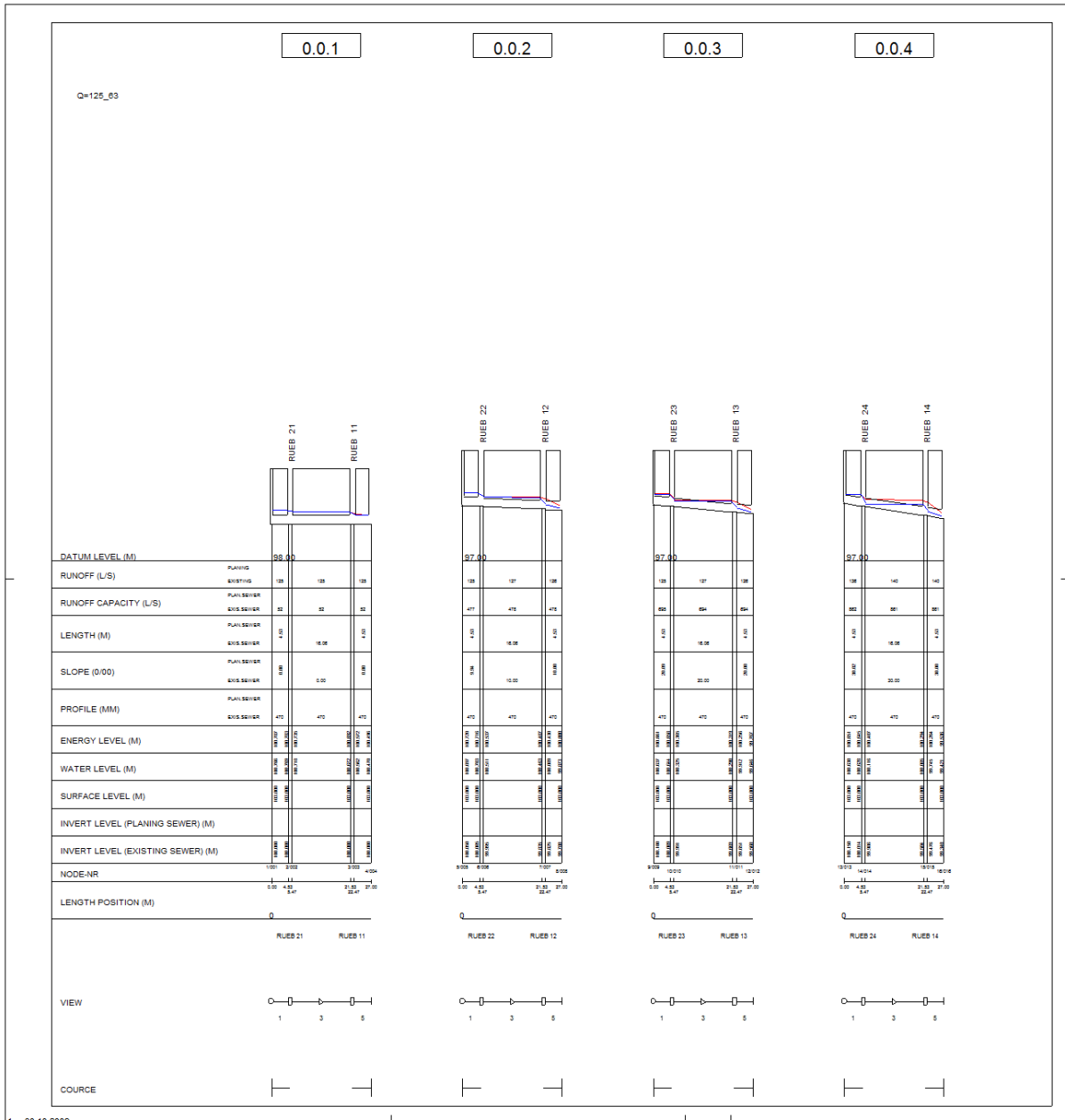


Abbildung 7: Wasserspiegel - und Energieverlauf der Gerinneabdeckungen

Die Untersuchungen an der Technischen Universität München betrafen eine Nachuntersuchung (siehe Anhang G) unterschiedlicher Messungen mit verschiedenen Bezugsniveaus für die Wasserstände in den Schächten. Die Kontrollmessungen konnten die Ergebnisse bestätigen. Die Messungen sind somit als Grundlage für eine Validierung des Kanalnetzprogrammes geeignet.

Der Versuchsaufbau und die Modellierung wurden bereits im Forschungsbericht der Phase I [R. Tandler et al., 2007] erläutert. An dieser Stelle beschränken wir uns nun auf eine Zusammenfassung der in Projektphase II neu erzielten Ergebnisse. Hierzu musste der dreidimensionale Formelapparat für die Schachtverluste für insgesamt vier Fälle nochmals angepasst werden:

- Sonderschacht
- Unbekannter Schacht
- Regelschacht, sowie
- Schacht mit Gerinneabdeckung

Den komplexen Formelapparat können Sie der Verfahrensbeschreibung [R. Tandler, 2009] entnehmen. Im Folgenden die beiden Messungen (J.Merlein sowie Rapp), die in der ersten Phase unterschiedlich interpretiert wurden, im Vergleich mit dem entwickelten Simulationsverfahren:

70,06l/s;ohne Platten;w=65cm

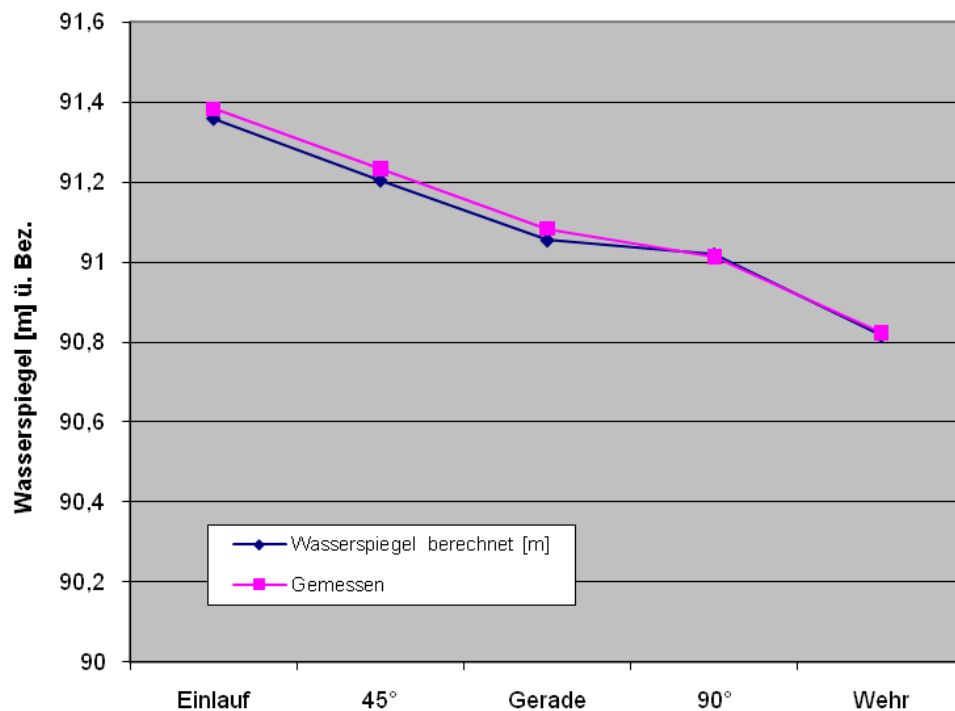


Abbildung 8: Versuch und Berechnung ohne Gerinneabdeckungen

72,03l/s; mit Platten; w=65cm

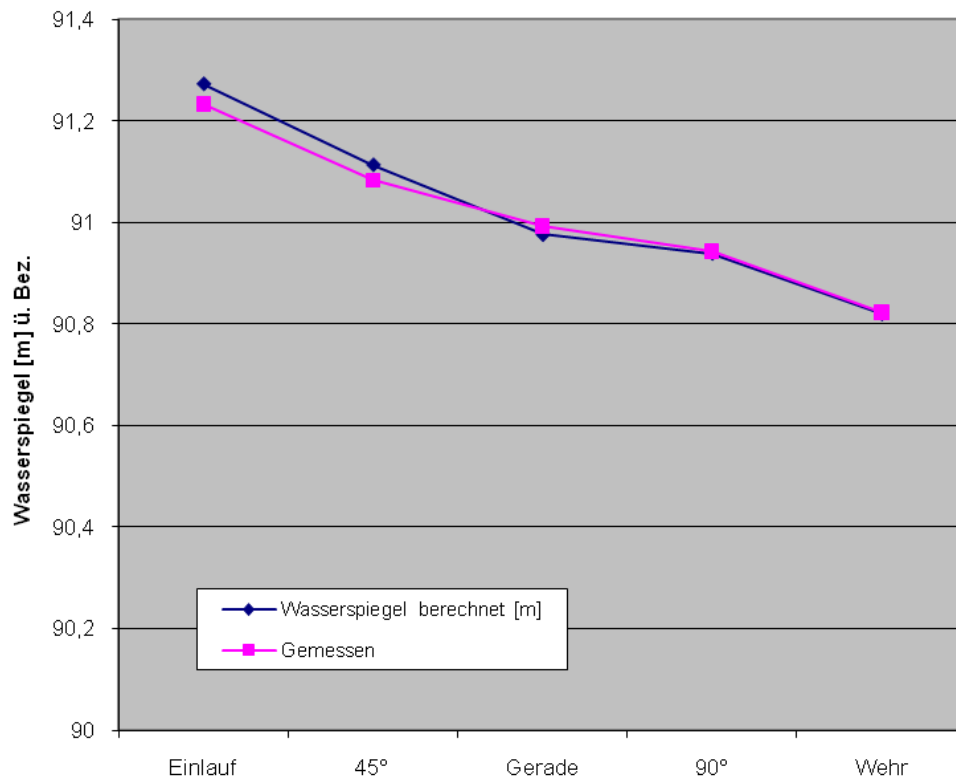


Abbildung 9: Versuch und Berechnung mit Gerinneabdeckungen

Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung zwischen den im Labor gemessenen und den durch das Simulationsverfahren bestimmten Resultaten. Zudem ist der deutlich niedrigerer Wasserspiegelverlauf bei Verwendung von Gerinneabdeckungen zu erkennen.

6.2. Elektronische Steuer- und Überwachungssysteme

Bevor Steuerungen bzw. Steuerungselemente in die Kanalnetze eingebaut werden können, müssen deren Funktionalität und Sicherheitsnachweise sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden in das entwickelte hydrodynamische Verfahren FLOW++ die Simulation spezieller Steuerungselemente (Pumpwerke, bewegliches Wehr) eingebaut. Um aktive Steuerungselemente wie Drehbogen oder aktive Schwallspüleinrichtungen bis hin zu kompletten Verbundsteuerungen nachweisen zu können, muss das Simulationsverfahren um einen Regel-Interpreter (GeoSCS) erweitert werden. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde das Modul spezifiziert.

Funktional ist GeoSCS ein eigenständiges Modul, dessen Aufgabe darin besteht, aus den aktuellen Eingabeparametern und Eingabewerten mit Hilfe der zuvor spezifizierten Regelmenge die gewünschten Steuersignale und Richtwerte an die Steuerelemente weiterzuleiten. Die Eingabewerte entsprechen hier den Messwerten und Komponentenkonfigurationen im realen Kanalsystem. Diese Werte (z.B. Beckenfüllstand an einer zuvor spezifizierten Position) werden während der Simulation vom hydrodynamischen Verfahren DYNA / FLOW++ ermittelt und in regelmäßigen Abständen an den Regel-Interpreter GeoSCS übergeben. Dieser wertet die Eingabewerte aus und generiert die resultierenden Steuersignale und Komponentenkonfigurationen (z.B. Öffnen eines Schiebers oder Aktivieren einer Pumpe). Das Simulationsverfahren enthält die neuen Konfigurationen und berücksichtigt diese im weiteren Simulationsprozess. Der Datenaustausch zwischen DYNA und GeoSCS erfolgt automatisiert und bi-direktional.

Um GeoSCS so flexibel wie möglich zu halten wurde eine einfache Regelsprache entwickelt, welche dem Anwender eine einfache Konfiguration des Steuermoduls erlaubt. Um moderne Steuerverfahren abbilden zu können, wird die Steuerung nicht nur durch die sonst üblichen Kausalitäten beschrieben, sondern um eine dynamische Optimierung (z.B. Summe aller Abflüsse einer spezifizierten Menge von Becken darf einen bestimmten Schwellenwert nicht überschreiten) ergänzt.

Bisher konnten die Ergebnisse der Steuersysteme nur überschlägig mit vereinfachter Nachbildung der Steuerungsorgane oder lokal detailliert über die mit der Entwicklung befassten Firmen ermittelt werden. Durch die Implementierung der Steuerorgane ist ein objektiver Vergleich verschiedenartiger Stellorgane möglich. Dies ermöglicht dem Anwender, verschiedene Varianten zum Einsatz der Steuerorgane (Arten der Steuerorgane, Anzahl der Steuerorgane, Anordnung im Kanalnetz) zu simulieren, die positiven Auswirkungen auf das Gewässer zu vergleichen und sich dann für die projektspezifisch beste Variante zu entscheiden. Damit wird erwartet, dass die Untersuchung von abflussgesteuerten Systemen mit den integrierten Steuerorganen zunimmt und damit auch das Potential der Abflusssteuerung in Hinblick auf den Gewässerschutz vermehrt untersucht und genutzt wird.

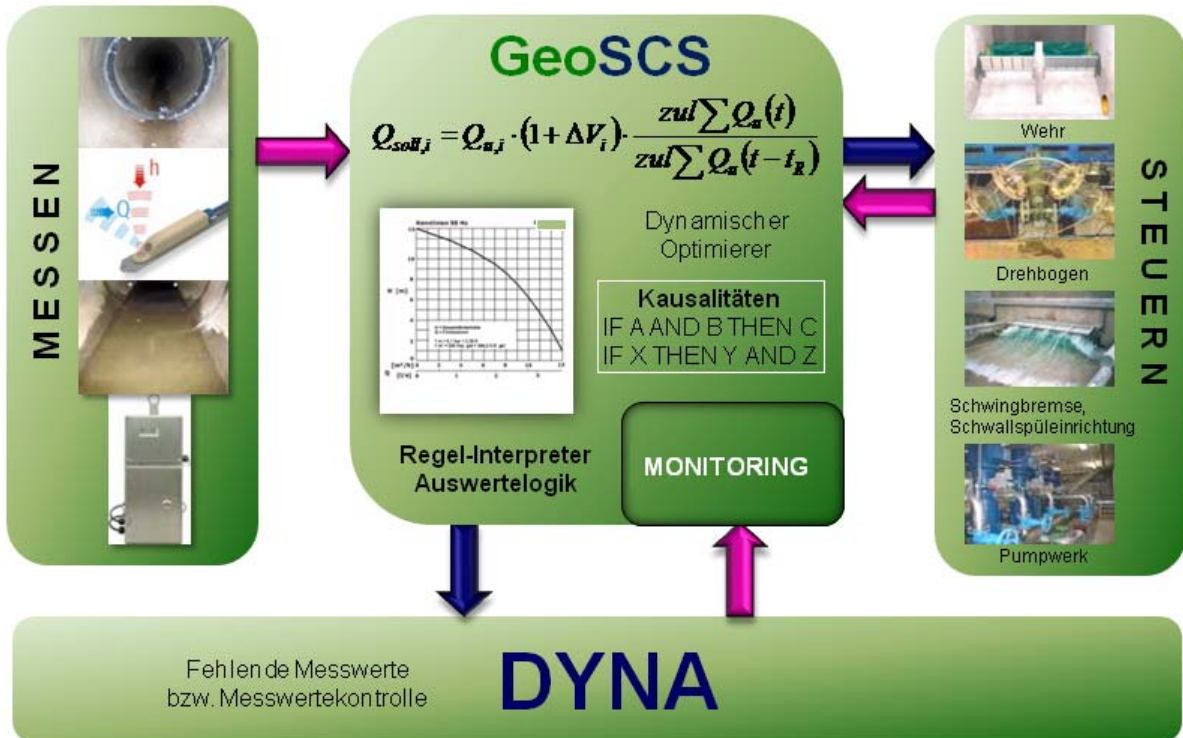


Abbildung 10: Konzept des elektronischen Steuer- und Überwachungssystems GeoSCS

In einem weiteren Forschungsprojekt könnte das Modul programmtechnisch umgesetzt werden. Zudem ist eine Erweiterung der Funktionalität dahingehend angedacht, dass nach dem erfolgreichen simulationstechnischen Nachweis des Steuerungsverfahrens, das Modul GeoSCS und dessen bereits spezifiziertes Regelwerk eins zu eins zur Steuerung des realen Systems verwendet werden kann. Durch die hohe Performance des Simulationsverfahrens ist auch ein Parallelbetrieb zum realen System denkbar. Dadurch könnten die doch oft fehlerhaften Messwerte durch die berechneten Werte aus dem Simulationsverfahren verifiziert und auf Plausibilität geprüft werden. Im Fall der Überschreitung der Plausibilitätsgrenzen könnten die simulierten Werte als Ersatzwerte fungieren. Darüber hinaus bestünde die Möglichkeit, die örtliche Dichte der Zustandsinformationen im Kanalnetz durch die simulierten Messstellen zu erhöhen. Unter Berücksichtigung der Fehleranfälligkeit und des hohen Wartungsaufwandes der Messungen im laufenden Kanalbetrieb sollte diese Überlegung möglichst weiterverfolgt werden. Notwendige (und bei ansonsten guter Modellierung zumeist auch hinreichende) Voraussetzung hierfür ist der Betrieb eines möglichst dichten Netzes von Regenmessstationen (ggf. auch Radarmessungen), wie untenstehende Ausführungen u.a. in Kap. 7.2.2 sowie 6.8 deutlich zeigen.

6.3. Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung

Motivation: die Realitätsnähe durch die Speicherwirkung des Kanals, den Einstau - und der Simulation der Druckverhältnisse eines hydrodynamischen Verfahrens im Gegensatz zu einem hydrologischen

Verfahren soll für die Berechnung einer Schmutzfrachtbilanz genutzt werden. Die Betrachtung eines Detailnetzes statt eines Grobnetzes wird diese Realitätsnähe noch weiter erhöhen.

Die Ergebnisse des hydrodynamischen Verfahrens - dies sind vor allem Durchfluss-, Füllstands- und Volumenkurven und Trockenwetterdurchflusswerte aus dem Trockenwettervorlauf - werden verschiedenen Varianten der Schmutzfrachtberechnung zugänglich gemacht.

Diese Koppelung des Schmutzfrachtverfahrens FLOW++ an das hydrodynamische DYNA erzielt eine hohe Flexibilität und lässt diverse Ansätze für den Kern des Verfahrens - die Berechnung der Mischungsverhältnisse MV an den Entlastungsbauwerken – zu. Drei Ansätze wurden im Rahmen des Forschungsprojektes implementiert:

- starke Durchmischung
- schwache Durchmischung
- differenzierte Durchmischung

Einen wesentlichen Teil der Projektlaufzeit nahm die Umsetzung des Verfahrens zur hydrodynamischen Bestimmung der Schmutzfrachteinträge zusammen mit der Realisierung der Verfahren zur Erlangung geeigneter Zielgrößen (siehe z.B. 6.5 Zentralbecken) ein.

6.3.1. Durchmischungsansätze

Verwendete Kenngrößen:

V_E	Entlastungsvolumen aus Durchflusskurve der Entlastungshaltung
MV	Menge von Mischungsverhältnissen. Für jede Trockenwetterart. Aus dem Trockenwettervorlauf ergeben sich die Verhältnisse der verschiedenen Trockenwetterarten untereinander
V_{Eoben}	Zufließendes Entlastungsvolumen weiter oben liegender Entlastungsbauwerke
MV_{Eoben}	Mischungsverhältnisse von V_{Eoben}
$v(t)$	Volumenfunktion am Entlastungsbauwerk
$f(t)$	Füllstandsfunktion am Entlastungsbauwerk
W	Wehrschwelle
A	Abflussscheitel
\dagger_T	Ende der Trockenperiode

Tabelle 2: Kenngrößen für Durchmischungsansätze

6.3.1.1. Starke Durchmischung

Bei diesem Ansatz werden die Einstauzeiten des jeweiligen Entlastungsbauwerks als Durchmischungszeiten verwendet. Deshalb fließt ein größerer Anteil des Trockenwetterzuflusses in das entlastete Mischungsverhältnis ein. In der Regel ergibt sich hieraus eine höhere Schmutzkonzentration für das entlastete Volumen.

6.3.1.2. Schwache Durchmischung

Im Gegensatz zur „Starken Durchmischung“ wird hier lediglich die Entlastungszeit als Durchmischungszeit angesetzt. Dies hat einen geringeren Trockenwetterzufluss zur Folge und resultiert in den meisten Fällen in einer geringeren Schmutzkonzentration für das entlastete Volumen.

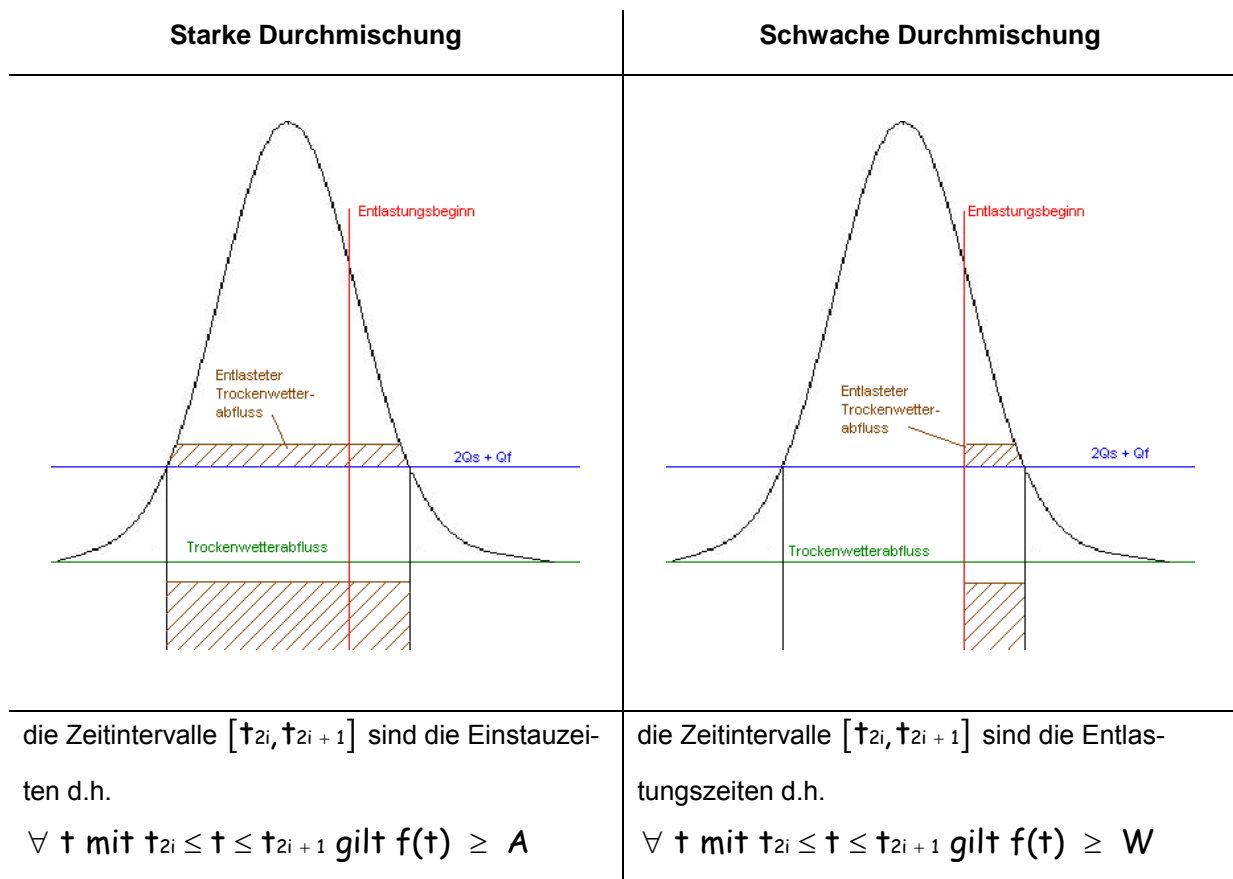


Tabelle 3: Graphen zu der unterschiedlich starken Durchmischung

6.3.1.3. Differenzierte Durchmischung

Die „Differenzierte Durchmischung“ stellt eine Kombination aus den beiden vorherigen Ansätzen dar. Bei einem Bauwerk mit obenliegender Entlastung wird mit "starker Durchmischung", bei einem Bauwerk mit untenliegender Entlastung mit "schwacher Durchmischung" gerechnet.

6.3.2. Volumenbestimmung

Nach der Bestimmung der Durchmischungszeit ergibt sich das durchschnittliche Volumen während der betrachteten Zeitintervalle für alle drei Ansätze auf gleiche Weise:

$$V_G = \sum_{i=0}^n \int_{t_{2i}}^{t_{2i+1}} v(t) / \sum_{i=0}^n (t_{2i+1} - t_{2i})$$

Formel 1: Volumenbestimmung

Bei Verwendung von Tagesganglinien für bestimmte Trockenwetterarten wird für die Zeitintervalle $[t_{2i}, t_{2i+1}]$ ein Faktor F_{tag} bestimmt der in die Volumenbildung einfließt.

$$V_T = v(t_T) \cdot F_{tag} \text{ Trockenwettervolumina}$$

Formel 2: Trockenwettervolumina

$$MV = (V_T + V_{Eoben} \cdot MV_{Eoben}) / V_G$$

$$V_{TE} = V_E \cdot MV$$

Formel 3: Trockenwettervolumina

Die entlasteten Trockenwettervolumina V_{TE} werden zu den Entlastungsausläufen „transportiert“. Bei Zusammenflüssen erfolgt Summation, bei Verzweigungen Aufteilung gemäß der Durchflussverhältnisse.

Das Verfahren stellt als Ergebnis für jeden Entlastungsauslauf alle relevanten Daten der hydrodynamischen Berechnung zur Verfügung - Volumina, Häufigkeiten und Intensitäten. Außerdem werden mittels der Schmutzstoffkonzentrationen der einzelnen Trockenwetterarten (häusliches Abwasser und beliebig viele gewerbliche Einleiter) und den V_{TE} die Schmutzstoffausträge in die Umwelt für die hydrodynamisch berechnete Regenreihe dargestellt.

6.4. Sanierungsvarianten

Eine entscheidende Entwicklung - insbesondere im Hinblick auf die Schmutzfrachtbilanzen - war das Konzept der Sanierungsvarianten. Es wurde die Möglichkeit geschaffen, verschiedene Sanierungskonzepte in einem gemeinsamen Projekt und basierend auf einem Datenbestandsmodell zu verwalten. In jeder Variante lassen sich einzelne Bauwerke bzw. ganze Kanalstränge durch Vergabe von Attributen auf einfache Weise geeignet verändern, die Auswirkungen durch eine hydraulische Berechnung verifizieren und mit anderen Varianten direkt vergleichen.

Vor allem ein Vergleich der Schmutzfrachtbilanzen verschiedener Varianten ermöglicht realistische Aussagen über die Umweltbelastungen verschiedener Sanierungskonzepte. Besonders der Vergleich mit der Zentralbeckenvariante (Kapitel 6.5) liefert wichtige Erkenntnisse über die ökologische Qualität eines Kanalnetzes.

6.5. Zentralbeckenvariante

Die Planung der Sanierung bestehender Kanalnetze beginnt nach ATV-A 128, 5. mit der Ermittlung der Daten des Ist-Zustandes, zunächst des Zuflussteilnetzes (Gesamteinzugsgebietes) der Kläranlage. Das Kanalnetz wird dabei als ein gerichteter Graph aus Knoten (Schächten) und Kanten (Haltungen) aufgefasst. Von der Kläranlage aufwärts werden die Knoten in zwei Mengen geteilt, die inneren Schächte, von denen mindestens ein Pfad zur Kläranlage führt, und die äußeren Schächte, bei denen das nicht der Fall ist. Die Kanten von inneren Schächten zu inneren Schächten sind die inneren Haltungen, die Kanten von inneren Schächten zu äußeren Schächten sind die Grenzhaltungen, die übrigen sind die äußeren Haltungen. Die inneren Schächte und die inneren Haltungen bilden zusammen das Zuflussteilnetz der Kläranlage, für das die Nachweise erbracht werden sollen.

Gemäß ATV-A 128, 7. wird aus den weiteren Daten des Ist-Zustandes das erforderliche Gesamtspeichervolumen V berechnet.

Ausgehend von dem Gesamtspeichervolumen als einem einzigen vor der Kläranlage fiktiv angeordneten Zentralbecken wird mit den Nachweisverfahren in einer Vorberechnung die modellspezifische, im langjährigen Mittel aus dem Gesamtnetz entlastete CSB-Jahresfracht berechnet. In anschließenden Planungsberechnungen kann eine Optimierung der Regenwasserbehandlungsmaßnahmen vorgenommen werden, wobei die für das Zentralbecken zuvor errechnete CSB-Entlastungsfracht nicht überschritten werden darf.

ATV-A 128, 8.2.1.2 erlaubt die Vergrößerung des Kanalnetzes aus wirtschaftlichen Gründen. Die Leistungsfähigkeit der heutigen Rechner zusammen mit massiver Parallelisierung ermöglicht aber die Verwendung des exakten Kanalsystems in praktikabler Zeit auch für große Kanalnetze (s.a. Modellberechnung Augsburg Ost 16 Jahre in weniger als 14 h 7.3.5). Dabei entfallen auch die durch die Vergrößerung verursachten Ungenauigkeiten. Die Zentralbeckenvariante wird dann als modifizierter Klon des Ist-Zustandes des Projektes mit folgenden Änderungen erzeugt.

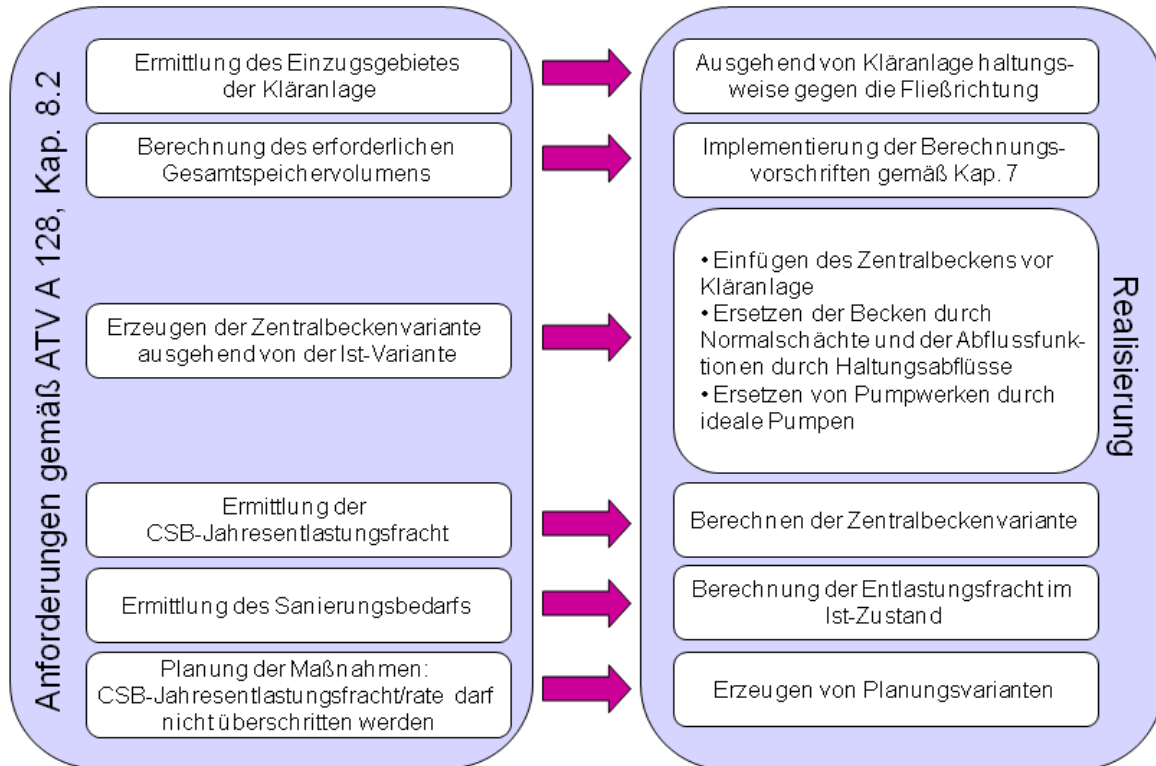


Abbildung 11: Anforderungen und Realisierung ATV A 128

Die Profilhöhen innerhalb des Zuflussteilnetzes werden so erhöht, dass das gesamte Wasser frei zum Zentralbecken abfließen kann und kein Wasser über die Grenzhaltungen abfließt. Die Profilhöhen können dabei wahlweise um einen konstanten Betrag oder einen Faktor erhöht werden. Treten Gegengefälle im Zuflussteilnetz auf, so wird die Durchflussfunktion der betreffenden Haltung auf eine ideale Pumpe gesetzt, um das geforderte Ziel des vollständigen Abflusses zur Kläranlage zu erreichen. Ebenso werden die Grenzhaltungen notfalls ganz abgeklemmt, falls sich mit den Profilerhöhungen allein ein Überlauf nicht vermeiden lässt.

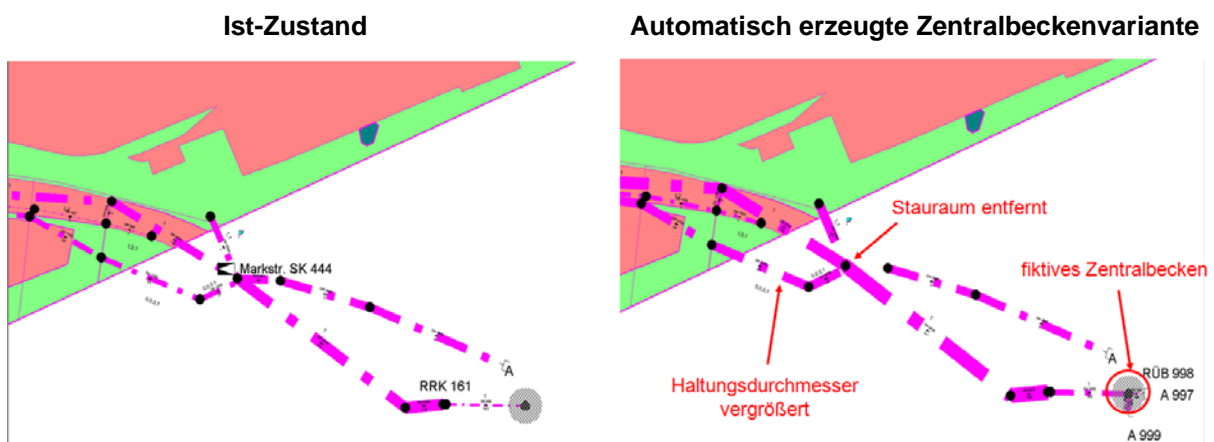


Abbildung 12: Automatische Erstellung der Zentralbeckenvariante

Die Berechnung der Zentralbeckenvariante ergibt über diesen Klärüberlauf des Zentralbeckens die zulässige CSB-Jahresentlastungsfracht. Der Planer kann dann eine oder mehrere Planungsvarianten als Klone des Ist-Zustandes des Projektes erzeugen und die gewünschten Änderungen machen. Diese Planungsvarianten können dann berechnet werden und ihre CSB-Jahresentlastungsfracht als Summe über die Grenzhaltungen ermittelt werden. Der Nachweis ist erbracht, wenn diese nicht höher ist als die der Zentralbeckenvariante.

Eine schrittweise Abfolge einer Zentralbeckenberechnung finden Sie in Anhang C.

6.6. Ablagerungen

6.6.1. Schleppspannungsnachweis

Bei der Umwandlung von kinetischer Energie in Lageenergie werden dem Kanalsystem möglicherweise die für den Abtransport von Feststoffen benötigten Geschwindigkeiten entzogen, insbesondere infolge des Einbaus von Abflussbremsen. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken wurden in das Verfahren FLOW++ umfangreiche zusätzliche Informationen aufgenommen, die es dem Benutzer leicht machen, an jeder Stelle im Kanal eine mögliche Ablagerungsgefahr zu erkennen. Gerade in Zeiten, in denen die Menschen zunehmend ihren Wasserverbrauch einschränken, leiden viele gerade in flachen Gebieten verlegte Kanalsysteme stellenweise unter dieser Beeinträchtigung.

Die Schleppspannungsbetrachtungsweise wurde deshalb in der Phase II noch einmal erweitert. Die Kriterien für Ablagerungen gemäß der neuen Richtlinie A110 [DWA-A 110, 2006] der DWA wurden implementiert. Nunmehr wird der direkte Vergleich gezogen zwischen der minimalen Schleppspannung und der tatsächlich zu jedem Zeitpunkt am Beobachtungsort herrschenden Schleppspannung, die zum Zwecke der Ablagerungsfreiheit über einen genügend langen Zeitraum insgesamt jene minimale Schleppspannung überschreiten sollte.

Die Schleppspannung zum Zeitpunkt t ist definiert als das Produkt aus dem (instationären) Energieliniengefälle und dem zum Zeitpunkt t benetzten hydraulischen Radius. Es ergibt sich also eine zeitliche Distribution der Schleppspannungen $\tau_{\text{vorh}}(t)$ [n/m²]. Durch einen Vergleich mit $\tau_{\text{min}}(t) = K \cdot Q(t) \cdot 0.33$ [n/m²] können die ablagerungsgefährdeten Gebiete durch folgendes Kriterium festgestellt werden: die Haltung ist genau dann ablagerungsfrei, wenn diejenigen Zeitintervalle $[t_i, t_{i+1}]$ in denen $\tau_{\text{vorh}}(t) > \tau_{\text{min}}(t)$ für alle $t_i < t < t_{i+1}$ mindestens 33% der Beobachtungsdauer abdecken.

Ablagerungsgefahr	Keine Ablagerungsgefahr
$0 \leq \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n t_i - t_{i-1}}{t_n - t_0} \leq 1$	$1 < \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n t_i - t_{i-1}}{t_n - t_0} \leq 3$

Formel 4: Ablagerungsgefahr

Diese Zeit wird in der Tabelle ausgewiesen und kann für jede Haltung separat abgerufen werden

Beispiel:

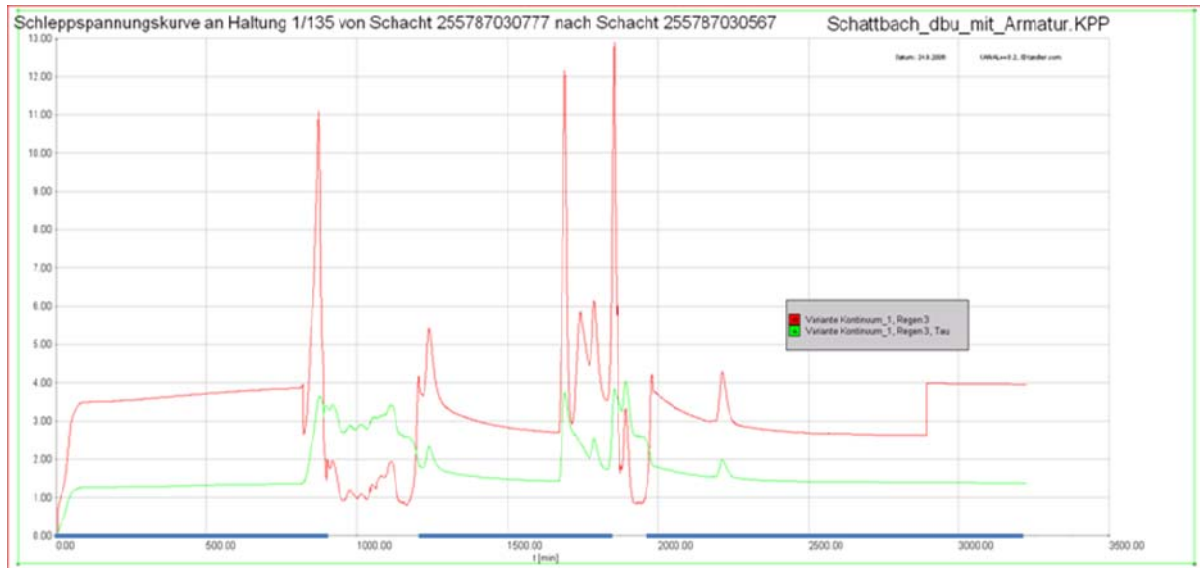


Abbildung 13: Schleppspannung an Haltung

Abbildung 13 zeigt anhand einer ausgewählten Haltung beispielhaft eine solche Gegenüberstellung dieser beiden zeitlichen Distributionen wie sie dem Programmsystem ++SYSTEMS / FLOW++ nach durchgeführter Berechnung an jeder gewünschten Stelle im Netz entnommen werden können.

Als Schlussfolgerung aus dieser Betrachtungsweise scheint es entscheidend zu sein, wie sich diese Kurven während der Trockenperioden verhalten. Die vielen Berechnungen, die im Umfeld des Forschungsprojektes durchgeführt wurden, zeigen, dass infolge des Einbaus von Abflussbremsen eine deutliche Verlängerung der Regenabflusstätigkeit im Kanalnetz erreicht wird. Dies kann für die Dauer erhöhter Schleppspannungen entscheidend sein. Aus dieser Erfahrung heraus können Abflussbremsen, je nach Beschaffenheit des Kanalnetzes sogar zu einer Entschärfung der Ablagerungssituation in einem Kanalnetz beitragen. Der lediglich vordergründig unmittelbar negativ wirkende Einfluss der Abflussbremse wird dadurch relativiert. Die Höhe der Abflussspitze tritt in ihrer Relevanz für die Ablagerungsgefahr deutlich hinter einen verlängerten Regenabfluss zurück.

Bestätigt werden diese Erkenntnisse durch die Masterarbeit von Dipl.-Ing. (FH) Enno Karl Alfred Scholz [E. Scholz, 2008] die im Rahmen des DBU Forschungsprojektes von unseren Entwicklungen unterstützt wurde. Hierzu wurden in erster Linie die von Macke entwickelten Kenngrößen für das Kanalschmutzpotential und das spezifische Kanalschmutzpotential [Macke et al., 2002] in FLOW++ eingearbeitet.

6.6.2. Kanalschmutzpotential

„Das Schmutzpotential in einem Kanal wird während des Trockenwetterabflusses aufgebaut. Für die Ansammlung von Schmutzstoffen infolge der Unterschreitung des Mindestgefälles spielen die dabei vorherrschende Teilfüllung und der Kanaldurchmesser eine wesentliche Rolle. Als Vergleichsgröße wird daher der hydraulische Radius beim mittleren Trockenwetterabfluss herangezogen. Die Multiplikation von r_{hy} mit der dazugehörigen Länge L eines Kanalstranges ergibt eine Fläche, die für die Bildung des Kanalschmutzpotentials P_{KAN} maximal zur Verfügung steht.“

$$P_{KAN} \cong r_{hy} * L * (1 - \tau_{vorh} / \tau_{min})$$

Formel 5: Kanalschmutzpotential

„Das Kanalschmutzpotential, welches sich aus der Unterschreitung der Mindestwandschubspannung ergibt kann damit Werte im folgenden Bereich aufweisen:“

$$r_{hy} * L \geq P_{KAN} \geq 0$$

Formel 6: Wertebereich

„Wird $r_{hy} * L$ auf die angeschlossene, regenabflusswirksame Fläche A_{red} bezogen, so entsteht der dimensionslose Ausdruck des spezifischen Kanalschmutzpotentials SP_{KAN} :“

$$SP_{KAN} \cong (r_{hy} * L * (1 - \tau_{vorh} / \tau_{min})) / A_{red}$$

Formel 7: spezifisches Kanalschmutzpotential

mit:

r_{hy}	hydraulischer Radius in m
L	Kanallänge in m
τ_{vorh}, τ_{min}	vorhandene bzw. Mindestwandschubspannung in N/m ²
A_{red}	abflusswirksame Fläche in ha

„Werden alle Kanalstränge eines Kanalnetzes nach voriger Gleichung aufaddiert, erhält man eine Kennzahl für das spezifische Kanalschmutzpotential, die mit der Verschmutzungskonzentration im Regenwasserabfluss korrelieren sollte.“ [E. Scholz, 2008]

$$SP_{KAN} \cong \sum (r_{hy} * L * (1 - \tau_{vorh} / \tau_{min})) / \sum A_{red}$$

Formel 8: Netzkennzahl [E. Macke, 1995]

6.6.3. Relatives Kanalschmutzpotential

„Die von Macke entwickelte Formel für das Schmutzpotential dient als Grundlage zur Ermittlung von Schmutzfrachtmengen. Lässt man bei der Formel (Formel 7) die Multiplikation mit der Länge weg, ergibt sich ein relativer Wert für mögliche Ablagerungshöhen in Haltungen, der unabhängig von der Länge der Haltung ist und damit den Vergleich zwischen den einzelnen Haltungen zulässt. Die in das Berechnungsprogramm FLOW++ eingearbeitete Formel lautet:“ [E. Scholz, 2008]

$$P_{KAN} \cong r_{hy} * (1 - \tau_{vorh} / \tau_{min})$$

Formel 9: relatives Kanalschmutzpotential

Die Berechnung erfolgt für den mittleren Schmutzwasserabfluss.

6.6.4. Spezifisches Kanalschmutzpotential

„Die Formel für die Netzkennzahl (Formel 8) wurde unverändert für jede Haltung übernommen. Die Einzelwerte der Haltungen werden nur bei positiven Ergebnissen aufaddiert. Die Werte korrelieren mit der Verschmutzungskonzentration im Regenwasserabfluss.“ [E. Scholz, 2008]

6.6.5. Übertragung und Auswertung der Formeln in FLOW++

Die in diesem Kapitel dargestellten Formeln wurden genau in dieser Form in das Programmsystem ++SYSTEMS / FLOW++ eingearbeitet und stehen dem Anwender zur Verfügung.

6.7. Langzeitsimulation

Die für eine Berechnung verwendeten Regendaten dienen als Basis für jede hydrodynamische Überstau- und Schmutzfrachtberechnung. Doch genau diese Daten liegen oft nur in unzureichender Genauigkeit vor oder konnten von den bisher verwendeten Programmsystemen nicht in ausreichender Genauigkeit abgebildet und verwendet werden.

In der Siedlungswasserwirtschaft wurde über lange Jahre versucht, die Entlastungs- und Überstaujährliehkeiten aus Jährlichkeiten für aus ihrem Kontext gerissene Niederschlagsintensitätsabschnitte (sog. Regenspendelinien) abzuleiten. In Erkenntnis letzterer Nachteile wurde versucht, mit geeigneter Konstruktion von Modellregen aus den Regenabschnitten den Kontext herzustellen. Der Grad der Übereinstimmung der Überschreitungshäufigkeit bzw. Wiederkehrzeit zwischen konstruiertem Modellregen und den zugrundeliegenden Abschnitten war jedoch fraglich. In neueren Richtlinien u. a. [DWA-A118, 2006] wurde dies erkannt und man begann erstmals, für die Nachweise maßgebliche Serien von Naturregen heranzuziehen, um dann tatsächlich diejenigen Ereignisse zu betrachten, deren Er-

wartungswerte abgeschätzt werden sollten. Die Eignung von Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation und die hohe Verfügbarkeit, ggf. durch synthetisch erzeugte Niederschlagsreihen wurde in [J. Ruf et al., 2008] aufgezeigt.

Besonders bei den für die Ergebnisauswertung signifikanten Starkregenereignissen handelt es sich um lokal sehr begrenzt auftretende Ereignisse. Im Projektgebiet Bochum-Schattbach (Kapitel 7.2), für welches sowohl Regenmessdaten wie auch korrespondierende Messungen der Schmutzfrachtausträge vorliegen, kam es zu Entlastungsmessungen, obwohl keine Regenaufzeichnung stattgefunden hat. Dabei lagen der Regenmessschreiber und das Entlastungsbauwerk nur wenige Kilometer auseinander. Um diese Ereignisse in Ihrer lokalen Ausdehnung und Intensität abbilden zu können wird zum Einen ein relativ dichtes Netz von Regenmessstationen benötigt und zum Anderen müssen die Nachweisverfahren die benötigten Funktionalitäten zur Nutzung der Daten bereit stellen.

In den meisten Fällen steht kein ausreichend dichtes Netz an Regenmessstationen zur Verfügung, und selbst wenn, dann ist das neue entwickelte Verfahren FLOW++ eines der wenigen Systeme, die eine verteilte Berechnung (Kapitel 6.8) anwenden können. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde in der DWA-A 128 das Ziel der Entlastungs- bzw. Überstauberechnung so gesetzt, dass eine erwartungstreue obere Abschätzungen für jährliche Häufigkeiten, jährliche Mengen, jährliche Dauern und jährliche Intensitäten auf der Grundlage eines Datenmodells erreicht werden.

ökologische Aussage	sicherheitstechnische Aussage
Schmutzstoffaustrag in: <ul style="list-style-type: none"> • jährliche Menge [m^3/a; kg/a] • jährliche Anzahl (Frequenz) [$1/a$] • jährliche Dauer [h/a] • Mittlere Entlastungsraten e_0 	Überstau in: <ul style="list-style-type: none"> • jährliche Menge [m^3/a] • jährliche Anzahl (Frequenz) [$1/a$] • jährliche Dauer [h/a]
<ul style="list-style-type: none"> • gefordert in DWA A128 • Schleppspannungsnachweis für das Ablagerungsverhalten im Kanalnetz (DWA A110 Kap. 7) 	<ul style="list-style-type: none"> • gefordert in DWA A 118, DIN EN 752

**Erwartungstreue Schätzung der Überstau- und Entlastungshäufigkeit
durch Kontinuumsimulation**

Abbildung 14: ökologische und sicherheitstechnische Aussagen

Auch beim Werfen einer Münze ist es unmöglich, das Ergebnis eines einzelnen Wurfes vorherzusagen, jedoch ist es sehr wohl und sehr genau möglich, zu einer Aussage derart zu kommen wie oft im Mittel die „Zahl“ bzw. wie oft bei einer möglichst langen Versuchsserie „Kopf“ erscheint. Genauso verhält es sich der Voraussage beim jährlichen Überstau- bzw. Entlastungsverhalten. Je länger in die Vergangenheit zurück man die Kanalnetze betrachtet bzw. simuliert, je länger also der Beobachtungszeitraum, umso zuverlässiger ist dann auch die Prognose für die Zukunft.

In [J. Ziegler, 2006] wurde bestätigt, dass bei Verwendung von nur einer Regenmessstation, im Vergleich zu Radardaten, Einzelergebnisse nur bedingt nachgebildet werden konnten. Allerdings ergab die Betrachtung einer Langzeitsimulation beider Varianten – eine Regenmessstation gegenüber Radardaten – ein hohes Maß an Übereinstimmung mit einem leichten Hang der einzelnen Regenmessstation zur „sicheren Seite“, d.h. zur Überschätzung der Entlastungen und damit der Schmutzfrachtaufräge.

Durch Vergleich von länger zurückliegenden Zeitintervallen mit aktuelleren kann auch eine Trendanalyse vorgenommen werden, um den Auswirkungen der prognostizierten Klimaveränderungen Rechnung zu tragen.

Schmutzfrachtberechnungen werden schon seit geraumer Zeit mit Regenkontinuen durchgeführt. Bisher konnten hierfür lediglich hydrologische Berechnungsverfahren verwendet werden, da die hydrodynamischen Berechnungsverfahren eine zu lange Rechenzeit benötigten. Zudem werden in vielen Fällen die Regenkontinuen aus den gleichen Gründen heraus auf ein charakteristisches Jahr beschränkt. In diesem Forschungsprojekt wurde die Einschränkung auf hydrologische Berechnungsverfahren beseitigt und mit Hilfe der Anwendung des neuartigen komplexen Parallelschrittverfahrens (Kapitel 6.9) und der Anwendung moderner Mehrprozessortechnik ein hydrodynamisches Nachweisverfahren entwickelt.

In manchen Fällen sind die Daten der Modelle in Form von Niederschlagsdaten, Geländedaten, Daten für den Bodenaufbau, die Oberflächenstruktur sowie die Daten zur Abbildung der Kanalnetze, die Zuordnung der Einzugsgebiete zu einer Haltung sehr ungenau. Die Datenfehler sind entweder auf mangelnde Präzision der Messungen oder auf einen zu pauschalen Datenansatz zurückzuführen. Sie können sich gegenseitig aufheben oder zu einem großen Fehler addieren. Am größten ist jedoch der Fehler, der sich ergibt, wenn sich Modell- oder Datenfehler zu deterministischen Fehlern im verwendeten Berechnungsverfahren addieren. Dies zu verhindern sollen Modellkalibrierungen helfen. Dies ist bei Verwendung hydrologischer Verfahren schwierig oder sogar manchmal unmöglich.

In den letzten Jahren hat sich die Datenlage immer mehr verbessert. Die Messinstrumente sind präziser geworden, der Zugang zu genauen Vermessungsdaten wurde erleichtert, die verfügbaren Niederschlags-Messreihen wurden länger und es ist ein relativ dichtes Netz an Messstationen verfügbar. Führen zu pauschale Versickerungsansätze oder eine zu pauschale Oberflächenbeschaffenheit zu

relativ kleinen Abweichungen, so zeigte sich in den hier verwendeten Projekten, dass bei Verwendung von nur einer einzigen Messstation für das gesamte Einzugsgebiet im allgemeinen eine gute Übereinstimmung einzelner Niederschlags- und Abflussereignisse nicht erreichbar ist, da die Niederschlagstätigkeit im Einzugsgebiet örtlich oft sehr ungleichmäßig verteilt ist. Diese Tendenz nimmt offenbar im Zuge des Klimawandels aber auch bei größeren Niederschlagsereignissen zu.

Unsere Ergebnisse zeigen aber auch, dass – wie beim Münzwurf – die Vorhersage einzelner Ereignisse gar nicht möglich ist, allerdings zum Erzielen der gewünschten auf ein Jahr bezogenen Aussagen über die Überstau- bzw. Entlastungstätigkeit gar nicht der Vorhersage einzelner Ereignisse bedarf. Fällt beispielsweise ein Starkniederschlag auf den Ort B, jedoch nicht auf A, so kann erwartet werden, dass bei genügend langer Beobachtungsdauer ein vergleichbares Ereignis irgendwann später auch auf den Ort A fällt. Da dieser dann jedoch für das ganze Gebiet angesetzt wird, wird das Abflussverhalten im Kanal leicht überschätzt und zwar umso mehr, je größer das Einzugsgebiet ist [J. Ziegler, 2006].

Für die in diesem Forschungsprojekt angestrebten Nachweise ist also die Verwendung von nur einer Messstation durchaus ausreichend, wie auch die Nachrechnung der Bochumer Messkampagne (Kapitel 7.2) eindeutig bestätigt. Die im Rahmen dieses Projektes begleitend durchgeführten Schmutzfrachtnachweise wurden fast ausnahmslos mit nur einer Messstation durchgeführt. Daher kann man davon ausgehen, dass die Entlastungswerte mit großer Wahrscheinlichkeit eher überschätzt wurden. Trotzdem wurden im Allgemeinen geringere Werte erreicht, als bei herkömmlicher hydrologischer Betrachtungsweise.

Um zukünftig jedoch noch näher an die realen Verhältnisse heran zu kommen, haben wir im Rahmen dieses Projektes auch eine verteilte Beregnung in das System integriert. Dies ermöglicht eine noch ökonomischere gleichmäßigere Verteilung der gewünschten Sicherheiten oder Belastung der Gewässer im Umfeld der großen Kanalisationssysteme.

6.8. Verteilte Beregnung

Bisherige Verfahren konnten bisher lediglich einen projektweit gleichmäßigen Gebietsniederschlag als Berechnungsgrundlage nutzen. Das umgesetzte Verfahren wurde dahingehend erweitert, dass beliebige Regenmessstationen örtlich über das gesamte Projektgebiet verteilt und mit den individuellen Regenmessdaten besetzt werden können. Jedem Flächenstück kann manuell oder per Au-

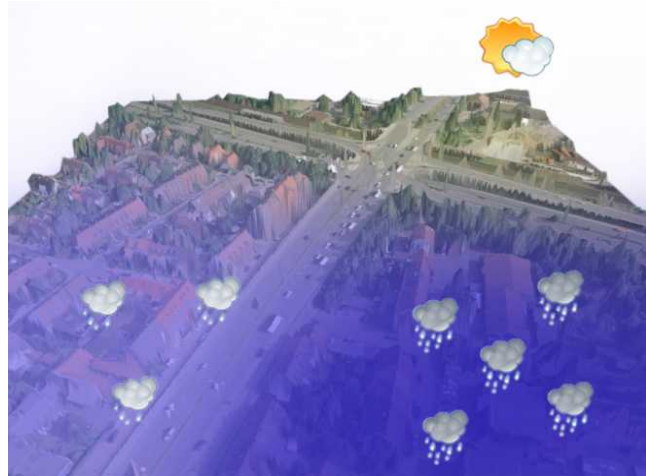


Abbildung 15: verteilte Beregnung

tomatismus eine beliebige Abhängigkeit von jeder der aufgenommenen Regenmessstationen zugewiesen werden. Für die automatische Zuweisung wurden die Methoden Thiessen-Polygon-Verfahren und das Rasterverfahren [Hinterding/Müller/Gerlach/Gabel, 2003] umgesetzt. Beim Thiessen-Polygon-Verfahren wird jedem Flächenstück eine 100%-ige Abhängigkeit zur nächstliegenden Regenmessstation zugewiesen. Beim Rasterverfahren nimmt der Einfluss einer Regenmessstation auf ein Flächenstück mit dem Quadrat seines Abstandes ab. Hierbei kann es zu Mischabhängigkeiten einer Fläche zu mehreren Regenmessstationen kommen.

Um aus den Daten der Regenmessstationen eine für die hydrodynamische Berechnung brauchbare Regenreihe zu erzeugen, wird folgendermaßen vorgegangen:

Eventuelle gemeinsame Ausfallzeiten in den Daten der Regenmessstationen werden entfernt. Die Ausfallzeiten einzelner Stationen werden durch Daten der nächstgelegenen Stationen geeignet ersetzt. Mittels Bestimmung der gemeinsamen Trockenperioden erfolgt eine Aufteilung in Einzelregenereignisse. Hier ist darauf zu achten, dass die Trennzeit ausreichend lang bemessen wird, da die hydrodynamische Berechnung bei Berechnungsbeginn bei jedem Regen von einem leeren Netz bzw. einem Netz im Trockenwetterzustand ausgeht. Als Resultat dieser Operation erhält man eine Folge von Gebietsregen, die allesamt einen zeitlichen Abstand vom jeweils vorhergehenden haben, der größer ist, als diese Trennzeit, und umgekehrt, jede Dauer einer Trockenperiode innerhalb eines Ereignisses kleiner ist diese vorgegebene Trennzeit. Während der Berechnung findet jedoch noch einmal eine Prüfung statt, die die ausreichende Bemessung dieser Trennzeit noch einmal kontrolliert.

Die Regenreihe kann mit Hilfe eines Verfahrens zur Bestimmung der Relevanz der Einzelregen durch einen Blockregenfilter geeignet ausgedünnt werden [Lautrich und Pecher, 1981]. Hierdurch wird die Berechnungsdauer erheblich verringert. Die ausgesonderten Regen stehen allerdings weiterhin dem hydrodynamischen Berechnungsverfahren zur Verfügung und können für spätere Betrachtungen jederzeit wieder verwendet werden. Durch eine einmalige ergänzende Berechnung genau dieser ausgesonderten Ereignisse kann kontrolliert werden, ob alle diese Ereignisse zu Recht ausgesondert wurden.

6.9. Komplexes Parallelschrittverfahren und Parallelisierung

6.9.1. Verfahrensbeschreibung (hydrodynamische Kanalnetzberechnung)

Das hydrodynamische Berechnungsverfahren DYNA verwendet den komplett instationären, ungleichförmigen und diskontinuierlichen Berechnungsansatz der Saint Venant'schen Bewegungsgleichung:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\delta v}{\delta t} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\delta v}{\delta x} + \frac{v}{g \cdot A} \cdot q + \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{\lambda}{4 \cdot R} \cdot \frac{v \cdot |v|}{2 \cdot g} = 0$$

Formel 10: Saint Venant'sche Bewegungsgleichung

mit:

v :	Geschwindigkeit [m/s]
λ :	Widerstandsbeiwert nach Prandtl-Colebrook
g :	Erdbeschleunigung [m/s ²]
R :	hydraulischer Radius [m]
t :	Zeit [s]
q :	seitlicher Zufluss [m ³ /s/m]
A :	benetzte Fläche [m ²]
ζ :	Bremse in Folge von Schachtverlust
x :	Abstand zwischen Dreiecksschwerpunkten [m]
h :	Wasserspiegelhöhe in beiden betrachteten Dreiecken [m]

Ersetzt man in Formel 10 die Differentialoperatoren durch die dazugehörigen Differenzenquotienten, und berücksichtigt man die an den Schächten entstandenen Borda-Carnot-Verluste (ζ) durch Verengung oder Erweiterung, so erhält man die folgende durch Dipl.-Math. Reinhard Tandler hergeleitete quadratische Gleichung:

$$\begin{aligned} (i) \quad & f_u^o(v) := a_u^o \cdot v^2 + b_u^o \cdot v + c_u^o = 0 \\ (ii) \quad & a_u^o = \text{sign}(v') \cdot \frac{\lambda(v')}{8 \cdot g \cdot R} \\ (iii) \quad & b_u^o = \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{1}{\Delta t} + \frac{q}{A} \right) \\ (iv) \quad & c_u^o = -\frac{\zeta_o \cdot \zeta_u \cdot v'}{g \cdot \Delta t} - \frac{v_o^2 - v_u^2}{2 \cdot g \cdot \Delta x} - \frac{h_u - h_o}{\Delta x} \end{aligned}$$

Formel 11: Symmetrische Bewegungsgleichung in der komplexen Zahlenebene

Nach dem Hauptsatz der Algebra besitzt jedes Polynom vom Grad $n \geq 1$ über dem Körper der komplexen Zahlen mindestens eine komplexe Nullstelle (genau n) und somit mindestens eine direkte Lö-

sung der Bewegungsgleichung. Das direkte Lösungsverfahren erlaubt die uneingeschränkte Aufteilung der Berechnungsschritte auf beliebig viele Prozessoren und eine optimale Nutzung moderner Multiprozessorsysteme.

6.9.2. Multiprozessing (Parallele Schmutzfrachtberechnung)

Die Berechnung des Abflusses im Kanal beginnt mit der Initialisierung der zu berechnenden Elemente. Im Anschluss werden für den ersten Zeitschritt t_1 die Randbedingungen (Wasserstände und Energie-niveaus in den Schächten) berechnet. Darauf folgt die Berechnung der Differentialgleichung (Austauschgeschwindigkeit in den Haltungen).

Sollte $t_S := t_1 + t_2 + \dots + t_j < \text{Simulationszeit } t$ sein, so wird dieser Ablauf für den nächsten Zeitschritt t_{j+1} wiederholt. Der neue Zeitschritt wird unter Berücksichtigung des momentanen Netzzustands dynamisch bestimmt. Am Ende der Berechnung werden die Ergebnisse in Listen ausgegeben bzw. an das aufrufende Programm übertragen.

Folgendes Schema zeigt das Ablaufprogramm für eine Berechnung mit einem Prozessor und mit vier Prozessoren. Das Ablaufdiagramm ist beliebig auf n zur Verfügung stehende Prozessoren erweiterbar.

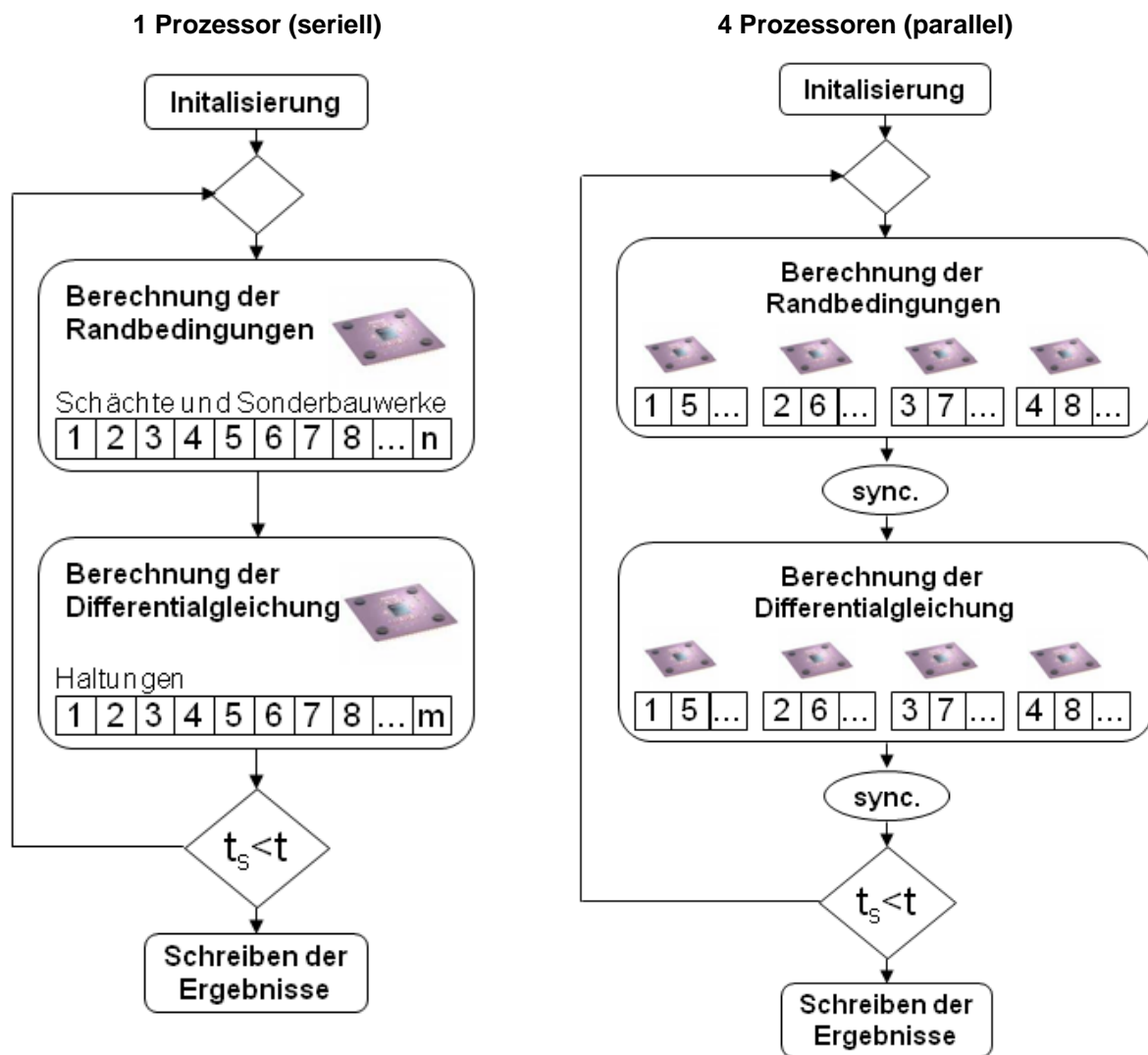


Abbildung 16: Berechnungsablauf seriell und parallel

6.9.3. Superparallele Schmutzfrachtberechnung

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Simulationsgeschwindigkeit besteht im Einsatz von mehreren Rechnern in einem Netzwerkverbund. Diese Netzwerkverbunde sind mittlerweile in jeder Universität, jedem Ingenieurbüro, bei den Betreibern oder auch öffentlichen Behörde vorhanden. Kontraproduktiv wäre hier allerdings ein zum Multiprocessing analoges Vorgehen - nämlich die Verteilung einzelner Elemente eines Kanalsystems auf verschiedene Netzwerkrechner. Die Synchronisierung der Berechnung und des Schreibens der Ergebnisse über ein Netzwerk hinweg wäre zu aufwändig. Statt dessen wird die Regenreihe auf die beteiligten Rechner aufgeteilt und jeweils das komplette Kanalsystem für die zugeordneten Regen simuliert. Der Aufteilungsalgorithmus für die Regen berücksichtigt u.a. die jeweilige Rechnerleistung - mit dem Ziel, die Simulationen gleichzeitig enden zu lassen.

Da die Netzwerkrechner wiederum das Multiprozessing nutzen können, eröffnet sich hier ein großes Potential zur Steigerung der Simulationsgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeitssteigerung multipliziert sich mit der Anzahl der verfügbaren Netzwerkrechnern und der Anzahl der verfügbaren Prozessoren in den verwendeten Rechnern.

Hierbei überwacht ein Hauptprozess den Datentransfer, initialisiert mit Hilfe eines Serverdienstes die „entfernten“ Berechnungsprozesse auf den Netzwerkrechnern, synchronisiert deren Beendigung und sorgt anschließend für die Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse.

Eine große Schwierigkeit bei der Entwicklung der superparallelen Schmutzfrachtberechnung stellte die systemimmanente Instabilität und Fehleranfälligkeit der Verbundnetzwerke dar. Um auch bei Ausfall bzw. Nichterreichbarkeit eines beteiligten Rechners konsistente Berechnungsergebnisse zu gewährleisten, ohne eine komplette Neuberechnung durchführen zu müssen, wurden hier vielschichtige Sicherheitsmaßnahmen integriert. Diese erlauben das getrennte Nachrechnen einzelner Ereignisse und das wiederaufsetzen auf eine abgebrochene Simulation ohne Neuberechnung der bereits vorhandenen Ergebnisse. Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch eine Schmutzfrachtberechnung mit superparalleler und Multiprozessoraufteilung.

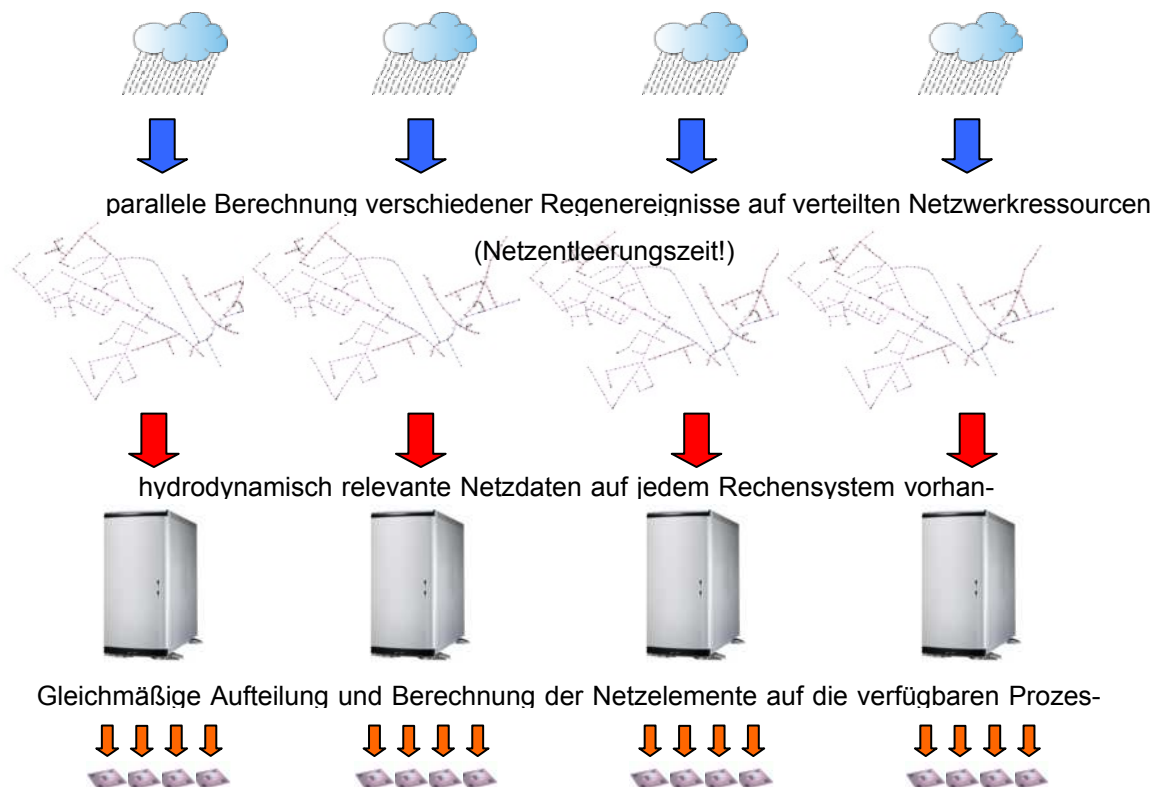


Abbildung 17: Schmutzfrachtberechnung mit superparalleler und Multiprozessoraufteilung (symmetrisch)

6.9.4. Berechnungszeit

Für die Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Parallelisierung ist die Erreichbare Skalierung die ausschlaggebende Größe. Diese gibt die Reduktion der Berechnungszeit in Abhängigkeit der verfügbaren Prozessoren an.

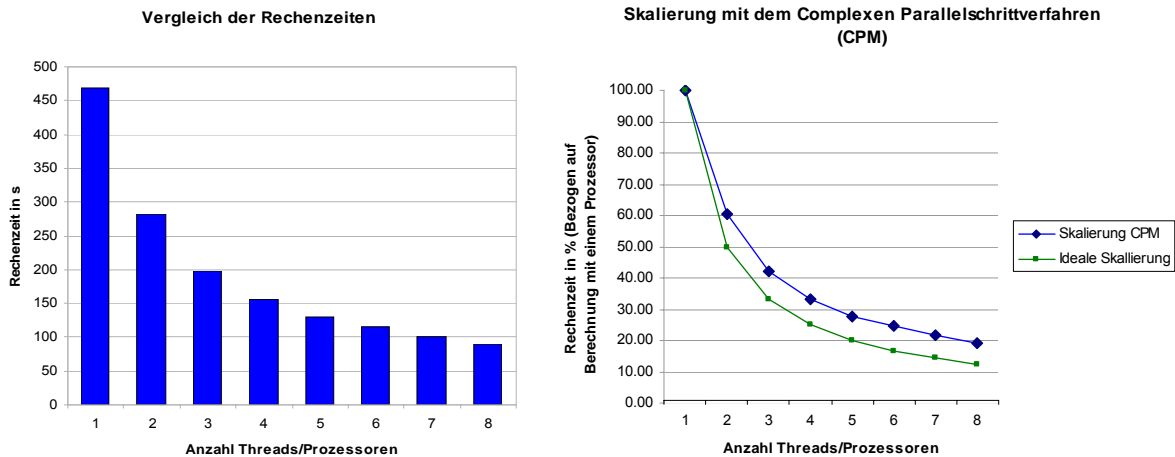


Abbildung 18: CPM – reduzierte Berechnungszeiten

Abbildung 18 zeigt links die absoluten Berechnungszeiten für eine repräsentative Schmutzfrachtberechnung für einen bis acht Prozessoren. Die rechte Seite gibt die prozentuale Berechnungszeit für das CPM (blaue Linie) bezogen auf die benötigte Dauer mit nur einem Prozessor an. Zum Vergleich stellt die grüne Linie die nur theoretisch erreichbare Skalierung dar. Man sieht, dass das CPM sehr nahe an der idealen Skalierung liegt.

Mit dem entwickelten Verfahren sind hydrodynamische Schmutzfrachtsimulationen möglich, welche mit mehr als 1000-facher Echtzeit ablaufen. Die erreichte Berechnungsdauer hängt stark von der Projektgröße und Charakteristik ab. Einen repräsentativen Überblick über die erreichten Berechnungsdauern gibt die nachfolgende Tabelle:

Projektgebiet	Regenstau GEP mit Schmutzfracht	Wesseling Schmutzfracht	Schwarzbach Überstaunach- weis	Bochum Schmutzfracht	Augsburg GEP
Anzahl Haltungen	6700	466	1103	1206	ca. 10000
Kanallänge [km]	249	18	42	48	164
Simulations- zeitraum [a]	1	40	37	31	16
Anzahl Regen	61	5202	2705	2408	822
Rechenzeit [d:h:min] ohne Verteilung	13 h 46 min	2 d 13 h 46 min	4 d 13 h 5 min	4 d 7 h 28 min	8 d
Simulationszeit / Rechenzeit in Min mit Verteilung auf 10 Recheneinheiten	82	377	654	620	900

Tabelle 4: Überblick über die erreichten Berechnungszeiten

7. Praktischer Nachweis

Durch die Schaffung der verwaltungstechnischen Grundlagen zur Regenwasserbehandlung und Regenwassereinleitung kommt der Schmutzfrachtberechnung als Planungsinstrument, insbesondere bei der Sanierung von Entwässerungsverfahren, eine verstärkte Bedeutung zu. In Schmutzfrachtmodellen werden Kanalisationssysteme bisher nur durch vereinfachte Ersatzsysteme in Form rein hydrologischer Ansätze abgebildet. Ein Nachteil der klassischen hydrologischen Modelle zur Abflusskonzentration liegt darin, dass sie nicht in der Lage sind, die bei Starkregenereignissen übliche Dämpfung und Verformung der Abflussganglinie in Kanalnetzen durch Ein- oder Überstauwirkungen zu berücksichtigen. Hierzu sind nur die in der Siedlungswasserwirtschaft weit verbreiteten hydrodynamischen Kanalnetzmodelle mit ausreichender Genauigkeit in der Lage. Sie bauen auf den Differentialgleichungen nach St. Venant auf und simulieren das Netz haltungsweise. Um den tatsächlichen Verhältnissen und somit einem optimalen Gewässerschutz gerecht zu werden, ist es notwendig, hydrologische Schmutzfrachtmodelle aufgrund ihrer Unzulänglichkeit durch hydrodynamische Schmutzfrachtmodelle zu ersetzen.

Beim Praktischen Nachweis wird erstmals ein umfassender Vergleich zwischen hydrologischen und hydrodynamischen Schmutzfrachtsimulationsmodellen erstellt. Durch diese Vergleichsberechnungen soll aufgezeigt werden, dass das Programmsystem ++SYSTEMS / DYNA zusammen mit dem neu

entwickelten Verfahren FLOW++ richtlinienkonform arbeitet und die Ergebnisse wirtschaftlicher und auch aufgrund der realitätsbezogeneren Berechnung plausibler sind.

7.1. Genehmigungsbehörden

Es ist notwendig die neuen Verfahren anzuwenden um dem Ziel, den Gewässerschutz zu verbessern Rechnung zu tragen.

Ein Anwendungsfall ist der Nachweis der Mischwasserbehandlung zur Ermittlung des notwendigen Stauraumvolumens zur Erfüllung der länderspezifischen behördlichen Anforderungen. Die Vorgaben und Anforderungen in Hinblick auf diesen Nachweis sind in den Bundesländern nicht einheitlich. Deshalb wurden für die Bundesländer Bayern (tandler.com GmbH), Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen (FH Gießen), Baden-Württemberg (FH Konstanz und IB Guthler) sowie Nordrhein-Westfalen (Dr. Pecher AG) die Vorgaben und Anforderungen überprüft und die Anwendbarkeit des neuen Verfahrens FLOW++ bewertet.



Abbildung 19: Übersicht Genehmigungsbehörden

7.1.1. Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Bayern

In Bayern werden die Anforderungen zum Nachweis im Einzelfall festgelegt. Es ist nicht vorgeschrieben, welches Schmutzfrachtprogramm verwendet werden soll. Damit kann das neue Simulationsverfahren, wie die bereits erfolgten und bestätigten Schmutzfrachtberechnungen für die Stadt Landshut (Bestätigung in Anhang I) und Augsburg zeigen, verwendet werden.

7.1.2. Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, Schwerpunkt und Anwendungsbeispiel Hessen

Es wurde untersucht, ob und ggf. mit welchen Einschränkungen das neue Simulationsverfahren zum Nachweis der Mischwasserbehandlung in Deutschland in den Bundesländern Hessen, Brandenburg,

Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen eingesetzt werden kann. Dabei wurde insbesondere erörtert:

- Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung bisher?
- Kann das neue Simulationsverfahren als Nachweisprogramm angewendet werden?
- Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht bzw. gefördert werden?

Brandenburg

In Brandenburg gibt es keine konkreten Vorgaben zum Nachweis der Mischwasserbehandlung. Da der Anteil der Mischwasserkanalisation im Vergleich zum Trennsystem gering ist, erfolgt die Genehmigung der Mischsysteme als Einzelfallbetrachtung. Da die Anforderungen zum Nachweis im Einzelfall festgelegt werden, ist nicht vorgeschrieben, welches Schmutzfrachtprogramm verwendet werden soll. Damit kann das neue Simulationsverfahren in Brandenburg verwendet werden.

Mecklenburg-Vorpommern

Auch in Mecklenburg-Vorpommern gibt es keine fest definierten Anforderungen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung. Falls jedoch Schäden im Gewässer festgestellt werden, erfolgt eine Einzelfallbetrachtung. In diesem Rahmen kann die Benutzung eines Simulationsprogramms notwendig sein. Hierfür kann das neue Simulationsverfahren verwendet werden.

Sachsen

Für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in Sachsen soll nach den a.a.R.d.T. vorgegangen werden. In der Regel wird das DWA Arbeitsblatt A 128 als Grundlage verwendet. Es werden keine Prüfprogramme eingesetzt. Der Verweis auf das A 128 erfolgt nicht über das Landeswassergesetz, sondern über das Abgabenrecht. Das Vorgehen sollte mit den Sachbearbeitern projektspezifisch abgesprochen werden. Die Anforderungen zum Nachweis sind nicht detailliert fixiert, es ist nicht vorgeschrieben, welches Schmutzfrachtprogramm verwendet werden soll. Damit kann das neue Simulationsverfahren verwendet werden.

Für Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen kann FLOW für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in der Regel angewendet werden. Es existieren keine speziellen Vorgaben bezüglich der Lieferung der Ergebnissen, z. B. vorgeschriebene Dateiformate. Eine Absprache über das Vorgehen und die Randbedingungen des Nachweises mit den Aufsichtsbehörden ist notwendig, das betrifft natürlich auch die Verwendung von FLOW als Nachweisprogramm.

Sachsen-Anhalt

In Sachsen-Anhalt ist das DWA A128 mit Ergänzungen als a.a.R.d.T. durch Erlass eingeführt [Geiger, Flores, 2003]. Das Programm KOSIM ist mit festen Parameterwerten als Prüfprogramm eingeführt [Geiger, Flores, 2003]. Für große, vermaschte Netze und bei rückgestauten Kanalnetzen sollen hyd-

rodynamische Rechenmodelle angewendet werden. Die Verwendung des neuen Verfahrens muss mit der Behörde im Einzelfall frühzeitig abgesprochen werden. Da KOSIM nur Prüfprogramm ist, spricht nichts gegen eine Verwendung des neuen Simulationsverfahrens durch den Planer. Allerdings müssen die Daten ggf. zur Prüfung mit KOSIM bereitgestellt werden. Diese Vorgaben können zu dem gleichen Problem, wie nachfolgend für das Bundesland Hessen beschrieben, führen. Es kann zusammengefasst werden, dass die Anwendung von KOSIM als Nachweis- und Prüfprogramm in Sachsen-Anhalt der Regelfall ist. Die Vorgabe der Verwendung des Prüfprogramms KOSIM kann jedoch im Einzelfall aufgehoben werden, wenn eine Berechnung mit einem hydrodynamischen Programm durchgeführt wird.

Hessen

In Hessen wird der Nachweis der Mischwasserbehandlung in Hinblick auf eine Abwasserabgabebefreiung durchgeführt. Es wird das Programm SMUSI als Prüfprogramm und i.d.R. auch für die Nachweisberechnungen verwendet. Im SMUSI werden der Oberflächenfluss und der Transportprozess im Kanal mit hydrologischen Berechnungsverfahren durchgeführt. Direkte Vorgaben zur Verwendung des Simulationsmodells SMUSI als Nachweisprogramm existieren nicht. Für den Nachweis können somit andere Programme als SMUSI verwendet werden. Die Behörde verlangt jedoch die Übergabe der Daten des Entwässerungssystems im SMUSI-Format. Dies ist die Grundlage für die Prüfung mit Hilfe des SMUSI. Diese Prüfung könnte theoretisch auch mit FLOW++ durchgeführt werden, dazu wären jedoch noch Programmiererweiterungen notwendig. Somit könnte FLOW++ für den Nachweis verwendet werden, jedoch muss gleichzeitig eine SMUSI-Datei eingereicht werden. Diese SMUSI-Datei repräsentiert ein Grobmodell und kann deshalb ausgehend von einem Detailmodell, wie es in FLOW++ üblicherweise verwendet wird, nicht ohne weiteres erstellt werden, d. h. es müsste parallel ein SMUSI-Grobmodell aufgestellt werden, mit all den damit verbundenen Ungenauigkeiten und Fehlerquellen. Damit würde die FLOW++-Berechnung zusätzlich durchgeführt werden, die eigentliche Prüfung würde mit dem SMUSI-Datensatz erfolgen. Die Gründe für den Einsatz des FLOW++, z.B. der geringere Aufwand für die Erstellung nur eines Modells des Entwässerungssystems für verschiedene Anwendungsfälle, werden damit teilweise aufgehoben.

In Anhang A1 finden Sie den Bericht zum Einsatz des neuen Simulationsverfahrens für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in den Bundesländern Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Um die Randbedingungen für den Einsatz des neuen Simulationsverfahrens zum Nachweis und zur Prüfung in Hessen zu erörtern, wurden in diesem Projekt auf Anregung der Genehmigungsbehörde Vergleichsuntersuchungen zwischen SMUSI und einem FLOW++ Modell durchgeführt.

Dazu wurde ein Beispielnetz aus Hessen, von dem eine Schmutzfrachtberechnung mit SMUSI vorlag, mit dem neuen Simulationsverfahren simuliert. Auf Grundlage der Dokumentation und der im Laufe

der durchgeführten Simulation gewonnen Erkenntnisse wurden einige Modellunterschiede zusammengefasst (siehe Anhang A2). Neben den Unterschieden in den Modellansätzen zur Beschreibung des Verhaltens des Abflusses und der Schmutzkonzentrationen auf der Oberfläche und in den Kanälen und Sonderbauwerken ist dabei insbesondere der Detaillierungsgrad der Abbildung des Systems zu erwähnen. Im Programmpaket ++SYSTEMS / FLOW++ können die Einzugsgebiete und das Kanalnetz wesentlich detaillierter abgebildet werden als im SMUSI. Weiterhin wird in FLOW++ eine hydrodynamische Simulation, im SMUSI eine hydrologische Abflusssimulation durchgeführt. Vor einigen Jahren war die Simulation eines derart detaillierten Systems mit hydrodynamischen Verfahren nur mit unverhältnismäßig langen Rechenzeiten möglich. Das in FLOW++ angewandte komplexe Parallelschrittverfahren in Kombination mit der enormen Hardwareentwicklung (schnelle Prozessoren und Mehrfachprozessoren) in den letzten Jahren hat dazu geführt, dass die Rechenzeiten von detaillierten Netzen erheblich verkürzt wurden und so eine hydrodynamische Simulation eines detaillierten Netzes mit annehmbarem Aufwand ermöglicht wurde.

Als Anwendungsbeispiel für ein hessisches Netz wurde das Kanalnetz der Stadt Hungen gewählt. Hierzu standen aktuelle SMUSI-Daten zur Verfügung. Für die Simulationen mit FLOW++ und SMUSI wurde zum einen die in Hessen für den Nachweis der Mischwasserbehandlung vorgeschriebene 9-monatige hessische Niederschlagsreihe von 1968, zum anderen daraus isolierte Einzelereignisse verwendet. Das im SMUSI simulierte Grobnetz wurde in ++SYSTEMS übertragen, da die Informationen zur Aufstellung eines entsprechenden Detailnetzes nicht zur Verfügung standen. Einige für die Simulation im FLOW++ notwendige Daten wurden auf der Grundlage von Informationen vom Netzbetreiber und einem weiteren Ingenieurbüro ergänzt, z.B. die Koordinaten oder die Schwellenhöhen und -längen. Zu Beginn wurden zum Vergleich und zur Festlegung von Modell- und Simulationsparametern Teilnetze mit FLOW++ und SMUSI simuliert und die daraus resultierenden Ganglinien und summierten Abflüsse und Frachten von Einzelereignissen betrachtet. Danach wurde die Simulation des Abflusses und der Schmutzfrachten des Gesamtnetzes durchgeführt. Insbesondere wurden dabei die Entlastungswassermengen und -CSB-Frachten betrachtet. Die unten dargestellte Abbildung 20 zeigt die prozentualen Verhältnisse der Entlastungswassermengen und CSB-Entlastungsfrachten in FLOW++ im Vergleich zu den Werten im SMUSI über den Gesamtzeitraum. Weiterhin ist zur Abschätzung des mengenbezogenen Einflusses der betreffenden Entlastungsanlage zum Gesamtabfluss, der prozentuale Anteil der Entlastungen an den Einzelbauwerken im Verhältnis zur Gesamtentlastungswassermenge dargestellt. Ein Verhältniswert bei der Entlastungswassermenge von 100% bedeutet, dass die Entlastungswassermenge in FLOW++ und im SMUSI gleich ist. Ein kleinerer Wert bedeutet eine geringere Entlastungswassermenge in FLOW++ im Vergleich zum SMUSI, ein größerer Wert eine größere Entlastungswassermenge in FLOW++. Es ist zu erkennen, dass die Entlastungswassermenge in FLOW++ bei den meisten Becken kleiner ist als im SMUSI. Es gibt jedoch auch Becken, die mehr entlasten. Über den gesamten Simulationszeitraum betrachtet liegt der Verhältniswert bei 87%, d.h. im FLOW++ wird 13% weniger entlastet als im SMUSI.

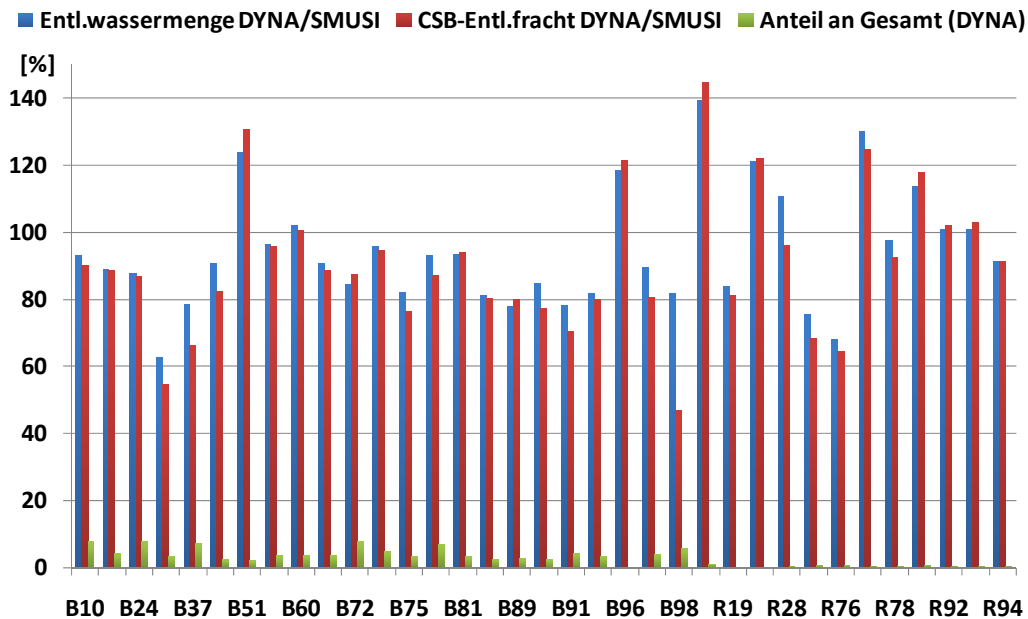


Abbildung 20: Verhältniszahlen DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen und Frachten) des Gesamt-netzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum

Die Untersuchung zeigt, wie erwartet, dass die Ergebnisse hydrologischer Verfahren im Vergleich zu einem hydrodynamischen Verfahren unterschiedlich ausfallen. Die reduzierten Entlastungsmengen in den Berechnungen mit den hydrodynamischen Verfahren wurden auch in anderen Vergleichsuntersuchungen (siehe 7.2) zwischen hydrodynamischen und hydrologischen Verfahren festgestellt und kann durch die zusätzlich aktivierten Kanalvolumina erklärt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden beim Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vorgestellt und der Einsatz der neuen Verfahren in Hessen diskutiert.

Der uneingeschränkten Anwendung von FLOW++ für den Nachweis der Mischwasserbehandlung steht dabei die Abgabe der Ergebnisdaten im SMUSI-Format für die Prüfung entgegen.

7.1.3. Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg sind die Vorgaben des ATV-Arbeitsblatts A 128 wesentliche Grundlagen bei der Planung, Bemessung und wasserrechtlichen Genehmigung von Anlagen zur Regenwasserbehandlung. Ferner sind die Arbeitsmaterialien zur fortschrittlichen Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg [LfU BW, 1999] und bei Gewässern mit erhöhten Anforderungen an den Gewässerschutz weitere Vorschriften, z. B. die Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee [IGKB, 2005], zu berücksichtigen.

Durch das Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg wurden zusätzlich Arbeitsmaterialien zur fortschrittlichen Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg ausgearbeitet. Die unten aufgeführten Punkte werden z.T. auch im ATV-A 128 erwähnt. Die Arbeitsmaterialien ent-

halten besondere Maßnahmen, die in Baden-Württemberg zusätzlich und ergänzend zu den Richtlinien der ATV-A 128 bei der Regenwasserbehandlung im Mischsystem berücksichtigt werden müssen. Daher müssen auch gerade diese Vorgaben mit in die Entwicklung eines Schmutzfrachtsimulationsmodells, welches unter anderem auch in Baden-Württemberg genutzt werden soll, einfließen.

Es sind folgende Punkte zu beachten:

- Schmutzfrachtmodelle erfüllen die Anforderungen dieser Arbeitsmaterialien, wenn sie mindestens den im ATV-Arbeitsblatt A 128 festgelegten Grundsätzen entsprechen.
- Wichtig ist, dass Lösungen zur Regenwasserbehandlung gefunden werden, welche die Gewässer möglichst wenig belasten und dabei wirtschaftlich vertretbar sind.
- Der Ermittlung von Grundlagendaten kommt besondere Bedeutung zu.
- Rückstauverhältnisse sind immer zu beachten und nachzuweisen.
- Grundsätzlich sollten alle Regenüberlaufbauwerke in einem Einzugsgebiet ein gleichartiges Entlastungsverhalten aufweisen, d.h. die Entlastungsraten e_0 sollten in der gleichen Größenordnung liegen (Ausnahmen sind möglich).
- Der Nachweis eines ablagerungsfreien Transports in den Ableitungskanälen von Regenentlastungsanlagen muss erbracht werden.
- Die Ermittlung des erforderlichen Gesamtspeichervolumens und der rechnerisch zulässigen, modellabhängigen CSB-Entlastungsfracht ist notwendig.
- Die Bemessung nach A 128 ist auf den Trockenwetterabfluss im Jahresmittel Q_{t24} aufgebaut.
- Das fiktive Zentralbecken ist als Durchlaufbecken ohne Beckenüberlauf im Nebenschluss und ohne Rückstau vorzusehen. Vorher dürfen keine Entlastungen stattfinden. Mit dem Schmutzfrachtmodell wird für dieses Volumen in einer Vorberechnung die rechnerisch zulässige, modellabhängige Entlastungsfracht berechnet.
- Die Berechnung erfolgt ohne Akkumulation, Ablagerung und Abtrag in der Kanalisation, also ohne Schmutzstoß.
- Im Rahmen des Nachweisverfahrens nach ATV A 128 ist ohne Absetzwirkung in den Speicherräumen zu rechnen. Dies muss bei allen Berechnungen eingehalten und nachgewiesen werden.
- Der Spitzenabflussfaktor x ist im Idealfall aus Tagesganglinien zu ermitteln.
- Bei Schmutzfrachtberechnungen ist, wie beim vereinfachten Aufteilungsverfahren, das kritische Mischungsverhältnis bei der Entlastung nachzuweisen.
- Wichtig ist die übersichtliche und nachvollziehbare Dokumentation der verwendeten Modellansätze, des berechneten Entwässerungssystems mit Eingabedaten, Modellparametern für die einzelnen Bausteine sowie der Berechnungsergebnisse zum Zweck der Plausibilitätskontrolle und der Prüfung. Dies wird auch in A 128 gefordert.

- Ein Systemplan, aus dem die für die Berechnung notwendigen Eingabedaten und Planungszeiträume erkennbar sind, ist jeder Schmutzfrachtberechnung beizufügen.

Zusätzlich darf bei der Verwendung von Schmutzfrachtmodellen in Baden-Württemberg eine "Verdunstung während des Ereignisses" nicht angesetzt werden.

Mit dem hydrodynamischen Schmutzfrachtsimulationsmodell FLOW++ lassen sich die Vorgaben, Anforderungen und Nachweise entsprechend der oben genannten Richtlinien erbringen. Der Nachweis der Richtlinienkonformität für das hydrodynamische Schmutzfrachtsimulationsmodell FLOW++ erfolgte u. a. durch umfangreiche Vergleichsberechnungen mit dem hydrologischen Schmutzfrachtmodell KOSIM [S. Thienger, 2009]. Nach Aufbereitung und Zusammenstellung der durchgeführten Berechnungen und Nachweise wird ein abschließendes Gespräch mit dem zuständigen Ministerium in Stuttgart durchgeführt.

7.1.4. Projekte für Baden-Württemberg

Durch die praktische Anwendung des entwickelten hydrodynamischen Verfahrens zur Schmutzfrachtsimulation werden Vergleichsrechnungen mit dem hydrologischen Verfahren KOSIM durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden auf die Einhaltung der Anforderungen in ATV-A 128 und besondere Anforderungen des Bundeslandes Baden-Württemberg überprüft.

Für folgende Projekte erfolgte in Kooperation zwischen der GÜthler Ingenieurteam GmbH und der HTWG Konstanz eine hydrodynamische Schmutzfrachtsimulationsberechnung in KOSIM und FLOW++:

- | | | |
|--|---|-------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Beispiel Mustergebiet 4, • Marktgemeinde Götzis, • Stadt Mühlacker, Ortsteil Enzberg | } | Güthler Ingenieurteam
GmbH |
| <ul style="list-style-type: none"> • Markt Babenhausen | } | HTWG Konstanz |

Vorgehensweise

Zunächst wurden eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Anpassung der Grundlagen in KOSIM und in FLOW++ vorgenommen um eine annähernd identische Ausgangslage zu erstellen. Da die beiden Programme mit unterschiedlichen Ansätzen der Abflussbildung arbeiten, war es erforderlich, die Eingabeparameter aufeinander abzustimmen (siehe Anhang B). Als nächstes erfolgte die Anpassung der Jahresabflusssumme in FLOW++ mittels Reduzierung oder Erhöhung aller Verlustparameter, um

später überhaupt vergleichbare Werte für die Schmutzfracht zu erhalten. Im Anschluss daran wurde eine vollständige Schmutzfrachtsimulationsberechnung nach ATV A 128 durchgeführt.

Bei den hier durchgeführten Vergleichsberechnungen in FLOW++ wurde immer mit einer starken Durchmischung (Kapitel 6.3.1.1) gerechnet.

Die hier durchgeführte Reduzierung der Verlustparameter dient einzig und allein dem Zweck der Anpassung der Jahresabflusssummen in KOSIM und FLOW++. Die geforderte Vergleichsgröße für den Nachweis nach ATV-A 128 ist die Zentralbeckenberechnung. Auf diese Größe wird die Berechnung eingestellt. FLOW++ muss aus zwei Aspekten zwangsläufig zu realitätsbezogeneren Ergebnissen führen. Der erste Aspekt ist die realitätsbezogenere Ermittlung des Abflusses aufgrund der hydrodynamischen Abflussberechnung. Der zweite Aspekt ist eine Anpassung an natürliche, der Praxis entsprechende Gegebenheiten. Für eine Schmutzfrachtsimulation, die nur in FLOW++ durchgeführt wird, müssen daher die üblicherweise angesetzten Standardwerte in ++SYSTEMS verwendet werden.

Mustergebiet 4	KOSIM	FLOW++
Trockenwetterabfluss [m/a ³]	120.231,00	120.152,16
Regenwetterabfluss [m/a ³]	91.812,72	91.883,69
Gesamtabfluss [m/a ³]	212.043,72	212.035,85
∑ Kläranlagenzulauf Q _{AKA} [m/a ³]	175.131,72	179.041,20
∑ Entlastung Q _{ue} [m/a ³]	36.912,00	32.994,65
Durchmischungsverhältnis [%]	11,64	10,3
e _{o, Ist-Zustand} [%]	40,2	38
SF _{ue, Ist-Zustand} [kg-CSB/a]	4.298,00	3.572,51
e _{o, ZB} [%]	40,2	40,2
SF _{ue, ZB} [kg-CSB/a]	4.322,00	5.600,55

Götzis	KOSIM	FLOW++
Trockenwetterabfluss [m/a ³]	570.880,45	571.116,96
Regenwetterabfluss [m/a ³]	483.375,46	485.284,30
Gesamtabfluss [m/a ³]	1.054.255,91	1.056.401,26
∑ Kläranlagenzulauf Q _{AKA} [m/a ³]	897.922,91	899.921,96
∑ Entlastung Q _{ue} [m/a ³]	156.333,00	156.479,30
Durchmischungsverhältnis [%]	14,7	7,82
e _{o, Ist-Zustand} [%]	32,3	37
SF _{ue, Ist-Zustand} [kg-CSB/a]	23.046,00	12.240,45
e _{o, ZB} [%]	37,7	39,9
SF _{ue, ZB} [kg-CSB/a]	23.389,80	33.762,50

Babenhausen	KOSIM	FLOW++
Trockenwetterabfluss [m/a ³]	611.381,94	611.483,04
Regenwetterabfluss [m/a ³]	590.997,00	588.147,94
Gesamtabfluss [m/a ³]	1.202.378,94	1.199.630,98
∑ Kläranlagenzulauf Q _{AKA} [m/a ³]	931.323,94	937.218,08
∑ Entlastung Q _{ue} [m/a ³]	271.055,00	262.412,90
Durchmischungsverhältnis [%]	13,42	7,54
e _{o, Ist-Zustand} [%]	45,90	46
SF _{ue, Ist-Zustand} [kg-CSB/a]	36371,00	19.785,41
e _{o, ZB} [%]	55,80	55,8
SF _{ue, ZB} [kg-CSB/a]	38369,00	34.903,20

Enzberg	KOSIM	FLOW++
Trockenwetterabfluss [m/a ³]	700.775,36	699.171,26
Regenwetterabfluss [m/a ³]	514.090,79	515.649,31
Gesamtabfluss [m/a ³]	1.214.866,15	1.214.820,57
∑ Kläranlagenzulauf Q _{AKA} [m/a ³]	899.526,15	914.803,17
∑ Entlastung Q _{ue} [m/a ³]	315.340,00	300.017,40
Durchmischungsverhältnis [%]	12,77	7,25
e _{o, Ist-Zustand} [%]	61,3	62
SF _{ue, Ist-Zustand} [kg-CSB/a]	40.272,00	21.740,09
e _{o, ZB} [%]	55,7	55,7
SF _{ue, ZB} [kg-CSB/a]	40.900,10	29.683,87

Abbildung 21: Übersicht der Ergebnisse der hydrologischen (KOSIM) und hydrodynamischen (FLOW++) Schmutzfrachtsimulation

Fazit

Beim Vergleich der Rechenergebnisse in KOSIM und in FLOW++ der Projekte: Beispiel Mustergebiet 4, Marktgemeinde Götzis, Stadt Mühlacker - Ortsteil Enzberg und Markt Babenhausen ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Durch die geringere Entlastungsmenge in FLOW++ zeigt sich rechnerisch die positive Auswirkung der hydrodynamischen Langzeitsimulation. Die Speicherwirkung der Kanäle wird in der Berechnung berücksichtigt, wodurch weniger entlastet wird – was in der Praxis so auch geschieht und somit die Gewässerbelastung genauer nachweisbar ist. Der noch im Netz enthaltene Abfluss wird verzögert zur Kläranlage geleitet. Es wird ersichtlich, dass durch die realen Verhältnisse, die in FLOW++ abgebildet werden, plausible und wirtschaftlichere Werte ermittelt werden.

7.1.5. Vorgehen bezüglich der Genehmigung in Nordrhein-Westfalen

Generell bildet in Deutschland das Arbeitsblatt ATV-A-128 (1992) die Grundlage für emissionsorientierte Schmutzfrachtnachweise. Mit mehr oder weniger großen Abweichungen orientieren sich die Anforderungen an die Systemauslegung für Regenwasserbehandlungsanlagen in Mischsystemen an den dortigen Vorgaben. Der Nachweis selbst ist dabei länderspezifisch individuell geregelt.

Die Grundlage für die Anerkennung eines Programms zur Schmutzfrachtsimulation in NRW ist der Erlass "Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung im Mischverfahren" (RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 03.01.1995 - IV B 6 - 031001 2102/IV B 5 - 673/4/2-32602). Für die Anerkennung ist in NRW das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) zuständig.

Voraussetzung für die Anerkennung eines Programmsystems zur Schmutzfrachtberechnung in NRW ist der Nachweis der Darstellung von Ergebnissen einer Modellkalibrierung. Anhand der Kalibrierungsergebnisse erfolgt eine Bewertung des Simulationsprogramms. Das LANUV fordert eine Systemprüfung durch die Technische Universität Darmstadt (amtliche Messstelle für das Land Hessen). Dabei soll ein Modellabgleich stattfinden, in dem zwei unterschiedliche Typen von Kanalisationsbauwerken angesetzt werden:

- Typ 1: Gering vermaschte Mischkanalisation ohne Rückstau und ohne Fließumkehr
- Typ 2: Stark vermaschte Mischkanalisation mit Rückstau und Fließumkehr

Neben diesen Netzeigenschaften müssen beide Netze unterschiedliche Sonderbauwerke enthalten. Im Kanalnetz „Typ 1“ müssen im wesentlichen drei Regenüberlaufbecken und im Kanalnetz „Typ 2“ ein maßgebender Regenüberlauf enthalten sein. Wegen der Bedeutung der Regenüberlaufbecken ist der geforderte Nachweis grundsätzlich für den Netztyp 1 zu erbringen.

Der Ablauf des Anerkennungsverfahrens für das Programm FLOW++ umfasste folgende Teilschritte:

1. Formloser Antrag vom 20.02.2008
2. Antwortschreiben: Programm an TU Darmstadt (10.03.2008)

3. Kontakt zur TU Darmstadt: Überprüfung ist auf Hydraulikbaustein begrenzt
4. Wechsel der Verantwortlichkeit im LANUV
5. Termin mit neuen Verantwortlichen am 10.07.2008
6. Abstimmung der Vorgehensweise: Datenvergleich für ausgewählte Ereignisse durch Gutachten der TU Darmstadt (Dr. Belke)
7. Gutachten ist Grundlage der Entscheidung des LANUV

Inzwischen hat die TU Darmstadt die Anforderungen erweitert. Ein Bericht mit Darstellung kalibrierter Systeme reicht demnach nicht aus, sondern es wird ein gemeinsamer Termin erwartet, eine detaillierte Prüfung der Berechnungsalgorithmen ist vorgesehen. Das weitere, deutlich erweiterte Vorgehen, wird derzeit abgestimmt.

Die Forderung ist damit in NRW sehr weitreichend. Da es sich bei dem Programm FLOW++ um eine hydrodynamische Simulation des Abflusstransportprozesses handelt, kann der damit verbundene Aufwand hinterfragt werden. [De Toffol et al., 2006] nehmen beispielsweise eine Kalibrierung einer hydrologischen Simulation an einer hydrodynamischen Abflussberechnung vor.

7.1.6. Generelle Erläuterungen zur Kalibrierung von Modellen zur Schmutzfrachtberechnung

Die Vorteile einer Kalibrierung und Validierung von Modellen zur Niederschlag-Abfluss-Simulation finden zunehmend Beachtung. Durch den Vergleich von Messdaten mit den Simulationsergebnissen können:

- Modellfehler durch fehlerhafte Basisdaten der geometrischen Größen (Gefälle, Nennweite, Wehrschwellenlängen und -höhen etc.) erkannt und korrigiert werden.
- Kenndaten der Oberflächenabflussmodellierung und die Abflusswirksamkeit der Flächen (Verluste, befestigte Flächenanteile, Fließwege) an die Realität angepasst werden.

Dabei wird die weitreichende Bedeutung der Basisdatenerhebung auf das Simulations- und Planungsergebnis noch immer erheblich unterschätzt [H. Hoppe et al., 2006]. Die Basis der Kalibrierung ist die messtechnische Erfassung des Niederschlags und von Füllstand und Fließgeschwindigkeit im oder oberhalb des Abflussquerschnitts im Kanal. Dabei gelten für die Kalibrierung von Modellen zur hydraulischen Nachweisführung und Modellen zur Schmutzfrachtberechnung (Emissionsnachweis) grundsätzlich unterschiedliche Bedingungen.

Anforderungen und Ziele der Modellierung zur hydraulischen Nachweisführung:

- Volumenbilanz ausgewählter Ereignisse i.d.R. **ohne** Entlastung und ohne Abflusswirksamkeit unbefestigter Flächen ($N_h > 5\text{mm}/2\text{h}$)
- Volumenvergleich zur Anpassung der befestigten resp. abflusswirksamen Flächenanteile
- Überprüfung und ggf. Anpassung des Kanalnetzmodells

Das grundsätzliche Ziel ist die Bilanzierung des Niederschlag- und **Abflussvolumens** an einer repräsentativen Stelle innerhalb des Kanalnetzes.

Anforderungen und Ziele der Modellierung der Schmutzfrachten (Entlastungen = Emissionsnachweis):

- Intensivere Niederschlagsereignisse relevant
- „Entlastungsereignisse“: Häufigkeit von 30 bis 40 a-1 (r etwa $30 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)} - 10 \text{ mm/h}$)
- Anpassung befestigter Flächenanteile aber auch Abflusswirksamkeit von nicht befestigten Flächen
- Überprüfung und ggf. Anpassung des Kanalnetzmodells

Das grundsätzliche Ziel wäre hier die Bilanzierung des entlasteten, also in das Gewässer eingeleiteten Abflussvolumens, wenn möglich, mit zusätzlichen Messinformationen der Abwasserzusammensetzung. Entlastungsabflüsse sind nur mit extrem hohem Aufwand genau genug messtechnisch erfassbar. Im Entlastungskanal ist dies durch die hohen Abflussschwankungen (von $Q = 0$ über wenige l/s bis hin zu mehreren m^3/s) äußerst schwierig. Adäquate Messergebnisse sind entsprechend selten bzw. teuer. Eine Füllstandsmessung im Bereich der Überlaufschwelle mit anschließender Überfallberechnung auf der Basis der Formel von Poleni erfüllt nicht die erforderlichen Genauigkeitsansprüche für eine Modellkalibrierung [Grüning H., 2009a].

Die Modellkalibrierung der hochdynamischen Konzentrationsverläufe von Einzelereignissen erlaubt keine repräsentative Aussage zum Schmutzfrachtaustrag. Kontinuierliche Messungen von Stoffäquivalenten mit Photometermessungen in Regenwasserkanälen zeigen die ereignisspezifischen und hochdynamischen Verläufe, die derzeit keine mathematisch-physikalische Formulierung eines kausalen Zusammenhang zwischen Stoffabtrag, Akkumulation und Remobilisierung im Kanalnetz ermöglichen ([H. Orth et al., 2002] sowie [H. Grüning et al., 2008]). Seltene und repräsentative Messdaten für Entlastungsfrachten liefern allerdings die mit hohem Aufwand erhobenen dargestellten Daten des Schattbacheinzugsgebietes in Bochum (Kapitel 7.2), die im Rahmen dieses Projektes genutzt wurden.

In

Tabelle 5 sind die wesentlichen Unterschiede der Systeme und Modelle zur hydraulischen Dimensionierung und Nachweisführung auf der Basis hydrodynamischer Berechnungsansätze und der hydrologischen Simulation zur Schmutzfrachtberechnung zusammen gestellt.

Systemspezifikationen	Hydraulik	Schmutzfracht
	Detailmodell mit hydrodynamischem Berechnungsansatz	Grobmodell mit hydrologischem Berechnungsansatz
Modellstruktur	Netz mit sämtlichen Haltungen und Bauwerken (Feinnetz)	Modell aus Hauptsträngen und Bauwerken (Grobnetz)
Zielgröße der Simulation	Abflussspitzen und hydraulische Leistung der „Haltung“	Entlastungsfrachten und Abflussvolumen (Überlauf)
Niederschlag – Eingangsdaten	Intensivereignisse (Modellregen, Regenserie) mit Häufigkeiten $n \leq 1 \text{ a}^{-1}$	Regenkontinuum – Naturregen mit Entlastungswirkung (Häufigkeiten ca. 30 bis 40 a^{-1})
Niederschlag – Kalibrierung	Ereignisse ohne Entlastung (Bilanzierung)	Kalibrierung an Messwerten unüblich
Kalibrierung	Modellanpassung der Flächen- und Korrektur von Modellfehlern	Kalibrierung an Messwerten unüblich
Ergebnis/Genauigkeit	Bewertung von Einzelereignissen	Vergleichmäßigung der Ergebnisse durch längere Zeiträume (Betrachtung von Einzelereignissen unüblich)

Tabelle 5: Systemvergleich der Systeme und Modelle zur hydraulischen Dimensionierung und Nachweisführung auf der Basis hydrodynamischer Berechnungsansätze und der hydrologischen Simulation zur Schmutzfrachtberechnung

7.1.7. Ergebnisse einer Modellkalibrierung mit DYNA

Da Konzentrations- und Abflussdaten in Entlastungskanälen aufgrund des hohen messtechnischen Aufwandes bislang eine seltene Ausnahme darstellen, wird im Rahmen des Modellvergleiches auf Messdaten einer hydraulischen Modellkalibrierung zurückgegriffen ([H. Grüning, R. Tandler, 2006] sowie [H. Grüning, 2009]). Beispiele für entsprechende Messungen werden hier exemplarisch dargestellt. Aus einer mehrmonatigen Messkampagne in Datteln (NRW) resultieren die in Abbildung 22 dargestellten Abfluss- und Niederschlagsverläufe.

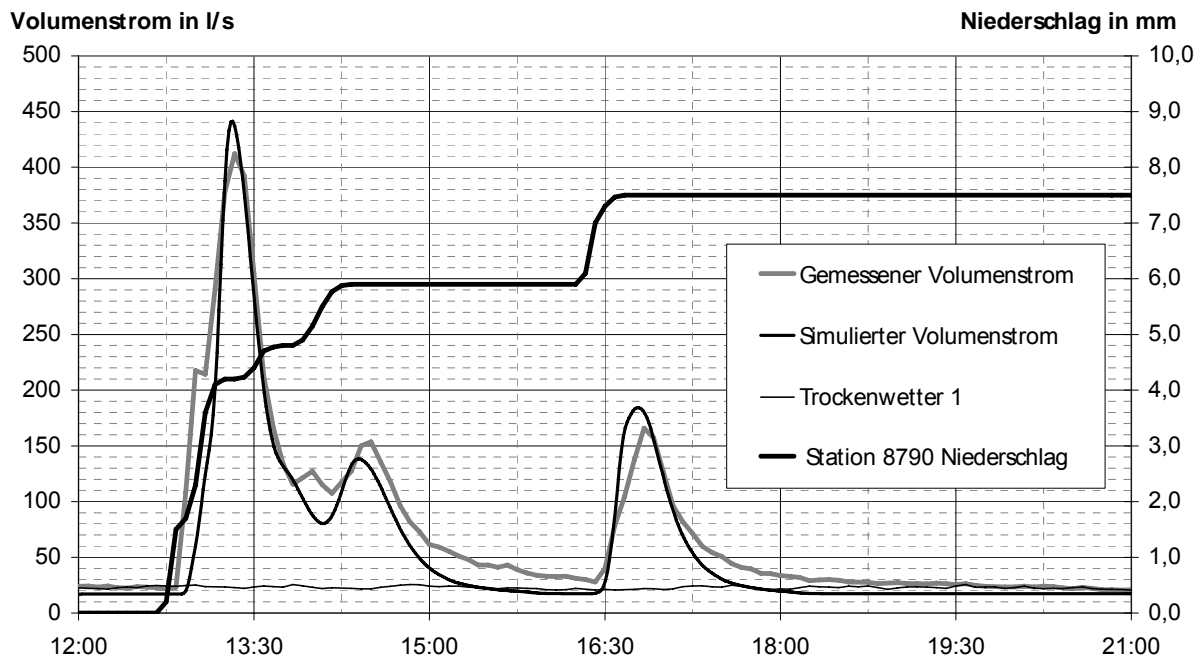


Abbildung 22: Vergleich von Messdaten mit den simulierten Daten (DYNA/KANAL++) nach einer Modellkalibrierung

Eine wesentliche Voraussetzung für den Vergleich mit der dargestellten Qualität erfordert eine gleichmäßige Überregnung oder aber ein dichtes Netz an Niederschlagsmessgeräten. Im Rahmen der Messwerterfassung für das Dattelner Einzugsgebiet, mit einer Größe von 214 ha, standen 5 Niederschlagschreiber im Gebiet bzw. im direkten Umfeld des Einzugsgebietes zur Verfügung.

Die durchgeführten Modellkalibrierungen belegen die hohe Qualität der Simulationsergebnisse, die durch die Berechnung mit dem Programm FLOW++ möglich ist. Die Erfahrungen mit dem bereits seit Jahren anerkannten Programmsystem ++SYSTEMS / DYNA zeigen, dass Niederschlag-Abflussprozesse hier mit hoher Genauigkeit abgebildet werden. Modellkalibrierungen sind hier lediglich zur Anpassung von „Modellfehlern“, resultierend aus Fehlern in der Kanaldatenbank oder zur Anpassung der befestigten Flächenanteile, nötig und üblich.

Dennoch ist das aufwändige Gutachterverfahren mit der TU Darmstadt vorgesehen. Allerdings übersteigt der damit verbundene Aufwand den ursprünglichen zeitlichen und monetären Umfang des Projektes deutlich.

7.2. Messkampagne Bochum

Im Zwischenbericht zur Phase 1 [R. Tandler et al., 2007] wurde die Vergleichsrechnung zur Messkampagne der Entlastungsanlage Markstraße am oberen Schattbach im Südosten der Stadt Bochum ausführlich dargestellt. Wesentliches Ergebnis war die sehr gute Übereinstimmung der berechneten Gesamtwerte der Entlastungsmengen bzw. CSB-Frachten mit den Messungen, wobei auch die Ergebnisse der hydrologischen Berechnung mit MOMENT deutlich übertroffen wurden.

	Gesamtmenge in m ³	Gesamtfracht in kg CSB
Gemessen	65432	3915 ²
Simuliert mit FLOW++ (unkalibriert)	66704 ¹	3982 ²
Simuliert mit MOMENT (kalibriert)	89736	4355 ²

Tabelle 6: Vergleichsrechnung zu Messkampagne

7.2.1. Bewertung der Einzelergebnisse

Die Ursache der im Zwischenbericht [R. Tandler et al., 2007] dargestellten Abweichungen in den Einzelergebnissen konnte schnell identifiziert werden. Nur sehr selten wurde das Gebiet gleichmäßig überregnet. Siehe Vergleichstabelle (Tabelle 8) mit einer zweiten Messstation, die nur 5 km entfernt gelegen ist. Dies ist jedoch nicht weiter relevant, denn das Ziel sind lediglich Abschätzungen von Jährlichkeiten, die bei Anwendung von einer Station im langjährigen Mittel eher in die sichere Richtung erfolgen (siehe 6.7).

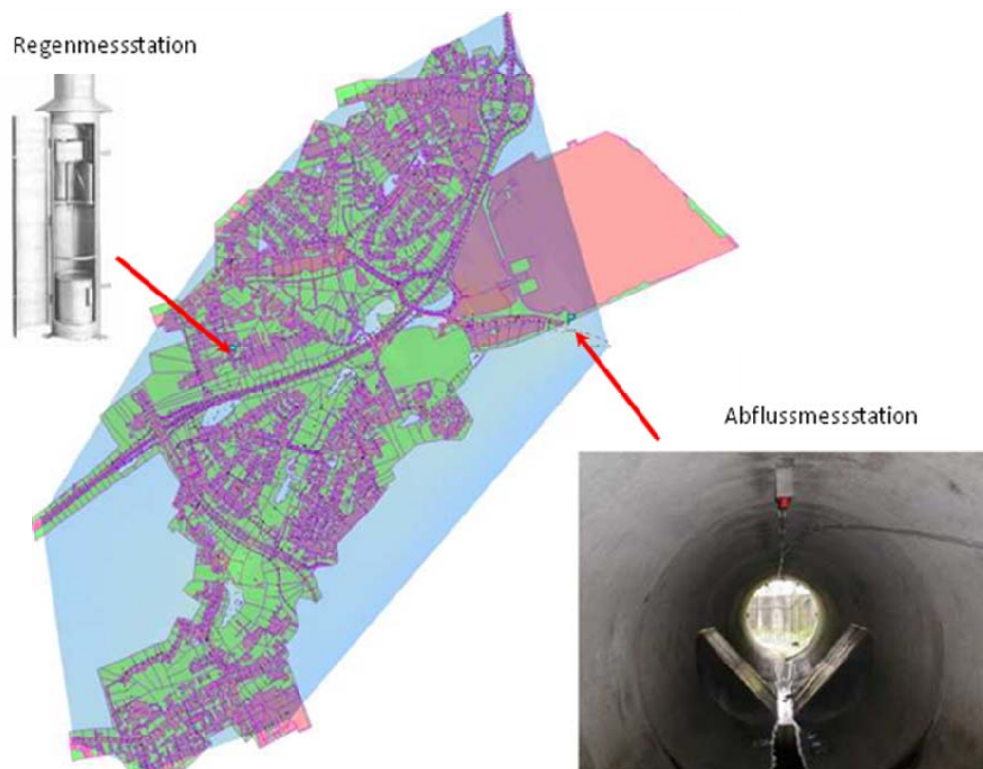


Abbildung 23: Regenmessstation und Abflussmessstation

¹ Neuberechnung nach all den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Anpassungen infolge vor Allem der durchgeführten Laborversuche. Damit liegen wir auf der Sicherer Seite.

Die Auswirkungen der ungleichmäßigen Überregnung zeigen deutlich die Entlastungsereignisse, bei denen es gemäß den Aufzeichnungen der Messstation nicht oder nur sehr wenig geregnet hat. Eine Kalibrierung des Kanalmodells unter Fokussierung auf diejenigen Ereignisse, bei denen die Regenschreiberaufzeichnungen deutlich geringere Werte angeben, als auf das Gesamtgebiet in Wirklichkeit an Regenmenge im Durchschnitt gefallen ist, bedingt gleichzeitig, dass die Resultate bei allen Ereignissen, bei denen der Regenschreiber zu viel anzeigt, noch weiter überschätzt werden. Die Berechnungsergebnisse wären dann auch im Mittel insgesamt deutlich höher als erwartet. Für eine genaue erwartungsgetreue Abschätzung ist jedoch zu erwarten, dass sich über einen langen Beobachtungszeitraum hinweg die Zahl und Größenordnung der Über- und Unterschätzungen aufheben, falls der Regenschreiber an einem geeigneten Standort mit ungehinderter Beregnung angebracht ist.

7.2.2. Zweiter Regenschreiber mit 31 Jahren Kontinuum

Nutzung einer 5 km entfernten Regenmessstation mit 31 Jahren Aufzeichnungsperiode

Die Simulationszeit von nur einem Jahr - oder in diesem Fall 0.67 a - ist aus den bereits geschilderten Sachverhalten heraus für die Abschätzung der bei den Nachweisen geforderten Erwartungswerte ein zu geringer Zeitraum. Für die Verifikation des Verfahrens wurden in der zweiten Projektphase zusätzlich die Niederschlagsaufzeichnungen einer 5,3 Kilometer entfernten Messstation verwendet. Für diese Messstation liegen lückenlose Aufzeichnungen von 31 Jahren Niederschlag vor, mit denen das Modell nachgerechnet werden konnte. Die mittlere Niederschlagshöhe dieser Station lag bei 808,5 mm/a. Die Station umfasste einen Zeitraum von 1975 bis 2005, so dass das bereits betrachtete Messjahr 2001 vollständig im Datensatz enthalten war und einen Vergleich zu den Messungen der betrachteten Messkampagne (Januar bis einschl. August) ermöglichte. Bei beiden Stationen lag die Niederschlagssumme im Betrachtungszeitraum bei exakt 886 mm.

	Gesamtmenge in m ³	Gesamtfracht in kg CSB
Gemessen	65432	3915 ² (12 von 21 Ereignisse)
FLOW++ Station 1 (0.67 a)	66704	7555,7 (21 Ereignisse)
FLOW++ Station 2 (0.67a)	59523	6742,8 (21 Ereignisse)

Tabelle 7: Vergleich zweier Regenmessstationen

² Enthält nur diejenige Auswahl an Regenereignissen, bei denen die Laborversuche mit den Messdaten korreliert haben (lediglich 12 von insgesamt 21 Ereignissen)

Die Abweichungen in den Ergebnissen der beiden Stationen liegen ca. bei 10%. Die Betrachtung der stark voneinander abweichenden Einzelregenereignisse der beiden Messstationen und der relativ kurze Messzeitraum hätten eine so gute Übereinstimmung nicht unbedingt erwarten lassen.

Nachfolgende Tabelle 8 zeigt recht deutlich, dass von den insgesamt 17 aufgezeichneten Ereignissen aufgrund der Berechnung für Station 1 nur 4, also weniger als 25% zur gleichen Zeit stattfanden. Dabei war die minimale Abweichung am 27.6. festzustellen. Diese betrug jedoch immer noch 37%. Alle anderen Ereignisse fanden an völlig unterschiedlichen Tagen statt.

Station	Datum Beginn	Menge m ³	Differenz
1	02.01.2001 21:58	363,484	
1	20.01.2001 12:50	772,962	
2	21.02.2001 07:10	265,653	
1	22.02.2001 11:14	147,659	
2	17.03.2001 03:25	417,895	
1	21.03.2001 10:19	90,009	
2	05.04.2001 18:15	132,835	
1	18.04.2001 04:27	3325,776	
1	14.05.2001 19:42	624,188	
1	06.06.2001 02:34	726,776	
1	10.06.2001 18:17	5386,897	\
2	10.06.2001 18:45	1378,115	/ 74%
2	15.06.2001 17:45	150,836	
1	16.06.2001 18:05	3786,891	
1	27.06.2001 17:09	14092,11	\
2	27.06.2001 17:10	22224,75	/ 37%
2	07.07.2001 17:50	21452,17	
1	08.07.2001 16:02	16495,66	
2	18.07.2001 03:00	5264,779	\
1	18.07.2001 03:04	9260,366	/ 43%
2	02.08.2001 23:10	4508,031	\
1	02.08.2001 23:43	1785,98	/ 60%
1	08.08.2001 13:56	8428,785	
1	18.08.2001 05:43	1416,256	
2	30.08.2001 23:25	440,573	
2	29.09.2001 17:00	2208,816	

Tabelle 8: Abweichung der beiden Regenmessstationen (gelb: Station 2)

Die Messstationen liegen nur etwa 5 km voneinander entfernt, dies ist weniger als die maximale Ausdehnung des untersuchten Einzugsgebietes und relativiert die Abweichungen der gerechneten von den gemessenen Einzelereignissen. Eine Modellkalibrierung anhand von Einzelereignissen ist genau dann als fragwürdig zu erachten, wenn keine Information über die Gleichmäßigkeit der Beregnung vorhanden ist. Ist diese jedoch vorhanden, so kann natürlich auch gleich mit den verschiedenen Stati-

onen über die Funktion der ungleichmäßigen Beregnung (6.8) des Verfahrens FLOW++ gearbeitet werden.

Die Nichtübereinstimmungen der einzelnen Entlastungsereignisse ist weitaus höher als diejenige zwischen der Berechnung mit Station 1 und den gemessenen Entlastungen. Dies liegt – abgesehen von den Messungenauigkeiten - mit hoher Wahrscheinlichkeit an der größeren räumlichen Nähe der Station 1 zur Örtlichkeit des Entlastungsbauwerkes.

Dies zeigt die Signifikanz der ungleichmäßigen Beregnung einerseits, andererseits gibt die gute Übereinstimmung der Summenwerte der gängigen Praxis Recht, mit Langzeitsimulationen von nur einer Station eine gesicherte Abschätzung des langjährigen Verhaltens zu erreichen. Dies ist angesichts der Klimaveränderungen eine durchaus plausible Vorgehensweise, wenngleich bei genügend langen Messreihen in Zukunft auch eine Trendanalyse (in diesem Falle ein Vergleich zwischen dem Netzverhalten für die ersten 16 Jahre zu den zweiten 15 Jahren) einhergehen kann. Dies ist bei den hier erzielten Rechenzeiten durchaus möglich.

7.2.3. Berechnung mit und ohne Abflussbremsen

Das Netz war bereits an zwei Stellen mit funktional zu den HydrOstyx® Abflussbremsen äquivalenten baulichen Konstrukten versehen, die für die gute Funktionalität des Kanalnetzes im Hinblick auf das Entlastungsverhalten von Bedeutung sind. Versuche von weiteren Einbauten von zusätzlichen Abflussbremsen haben lediglich dann eine Verbesserung gebracht, wenn eine zusätzliche Abflussbeschränkung ähnlich eines HydroSlides® auf eine feste Schranke damit verbunden war [R.Tandler et al., 2007].

Abflussbremse	Zeitraum in a	Station	Gesamtmenge in m ³	Gesamtfracht in kg CSB	Entlastungsrate e ₀
mit	0,67	1	114.206,10	12938	0,25
	0,67	2	89.649,88	10156	0,21
	31	2	117.372,10	13288	0,26
ohne	31	2	128.725,00	14576	0,27

Tabelle 9: Auswirkung der Abflussbremsen und des Berechnungszeitraumes auf Schmutzfrachtaustrag

Die Zentralbeckenberechnung hat außerdem gezeigt, dass eine zusätzliche Verbesserung des Entlastungsverhaltens gar nicht notwendig ist. Deshalb wurde jetzt in Phase II der umgekehrte Weg gegangen. Es wurde eine Berechnungsvariante ohne die beiden Abflussbremsen erzeugt und deren Berechnung mit dem IST-Zustand verglichen (Tabelle 9). Die jährliche Gesamtentlastungsmenge konnte durch die HydroStyx-ähnlichen baulichen Maßnahmen (derzeitiger Ist-Zustand) um etwa 10% gesenkt

werden. Interessant ist außerdem, dass obwohl Station 2 im Messzeitraum deutlich weniger Entlastungen verursacht (Zeile 2) die Entlastungswerte im langjährigen Mittel nahezu identisch mit denen der nahegelegenen Station 1 sind, obwohl wir dort nur zwei Drittel eines Jahres untersucht haben, jedoch eine sehr gute Übereinstimmung der Simulation mit den gemessenen Werten feststellen konnten (s.o. Tabelle 7).

Da die Armaturen die Rückstauenebene oberhalb erhöhen, ist bei allem Erfolg auf die Entlastungsmengen für den Schattbach bei ordnungsgemäßer Planung noch die Frage zu beantworten, welche Auswirkungen auf die Überstautätigkeit oberhalb der Einbaustellen der Armaturen sich ergeben.

7.2.4. Überstauachweis mit Abflussbremsen

Da Abflussbremsen einen erhöhten Wasserspiegelverlauf oberhalb verursachen, ist es nötig, nach Einbau einer solchen Armatur einen Überstauachweis mit einer langjährigen Regenreihe zu veranlassen. Dieser konnte mit der 31-jährigen Regenreihe wie folgt vollzogen werden.

Abflussbremse	Zeitraum	Gesamtüberstauemenge m ³	Jährliche Überstauemenge m ³
mit	31	79069	2550,619
ohne	31	77882	2512,335
Mit (Station 1 + 2)	0,67	0	0

Tabelle 10: Überstauwerte

Während sich bei Betrachtung innerhalb des Messzeitraumes kein Überstau ergibt, zeigt sich hier, wie wesentlich die Langzeitsimulation eines ausreichend großen Zeitraumes für die Beurteilung der Sicherheit des Kanalnetzes ist. Durch den Einbau der Abflussbremsen hat sich die Überstau- und damit die Überflutungsgefahr leicht um 1,5% erhöht. Nunmehr ist mittels einen Überstauachweis zu prüfen, an welchen Stellen im Netz – zu erwarten wäre oberhalb der Bremsen - Gefahren entschärft werden können. Dies stellt eine Aufgabe dar, die das Ingenieurbüro im Rahmen eines GEP durchzuführen hat.

7.2.5. Vergleich mit Zentralbeckenberechnung

Die Zentralbeckenberechnung ergab eine gute Übereinstimmung in den Entlastungswerten zwischen dem Entlastungsbauwerk im IST-Zustand und dem Zentralbecken. Das heißt, das Kanalnetz ist bis zu diesem Punkt annähernd äquivalent zum Zentralbecken, was die Belastungen des Schattbaches betrifft. Da sich der weiterführende Auslauf des Entlastungsbauwerkes mehrere Kilometer oberhalb der

Kläranlage befindet, ist das Zentralbecken zu weit oben angesetzt. Da das untenliegende Netz selbst ebenfalls noch einmal vor der Kläranlage entlastet wird, kann man davon ausgehen, dass bei Hinzunahme des unterhalb liegenden Netzes und dessen Einbeziehung in die Simulation die in fast allen anderen Projektrechnungen festgestellte Relation zwischen Kanalnetz und Zentralbecken herrschen würde. D.h. das untersuchte Kanalnetz wäre in Bezug auf die Gewässerbelastung ausreichend dimensioniert.

	Entlastungsrate e_0	Gesamtmenge in m ³	Gesamtfracht in kg CSB
Ist-Zustand	0,25	117372,1	13288
Zentralbeckenvariante	0,25	118092,7	12672

Tabelle 11: Vergleich der Schmutzfrachtausträge für IST-Zustand und Zentralbeckenvariante

7.2.6. Fazit

Zusammenfassend zeigt die hydrodynamische Auswertung der Messkampagne Bochum sehr eindrucksvoll, wie genau die realen, gemessenen Werte von dem entwickelten hydrodynamischen Schmutzfrachtmodell FLOW++ nachgebildet werden können. Des Weiteren ist auch die sehr grobe Abschätzung der Verhältnisse durch die bisher verwendeten hydrologischen Verfahren signifikant dargestellt worden. Es zeigt auch weiter, dass eine Betrachtung von Einzelereignissen hier nicht zielführend sein kann, sondern mehrjährige Regenreihen für eine gesicherte Aussage verwendet werden müssen.

Im Bericht von Prof. Orth, H [H. Orth, 2002], Abschlussbericht zum FE-Vorhaben: "Untersuchungen zum Austragsverhalten von Stauraumkanälen", war bereits darauf hingewiesen worden, dass „ durch weitere Messungen und die Auswertung weiterer derartiger volumenreicher Ereignisse geprüft werden könne, ob bei diesen Ereignissen ein hydrologisches Modell grundsätzlich noch geeignet ist.“ Die hier vorgestellten Ergebnisse belegen diese Vermutung sehr anschaulich. Im Gegensatz zum hydrologischen Verfahren sind die Ergebnisse hier allesamt unter Benutzung des bei FLOW++ dem Benutzer vorgegebenen Standardparametersatzes erzielt worden.

Vieles deutet darauf hin, dass man sich bei Verwendung des Komplexen Parallelschrittverfahrens (DYNA / FLOW++) darauf konzentrieren können sollte, eine weitere Verbesserung des Ergebnisses durch Datenindividualisierung anstelle von Kalibrierung von Einzelereignissen zu erzielen.

7.3. Praktischer Einsatz in Augsburg

7.3.1. Projektbeschreibung

Im Rahmen des DBU-Forschungsprojektes stellt die Stadtentwässerung Augsburg Echtzeiten zum Kanalnetz Augsburg, östlich des Lechs, zur Verfügung. Dieser Bereich umfasst die beiden Gemarkungen Lechhausen und Hochzoll. Durch dieses Entwässerungsgebiet wird außerdem auch das Abwasser von Teilflächen der Stadt Friedberg sowie das gesamte im Verbandsgebiet "Obere Paar" anfallende Abwasser transportiert und in Richtung Lechdüker geleitet, so dass es sich bei der am Lechdüker ankommenden Abwassermenge nicht nur um das im Augsburger Einzugsgebiet anfallende Abwasser handelt. Das Projektgebiet erstreckt sich in nördlicher Richtung bis zum Düker am Martin-Gomm-Weg in Lechhausen. Hier befindet sich vor der Weiterleitung zum Klärwerk Augsburg über einen mehrzügigen Düker ein Regenrückhaltebecken mit Entlastungsmöglichkeit in den Lech. In dem den Düker zugehenden Verlauf des Untersuchungsgebietes gibt es mehrere Mischwasserentlastungen (Regenüberläufe) in den Lech.



Statistik Augsburg	
Anzahl Haltungen	4.210
Kanallänge	164 km
Zugeordnete Fläche	1.160 ha
mittlerer Befestigungsgrad	33,5 %
Einwohner	64.000

Tabelle 12: Statistik Augsburg

Abbildung 24: Projektübersicht Augsburg

7.3.2. Verfügbare Daten

- Magellan Kanaldatenbank – Haltungs.- und Schachtdaten im MS-Access Format
- Flurkarten im DXF Format
- Orthofotos im ecw Format
- Einwohnerzahlen pro Straße
- Gewerbliche Einleiter mit deren Einleitmengen und CSB Konzentrationen
- Zuflussdaten aus den Gebieten Obere Paar und Friedberg
- Bauwerkszeichnungen für Sonderbauwerke
- Sonderprofile als Zeichnung oder bereits in KANAL++ erfasst
- Geländemodell im 2m Raster vom Vermessungsamt Augsburg
- GIS Information im SHAPE Format.
- Abfluss.- und Entlastungsmessungen am Rückhaltebecken vor dem Dücker
- Niederschlagsaufzeichnungen der Jahre 1968 bis 1983 vom Deutschen Wetterdienst
- Niederschlagsmessungen von 3 Regenschreibern der Stadtentwässerung Augsburg aus 2008 und 2009.

7.3.3. Modellaufbau

Anbindung von KANAL++ an die MS-Access Datenbank zur Übernahme der Schacht.- und Haltungsdaten. Einpflegen der Sonderbauwerke anhand von Bauwerkszeichnungen und vor Ort Aufnahmen durch den Betreiber. Import der DXF Flurkarten zur Generierung der Einzugsgebietsstruktur und Nutzungsart. Festlegen der Abflussparameter anhand der Nutzung sowie Detailerfassung aus den Orthofotos. Die Flächenzuordnung erfolgte automatisiert zur nächstgelegenen Haltung. Aufgrund der geringen Neigung im Projektgebiet wurde für die Zuordnung nicht auf das Geländemodell zurückgegriffen. Da die Einwohnerzahlen verteilt nach Straßennamen zur Verfügung standen wurden diese, als nicht-grafische Zuflüsse, Haltungsweise nach Straße verteilt. Entlastungshaltungen und Sammler ohne Hausanschlüsse wurden dabei ausgenommen. Gewerbliche Einleiter wurden anhand der Einleitertabelle des Betreibers mit Mengen und CSB Konzentration angelegt.

Die Kanalnetze der Gebiete Friedberg Ost sowie AZV Obere Paar liegen nicht im Detail vor, sie wurden anhand der Betreiberangaben wie folgt modelliert.

Friedberg Ost: Einzugsgebietsgröße 157 ha, mittlere Undurchlässigkeit 49%, 13.270 Einwohner

AZV Obere Paar: Einzugsgebietsgröße 387 ha, mittlere Undurchlässigkeit 33%, 28.700 Einwohner

An der Einleitstelle wurde jeweils ein fiktives Becken implementiert, um das nicht erfasste Kanalnetzvolumen nachzubilden. Dies bewirkt, besonders für die Einleitstelle Obere Paar einen relativ langen

Nachlauf nach Regenende. Mit Durchflussmessungen, die vom Betreiber ab Oktober 2008 durchgeführt werden soll das Modell hier noch verbessert werden.

Ziel sollte sein, hier auch das tatsächliche Netz zu modellieren, um die Zuflüsse aus diesem Bereich bestmöglich zu simulieren.

7.3.4. Modellprüfung

Verifizierung des Modelles am Bauwerk RÜB 62

Anhand von Durchfluss- und Niederschlagsmessungen des Betreibers in 2008 wurde ein Regenereignis vom 30.6.2008 (R33) simuliert. Dabei wurden Zeitdifferenzen zwischen Niederschlagsmessung und Abflussmessung (Normalzeit, Sommerzeit) festgestellt und berücksichtigt.

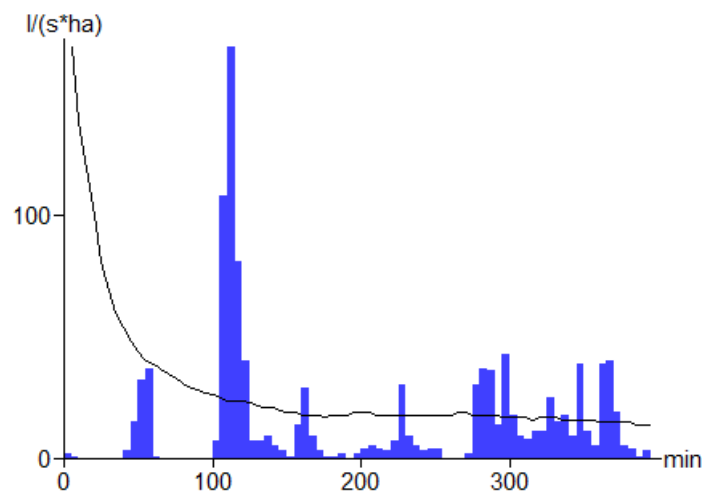


Abbildung 25: Kalibrierregen R33

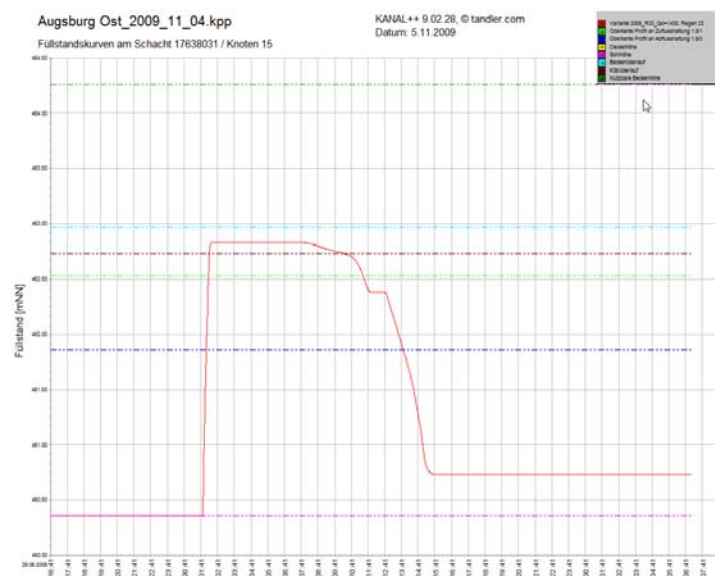


Abbildung 26: Füllstandsganglinie Regenüberlaufbecken RÜB 62

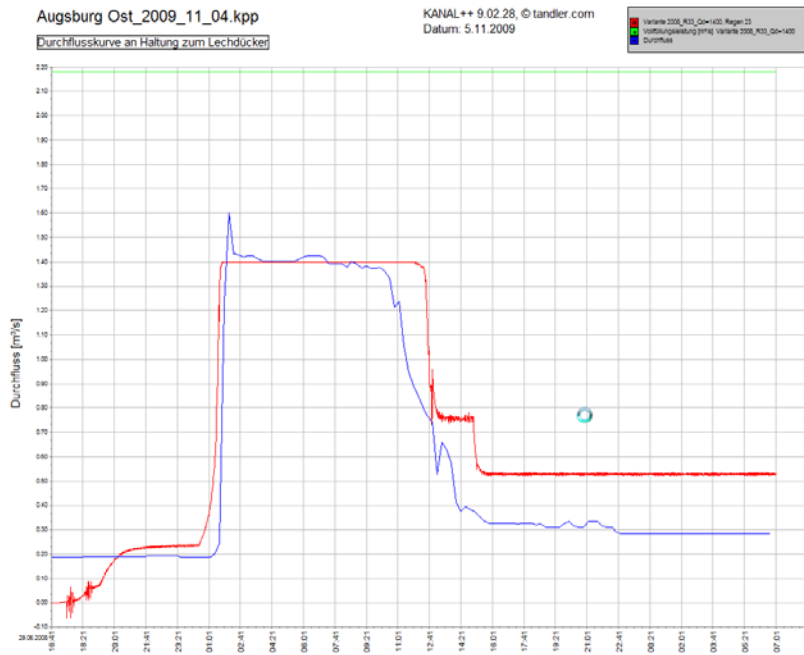


Abbildung 27: Durchfluss RÜB 62 Richtung Lechdücker - Vergleich zwischen Simulation (rot) und Messung (blau)

Der im Vergleich zur Messung erhöhte Durchfluss nach Regenende ist die Fortsetzung des Nachlaufs aus dem Außengebiet der Einleitung AZV- Obere Paar. Ggf. ist zudem der konstante Fremdwasserzufluss zu hoch angesetzt worden. Hier soll durch aktuell laufende Messungen das Modell noch verbessert werden.

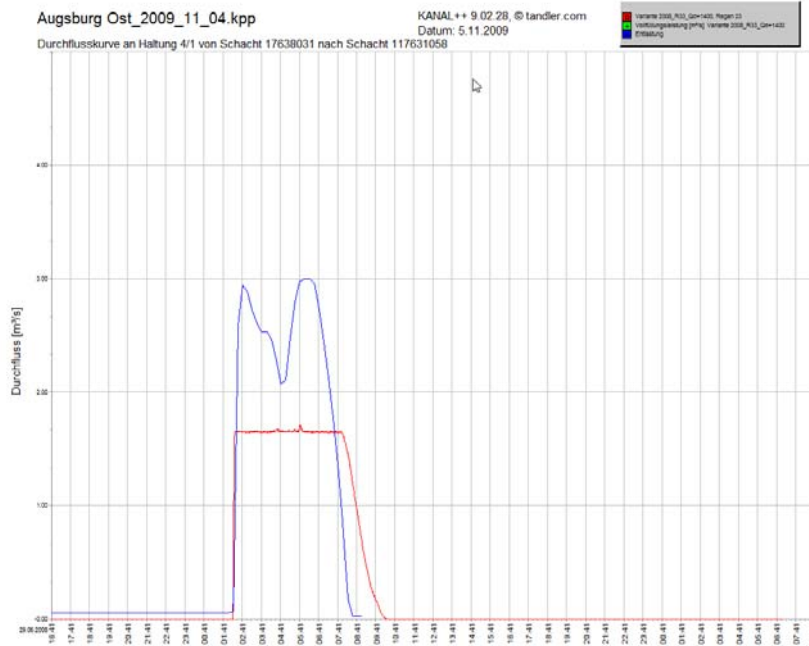


Abbildung 28: Entlastung RÜB 62

Die Charakteristik der gemessenen Entlastungsganglinie wird im Modell an den vor dem Rückhaltebecken liegenden Regenüberläufen simuliert, dort aber durch anspringende Entlastungen vergleichmäßig. Die Mengen bewegen sich aber im richtigen Bereich.

7.3.5. Schmutzfrachtberechnung

Zur Berechnung der Schmutzfracht wird eine hydrodynamische Langzeitsimulation der Jahre 1968 bis 1983 durchgeführt. Die Niederschlagsaufzeichnungen im MD Format wurden mit einer Regentrennzeit von 1440 min (1 Tag) eingelesen. Dies ergibt 825 Regenereignisse mit einer Niederschlagssumme von 11977 mm in 16 Jahren. (Durchschnittlich 749 mm / Jahr)

Als Schmutzwasseranfall wurden $120 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ angesetzt. Der Fremdwasserzuschlag wurde vorerst pauschal auf 40% des häuslichen Schmutzwasseranfalls festgelegt. Gewerbliche Einleiter wurden mit Mengen und deren CSB Konzentration als Zuflüsse angelegt.

Die CSB Konzentrationen wurden wie folgt angesetzt:

Häusliches SW	600 mg/l
Gewerbliches SW	700 mg/l oder wenn bekannt individuell nach Einleiter
Fremdwasser	0 mg/l
Regenwasser (MW)	107 mg/l
Regenwasser (RW)	70 mg/l

Tabelle 13: CSB Konzentrationen Augsburg

Die nötigen Simulationsdauern der Regenereignisse werden vom System automatisch bestimmt, die Trockenwettervorlaufzeit wurde dabei mit 400 min ermittelt. Die Rechenzeit nach Regenende wird bestimmt über das beanspruchte Netzvolumen. Sobald dieses nur mehr das 1,5 fache des Trockenwettervolumens beträgt endet die Simulation.

Der gesamter Simulationszeitraum für 16 Jahre Niederschlag (Trockenwetter- Regendauer – Netzentleerung bis 1,5 faches TW) beträgt 2273 Tage, Rechenzeit 6 Tage. Da diese Berechnung verteilt auf 12 Rechnern lief, betrug die effektive Rechenzeit nur 14 Stunden.

7.3.6. Ergebnisse

Zusammengefasste jährliche Werte aus 16 Jahren Kontinuumsberechnung:

Variante	Typ	Rate	Entlastungsmenge [m ³]	Regenmenge [m ³]	CSB[kg]
Kontinuum	I	0,27	444.180,90	1.663.253,40	53.537,79

Tabelle 14: Jährliche Werte (16 Jahre Kontinuumssimulation)

Die zulässige Entlastungsrate e_0 nach dem vereinfachten Verfahren A128 beträgt für dieses Gebiet 0,48 und wird somit unterschritten. Im jährlichen Durchschnitt wird der Lech mit 53,5 Tonnen CSB aus dem Untersuchungsgebiet belastet.

Aufgrund der hohen Weiterleitung von 1.400 l/s an RÜB 62 ergibt sich ein Verhältnis Q_T zu Q_M von 1:4,5. Dies führt zu einer Zentralbeckengröße außerhalb des Gültigkeitsbereiches. Sinnvoll wäre hier das Gebiet westlich des Lechs ebenfalls mitzurechnen da dieser Abfluss sich mit dem hier berechneten vor der Kläranlage vereint.

Entlastungsbauwerk	Entlastung	Rate	Entlastungsmenge [m ³]	Regenmenge [m ³]
RÜB 62	Klärüberlauf	0,85	248.928,30	294.524

Tabelle 15: Ergebnisse RÜB 62

7.4. Praktischer Einsatz in Mülheim an der Ruhr

7.4.1. Projektbeschreibung

Im Rahmen der Entwicklung des hydrodynamischen Schmutzfrachtmodells FLOW++ wird auch für den Projektpartner Stadt Mülheim an der Ruhr eine gekoppelte hydrodynamische Überstau- und Schmutzfrachtberechnung durchgeführt. Dazu stellt die Stadt Mülheim aktuelle Daten des Entwässerungsnetzes im KANDIS Format sowie mehrere, nach unterschiedlichen Sammlern aufgeteilte, KANAL++ Projekte zur Verfügung. Diese KANAL++ Einzelprojekte haben zeitlich unterschiedliche Aktualitätsstände und müssen über den Datenbankstand aufgefrischt werden. Zudem wurden die Teilprojekte zu einem Gesamtprojekt zusammengefasst um die notwendige ganzheitliche Betrachtung durchführen zu können.



Abbildung 29: Projektübersicht Mülheim an der Ruhr

Statistik Mülheim an der Ruhr	
Anzahl Haltungen	15.000
Kanallänge	535 km
Anzahl Einzugsgebiete	111.500
Gesamtfläche	3.510 ha
mittlerer Befestigungsgrad	45 %
Einwohner	153.318

Tabelle 16: Statistik Projektgebiet Mülheim a. d. Ruhr

7.4.2. Verfügbare Daten

- KANDIS Kanaldatenbank – Haltungs- und Schachtdaten
- Flurkarten im DXF Format
- Orthofotos im ECW Format
- Bauwerkszeichnungen für Sonderbauwerke
- Sonderprofile als Zeichnung oder bereits in KANAL++ erfasst
- KANAL++ Projekte bezogen auf Einzugsgebietenbereiche, Sammler.
- Niederschlagsaufzeichnungen

7.4.3. Modellaufbau

Im ersten Schritt wurden die als Teilprojekte vorhandenen KANAL++ Projekte gesichtet und deren Aufbau und Vollständigkeit überprüft. Besondere Aufmerksamkeit wurde hierbei auf diejenigen Daten gelegt welche in der, von den Betreibern des Kanalnetzes der Stadt Mülheim a. d. Ruhr stets aktuell gehaltenen KANDIS Datenbank nicht vorgehalten werden bzw. können. Hierzu zählen die Einzugsgebietserfassung mit deren Parametern sowie deren Zuordnung zu den Haltungen ebenso wie die Einwohnerverteilung. Haltungsprofile sind projektübergreifend zu vereinheitlichen und dabei den Daten der Datenbank anzupassen. In einem weiteren Schritt wurden die aktuellen Schacht und Haltungsdaten in das Projekt integriert.

Die Sonderbauwerke wurden anhand von Bauwerkszeichnungen, in Rücksprache mit dem Betreiber, sowie aus Daten der Kanaldatenbank ein gepflegt. Die Verifikation erfolgt derzeit durch strangweise Berechnungen und Prüfung der Längsschnitte.

Der Modellaufbau und die Prüfung sind derzeit noch nicht vollständig abgeschlossen. Aufgrund der Projektgröße und der Notwendigkeit Daten aus verschiedenen Quellen zu vereinen und zu prüfen kam es bei diesem Projekt leider zu unerwarteten Verzögerungen.

7.4.4. Anerkennung der Ergebnisse von FLOW++

Die Erstellung und Auswertung der hydrodynamischen Überstau- und Schmutzfrachtberechnung sind für das erste Quartal 2010 terminiert. In einer Stellungnahme (Anhang H) der Unteren Wasserbehörde Mülheim an der Ruhr (UWB) wurde dem Verfahren FLOW++ bereits die Genehmigungsfähigkeit attestiert.

7.5. Referenzprojekte

Nachfolgend finden Sie weitere bereits beauftragte bzw. durchgeführte Referenzprojekte für eine hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung. Die Projekte wurden zum Teil von Projektpartner, aber auch von unabhängigen Ingenieurbüros mit Hilfe von FLOW++ durchgeführt.










	Städte	ausführendes Büro
	Obertraubling	IB Stelzenberger & Scholz
	Regenstein	Kehrer Planung GmbH
	Heidelberg	Dr. Pecher AG
	Mülheim a. d. Ruhr	tandler.com GmbH
	Landshut	tandler.com GmbH
	Bochum – Stadtteil Schattbach	tandler.com GmbH
	Ansbach	Dr. Ing. Pecher & Partner GmbH
	Bechhofen, Königshofen	IB Steinbauer
	Georgsmünd	IB Steinbauer

Tabelle 17: Referenzprojekte

8. Ökologische Auswirkungen

Ziel der Regenwasserbehandlung in Tenn- bzw. Mischsystemen muss die bestmögliche Reduzierung der Gesamtemissionen aus Regenentlastungen und Kläranlagen im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Erfordernisse sein [ATV-A 128, 1992]. Die Berechnung der Gesamtemissionen aus Regen- bzw. Mischwasserentlastungen erfolgte bisher häufig mit hydrologischen Langzeitsimulationsmodellen, welche die Abflussverhältnisse im Kanalnetz und die Schmutzfrachtausträge ins Gewässer vereinfachend und vor allem Rückstausituationen teilweise nur ungenügend beschreiben. Da jedoch jede Entlastungsanlage einen mehr oder minder großen Rückstau ins obere Netz verursacht, sind die daraus abgeleiteten Planungen und Baumaßnahmen aus wasserwirtschaftlicher und wirtschaftlicher Sicht häufig nicht optimal.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das hydrodynamische Berechnungsmodell „++SYSTEMS / DYNA“ um das Modul „FLOW++“ erweitert. Es ist nun möglich, aufbauend auf einer hydrodynamischen Kanalnetzrechnung auch eine Schmutzfrachtsimulation durchzuführen. Da das hydrodynamische Berechnungsmodell auch die Wirkungsweise von modernen Steuerungselementen hervorragend beschreiben kann, lassen sich nun realitätsnahe Simulationsberechnungen zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente durchführen.

Für den Umwelt- und Gewässerschutz haben die realitätsbezogenen Berechnungsergebnisse des neu entwickelten hydrodynamischen Modells zahlreiche Vorteile.

Dies sind zum Beispiel:

- Optimale Planung der erforderlichen Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung, da das hydrodynamische Berechnungsmodell realitätsnahe Berechnungsergebnisse liefert. Dies führt zur Verminderung der hydraulischen und stofflichen Belastungen der Gewässer.
- Reduzierung von Neubaumaßnahmen durch Aktivierung und Anrechenbarkeit von bisher nicht berücksichtigtem Speicherraum im Kanalnetz.
- Kostengünstige Beseitigung von Konflikten im Kanalnetz durch Maßnahmen zur Verminderung der örtlichen Verluste bzw. durch Aktivierung von Retentionsvolumen zur Reduzierung der Abflussspitzen.
- Optimale Steuerung und Bewirtschaftung der Abflüsse im Kanalnetz, dadurch Verminderung der Überflutungshäufigkeit für Siedlungen und Gewässer und Optimierung des Wirkungsgrads von Kläranlagen durch Ausschöpfung der zulässigen Beaufschlagung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das neu entwickelte Simulationsverfahren FLOW++ aufgrund der realitätsnahen Berechnungsergebnisse zu einer Verbesserung des Umwelt- und Gewässerschutzes und zu wirtschaftlicheren Lösungen führt.

9. Wirtschaftliche Auswirkungen

Die hier dargestellten Möglichkeiten der kombinierten hydrodynamischen Simulation des Abflusstransportes sowohl für die hydraulischen Nachweise als auch für die Schmutzfrachtberechnung weisen folgende Vorteile auf:

- Für die Schmutzfrachtberechnung ist keine Modellabstraktion durch Systemvereinfachungen erforderlich;
- Die Modellkalibrierung ist mit reduziertem Aufwand möglich;
- Eine höhere Genauigkeit der Simulationsergebnisse wird erreicht, selbst wenn Schmutzfrachtberechnungen mit hydrologischen Modellen vereinzelt kalibriert werden;
- Systemeinheiten und Steuerelemente können im Modell abgebildet werden;
- Der Aufwand für die Systemmodellierung wird deutlich reduziert;
- Die nicht unerheblichen Kosten einer kontinuierlichen Modell- und Datenpflege können auf die beiden Aufgaben „hydraulischer Nachweis“ und „Schmutzfrachtnachweis“ verteilt werden.

Die bisher projektbegleitend mit FLOW++ durchgeführten Modellrechnungen haben jedoch ein insgesamt deutliches Einsparpotential gegenüber den Schmutzfrachtnachweise mit hydrologischer Modellierung gezeigt, obwohl einzelne Bauwerke gerade im oberen Bereich der Netze eine durchaus höhere Dimensionierung erforderten. Diese erforderlichen Mehrkosten wurden jedoch durch Einsparungen an Bauwerken im unteren Netzbereich wieder mehr als ausgeglichen. Entsprechende Ergebnisse wurden im Rahmen folgender Arbeiten belegt:

[S. Thienger, 2009] Nachweis der Richtlinienkonformität für das hydrodynamische Schmutzfrachtsimulationsmodell FLOW++. Masterarbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Konstanz, unveröffentlicht (von der FH Konstanz ausgezeichnet);

Vergleichsrechnungen von Frau Dr.-Ing. M. Scheer für die FH Gießen als Teilbeitrag zum Forschungsprojekt;

Modellberechnung Regenstau (Ing.-Büro Keher Planung GmbH);

Modellberechnung Obertraubling (Ing. Büro Scholz, Regensburg);

Modellberechnungen im Raum Nürnberg (Ing.-Büro Steinbauer).

Eine kombinierte und genaue Betrachtung der Bauwerke und Drosselorgane führte beispielsweise im Rahmen des Generalentwässerungsplanes für die Stadt Eintorf zu maßgeblichen Einsparungen für die Ausrüstung der Bauwerke [H. Grüning, 2007].

Zu berücksichtigen ist generell, dass bislang für hydrologische Schmutzfrachtsimulationen eine Modellkalibrierung unüblich bzw. aufwändig oder gar unmöglich ist [De Toffol et al., 2006] sowie [Fach et al., 2007]. Eine allgemeine Einsparung von Kosten lässt sich allerdings nicht pauschal quantifizieren. Genauere Simulationsergebnisse führen nicht generell zu Kosteneinsparungen, sie führen aber in

jedem Fall zur Vermeidung von Fehlinvestitionen und gewährleisten einen weitreichenden Gewässerschutz.

10. PR und Publikationen

Veranstaltung / Medium / Zeitschrift	Art der Veröffentlichung	Zeitraum	Veröffentlichender Partner
Beiratstreffen am Firmensitz der tandler.com GmbH	Vortragsreihe mit Diskussion (Anhang D)	20.11. 2009	alle Projektpartner
IFAT 2008	Messestand am DBU Gemeinschaftsstand	05. - 09.05.2008	tandler.com GmbH
Kölner Kanal und Kläranalgen Kolloquium	Messestand	23. - 24.09.2009	tandler.com GmbH
DWA Landesverbandstagung 2009 (Landesverband Bayern)	Messestand	27. - 28.10.2009	tandler.com GmbH
DWA Landesverbandstagung Nord 2009 (Osnabrück)	Vortrag Dr. Grüning (Dr. Pecher AG) / Manuskript (Anhang E)	01.10.2009	Dr. Pecher AG / tandler.com GmbH
++SYSTEMS / KANAL++ Anwendertreffen Süd 2008	Vortragsreihe mit Diskussion	29.02.2008	tandler.com GmbH
Workshops des Indo-German Water Networks (BMBF) in Bangalore und Chennai (Indien)	Vortrag Gerald Angermair (tandler.com GmbH) / Vortragsreihe mit Diskussion	19. - 30.04.2009	tandler.com GmbH

Tabelle 18: Übersicht der wichtigsten PR Maßnahmen und Publikationen

11. Ausblick

Die Pflege eines solchen Modells wird zur langfristigen Aufgabe für den Betreiber. Es kann immer weiter verbessert, individualisiert und detailliert werden. Die Ergebnisse der Planung, die aus einem solchen Modell resultieren, werden dabei - infolge der in den Verfahren sichergestellten Invarianzprinzipien - ebenfalls schrittweise verbessert. Ein solches Modell wäre dann zu schade, nur zu Planungs- und Nachweiszwecken herangezogen zu werden. Ein solches System könnte zukünftig mehr oder weniger direkt bei der Steuerung und bei der Kontrolle von Mischwassernetzen wertvolle Dienste leisten. Hierzu müssten jedoch noch die Verfahren zu dem zukünftigen GeoSCS System erarbeitet werden.

Es ist aus praktischer Sicht zu ergänzen, dass die durch die Projektkürzungen bedingte fehlende Implementierung der aktiven Steuerungselemente und Varianten der Steuerung [Scheer, 2008] die Ausnutzung des Potentials der Abflussteuerung einschränkt.

Sollten nach Durchführung dieses Forschungsvorhaben und seiner Vorstellung bei den Genehmigungsbehörden vereinzelt noch Unklarheiten bzw. Zweifel bzgl. der Zulassungsfähigkeit des Verfahrens bestehen, so ist zu hoffen, dass dieser Forschungsbericht mit seinen durchweg positiven Ergebnissen auch die letzten Zweifel für eine flächendeckende Zulassung beseitigt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein flächendeckender Einsatz des neuen Verfahrens FLOW++ zu einer starken Minderung der Schmutzfrachtausträge unter Beibehaltung des Entwässerungskomforts führen würde und diese auch noch kosteneffizient erreicht werden kann, zum Wohle einer sauberen Umwelt.

12. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir die Möglichkeit ergreifen, um unseren herzlichen Dank an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt zu richten, deren fachliche Kompetenz und großzügige Förderung dieses Forschungsprojekt erst ermöglicht haben.

13. Literatur

Tandler, R.; Lutz, W.; Theilen, U.; Manhart, M.; Grüning, H.; Güthler, H. (2007) Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente – Zwischenbericht im Rahmen der Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Lutz, W.; Güthler, H. (2001) Entwicklung eines Verfahrens zum gebremsten Abfluss mittels sogenannter „HydroStyx“ Armaturen – Schlussbericht im Rahmen der Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Valentin F. (2003) Beeinflussung der Leistungsfähigkeit von Kanalstrecken durch konstruktive Veränderungen im Bereich der Schächte – Schlussbericht im Rahmen der Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Tandler, R. (2009) Verfahrensbeschreibung: Komplexes Parallelschrittverfahren, Bestandteil der Programmdokumentation ++SYSTEMS / DYNA / FLOW++

Scheer, M. (2008) Ermittlung und Bewertung der Wirkungen der Abflusssteuerung für Kanalisationsysteme, ISBN 978-3-9811461-4-1, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe

DWA-A 110 (2006) Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen, Verlag DWA, ISBN 978-3-939057-16-1

Enno Karl Alfred Scholz (2008) Entwicklung einer Organisation zur Wartung von Sammelkanalisationen und zugehöriger Sonderbauwerke kleiner Kanalnetzbetreiber in Bayern, 9.4.2008

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

Macke, E. (1995) Flachstrecken und Ablagerungen, ATV-Fortbildung, K/71 Hydraulische Planung von Abwasseranlagen, Druck ATV-St. Augustin, Braunschweig, 1995

Ziegler, J. Krämer S., Verworn, H.-R. (2006) Langzeitsimulation mit Radardaten, KA-Abwasser, 53, Nr. 11, S. 1123-1130

Grüning H. und Schmidt W. (2007) Drosselkalibrierung als Bestandteil der Entwässerungsplanung der Gemeinde Eitorf. Praxisseminar der Kommunal- und Abwasserberatung NRW zum Thema „Drosselkalibrierung und Überprüfung von Messeinrichtungen, 5. September 2007 in Münster

Lautrich und Pecher (1981) Regenauswertungen, Verschiedene Regenmessstationen für Stadt Köln, Amt für Stadtentwässerung, Lautrich und Pecher, Beratende Ingenieure VBI, Düsseldorf, 1981

De Toffol S., Kleidorfer M. und Rauch W. (2006) Vergleich hydrodynamischer und hydrologischer Simulationsmodelle bei der Berechnung der Emissionen von Mischwasserbehandlungsanlagen. In: Wiener Mitteilungen, Kanalmanagement 2006 – Praxisberichte und Projektergebnisse, Band 196, Wien 2006, Seite H1 bis H 20

Fach S., Kleidorfer M. und Rauch W. (2007) Anforderungen an Modelle und deren Kalibrierung. Tagungsunterlagen „Bemessung von Mischwasserentlastungen ÖWAV-Regelblatt 19/neu“ am 7. November 2007, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Innsbruck, 7. November 2007

Hoppe, H., Grüning H. (2006) Analyse notwendiger Mess- und Planungsdaten. 24. Bochumer Workshop „Betrieb und Überwachung von Kanalnetz und Kläranlage“, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft der Ruhr-Universität Bochum, Bd. 52, S. 87-107

Grüning H. (2009a) Unterhaltungsgerechte Planung von Großprofilen und Sonderbauwerken. 6. Kanalbautage, Tagungsunterlagen der Gemeinschaftstagung der DWA und des Deutschen Städtetages, am 9./10. Juni 2009, Marburg

Orth H.; Grüning H. (2002) Investigations on the dynamics of the compositions of combined wastewater using online analyzers. Water Science and Technology, Vol. 45, No. 4/5, pp. 77-83

Grüning H.; Hoppe H. (2008) Spectrophotometric applications in wastewater and storm water sewers. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK 2008

Hinterding/Müller/Gerlach/Gabel (2003) Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug; 2003; Abschlussbericht, Auftraggeber Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)

ATV-A128 (1992) Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 128, Verlag:DWA, ISBN:978-3-933693-16-7

DWA-A118 (2006) Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Verlag:DWA, ISBN:978-3-939057-15-4

DIN EN 752 (1996) Europäische Norm EN 752 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

DWA-M180 (2005) Merkblatt DWA-M 180 Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen, DWA-Arbeitsgruppe ES-2.4 Abflusssteuerung in Kanalnetzen, Verlag:DW, ISBN 978-3-939057-02-4

Scheer, M. (2008) Ermittlung und Bewertung der Wirkungen der Abflusssteuerung für Kanalisationssysteme, Dissertation, Schriftenreihe des IWG/SWW, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft, Universität Karlsruhe (TH)

Geiger, W.F.; Flores, Ch. (2003) Bestandsaufnahme der Mischwasserbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland, Schlussbericht (Aktenzeichen IV-9-042 382), Auftraggeber Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Bearbeiter: Universität Essen, Siedlungswasserwirtschaft.

IGK (2005) „Richtlinie für die Reinhaltung des Bodensees“, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

ItwH GmbH (2002) „Kontinuierliche Simulation zur Bemessung von Speicherbauwerken in urbanen Entwässerungssystemen“, Anwenderhandbuch KOSIM 6.3, Institut für Technisch- wissenschaftliche Hydrologie GmbH Hannover.

LfU BW (1999) „Arbeitsmaterialien zur fortschrittlichen Regenwasserbehandlung in Baden-Württemberg“, Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg (LfU BW) und Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart.

Thienger, S (2009) „Nachweis der Richtlinienkonformität für das hydrodynamische Schmutzfracht-Simulation FLOW++“, Master-Thesis an der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz

Orth,H (2002), Abschlussbericht zum FE-Vorhaben: “Untersuchungen zum Austragsverhalten von Stauraumkanälen“, Ruhruniversität Bochum Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik

Dr. Ruf, J.; Matt W. (2008) „Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation“, Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 41 – Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz

14. Anhang

- Anhang A1:** Einsatz von ++SYSTEMS/DYNA/FLOW für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in den Bundesländern Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen
- Anhang A2:** Vergleich zwischen ++SYSTEMS/DYNA/FLOW und SMUSI anhand eines Anwendungsfalls in Hessen
- Anhang B:** Übersicht der unterschiedlichen Parameter FLOW++ und KOSIM
- Anhang C:** Automatische Zentralbeckenvariante
- Anhang D:** Protokoll des Beiratstreffen vom 20. November 2008
- Anhang E:** DWA Landesverbandstagung Nord Manuskript: Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen durch innovative Systemelemente im Kanalnetz
- Anhang F:** A128: Grenzen der Anwendbarkeit
- Anhang G:** Nachuntersuchung der Laborversuche an der TU-München
- Anhang H:** Stellungnahme der Unteren Wasserbehörde (UWB) Mülheim an der Ruhr über das Softwareprogramm „FLOW++“
- Anhang I:** Offizielle Bestätigung der Schmutzfrachtberechnung für die Stadt Landshut
- Anhang J:** Vergleichsrechnung Bochum: Programmnahe Darstellung der Simulation von Entlastungsfrachten – Optimierte Betrachtung des Kanalnetzes

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang A

Einsatz von K++/DYNA/FLOW für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in den Bundesländern Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Anhang A.....	1
1. Fragestellung und Vorgehen	3
2. Veranlassung: Warum wird angestrebt ein anderes Programm als SMUSI für den Nachweis zu verwenden?	3
3. Allgemeine Informationen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung in Deutschland	4
4. Hessen.....	4
5. Brandenburg	7
6. Mecklenburg-Vorpommern	8
7. Sachsen	9
8. Sachsen-Anhalt	9
9. Literaturverzeichnis	11
10. Anlagen.....	12

1. Fragestellung und Vorgehen

Zur Untersuchung der Fragestellung, ob und ggf. mit welchen Einschränkungen die Programme K++/DYNA/FLOW zum Nachweis der Mischwasserbehandlung in Deutschland in den Bundesländern Hessen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen eingesetzt werden können, wurden telefonische Interviews mit Mitarbeitern der Genehmigungsbehörden in den o.g. Bundesländern durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Anwendung in Hessen.

Das Hintergrundwissen bezüglich der Programme K++/DYNA/FLOW stammt aus den Programmbeschreibungen der Firma Tandler.com und den Anwendungserfahrungen des Ingenieurbüro Scheer. Ergänzend wurden dem Bericht „Bestandsaufnahme zur Mischwasserbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland“ [Geiger, Flores, 2003] zahlreiche Informationen entnommen.

In den nachfolgenden Kapiteln sind die wichtigsten Aussagen der Mitarbeiter der Genehmigungsbehörden zu den folgenden Fragestellungen zusammengefasst:

- Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?
Dabei wurden beispielsweise folgende Aspekte berücksichtigt: Vorgehen allgemein bzw. im Vergleich zu andern Bundesländern: ähnliche Vorgehensweisen, abweichende Vorgehensweisen.
- Kann das Simulationsprogramm DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?
Dabei wurden beispielsweise folgende Aspekte berücksichtigt: Wenn ja: Ist eine uneingeschränkte Verwendung möglich, welche Anforderungen, ggf. Einschränkungen, können bei der Verwendung von Kanal++/DYNA/FLOW auftreten? Wenn nein: Warum kann es nicht verwendet werden.
- Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

2. Veranlassung: Warum wird angestrebt ein anderes Programm als SMUSI für den Nachweis zu verwenden?

- Hautsächliche Veranlassung im Rahmen des DBU-Projektes AZ 23419/23-2 ist die Untersuchung von Möglichkeiten zur weit verbreiteten Nutzung der neu entwickelten und in die Programme KANAL++/DYNA/FLOW integrierten Verfahren durch weitere Erschließung der Einsatzbereiche der Programme.
- Es können mehrere Ziele bei nur einmaliger Aufstellung des Kanalmodells verfolgt werden. Dadurch werden die Kosten für den Anwender reduziert. Bei Anwendung von SMUSI wird ein SMUSI-Grobnetzmodell erstellt, das jedoch nicht für eine detaillierte hydrodynamische Berechnung verwendet werden kann. Im Fall der Verwendung von SMUSI muß im Bedarfsfall für eine hydrodynamische Berechnung ein weiteres Modell aufgebaut werden.
- DYNA/FLOW hat Vorteile gegenüber den hydrologischen Modellen da aufgrund der detaillierteren Abbildung (Feinnetz statt Grobnetz) und der detaillierteren und physikalischen Abbildung der

Abfluss- und Speichervorgänge (inklusive Verlust- und Rückstauberechnung) realistischere Ergebnisse (bei kalibriertem Modell) erwartet werden.

3. Allgemeine Informationen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung in Deutschland

- Mit dem Nachweis der Mischwasserbehandlung wird das notwendige Stauraumvolumen zur Erfüllung der länderspezifischen behördlichen Anforderungen ermittelt.
- Der Bund hat gemäß Artikel 75 des Grundgesetzes (GG, i.d.F. v. 3.11.1995) im Bereich des Wasserhaushalts über das Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2002) lediglich Rahmengesetzgebungskompetenz. Die Definition und Vorgabe von Anforderungen obliegt den Bundesländern (durch Ermächtigung in den Landeswassergesetzen erlassen die Bundesländer Anforderungen zumeist durch Rechtsverordnungen, es existieren jedoch keine rechtlichen Vorgaben durch Rechtsverordnungen im Bereich der Mischwasserbehandlung) [Geiger, Flores, 2003]
- Die Vorgaben und Anforderungen in Hinblick auf die Mischwasserbehandlung in den Bundesländern sind uneinheitlich [Geiger, Flores, 2003]:
 - In einigen Bundesländern werden weitere Anforderungen oder Ergänzungen der allgemein anerkannten Regeln der Technik durch Erlasse behördenintern eingeführt.
 - In anderen Bundesländern werden Arbeitsmaterialien mit Hinweisen für Planung und Bau von Mischwasserbehandlungsanlagen nach den a.a.R.d.T. veröffentlicht.
 - In einigen Bundesländern werden die a.a.R.d.T. durch Gutachten bestimmt und die daraus resultierenden Anforderungen an wasserrechtliche Erlaubnisse festgeschrieben.
- In vielen Bundesländern erfolgt der Nachweis der Mischwasserbehandlung in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 128.

4. Hessen

Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?

- Ansprechpartner zu Anforderungen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, 65189 Wiesbaden
- Regeln der Technik mit Erlass vom 18.12.95 (St.Anz. 1996 S.357) in Verbindung mit Erlass vom 20.12.91 [HMUEB, 1992]: Regel der Technik wird definiert nach ATV-Arbeitsblatt A 128, ergänzt um Regelungen zur Durchführung der Schmutzfrachtberechnungen (Einführungserlass von 1991 mittlerweile gestrichen, da Erlasse nicht mehr als 10 Jahre gültig sind):
 - Einhaltung einer maximalen Jahresschmutzfracht von 250 kg CSB/ha befestigter Fläche
 - Obergrenze der spezifische Beckengröße 40 m³/ha
 - Regenüberläufe: Maximale Entlastungshäufigkeit 50 Entlastungen/a und maximale Entlastungsdauer 20 h/a für einzelne Entlastungsbauwerke für die gesamten Ereignisse während einer

- SMUSI-Simulation mit einer neunmonatigen repräsentativen Regenreihe (1. März bis 30. November), die vom Hessischen Landesamt für Geologie zur Verfügung gestellt wird.
- Nachweis ist erforderlich bei erstmaligem Nachweis oder wesentlichen Änderungen
 - Bei Stauraumkanälen mit untenliegender Entlastung (SKU) ist nur eine um 10 % verminderte spezifische Schmutzfrachtlastung an der entsprechenden Entlastungsanlage zulässig, um eine mögliche zusätzliche Verschmutzung des entlasteten Mischwassers durch Ablagerungen zu berücksichtigen
 - Abwasserabgabenbefreiung [Geiger, Flores, 2003]: Für die Befreiung von der Abwasserabgabe gem. §6 Abs.1 Hessisches Abwasserabgabengesetz (HabwAG) wird die Einhaltung der Regeln der Technik gefordert. Jede Einleitung, für die ein entsprechender Nachweis geführt wird und die ordnungsgemäß betrieben wird, ist abgabefrei. Bei wesentlichen Änderungen muß erneut ein Nachweis geführt werden.
 - Momentan (Stand April 2008) gültig: „Allgemeine Verwaltungsvorschrift für den Vollzug des Abwasserabgabengesetzes und des Hessischen Ausführungsgesetzes zum Abwasserabgabengesetz (VwV-AbwAG/HAbwAG)“ (siehe auch Anlage 3)
 - I.d.R. wird das Schmutzfrachtmodell SMUSI (siehe Anlage 1) zum Nachweis der Mischwasserbehandlung verwendet. Dabei wird die Bemessung und der Nachweis der Schmutzwasserbehandlung nach DWA A128 in Hessen durch die Smusi-Anwendung ersetzt.
 - In der Wasserwirtschaftsverwaltung hat sich die Anwendung des Prüfprogramms SMUSI (siehe Anlage 2) bewährt und entspricht der derzeitigen Verwaltungspraxis. Direkte Vorgabe zur Verwendung des Simulationsmodells SMUSI als Nachweisprogramm existieren nicht. Die zur Prüfung einzureichenden Unterlagen müssen dem SMUSI-Format entsprechen.

Kann K++/DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?

Für den Nachweis können andere Programme als SMUSI verwendet werden. Die Behörde verlangt jedoch die Übergabe der Daten des Entwässerungssystems im SMUSI-Format. Dies ist die Grundlage für die Prüfung mit Hilfe des SMUSI.

Somit könnte DYNA für den Nachweis verwendet werden, jedoch muß gleichzeitig eine SMUSI-Datei eingereicht werden. Diese SMUSI-Datei wird vom DYNA nicht erstellt, d.h. es müßte gleichzeitig eine SMUSI-Simulation durchgeführt werden. Damit würde die DYNA-Berechnung zusätzlich durchgeführt werden, die eigentliche Prüfung würde mit dem SMUSI-Datensatz erfolgen. Die Gründe für den Einsatz des DYNA, z.B. der geringere Aufwand für die Erstellung eines Modells des Entwässerungssystems für verschiedene Anwendungsfälle, werden damit teilweise aufgehoben.

Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

Es wurde untersucht, welche Anforderungen die Mitarbeiter der Regierungspräsidien bei der Verwendung eines anderen Programms als SMUSI zum Nachweis der Mischwasserbehandlung haben. Hier

herrschen bzgl. der Verwendung von anderen Programmen unterschiedliche Meinungen. Dies ist insbesondere schwierig, da (so mein Eindruck) die Bearbeitung von Nachweisprojekten und die Anforderungen an Programme und Vorgehen personenabhängig ist. Es ergeben sich unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Bearbeiten in Abhängigkeit vom Kenntnisstand des Sachbearbeiters:

- Sachbearbeiter, die sich mit Schmutzfrachtsimulationen nicht so gut auskennen, z.B. weils sie nicht oft Nachweise bearbeiten:
 - Daten werden im Smusi-Format zur Verfügung gestellt.
 - Daten werden ins Prüfprogramm eingelesen (auch hierfür sind manchmal schon Veränderungen notwendig).
 - Es erfolgt eine Plausibilitätsprüfung mit Hilfe des Prüfprogramms (es wird geprüft oft auffällige Werte vorhanden sind, auch in Hinblick auf Manipulation des Ergebnisses zur Reduzierung des notwendigen Volumens).
 - Der IST-Zustand wird vom Sachbearbeiter nachgerechnet.
 - Prüfung, ob Ergebnisse vom IST-Zustand plausibel sind. Wenn nicht, wird Rücksprache mit dem Netzbetreiber bzw. dem bearbeitendem Ingenieurbüro gehalten.
 - Die Planungsvariante wird vom Sachbearbeiter nachgerechnet.
 - Prüfung, ob die Ergebnisse plausibel sind. Wenn nicht, wird Rücksprache mit dem Netzbetreiber bzw. dem bearbeitendem Ingenieurbüro gehalten.
- Sachbearbeiter, die sich mit Schmutzfrachtsimulationen gut auskennen und oft Nachweise bearbeiten:
 - Das Prüfprogramm SMUSI wird nicht unbedingt verwendet, da die wesentlichen Daten auch aus anderen Programmen gewonnen werden können. Die Plausibilitätsprüfung wird auch ohne Prüfprogramm durchgeführt.
 - Es wird die Berechnung durch andere Programme, z.B. Moment, akzeptiert ohne dass der IST-Zustand nochmal mit SMUSI durchgerechnet wird.

Die Mitarbeiter der hessischen Regierungspräsidien stehen einem anderen Vorgehen als der ausschließlichen SMUSI-Anwendung offen gegenüber, fanden jedoch eine Stellungnahme des Ministeriums für angemessen. Weiterhin wurden folgende Aspekte in Hinblick auf die Nutzung von K++/DYNA/FLOW für den Nachweis von den Mitarbeitern der Regierungspräsidien vorgeschlagen:

- Anwendungsbeispiel für den Vergleich von SMUSI und K++/DYNA/FLOW in BRD bevorzugt in Hessen simulieren
- Ergebnisse von einem Vergleich zwischen SMUSI und K++/DYNA/FLOW zusammenfassen
- Zur Prüfung der Plausibilität: Ähnliche Ausgabewerte, die SMUSI für die Prüfung erzeugt, zur Verfügung stellen

Eine Möglichkeit, um den Nachweis mit K++/DYNA/FLOW in Hessen zu ermöglichen, wäre theoretisch eine Schnittstelle, d.h. eine Funktion zum Export von SMUSI-Daten, im K++/DYNA/FLOW zu erstellen. Dies könnte jedoch problematisch sein, insbesondere für die Übertragung der Bauwerksdaten. Anwender berichten, dass selbst mit SMUSI sehr erfahrende Programmentwickler damit

Schwierigkeiten hatten. Wenn im K++/DYNA/FLOW eine Schnittstelle geschaffen werden würde, würden sich folgende Wirkungen ergeben.

- Da im K++/DYNA/FLOW kein Grobnetz erstellt wird (was bei Smusi-Berechnungen üblich ist), muß der Sachbearbeiter eine größere Datenmenge verwalten.
- Die Rechenzeiten im Smusi werden länger (insbesondere da evt. die Computer bei den Behörden etwas langsamer sind (Aussage Mitarbeiter)).
- Es werden nur die Ergebnisse der Smusi-Berechnung, nicht der K++/DYNA/FLOW -Berechnung beachtet (damit ist ein Ausnutzung der höheren Rechengenauigkeit nicht möglich).

Auf einer Besprechung im Rahmen des Projektes AZ 23419/23-2 wurde entschieden keine Funktion zum Export von SMUSI-Daten im K++/DYNA/FLOW zu erstellen. Es wurde folgendes Vorgehen zum Einsatz von K++/DYNA/FLOW für die Nachweisberechnung in Hessen diskutiert:

- Enge projektspezifische Zusammenarbeit mit der Behörde: Zur Verfügung stellen des Programms und evt. Erweiterung von K++/DYNA/FLOW um Funktionen, die die Werte, die das SMUSI-Prüfprogramm zur Verfügung stellt. Die Prüfung könnte dann unabhängig vom SMUSI erfolgen.
- Wichtig dabei ist eine möglichst einfache Bedienung, ggf. verbunden mit kurzer Einweisung in K++/DYNA/FLOW.
- Um zu gewährleisten, dass Programm SMUSI und K++/DYNA/FLOW ähnliche Ergebnisse liefern: Ergebnisse über parallele Berechnungen bei dem NRW-Projekt als Bericht zusammenstellen. Zusätzlich eine Berechnung von einem Netz in Hessen mit SMUSI und K++/DYNA/FLOW durchzuführen.

5. Brandenburg

Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?

- Laut eines Mitarbeiters des Landesumweltamtes bestehen keine direkten Vorgaben zum Nachweis der Mischwasserbehandlung. Dies stelle einen Streitpunkt zwischen Wasserbehörden und Ministerium dar.
- Aufgrund der geringen Personalkapazität sei eine Bearbeitung mit wenig Aufwand wichtig.
- Mischwasserkanalisationen gibt es nur in den 4 kreisfreien Städten Cottbus, Potsdam, Brandenburg und Frankfurt/Oder (70.000-100.000 EW). Ansonsten gibt es Trennsysteme.
- Die Genehmigung der Mischsysteme erfolgt als Einzelfallbetrachtung
- Anteil Mischverfahren (2001) 6,5% [Geiger, Flores, 2003]

Kann K++/DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?

- Da die Anforderungen zum Nachweis im Einzelfall festgelegt werden, ist nicht vorgeschrieben, welches Schmutzfrachtprogramm verwendet werden soll. Damit kann K++/DYNA/FLOW prinzipiell verwendet werden

Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

- Entfällt, da der Einsatz von K++/DYNA/FLOW prinzipiell möglich ist.

6. Mecklenburg-Vorpommern

Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?

- Es gibt keine fest definierten Anforderungen, außer den Offensichtlichen (Aussage von der Genehmigungsbehörde, keine näheren Erläuterungen).
- Eingangsdaten der Berechnung müssen dargestellt werden
- Es gibt keine Anforderung zur Genehmigung von Kanalnetzen, nur, falls Schäden im Gewässer festgestellt werden, wird das nachvollzogen. In diesen Fällen erfolgt eine Einzelfallbetrachtung und in diesem Rahmen kann evt. die Benutzung eines Simulationsprogramms notwendig sein
- Anteil Mischverfahren (2001) 10,9 % [Geiger, Flores, 2003]

Kann K++/DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?

- Es gibt keine Festlegungen, welches Simulationsprogramm angewendet werden soll, das Verfahren soll Ergebnisse nachweisen, die in der gleichen Größenordnung liegen wie ganz einfache Verfahren (Listenrechnungen). Damit kann K++/DYNA/FLOW prinzipiell verwendet werden, es besteht jedoch keine Pflicht zur Durchführung von Kanalnetzsimulationen.

Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

- Entfällt, da der Einsatz von K++/DYNA/FLOW prinzipiell möglich ist.

7. Sachsen

Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?

- Es ergab sich bezüglich des Nachweises folgende momentan praktizierte Vorgehensweise:
- Der Nachweis der Mischwasserbehandlung wird nach den A.a.R.d.T. vorgeschrieben
- Allerdings ist nirgendwo niedergeschrieben, was die a.a.R.d.T. sind
- i.d.R. wird das DWA Arbeitsblatt A 128 als Grundlage verwendet
- Es werden keine Prüfprogramme eingesetzt, es gibt keine besonderen Forderungen. Der Verweis auf das A 128 erfolgt nicht über Landeswassergesetz, sondern über das Abgabenrecht. Anlehnung an Niedersachsen (250 kg CSB/ha) noch aktuell.
- Vorgehen sollte mit Sachbearbeitern projektspezifisch abgesprochen werden.
- Anteil Mischverfahren (2001) 55,6 % [Geiger, Flores, 2003]

Kann K++/DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?

- Da die Anforderungen zum Nachweis nicht niedergeschrieben sind, ist nicht vorgeschrieben, welches Schmutzfrachtprogramm verwendet werden soll, damit kann K++/DYNA/FLOW prinzipiell verwendet werden

Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

- Entfällt, da der Einsatz von K++/DYNA/FLOW prinzipiell möglich ist.

8. Sachsen-Anhalt

Wie ist das Vorgehen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung?

- DWA A128 ist mit Ergänzungen der im Erlass festgelegten Regelungen als a.a.R.d.T. durch Erlass eingeführt [Geiger, Flores, 2003]
- Mischsystem: maximal 250 kg CSB/haAred, Langzeitsimulation mit einer mindestens zehnjährigen Niederschlagsreihe, es liegen 5 digitalisierte Niederschlagsreihen vor, die in Abhängigkeit von der Ortslage oder der mittleren Niederschlagshöhe benutzt werden können [Geiger, Flores, 2003]
- Das Programm KOSIM ist mit festen Parameterwerten als Prüfprogramm eingeführt [Geiger, Flores, 2003]
- Für große, vermaschte Netze und bei rückgestauten Kanalnetzen sollen hydrodynamische Rechenmodelle angewendet werden, Oberflächenmodell muss durch den Planer mit dem Modell KOSIM abgestimmt werden
- Es ergab sich bezüglich des Nachweises folgende momentan praktizierte Vorgehensweise:
- KOSIM ist nur das Prüfprogramm der Behörde, nicht das Programm mit dem das Ingenieurbüro rechnen muß

- Im Allgemeinen wird KOSIM als Prüfprogramm angewendet, wenn keine hydrodynamische Berechnung notwendig ist
- Im Allgemeinen müssen die Eingangsdaten für das Prüfprogramm KOSIM zur Verfügung gestellt werden, es muß verhindert werden, dass der Sachbearbeiter erstmal die Daten (z.B. Flächenwerte, Drosselabflüsse) mit hohem Arbeitsaufwand selbst per Hand eingeben muß
- Alle Genehmigungen werden im Einzelfall überprüft, ggf. ist im Einzelfall auch eine Berechnung mit einem hydrodynamischen Programm möglich, ohne dass eine Prüfung mit KOSIM durchgeführt wird.
- Es muß das Systemverhalten dargestellt werden
- Ggf. muß das Netz anhand von Netzdaten kalibriert werden
- Im Einzelfall muß das Vorgehen mit dem Sachbearbeiter frühzeitig abgestimmt werden, in manchen Fällen (falls Sachbearbeiter sich nicht gut auskennt) werden auch Netze durch das Landesamt für Umwelt Sachsen-Anhalt geprüft
- Anteil Mischverfahren (2001) 36,0 % [Geiger, Flores, 2003]

Kann K++/DYNA/FLOW als Nachweisprogramm angewendet werden?

- Die Verwendung von K++/DYNA/FLOW muß mit der Behörde im Einzelfall frühzeitig abgesprochen werden. Da KOSIM nur Prüfprogramm ist, spricht nichts gegen eine Verwendung von K++/DYNA/FLOW durch den Planer. Allerdings müssen die Daten ggf. zur Prüfung mit KOSIM bereitgestellt werden (hierzu wieder frühzeitige Absprache mit Sachbearbeiter). Diese Vorgaben führen zu dem gleichen Problem wie in Hessen, allerdings werden hier schon Einschränkungen berücksichtigt, dass KOSIM nur als Prüfprogramm angewendet wird, wenn keine hydrodynamische Berechnung notwendig ist.

Wenn nein, wie kann die Erlaubnis zur Verwendung erreicht/gefördert werden?

- Einzelfallabstimmung mit Sachbearbeiter (Einsatz von K++/DYNA/FLOW prinzipiell möglich).

9. Literaturverzeichnis

HMUEB (1992): „Erlass des ehemaligen Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten zur Einführung der Programmversion 3.1 des Schmutzfrachtmodells SMUSI vom 20. Dezember 1991“. Staatsanzeiger für das Land Hessen, S. 339, entnommen [Muschalla, Dirk, 2006].

HMULV (2005): Verwaltungsvorschrift zur Durchführung wasserrechtlicher Zulassungsverfahren für kommunale Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen, gilt ab 01.08.2005, veröffentlicht 01.07.2005, Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, III5 – 79b06.11.

Geiger, W.F.; Flores, Ch. (2003): Bestandsaufnahme der Mischwasserbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland, Schlussbericht (Aktenzeichen IV-9-042 382), Auftraggeber Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Bearbeiter: Universität Essen, Siedlungswasserwirtschaft.

10. Anlagen

Anlage 1: Internetseite Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)

Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI

<http://www.hlug.de/medien/wasser/abwasser/index.htm>

Das Modell SMUSI dient zur Simulation von Schmutzfrachten in städtischen Entwässerungsnetzen. Es wird zur Bemessung von Anlagen für den Gewässerschutz für Mischwasserkanalisationsnetze eingesetzt. Mit dem Modell wird gegenüber den Aufsichtsbehörden nachgewiesen, dass Grenzwerte für den Schmutzfrachtaustrag nicht überschritten werden. Das Modell steht gegen eine Lizenzgebühr der Fachöffentlichkeit zur Verfügung.

Die Software (SMUSI 4.0) läuft auf jedem normal ausgerüsteten PC. Sie ist insbesondere geeignet zum Einsatz in Ingenieurbüros, die mit der Planung von Stadtentwässerungsnetzen beauftragt sind.

Die Version SMUSI 4.0 wurde 2007 durch Überführung in eine durchgängige 32 bit Version den heutigen DV-Standards angepasst (Version 5.0). Diese kann über das HLUG bezogen werden.

Anlage 2: Internetseite Hmulv, Schmutzfrachtberechnungen mit Smusi

http://www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?rid=HMULV_15/HMULV_Internet/nav/0b5/0b520711-8ff1-2701-be59-263b5005ae75,c0a50d64-fd35-2801-a3b2-17197ccf4e69,22222222-2222-2222-2222-222222222222,22222222-2222-2222-2222-222222222222,11111111-2222-3333-4444-10000005003.htm&uid=0b520711-8ff1-2701-be59-263b5005ae75

(Menüführung: Umwelt > Wasser > Kommunales Abwasser > Schmutzfrachtberechnung)

Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI

Die Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI gestaltet sich durch die zunehmende Komplexität der Entwässerungsnetze, die auch aus der Zielsetzung zur Kosteneinsparung resultiert, immer schwieriger und zeitaufwändiger. Es wurde deshalb ein Leitfaden entwickelt, der auch all denjenigen eine sachgerechte Beurteilung ermöglicht, die nur sporadisch solche Prüfungen und Bewertungen vornehmen müssen.

Der Leitfaden ist modular aufgebaut und entsprechend der notwendigen Arbeitsschritte zur Prüfung von Schmutzfrachtberechnungen thematisch gegliedert. Ziel dabei war es, dem Anwender des Leitfadens die für ihn interessanten und relevanten Informationen in komprimierter Form zu geben.

Das Kernstück der Prüfung stellt die Checkliste (Anlage 1) dar, mit der die Eingangsgrößen und Simulationsergebnisse bewertet werden können. Eine Excel-Arbeitsmappe zu Anlage 1 stellt dem Anwender eine Filterung nach verschiedenen Prüfkategorien zur Verfügung.

Die Anlage 2 enthält eine umfangreiche Beschreibung der Modellkenngößen, die als Referenz im Sinne eines Nachschlagewerks zu verstehen ist.

Zusammenfassende Ergebnisse einer Studie zum Optimierungspotential von Entwässerungssystemen hinsichtlich der Minimierung von Entlastungskenngrößen sind in Anlage 3 enthalten.

Anlage 3: Auszug aus VWV Abwasserabengesetz

Auszug aus „Allgemeine Verwaltungsvorschrift für den Vollzug des Abwasserabgabengesetzes und des Hessischen Ausführungsgesetzes zum Abwasserabgabengesetz (VwV-AbwAG/HAbwAG)“:

„3.3.2 Regeln der Technik bei Entwässerung im Mischverfahren

Die nachfolgend dargestellten Regeln der Technik entsprechen dem nach § 7a WHG einzuhaltenden Stand der Technik für Mischwassereinleitungen.

(1) Beim Mischverfahren werden das Schmutzwasser, das nicht vermeidbare Fremdwasser und das Niederschlagswasser gemeinsam in einem Kanal abgeleitet. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen müssen hierzu an geeigneten Stellen Mischwasserentlastungsanlagen angeordnet werden. Ziel ist es, die Bauwerke der Mischwasserableitung, -behandlung und -entlastung in einem Entwässerungsgebiet so anzuordnen und zu bemessen, dass beim Mischwasserabfluss ein möglichst großer Schmutzfrachtanteil zurückgehalten und der Kläranlage zugeführt wird.

(2) Mischwasserentlastungsanlagen genügen den Regeln der Technik, wenn vom Abgabepflichtigen nachgewiesen wird, dass infolge einer Niederschlagsbelastung weniger als 250 kg CSB/ha A_{red} über die Summe aller Entlastungen vor der biologischen Reinigungsstufe einer Kläranlage in ein Gewässer entlastet werden.

Bei Regenüberläufen (RÜ) sind außerdem

- höchstens 50 Entlastungen pro Jahr und
- insgesamt höchstens 20 Stunden Entlastungsdauer pro Jahr

zulässig, um deren besonderes Entlastungsverhalten zu berücksichtigen.

Bei Stauraumkanälen mit untenliegender Entlastung (SKU) ist nur eine um 10 % verminderte spezifische Schmutzfrachtentlastung an der entsprechenden Entlastungsanlage zulässig, um eine mögliche zusätzliche Verschmutzung des entlasteten Mischwassers durch Ablagerungen zu berücksichtigen.

Die für einzelne Entlastungsbauwerke ansonsten nach den Regeln der Technik, u.a. dem DWA-Arbeitsblatt A 128, geltenden konstruktiven und hydraulischen Randbedingungen bleiben hiervon unberührt.

Die Einleitung von Niederschlagswasser aus Teilortskanalisationen ohne Behandlung entspricht nicht den für das Mischverfahren in Betracht kommenden Regeln der Technik.

(3) Die Prüfung des Nachweises der Einhaltung der Regeln der Technik ist von der zuständigen Wasserbehörde grundsätzlich mit dem Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI durchzuführen (mit einer gemäß der Isohypsen-Karte des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) ausgewählten repräsentativen Regenreihe sowie einem Schmutzpotentialansatz von 600 kg CSB/ha). In begründeten Ausnahmefällen kann in Abstimmung mit der zuständigen Wasserbehörde der Nachweis mit einem anderen Schmutzfrachtmodell erfolgen. Wird der Nachweis mit einem anderen Schmutzfrachtmodell als SMUSI geführt, sind die Daten zusätzlich auch in der Form [vgl. hierzu den

letzten Absatz unter (3)] vorzulegen, dass eine Prüfung mit SMUSI möglich ist. Die Schmutzfrachtberechnung ist auf den im Entwässerungssystem vorhandenen Ist-Zustand zu beziehen. Insbesondere ist dabei die im Ist-Zustand vorliegende Belastung durch Fremdwasser und Außengebiete realistisch, nach Möglichkeit durch Messungen abgestützt, zu erfassen. Der Nachweis der Einhaltung der Regeln der Technik kann auch für Teilgebiete geführt werden, wenn die Abflusssumme ($Q_{ab\text{ teil}}$) der in Betracht kommenden Entlastungsanlagen nicht das Abflussvermögen der nachfolgenden Entlastungsanlagen ($Q_{ab\text{ folgend}}$) und der Kläranlage ($2Q_s + Q_f$) übersteigt. Trifft dies auf mehrere Teilgebiete zu, so kann der Abgabepflichtige den Nachweis zu seinen Gunsten für diejenigen Teilgebiete führen, die die größtmögliche Anzahl an abgabefreien Einwohnern ergibt. Bei der Nachweisführung ist immer von den tatsächlichen Verhältnissen auszugehen; es dürfen also nur vorhandene Teilgebiete angesetzt werden, für die die Einhaltung der oben genannten Anforderungen nachzuweisen ist. Eine Nachweisführung durch Bildung fiktiv verkleinerter Einzugsgebiete einer Kläranlage ist dagegen nicht zulässig. Der Berechnung der Abwasserabgabe sind alle oberhalb der Entlastungsanlage/Kläranlage im Entwässerungsgebiet angeschlossenen Einwohner zugrunde zu legen. Soweit die Regeln der Technik für die Entlastungsanlagen von oberhalb liegenden Teilgebieten eingehalten werden, ist die Zahl der in den Teilgebieten angeschlossenen Einwohner von der Gesamtzahl der abgabepflichtigen Einwohner abzuziehen, wenn die Abflusssumme der Teilgebiete vollständig auf der Kläranlage behandelbar ist. Soweit die Regeln der Technik bei einzelnen Entlastungsanlagen nicht eingehalten werden, ist die Zahl der Einwohner in den entsprechenden Teilgebieten als abgabepflichtig anzusetzen.

Ein neuer Nachweis der Einhaltung der Regeln der Technik oder die Fortschreibung bzw. Aktualisierung eines vorhandenen Nachweises ist auf Anforderung der zuständigen Wasserbehörde erforderlich, insbesondere wenn sich wesentliche Änderungen ergeben haben.

Vom Abgabepflichtigen sind die Daten für eine SMUSI-Prüfung (grundsätzlich auch auf Datenträger in elektronischer Form) sowie ein System- und ein Übersichtslageplan (Maßstab 1:5.000 bis 1:20.000) vorzulegen. In den Lageplan müssen alle Entlastungsanlagen mit ihren Einzugsgebieten, die Verbindungssammler und die Oberflächengewässer eingetragen sein.

(4) Ein „Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI“ (incl. 3 Anhänge sowie EXCEL-Arbeitsmappe) steht auf der Website des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) unter <http://www.hmulpv.hessen.de> _ Umwelt _ Wasser _ kommunales Abwasser _ Schmutzfrachtberechnung zur Verfügung. Dort wird auch angegeben, wie das Simulationsprogramm SMUSI zu beziehen ist.“

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang A

Vergleich zwischen K++/DYNA/FLOW und SMUSI anhand eines Anwendungsfalls in Hessen

1.	Aufgabenstellung.....	3
2.	Modellgrundlagen in DYNA und SMUSI.....	3
2.1.	Niederschlagsbelastung.....	3
2.2.	Oberflächenabfluss	3
2.2.1.	Allgemeines.....	3
2.2.2.	Abflussbildung	5
2.2.3.	Abflusskonzentration	7
2.2.4.	Konstanter Oberflächenabfluss bzw. Grundlast.....	8
2.3.	Abfluss im Kanal und in Sonderbauwerken	9
2.3.1.	Abflussim Kanal.....	9
2.3.2.	Berechnungsansätze zur Aufteilung an Bauwerken (Verzweigung oder Entlastungsbauwerk) und zur Speicherung.....	10
2.4.	Berechnung der Entlastungsfrachten.....	12
3.	Anwendungsbeispiel Netz Hungen.....	13
3.1.	SMUSI-Simulation.....	13
3.2.	Verwendete Niederschlagsbelastungen für die Simulationen	13
3.3.	Erstellung des Netzmodells Hungen im K++ auf Grundlage der SMUSI-Datensätze	14
3.4.	Allgemeines Angaben zur Simulation im SMUSI	15
3.5.	Ermittlung der Einstellungen im K++ anhand von Beispielflächen und Beispielelementen .	16
3.5.1.	Außengebietsfläche A10	17
3.5.2.	Trenngebiet T10	23
3.5.3.	Kanalisierte Fläche F11.....	25
3.6.	Vergleich zwischen DYNA und SMUSI an Teilgebieten	27
3.7.	Vergleich zwischen DYNA und SMUSI am Gesamtgebiet	33
3.8.	Vorschläge zur Anpassung des K++/DYNA/FLOW für einen Einsatz in Hessen und zur Bearbeitung von Vergleichsuntersuchungen zwischen K++/DYNA/FLOW und SMUSI-ähnlichen Programmen.....	47
4.	Literaturverzeichnis	48

1. Aufgabenstellung

Die im DBU-Projekt AZ 23419/23-2 entwickelten Verfahren haben das Ziel den Gewässerschutz zu verbessern. Damit dies mit den neuen Verfahren erfolgen kann, ist es notwendig das Programmpaket K++/DYNA/FLOW, in das die Verfahren integriert worden sind, anzuwenden. In Hessen wird beim Nachweis der Mischwasserbehandlung das Programm SMUSI als Prüfprogramm und i.d.R. auch für die Nachweisberechnungen verwendet. Um zu untersuchen, ob und unter welchen Randbedingungen das Programmpaket K++/DYNA/FLOW auch für diesen Nachweis eingesetzt werden kann, werden in diesem Projekt Vergleichsuntersuchungen zwischen SMUSI und DYNA durchgeführt.

2. Modellgrundlagen in DYNA und SMUSI

Die Grundlagen wurden hauptsächlich den Programmdokumentationen [Tandler, o.A.; HLOG, 2007] entnommen, im folgenden Text dabei teilweise auch Textpassagen aus diesen Dokumentationen.

2.1. Niederschlagsbelastung

Bei beiden Modellen sind Langzeitsimulation und Simulationen mit Modellregen/Einzelregen möglich.

2.2. Oberflächenabfluss

2.2.1. Allgemeines

Beim SMUSI und beim DYNA wird bei der Oberflächenabflussberechnungen die Abflussbildung und die Abflusskonzentration berücksichtigt:

- Abflussbildung: Ermittlung der abflusswirksamen Niederschläge (Effektivregen) als Teil des Gesamtniederschlags, der nach Abzug aller Verluste dem Kanalnetz zufließt
- Abflusskonzentration: Zeitliche Verteilung des Zuflusses des effektiven Niederschlags in das Kanalnetz

DYNA

Beim DYNA wird jede Einzugsgebietsfläche in einen undurchlässigen und einen durchlässigen Teil zerlegt. Von jeder dieser Teilflächen wird eine Oberflächenabflusskurve in Abhängigkeit vom angesetzten Regen berechnet und anschließend überlagert.

Bei den undurchlässigen Flächen werden bei der Abflussbildung berücksichtigt:

- Die Verdunstungs- bzw. Dauerverluste $EV [l/s*ha]$ (Verdunstung, ggf. ein Teil der Muldenverluste, ggf. kleine Versickerungsrate),

- die Anfangsverluste $M(i)$ in Abhängigkeit von der Neigungsklasse i [mm] (Muldenverluste, ggf. inkl. Benetzungsverluste).

Bei den durchlässigen Flächenanteilen werden bei der Abflussbildung berücksichtigt:

- die Dauerverluste (Verdunstung),
- die Benetzungsverluste B [mm] (pauschale Erhöhung des Anfangsverlustes $(=B+M(i))$ für jede Neigungsklasse),
- die Muldenverluste $M(i)$ in Abhängigkeit von der Neigungsklasse i [mm],
- Versickerungsverluste [$l/s \cdot ha$] nach Horton.

SMUSI

Beim SMUSI werden die Flächen in versiegelte Flächen und durchlässige Flächen unterteilt. Bei der Abflussbildung der versiegelten Flächen wird die Infiltration vernachlässigt. Der Abflussbeiwert der versiegelten Flächen beträgt 1,0.

Bei den undurchlässigen Flächen werden bei der Abflussbildung berücksichtigt:

- Verdunstung,
- Muldenverluste,
- Benetzungsverluste,
- Infiltration wird vernachlässigt.

Bei den durchlässigen Flächenanteilen werden bei der Abflussbildung berücksichtigt:

- Verdunstung,
- Muldenverluste,
- Benetzungsverluste,
- Infiltration.

Bei der Abflusskonzentration werden in Abhängigkeit von den Flächentypen Außengebiete, kanalisierte Fläche und Trenngebiete unterschiedliche Ansätze verwendet.

In der SMUSI-Dokumentation wird eine haltungsweise Kanalnetzberechnung für eine Kontinuums-simulation vom Rechenaufwand her praktisch ausgeschlossen [HLUG, 2007]. Mit den Programmen DYNA/FLOW++ in Kombination mit der mittlerweile zu relativ günstigen Preisen zu beziehenden Computerhardware, d.h. schnelle Prozessoren und Mehrfachprozessoren, ist diese Aussage nicht mehr uneingeschränkt richtig.

2.2.2. Abflussbildung

(Bemerkung: Nach [HLUG, 2007] steht weniger der Abflussbildungsansatz als die sorgfältige Ermittlung des versiegelten Flächenanteils im Mittelpunkt).

2.2.2.1. Dauerverlust bzw. Verdunstung

DYNA

Der Dauerverlust ist ein über die gesamte Abflussdauer wirksamer konstanter Verlust [$l/s*ha$], z.B. infolge der Verdunstung. Im DYNA gilt der Parameter gleichermaßen für undurchlässige als auch durchlässige Flächenanteile. Der modifizierbare Standardwert von $1,4 l/s*ha$ enthält einen kleinen Teil Verdunstung (Evaporation). Er wird hälftig auf den Niederschlag sowie dann anschließend auf den Abfluss angesetzt.

SMUSI

Die potenzielle (energetisch mögliche) Verdunstung VP [mm] ist eine Funktion in Abhängigkeit des laufenden Tages des Abflussjahres. Die jährliche potenzielle Gesamtverdunstungshöhe beträgt 624 mm. Der normierte Jahresgang und der Tagesgang der potenziellen Verdunstung sind fest im Modell integriert. Auf dieser Grundlage wird die potenzielle Tagesverdunstung berechnet. Auf Grundlage des Tagesganges der potenziellen Verdunstung wird die potenzielle Verdunstung für jedes Berechnungsintervall ermittelt. Die Verdunstung wirkt sich auf Anfangsbedingungen (Benetzung und Muldenfüllung und auf die Bodenfeuchte bei durchlässigen Flächen) und auf die Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags aus.

VERGLEICH DYNA-SMUSI

- Unterschiedliche Verdunstungsansätze (bei SMUSI mit, bei DYNA ohne Jahres- und Tagesgang)

2.2.2.2. Anfangsverluste

DYNA

Anfangsverluste sind Benetzungs- und Muldenverluste [mm].

Die Muldenverluste werden in Abhängigkeit der vier Neigungsklassen getrennt für undurchlässige und durchlässige Flächen angegeben. Die Standardwerte (siehe Tabelle 1) können im DYNA modifiziert werden. Bei Kontinuumssimulationen wird M als Muldenspeicherkapazität angenommen. Der Muldenspeicher entleert sich über die Verdunstung ($=0,5*EV$).

Bei den durchlässigen Flächen kommt der Benetzungsverluste hinzu. Dessen Standardwert von 1,0 mm kann variiert werden.

SMUSI

Als Benetzungsverlust für versiegelte Flächen wird $BV=0,5$ mm als Standardwert angesetzt. Als Standardwerte für die Muldenverluste MV werden die Werte nach ATV A-118 angesetzt (siehe auch Tabelle 1). Die Standardwerte können verändert werden.

Die Muldenverluste werden nicht konstant über die gesamte Fläche angenommen, sondern es wird 1/3 der versiegelten Fläche mit einem Muldenverlust von 1/3 MV, 1/3 der Fläche mit einem MV von 1 und 1/3 der Fläche mit einem MV von 5/3 gerechnet.

Die Bereitstellung der Benetzungs- und Muldenverluste im Anschluss eines Niederschlagsereignisses erfolgt über die laufende Bilanzierung der Speicher und der Verdunstung.

Tabelle 1: Muldenverluste in Abhängigkeit von der Neigungsgruppe

Neigungsgruppe	1	2	3/4
Muldenverlust MV [mm] SMUSI nach ATV A-118	1,5	1,0	0,5
Muldenverlust M [mm] DYNA undurchlässig	1	0,9	0,8/0,6
Muldenverlust M [mm] DYNA durchlässig	4	3	2,5/2

VERGLEICH DYNA-SMUSI

- Unterschiede im Muldenverlustansatz durch Drittelung der Flächen im SMUSI

2.2.2.3. Dauerverluste der Versickerung*DYNA*

Dauerverluste der Versickerung werden nur für durchlässige Flächen angesetzt. Diese Dauerverluste der Versickerung werden gemäß dem von Horton abgeleiteten Infiltrationsmodell berechnet. Die Anfangsversickerung p_0 entspricht standardmäßig dem Achtfachen der Endversickerung p_e (beides in $l/s \cdot ha$). Beide Parameter können unabhängig voneinander vom Benutzer variiert werden.

Der Bodenspeicher füllt sich mit der aktuellen Versickerung (soweit letztere größer ist als die Endversickerung). Die Augenblicksinfiltration ist proportional dem zur Verfügung stehenden Bodenspeicher. Der Bodenspeicher wird mit der Endversickerungsrate geleert.

SMUSI

Die Versickerung/Infiltration wird nur bei durchlässigen Flächen berücksichtigt. Es werden 2 auf dem Abflussbeiwertkonzept beruhende Ansätze zur Verfügung gestellt, wobei die Verwendung des Ansatzes mit CN-Werten empfohlen wird.

- Verwendung eines konstanten Abflussbeiwertes (unabhängig von der Vorgeschichte und den Merkmalen des Niederschlags).
- Verwendung eines ereignisspezifischen Abflussbeiwertes in Anlehnung an das Verfahren des Soil-Conservation-Service (SCS): Zunächst wird ein Vorregenindex [mm] ermittelt. Dieser ist abhängig vom Niederschlag in den letzten 21 Tagen und der Jahreszeit. Es wird ein von Bodentyp und -nutzung abhängiger CN-Wert bestimmt. In Abhängigkeit vom Vorregenindex und dem CN-Wert wird der aktuelle Abflussbeiwert berechnet. Der Abflussbeiwert während eines Ereignisses wird in Abhängigkeit von der kumulierten Niederschlagshöhe angepasst.

VERGLEICH DYNA-SMUSI

- Unterschiedliche Versickerungsansätze (Horton bei DYNA, Abflussbeiwert bei SMUSI)

2.2.3. Abflusskonzentration

DYNA

In DYNA wird das Modell des Einzellinearspeichers verwendet. Hierbei ist der Abfluss aus dem Speicher proportional der gespeicherten Wassermenge. Die Speicherkonstante K stellt den Erwartungswert der Fließzeit bzw. Schwerpunktlaufzeit der Einheitsganglinie auf der Einzugsgebietsfläche dar. Jedes Einzugsgebiet besitzt seine individuelle Oberflächenabflusskurve als Summe von Einheitsganglinien. Die Speicherkonstante K ergibt sich in Abhängigkeit von der abflusswirksamen Niederschlagsintensität, der Fließlänge, dem Gefälle des Einzugsgebietes und dem Manning-Strickler-Beiwert. Bei der Berechnung der Fließlänge wird die Geometrie der Fläche berücksichtigt.

Die Fließlänge entspricht dem Erwartungswert des Weges, den ein Wassertropfen im Mittel auf der Oberfläche zurücklegt, bis dieser die Haltung erreicht. Es gibt eine Fließlänge für den undurchlässigen und eine für die durchlässigen Flächenanteile. Die Fließlängen können direkt eingegeben oder durch das Programm auf der Basis der eingegebenen Flächengeometrie der Teilflächen ermittelt werden.

Das Gefälle der Einzugsgebiete kann als mittlere Neigung oder in Form von Neigungsklassen eingegeben werden.

Der Strickler-Wert K_{St} wird getrennt für die durchlässigen und undurchlässigen Flächen eingegeben. Die Ergebnisse von zahlreichen Untersuchungen zum Widerstandsverhalten von durchlässigen und undurchlässigen Flächenanteilen sind in K_{St} -Tabellen in Veröffentlichungen dargestellt.

Die individuellen Abflusskurven einer Haltung werden überlagert und ergeben den zeitvariablen Regenabfluss $Q_r(t)$.

SMUSI

Beim SMUSI wird der Abfluss in den Nebensammlern mit in der Abflusskonzentration der Einzugsgebietsflächen berücksichtigt.

Die Abflusskonzentration wird mit Hilfe von Speicherkaskaden berechnet. Dabei werden Speicheranzahl und Speicherkonstanten in Abhängigkeit von der Art der Teilfläche (kanalisierte Fläche, Außengebiet) variiert.

Für kanalisierte Flächen werden 2 parallele Speicherkaskaden mit jeweils 3 Speichern benutzt. Eine Speicherkaskade berechnet den Abfluss der schnell entwässernden Flächenanteile, die Andere der langsam entwässernden Flächenanteile. Die Aufteilung auf die langsame und die schnelle Kaskade erfolgt mit einer Funktion in Abhängigkeit von der Flächengröße. Der maximale Anteil der langsamen Kaskade beträgt dabei 15%. Die jeweilige Speicherkonstante der beiden Kaskaden ist abhängig von einem festen Faktor (0,25), der längsten Fließzeit im Kanal und der Oberflächenlaufzeit. Die Algorithmen sind im Programm festgelegt. Die Flächengröße A und die längste Fließzeit im Kanal t_f werden eingegeben. Die Oberflächenlaufzeit t_a wird in Abhängigkeit von der Neigungsgröße berechnet.

Für Außengebiete wird ein 3-Kaskaden-Modell mit jeweils 2 Speichern verwendet. Die erste Kaskade berechnet den Abfluss des versiegelten Anteils des Außengebietes. Die Speicherkonstante berechnet sich in Abhängigkeit von der Fließlänge und dem Gefälle des Gebietes. Die zweite und dritte Kaskade berechnet den Abfluss des durchlässigen Anteils des Außengebietes. Die dazugehörigen Speicherkonstanten und das Aufteilungsverhältnis zwischen diesen beiden Speichern ergibt sich aus Funktionen in Abhängigkeit von den Höhenkoten und der Fließlänge des Gebietes.

2.2.4. Konstanter Oberflächenabfluss bzw. Grundlast

DYNA

Der konstante Oberflächenabfluss setzt sich aus dem Schmutz- und Fremdwasserabfluss zusammen. Der Schmutzwasserabfluss setzt sich aus dem häuslichen Schmutzwasserabfluss und dem gewerblichen Abfluss zusammen. Der Fremdwasserabfluss kann als spezifischer Wert [$l/s \cdot ha$] oder als punktueller Zufluss [l/s] angesetzt werden.

SMUSI

Die Grundlast setzt sich aus dem Trockenwetterabfluss (Schmutz- und Fremdwasser) der im Mischsystem entwässerten kanalisiertem EZG und der angeschlossenen Trennsysteme, ggf. Einzeleinleitungen der gewerblichen Wirtschaft oder Überleitungen aus anderen Entwässerungsgebieten und dem Basisabfluss aus Außengebieten zusammen. Für das Fremdwasser und den Basisabfluss können Jahrgänge, für den Schmutzwasseranfall Tagesgänge angegeben werden.

VERGLEICH DYNA-SMUSI

Im Gegensatz zum SMUSI können im DYNA keine Jahregänge und keine Tagesgänge bei den Abflussmengen berücksichtigt werden.

2.3. Abfluss im Kanal und in Sonderbauwerken

2.3.1. Abfluss im Kanal

DYNA

Die Abflussberechnung erfolgt im DYNA mit Hilfe einer Volumenbilanzierung und der Überprüfung der Kontinuitätsbedingung an allen Strecken- und Knotenelementen. Dabei werden dynamische Knotenattribute (z.B. Füllstand am Knoten, Volumen im Volumenelement, Durchflussmengen) und dynamische Streckenattribute (z.B. Wasserstände am Streckenanfang und –ende, Durchflüsse usw.) für die jeweiligen Zeitpunkte ermittelt.

Die Berechnung eines Streckenelementes erfolgt durch direkte Lösung der physikalischen Grundgleichungen, aus denen die St.-Venantschen Differentialgleichungen durch infinitesimalen Grenzübergang abgeleitet werden. Das führt zu einem symmetrischen quadratischen Gleichungssystem mit zwei Unbekannten mit mindestens einer konjugiert komplexen Lösung auf der komplexen Zahlenebene.

Die Knotenelemente definieren die Randbedingungen für das zugrunde liegende Differentialgleichungssystem. In der Knotenpunktsberechnung wird die Volumenänderung und daraus der Wasserstand im Knoten unter Berücksichtigung der Zu- und Abflüsse berechnet. Diese Werte sind für die Berechnung der hydrodynamischen Gleichungen der Streckenelemente des nächsten Zeitschrittes notwendig.

Hydraulische Besonderheiten, z.B. Abstürze, Gefällewechsel, Wehre, Lufteinschluss bei Steilstrecken, Pumpen und Drosselorgane, Durchlässe, HydroStyx-Armaturen, Gerinneabdeckungen (im Bereich der Schächte), und Kennzahlen für die Beurteilung des Ablagerungsverhaltens werden im DYNA besonders berücksichtigt.

SMUSI

Die Abflussganglinien des Trockenwetter- und Regenabflusses werden in einem Element Sammler überlagert und unter Berücksichtigung der Laufzeitverschiebung (Translation) und Dämpfung (Retention) transformiert. Dabei kann der Anwender im SMUSI zwischen zwei Berechnungsmethoden auswählen.

Zum einen die reine Translation. Hierbei wird die Zulaufwelle mit einem zeitlichem Versatz, entsprechend der Fließzeit im Sammler, an das untere Ende der Fließstrecke verschoben.

Zum anderen kann die Wellenablaufberechnung nach Kalinin-Miljukov angewendet werden. Bei diesem Näherungsverfahren wird zunächst die charakteristische Länge in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser und Sohlgefälle bestimmt. Danach wird die Retentionskonstante in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge, dem Rohrdurchmesser und der scheinbaren Abflussleistung des Rohres (berechnet nach Prandtl-Colebrook in Abhängigkeit von der Querschnittsfläche des Profils, der kinematischen Viskosität, der Betriebsrauigkeit und der Erdbeschleunigung) berechnet. Die Transportstrecke wird in n gleichlange Sammler unterteilt. Danach wird der Abfluss am unteren Sammler nach n -fachen Durchlaufen der Rekursionsformel berechnet. Der Abfluss ist dabei abhängig von den jeweiligen Zu- und Abflüssen der Berechnungsabschnitte, den jeweiligen Speicherkonstanten und dem Berechnungsintervall.

Dieses Näherungsverfahren ist nichts anderes als die bei der Abflusskonzentration verwendete Speicherkaskade mit n Speichern und der Speicherkonstante.

Bei diesem Verfahren ist eine vereinfachte Rückstauberechnung an einem Sonderbauwerk möglich. Hierbei wird das durch einen horizontalen Schnitt durch das oberhalb liegende Netz ermittelte Rückstauvolumen im Kanal der Speicherkennlinie des Bauwerks hinzuaddiert.

2.3.2. Berechnungsansätze zur Aufteilung an Bauwerken (Verzweigung oder Entlastungsbauwerk) und zur Speicherung

DYNA

Im DYNA werden Aufteilungen und Speicherungen an Sonderbauwerken auf Grundlage von detailliert angegebenen Bauwerksdaten ermittelt. Die Sonderbauwerke werden wie normale Schächte mit größerer Grundfläche unter Berücksichtigung von Besonderheiten (konstante Abflüsse, Pumpen, Wehre) berechnet. Es sind folgende Bauwerkstypen implementiert:

- Verzweigungen: Der Zu- und Abfluss wird durch Geometrie und Lage der angrenzenden Profile bestimmt. Örtliche Verluste werden über den Borda-Carnot Effekt eingerechnet. Für DYNA ist eine Verzweigung nichts anders als ein Zusammenfluss mit umgekehrtem Vorzeichen. Bei bekannter Geometrie ist es nicht notwendig eine Verzweigung als eigenes Sonderbauwerk zu definieren.
- Pumpwerke können auf zweierlei verschiedene Arten definiert werden:
 - Als Zu- bzw. Abfluss zu bzw. von einem Regenbecken oder Kanalstauraum mit einer definierten Pumpleistung ins ober- bzw. unterhalb liegende Netz.
 - Als ideales Pumpwerk, bei dem die gesamte ankommende Wassermenge über eine als Haltung definierte Druckrohrleitung abgeführt wird.
- Regenüberläufe: Werden als Verzweigungen (mit oder ohne Wehrschwelle) oder als Regenüberlaufbecken (RÜB) mit kleinem Volumen oder als Sonderbauwerk mit Streichwehr eingegeben.

- Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle: Sonderbauwerke mit variabler Grundfläche und Sohle und mit maximal 2 Überläufen sowie Variation zwischen Beckendurchfluss der gesamten bzw. einem Teil der Mischwassermenge. Der Drosselabfluss wird hydrodynamisch berechnet oder als konstanter Abfluss bzw. kritische Regenspense angegeben.
- Flutkurven und Außengebiete: Dienen der pauschalierten Erfassung und Einbeziehung größerer Einzugsgebiete ohne genaue Erfassung des Kanalnetzes. Es können Zuflussganglinien aus FLUT (hydrologisches Berechnungsprogramm) oder selbstdefinierte Zuflüsse und Einleitungen an beliebigen isolierten Anfangsknoten im Netz erfolgen.
- Ausläufe können mit 3 verschiedenen Ansätzen berechnet werden: Als Normalabfluss bei künstlicher Unterbrechung des Kanalnetzes, als Absturz (mit Auslaufverlusten) mit dem Minimum aus Normal- oder Grenzabfluss und über einen beliebigen Vorfluterwasserstand.

Im DYNA können zusätzlich folgende Elemente berücksichtigt werden:

- HydroStyx-Armaturen
- Gerinneabdeckungen in Schächten

SMUSI

Die Berechnung der Aufteilung des Zuflusses in Bauwerken (Verzweigungsbauwerke oder Entlastungen) kann im SMUSI mit drei Berechnungsmethoden erfolgen:

- Schwellenwertmethode (Beaufschlagung des zweiten Ablaufs erst ab dem kritischen Zufluss, bei dem der erste Ablauf bis zur Überlaufschwelle zurückstaut.
- Berechnung mit benutzerdefinierten Kennlinien: Hierbei muß der Anwender die funktionale Abhängigkeit (Wertetabelle) zwischen dem Abfluss im 1. Ablauf und dem Zufluss angeben (resultierend aus hydraulischen Berechnungen).
- Automatische Kennlinienberechnung in Anlehnung an DWA Arbeitsblatt A-111: Dabei wird von definierten einfachen geometrischen Verhältnissen ausgegangen. Zudem werden einige Annahmen zugrunde gelegt (z.B. konstanter Energiehöhe im Bauwerk, stationäre Verhältnisse, kein schießender Abfluss, d.h. kein Wechselsprung im Bauwerk). Der Drosselabfluss der Rohrdrossel wird iterativ nach Prandtl-Colebrook berechnet oder durch Angabe einer Drosselkennlinie (für Drosselorgane), der Entlastungsabfluss wird nach der Poleni-Formel berechnet.

Im SMUSI können folgende Berechnungsansätze zur Speicherung in Regenrückhaltebecken (RRB) oder Regenüberlaufbecken genutzt werden:

- Schnittprinzip: stark vereinfachte Abflussaufteilung in Drosselabfluss, Speicherung und Entlastung in Abhängigkeit von der Erreichung von Schwellenwerten.
- Berechnung mit benutzerdefinierten Kennlinien: Ganglinien zur Abflussaufteilung in Drosselabfluss, Speicherung und Entlastung werden vom Anwender in Histogrammform (d.h. konstant über das Zeitintervall) vorgegeben.

- Automatische Kennlinienberechnung: Unter Beachtung bestimmter Annahmen (Geometrien, Höhenkoten) werden die Kennlinien anhand geometrischer Kenngrößen des jeweiligen Bauwerks durch hydraulische Berechnungen ermittelt. Der Drosselabfluss wird iterativ nach Prandtl-Colebrook, die einzelnen Überfälle nach Poleni berechnet.

Im SMUSI können zusätzlich folgende Anlagen berücksichtigt werden:

- Bodenfilteranlagen
- Versickerungsbecken
- Brauchwassernutzungsanlagen

2.4. Berechnung der Entlastungsfrachten

DYNA hat ein grundsätzlich anderes Konzept zur Berechnung der Entlastungsfrachten als SMUSI. Im DYNA können alle im SMUSI berücksichtigten Schmutzparameter, z.B. CSB, TOC, berücksichtigt werden. Die Entlastungsfrachten ergeben sich durch eine Mischungsrechnung auf Grundlage der Eingabe der Konzentrationen im Schmutzwasser, im gewerblichen Abwasser, im Fremdwasser, im Regenwasser, das in den Mischwasserkanal geleitet wird, und im Regenwasser, das in den Regenwasserkanal geleitet wird.

Für die für die Ermittlung der Entlastungsfrachten durchgeführte Mischungsrechnung stehen im DYNA drei Arten zur Verfügung: 1. Schwache Durchmischung: Während einer Entlastung wird das Trockenwettervolumen ins Verhältnis zum Gesamtvolumen gesetzt. Bei der entlasteten Abflussmenge wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis von Trockenwetterabfluss zu Gesamtentlastungsmenge dem zuvor berechneten Verhältnis entspricht. Daraus errechnet sich dann die entsprechende Menge des Schmutzstoffes. 2. Starke Durchmischung: Das Verhältnis von Trockenwettervolumen zum Gesamtvolumen wird für die Zeitintervalle berechnet für die Vollerfüllung an der Abflusshaltung herrscht. Durch diesen - gegenüber dem Entlastungszeitraum erheblich längeren - Zeitraum erfolgt eine stärkere Durchmischung. 3. Differenzierte Durchmischung: Bei einer untenliegenden Entlastung wird mit schwacher Durchmischung gerechnet. In allen anderen Fällen mit starker Durchmischung.

3. Anwendungsbeispiel Netz Hungen

Als Anwendungsbeispiel wurde das Kanalnetz der Stadt Hungen in Hessen gewählt. Hier ist momentan ein Nachweis der Mischwasserbehandlung in Bearbeitung, d.h. es standen aktuelle SMUSI-Daten zur Verfügung. Der SMUSI-Datensatz, ergänzende Daten zu den Sonderbauwerken (Schwellenhöhen, Schwellenlängen), eine ISYBAU-k-Datei und weitere Informationen wurden vom Abwasser Abwasserverband Hungen zur Verfügung gestellt. Ergänzend wurden vom Ingenieurbüro Müller IGM, Grünberg, Daten zu den Sonderbauwerken und weitere Informationen zur Verfügung gestellt.

3.1. SMUSI-Simulation

Der Datensatz des Netzes vom Abwasserverband Hungen wurde ins Programm SMUSI eingelesen. Zunächst war eine Orientierung über das Netz mit Hilfe des grafischen Systemeditors im SMUSI vorgesehen. Dies hätte jedoch die Überarbeitung der grafischen Darstellung erfordert. Statt dessen wurde zur grafischen Übersicht über Bauwerke und Netzverknüpfungen der Systemplan vom Ingenieurbüro Müller verwendet.

3.2. Verwendete Niederschlagsbelastungen für die Simulationen

Für die Simulationen mit DYNA und SMUSI wurde zum einen die 9-monatige hessische Niederschlagsreihe von 1968, zum anderen daraus isolierte Einzelereignisse verwendet.

In Abbildung 1 sind die Anteile der Regenereignisse an der Gesamtentlastungswassermenge dargestellt. Dabei wurde das sehr große Ereignis am 15.06.68 nicht berücksichtigt.

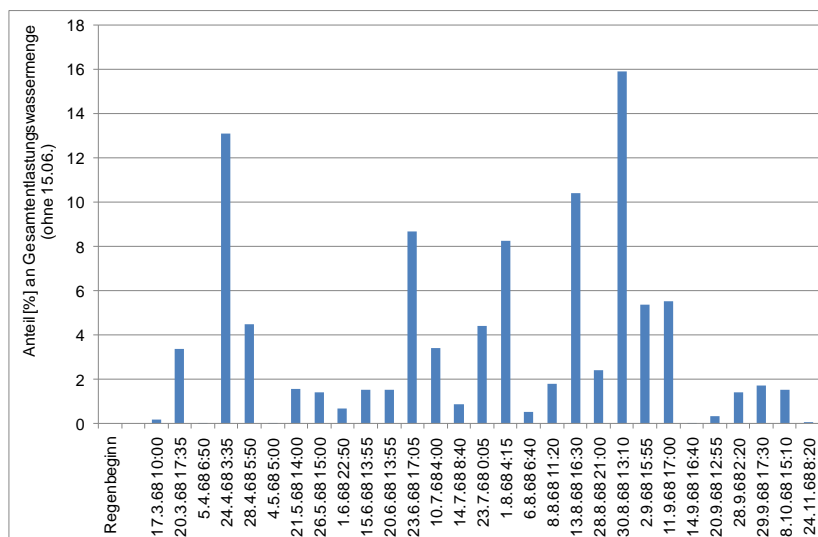


Abbildung 1: Anteil der Regenereignisse an der Gesamtentlastungswassermenge, ohne Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses am 15.06.68

In Abbildung 2 sind die selben Niederschlagsereignisse dargestellt wie in Abbildung 1, also alle Niederschlagsereignisse (außer das vom 15.06), die zu einer Entlastung führen, jedoch in einer nach der Entlastungswassermenge sortierten Reihenfolge.

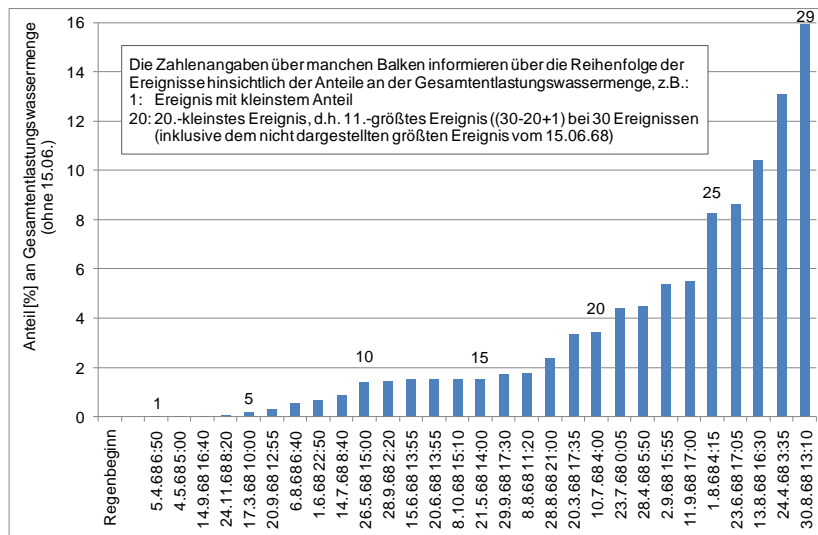


Abbildung 2: Anteil der Regenereignisse an der Gesamtentlastungswassermenge, ohne Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses am 15.06.68, nach Größe sortiert

3.3. Erstellung des Netzmodells Hungen im K++ auf Grundlage der SMUSI-Datensätze

Unterschiede in der Datenbasis SMUSI-DYNA:

- SMUSI-Daten enthalten keine Koordinaten, nicht alle Haltungen enthalten Sohlhöhen -> Auslesen einer für K++/DYNA verwendbaren ISYBAU-k-Datei aus SMUSI war nicht möglich.
- SMUSI-Daten der Sonderbauwerke enthalten im verwendeten Modell keine Schwellenhöhen und, außer ein Becken, keine Beckenvolumenkennlinien.

Vorgehen bei der Netzerstellung im K++

- ISYBAU-Daten des Netzes Hungen (k-Datei) wurden ins Kanal++ (K++) eingelesen.
- Manuelles Einfügen der Anfangs- und Endschächte der SMUSI-Sammler (Grobnetz) in das K++ in Anlehnung an die Ortslage der Schächte aus der ISYBAU-Datei.
- Erstellung der SMUSI-Haltungen im K++ vom vorab eingegebenen Anfangs- zum Endschacht, Übernahme von Bezeichnungen, Durchmessern, Längen aus SMUSI-Datensatz.
- Umwandlung der entsprechenden Schächte im K++ in Sonderbauwerke (Eintrag der Zu- und Abflüsse, weiterer Informationen der Sonderbauwerke aus SMUSI-Angaben).

- Ergänzung der Sonderbauwerksdaten im K++ um die für eine K++-Berechnung notwendigen Daten, die nicht in den SMUSI-Datensätzen vorhanden sind (Schwellenhöhe, Schwellenlänge).
- Anpassung der Speichervolumen der Regenüberlaufbecken (RÜB), Stauraumkanäle (SRK) und Regenüberläufe (RÜ) in K++ an die Daten des SMUSI-Datensatzes. **REGENÜBERLÄUFE:** Da die RÜs im SMUSI-Datensatz kein Stauraumvolumen enthalten, wurden die Sohlhöhen der den RÜs zulaufenden Kanalhaltungen höher gesetzt. Somit wurde ausgeschlossen, dass bei der Berechnung mit DYNA im Gegensatz zur SMUSI-Berechnung Rückstau-Kanalvolumen berücksichtigt wird. **REGENÜBERLAUFBECKEN UND STAURAUMLÄUFE:** Das Volumen der RÜBs und SRK setzt sich im DYNA aus dem Volumen des Sonderbauwerks selbst und dem Volumen, das durch Rückstau in den Kanal entsteht, zusammen. Dies wurde bei der Volumeneingabe im K++ berücksichtigt. Bei den Becken und SRK, die am Beginn des Netzes liegen (keine zulaufende Kanalhaltung von oberhalb, außer die „fiktiven“ Haltungen (die eingefügt wurden um die Flächen anzuschließen, Erklärung im nachfolgenden Punkt dieser Aufzählung) wurde teilweise wie bei den RÜs verfahren, d.h. die Sohlhöhen der Zulaufkanäle wurden so hoch angesetzt, dass ein Rückstau in die Zulaufkanäle (in der DYNA-Simulation) verhindert wird. Bei den Zulaufkanälen der anderen RÜBs und SRK, die am Beginn des Netzes liegen und bei den RÜBs und KSR, die nicht am Beginn des Netzes liegen wurde das maximale Rückstauvolumen der Zulaufhaltungen bis zur Schwellenoberkante berechnet. Durch Abzug dieses Rückstauvolumens vom Gesamtvolumen wurde das im Sonderbauwerk anzugebende Speichervolumen mit Excel berechnet. Dieses wurde durch Vergrößerung des Sonderbauwerksradius in das Modell eingefügt. Der notwendige Radius wurde aus dem Speichervolumen und der Differenz zwischen Sohl- und Schwellenhöhe mit Excel berechnet.
- Im SMUSI werden die Flächen direkt an die Sonderbauwerke angeschlossen. Die Anbindung der Flächen erfolgt im K++ über die Haltungen und zwar verteilt über die gesamte Haltungslänge. Aus diesem Grunde mußten im K++ „fiktive“ Haltungen zur Anbindung der Einzugsgebietsflächen eingefügt werden. An diese wurden die Außengebietsflächen, kanalisierten Flächen und Trenngebietsflächen mit den aus dem SMUSI-Datensatz übernommen Werten (Flächengröße, Versiegelungsgrad, Einwohnerzahlen, spezifischer Wasserverbrauch usw.) angeschlossen.
- Die Kennlinie des im SMUSI mit Kennlinie aufgeführten Stauraumkanals B80 wurde im DYNA nicht beachtet. Das Gesamtvolumen bis zur Schwelle, mit Abzug des Rückstauvolumens der davorliegenden Haltung bis zur Wehrschwelle, wurde in den Schacht (DYNA-Sonderbauwerk Typ 62 Abflussregulierung mit Wehrkrone) integriert.

3.4. Allgemeines Angaben zur Simulation im SMUSI

Für den Nachweis der Mischwasserbehandlung in Hessen werden im SMUSI folgende allgemeine Angaben verwendet (siehe auch Abbildung 3):

- Echte Regenreihen: nein, hessische repräsentative Regenreihen: ja
- Rückstau: nein (wenn mit Rückstau gearbeitet wird, dann sind unbedingt die für die Ermittlung des aktivierbaren Rückstauvolumens notwendigen korrekten Sohlhöhen anzugeben)
- Urbane Verdunstung: ja (im Anwendungsfall teilweise mit, teilweise ohne urbane Verdunstung gerechnet)
- Exportverzeichnung und Datensatzname angegeben

- Anfangsbedingungen: Beckenfüllung = 0%, Anfangsverlust = 0%
- Muldenverluste: 1,5/1,0/0,5/0,5
- Absetzklassen von AFS in Becken 5/15/25/60
- An AFS gebundene Absetzwirkung 100/35/30/30/0/0

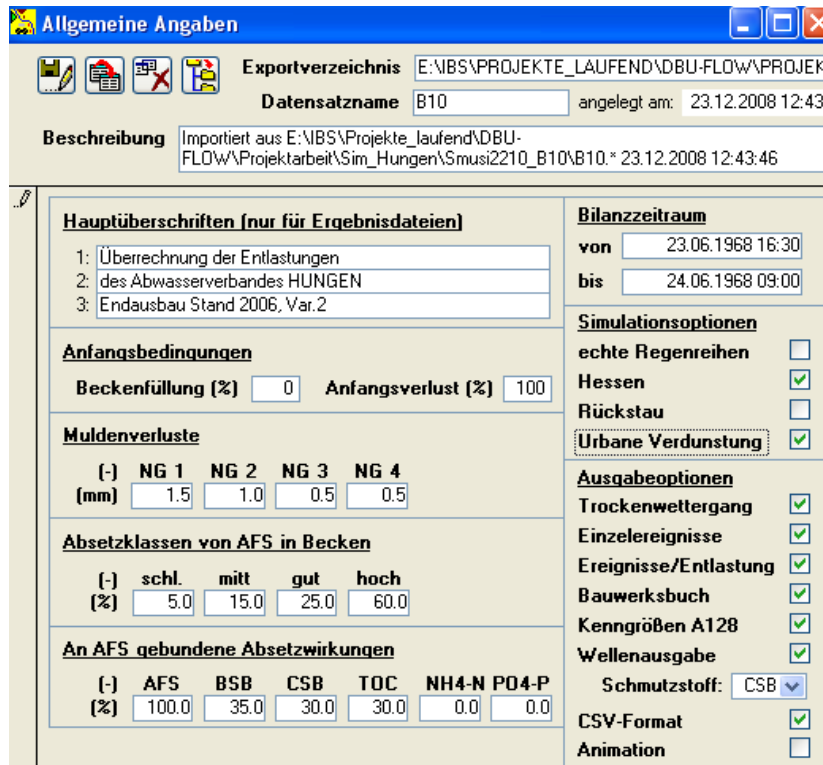


Abbildung 3: Allgemeine Angaben der SMUSI-Berechnung

3.5. Ermittlung der Einstellungen im K++ anhand von Beispielflächen und Beispiелеlementen

Zunächst werden für jedes im SMUSI-Netzmodell vorkommende Flächenelement (Außengebiet, Trenngebiet, kanalisierte Fläche) die Einstellungen im K++ anhand von Beispielflächen ermittelt. Dafür werden die Flächen A10, T10 und F11 verwendet. Diese Flächen sind, zusammen mit dem Becken B10, in einem Ausschnitt aus der Systemskizze in Abbildung 4 dargestellt. T10 ist dabei rot gezeichnet, weil es sich um eine geplante Fläche handelt.

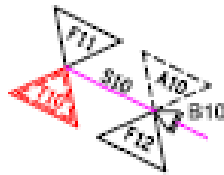


Abbildung 4: Die Flächen A10, T10 und F11 in einem Ausschnitt aus der Systemskizze

Im folgenden werden beispielhaft einige Simulationsergebnisse dargestellt.

3.5.1. Außengebietsfläche A10

Zunächst wurden SMUSI- und DYNA-Berechnungen mit der Fläche A10 durchgeführt. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus der Maske Systemlogik im SMUSI.

Identifikation			Systemlogik				Rückstau	Ereig.	Entl. BW-Buch	Welle
Nr.	Beschreibung	Kenntung	Zul. 1	Zul. 2	Zul. 3	Abl. 1	Abl. 2	ausschalten	auswählen	
1		F11				S10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2		T10				S10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3		A10				B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4		F12				B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5		S10	F11	T10		B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Langsdorf RUEB	B10	A10	F12	S10	S11		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7		S11	B10			KLA		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Klaeranlage	KLA	S11					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 5: Die Fläche A10 in der Systemlogik im SMUSI

Abbildung 6 stellt die Angaben zur Fläche A10 in der Maske Außengebiete/Übersicht im SMUSI dar.

Elementname	Kenntung gibt nach	A [ha]	VG [-]	CN [%]	Ho [müNN]	Hu [müNN]	L [m]	qB [l/sqkm]	KJ B [-]	R [-]
A10	B10	18.26	0.000	69	189.00	170.00	725.0	0.000		4

Abbildung 6: Angaben zur Fläche A10 in der Maske Außengebiete/Übersicht im SMUSI

Die Flächen F11 und T10 leiten in den Sammler S10 ein, A10 leitet mit F12 direkt in das Bauwerk B10 ein (siehe auch Abbildung 4). Das SMUSI-Datenblatt des Sammlers S10 ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: SMUSI-Datenblatt des Sammlers S10

In Abbildung 8 ist die Modellierung des Teilsystems im Bereich der Außengebietsfläche A10 und die zugehörigen Werte im K++ dargestellt. Die Fläche A10 selbst ist nicht zu sehen, da sie, wie alle aus dem SMUSI übertragenen Flächen, als nichtgrafische Fläche eingegeben wurde. FiktivS10_2 ist ein Auslass der temporär für die Berechnung des Teilsystems eingefügt wurde.

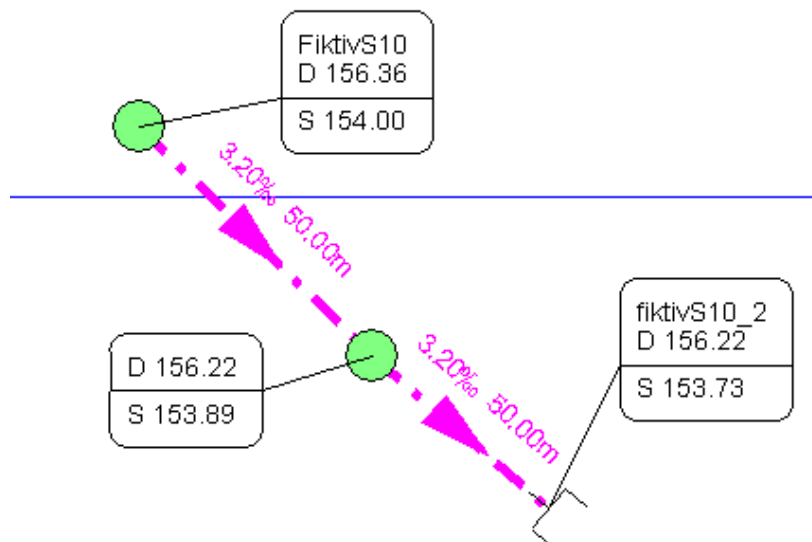


Abbildung 8: Die Haltungen S10 im K++ (Ausschnitt aus grafischer K++-Darstellung)

Abbildung 9 bis Abbildung 13 zeigen Datenblätter der Haltung S10 und Einstellungen der Oberflächenabflussparameter bei der Simulation der Fläche A10 im Teilsystem.

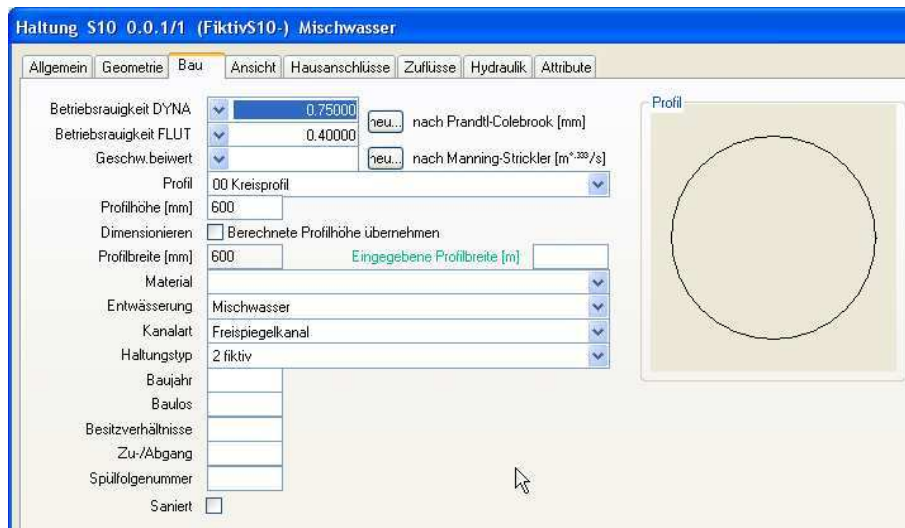


Abbildung 9: Die Haltung S10 im K++ (Datenblatt Bau)

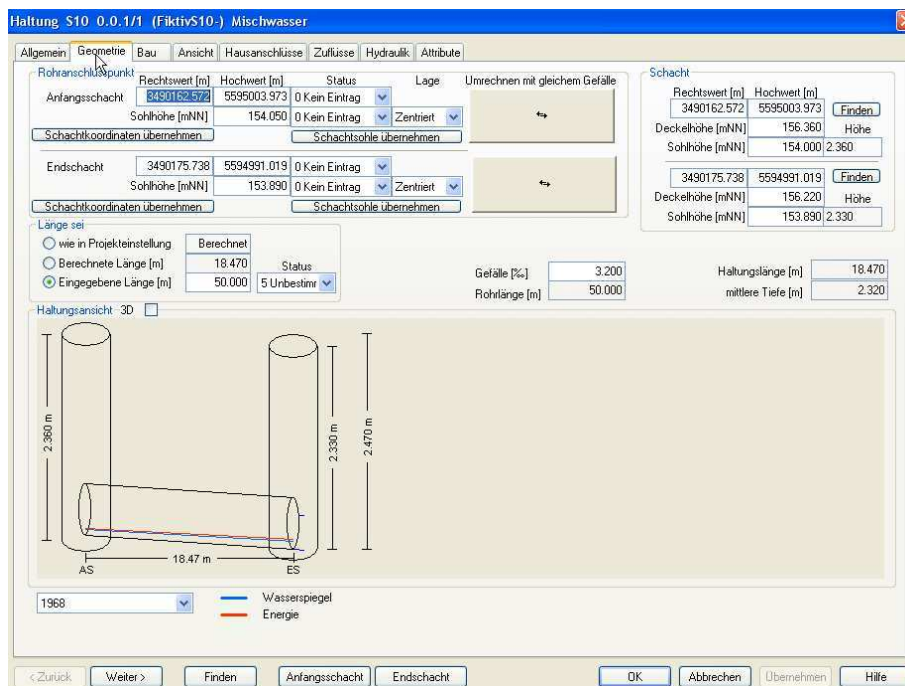


Abbildung 10: Die Haltung S10 im K++ (Datenblatt Geometrie)

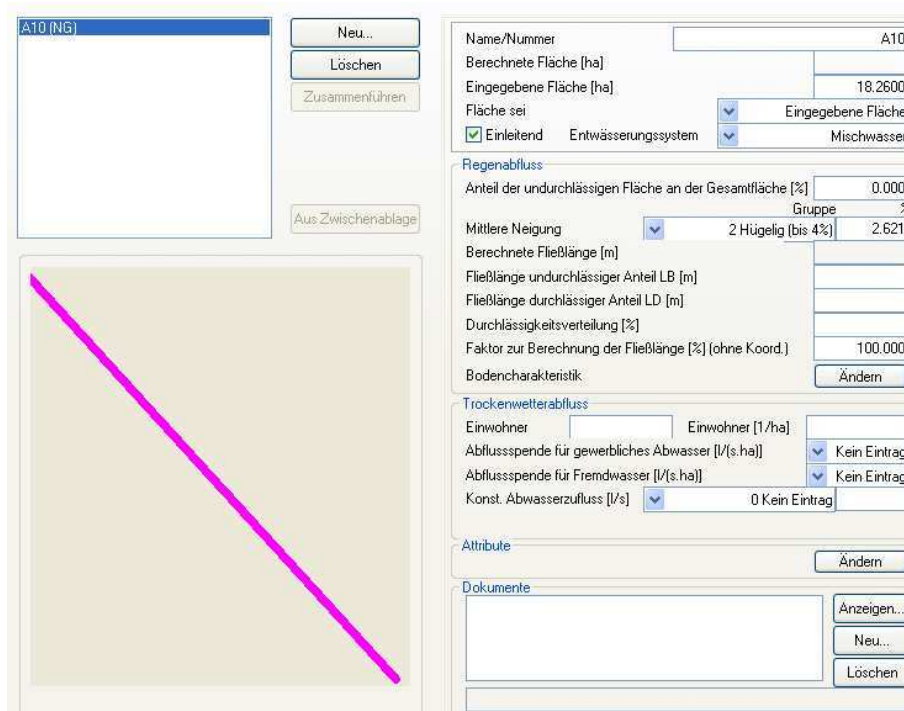


Abbildung 11: Die Haltung S10 im K++ (Datenblatt Zuflüsse)

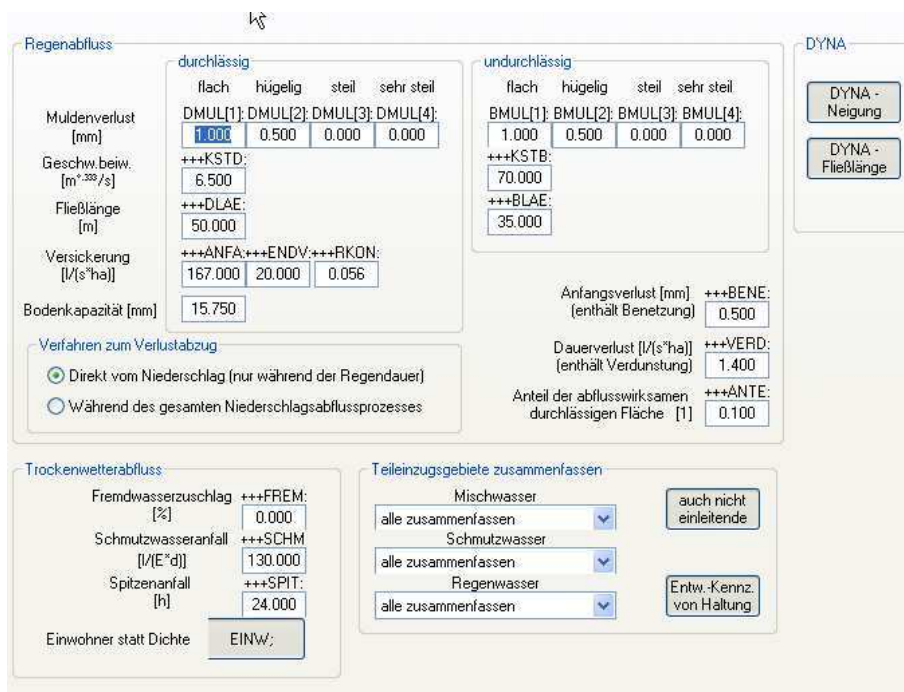


Abbildung 12: Einstellungen im K++ (bei der Berechnung der Fläche A10)

Haltung S10 0.0.1/1 (FiktivS10-) Mischwasser

Allgemein | Geometrie | Bau | Ansicht | Hausanschlüsse | Zuflüsse | **Hydraulik** | Attribute

Zuordnung
 Variante: **1333** Letzte Berechnung: 18.12.2008 09:57:15

Stationär

Summierte Haltungslänge [m]	50.000	Betriebsrauhigkeit Kb [mm]	0.750	15-Min-Regenzufluss [l/s]	0.000
Summierte Einzugsgebietsfläche [ha]	18.260	Schmutzwasserabfluss [l/s]	0.000	Sum. 15-Min-Regenabfluss [l/s]	0.000
Summe undurchlässiges Einzugsgebiet [ha]	0.000	Trockenwetterabfluss [l/s]	0.000	Kritischer Regenabfluss [l/s]	0.000
Deckelhöhe Anfangsschacht [mNN]	156.360	Trockenwetterfließzeit/Sum. [min]	2.778	Belastungsgrad [%]	7.000
Deckelhöhe Endschacht [mNN]	156.220	h Trockenwetter [cm]	0.000	Erforderliche Profilhöhe [mm]	
Vollfüllungsleistung [l/s]	130.000	v Trockenwetter [m/s]	0.300	Erforderliches Gefälle [%]	0.020
Vollfüllungsgeschwindigkeit [m/s]	1.000	v Mischwasser [m/s]	0.460	Erforderliche Druckhöhe [cm]	-16.000
Vollfüllungsfließzeit [min]	0.833	h Mischwasser [cm]	9.000	Reserviert	

Instationär

Maximaler Regenabfluss [l/s]	9.500	Energiehöhe Anfang [mNN]	154.130	Froudezahl	0.740
Maximaler Mischwasserabfluss [l/s]	9.500	Energiehöhe Ende [mNN]	154.010	Fließzustand	+
Zeitpunkt [min]	102.000	Wasserspiegel Anfang [mNN]	154.125	Kritischer Wasserspiegel	
Maßgeblicher Regen für Qmax	43	Wasserspiegel Ende [mNN]	153.990	Zeitpunkt Hmax [min]	101.970
Überstau Anfang [m]	-2.235	Wasserstand Anfang [m]	0.075	Durchflußvolumen [m³]	193.9
Überstau Ende [m]	-2.230	Wasserstand Ende [m]	0.100	Maß. Regen f. Durchflußvolumen	43

Schleppspannungswerte zum Zeitpunkt des maximalen Abflusses

	N/m²	Regen	Kst [m**(1/3)/s]	Energielinief. [%]
Minimales Schleppspannungmaximum	1.181	0.120	43	0.052
Maximales Schleppspannungmaximum	1.181	0.120	43	0.052

Hydr. Radius [m] | Füllstand [m] | Gefälle [%]

Schleppspannungswerte

Maximale Schleppspannung	1.193	N/m²	Regen	43	Kennzahl Ablagerungsgefahr	0.940
Schleppspannung bei Trockenwetter	0.000	N/m²	Zeitpunkt	102.6	Schmutzpotal relativ/spezifisch	

Abbildung 13: Die Haltung S10 im K++ (Datenblatt Hydraulik)

In den folgenden Abbildungen sind einige mit SMUSI und DYNA berechnete Ganglinien des Abflusses von der Fläche A10 dargestellt. Für diese Berechnung wurde als Zufluss in den Sammler S10 ausschließlich die Fläche A10 simuliert, F11, F12 und T10 wurden nicht berücksichtigt. In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind die im SMUSI und im DYNA simulierten Abflüsse der Fläche A10 für die Ereignisse am 15.06.68 und am 23.06.68 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die DYNA-Abflussganglinien nach Durchlaufen des 50 m langen Sammlers S10 abgegriffen wurde.

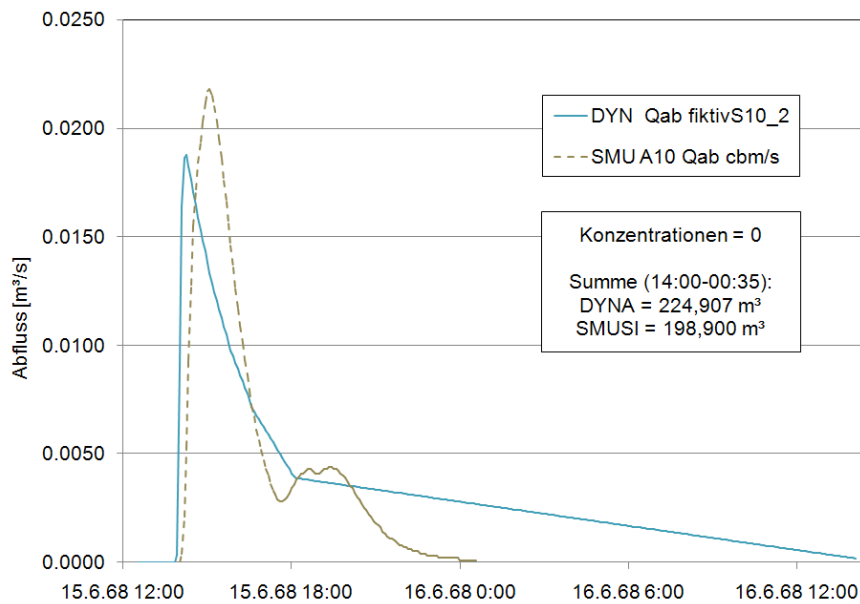


Abbildung 14: Abfluss von der Außengebietsfläche A10 beim Ereignis am 15.06.68 mit aufsummierten Abflusswassermengen (DYNA und SMUSI)

Es ist zu erkennen, dass die Abflussganglinien beim Ereignis am 15.06.68 einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Die über den Zeitraum von 14:00 bis 00:35 aufsummierten Abflussmengen liegen bei DYNA um 13% höher als im SMUSI. Die Schmutzkonzentrationen in bei den SMUSI- und DYNA-Simulationen sind Null, da es sich um Außengebietsflächen handelt.

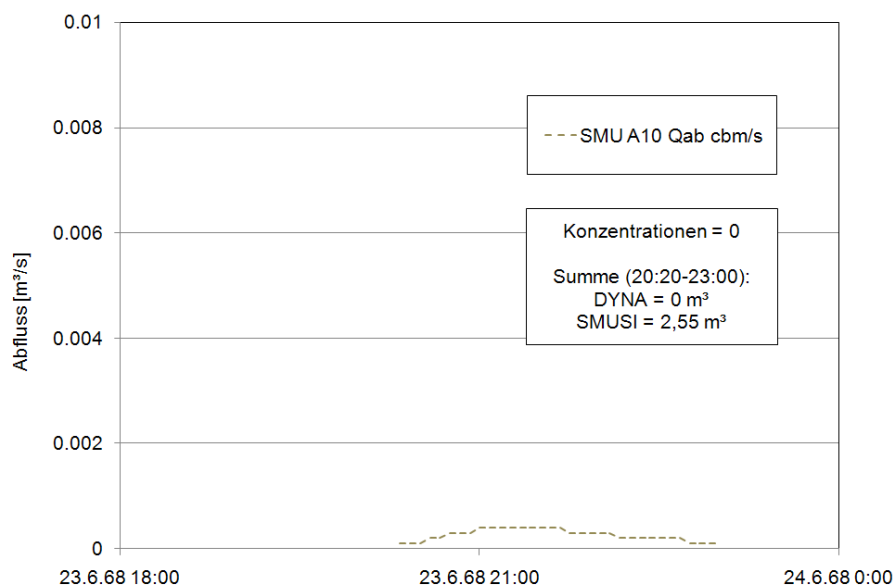


Abbildung 15: Abfluss von der Außengebietsfläche A10 beim Ereignis am 23.06.68 mit aufsummierten Abflusswassermengen (DYNA und SMUSI)

Der Abfluss von A10 beim Ereignis am 23.06.1968 beträgt im DYNA Null, bei SMUSI tritt ein geringer Abfluss auf. Die Abflüsse von A10 beim Ereignis am 21.03.1968 und am 24.11.1968 betragen bei den Simulationen mit DYNA und SMUSI Null.

3.5.2. Trenngebiet T10

Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigt die in den SMUSI-Berechnungen benutzten Werte des Trenngebietes T10. Abbildung 18 zeigt ein DYNA-Datenblatt des Gebietes T10.

Abbildung 16: SMUSI-Datenblatt Trenngebiete von Trenngebietsfläche T10

Nr.	Identifikation		Systemlogik					Rückstau	Ereig./Entf. BW-Buch	Welle
	Beschreibung	Kennung	Zul. 1	Zul. 2	Zul. 3	Abl. 1	Abl. 2	<input type="checkbox"/> ausschalten	<input checked="" type="checkbox"/> auswählen	<input checked="" type="checkbox"/>
1		F11				S10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2		T10				S10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3		A10				B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4		F12				B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5		S10	F11	T10		B10		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Langsdorf RUEB	B10	A10	F12	S10	S11		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7		S11	B10			KLA		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Klaeranlage	KLA	S11					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 17: Die Fläche T10 in der Systemlogik im SMUSI

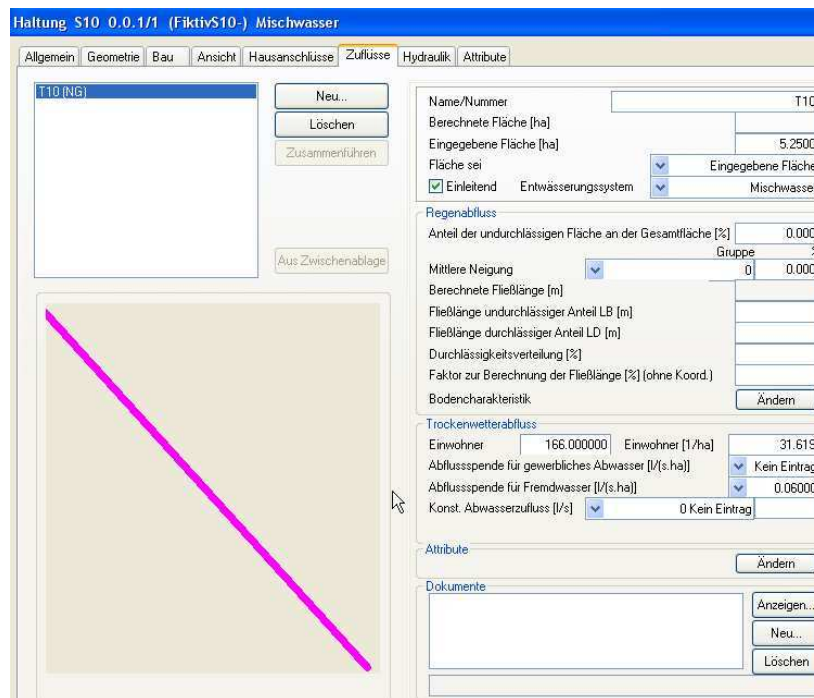


Abbildung 18: Die Trenngebiet T10 im K++ (Datenblatt Zuflüsse)

Damit im DYNA der Niederschlagsabfluss bei den Trenngebieten nicht berücksichtigt wird, wurde der Anteil der undurchlässigen Fläche mit 0 % und gleichzeitig die mittlere Neigung mit 0 angegeben (siehe Abbildung 18). In Abbildung 19, der Darstellung der Simulationsergebnisse für den 16.06.68 mit beiden Programmen, ist zu erkennen, dass in der Berechnung im SMSUSI im Gegensatz zur Berechnung mit DYNA eine Tagesganglinie berücksichtigt wurde. Eine Eingabe einer Volumen-Tagesganglinie im DYNA ist nicht möglich.

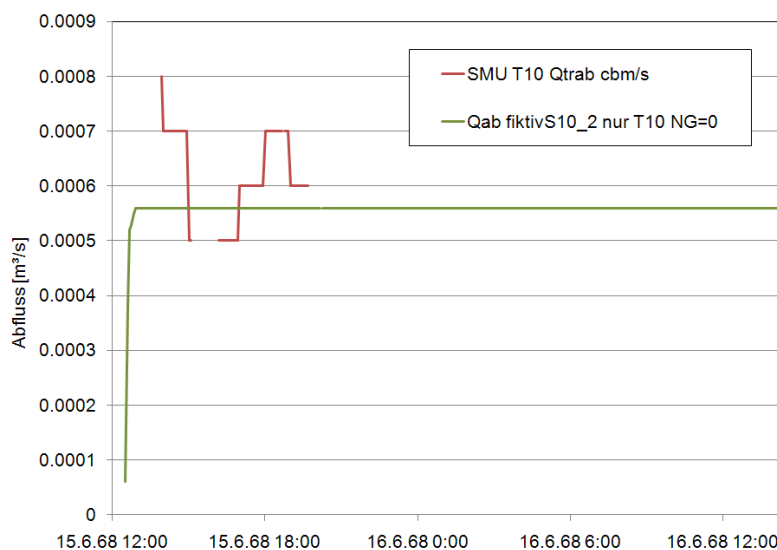


Abbildung 19: Abflussganglinien von der Außengebietsfläche T10 (DYNA und SMUSI)

CSB-Frachten können an diesem kleinen Teilgebiet nicht verglichen werden, da im DYNA-Teilgebietsmodell keine Entlastung vorhanden ist und die Schmutzfrachten im DYNA nur an den Entlastungsanlagen ausgegeben werden.

3.5.3. Kanalisierte Fläche F11

In den folgenden Abbildungen sind die DYNA-Eingabewerte betreffend der kanalisiert Fläche F11 dargestellt.

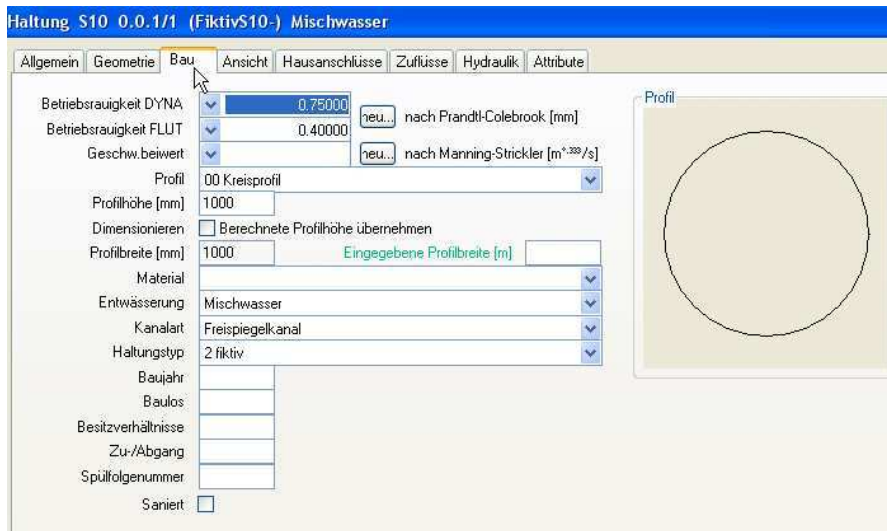


Abbildung 20: DYNA-Datenblatt Haltung Bau der Haltung S10

Ab der Berechnung der Fläche F11 wird der Durchmesser der Haltung S10 auf DN 1000 erhöht, da bei der Simulation mit F11 Rückstau in dieser Haltung aufgetreten ist. Mit dem größeren Durchmesser tritt kein Rückstau mehr auf. Die bisherigen Berechnung für das Außengebiet A10 und das Trenngebiet T10 werden bzgl. der Durchmesseränderung nicht erneut gerechnet, da der Abfluss von A10 und T10 derart gering ist, dass kein Rückstau auftritt.

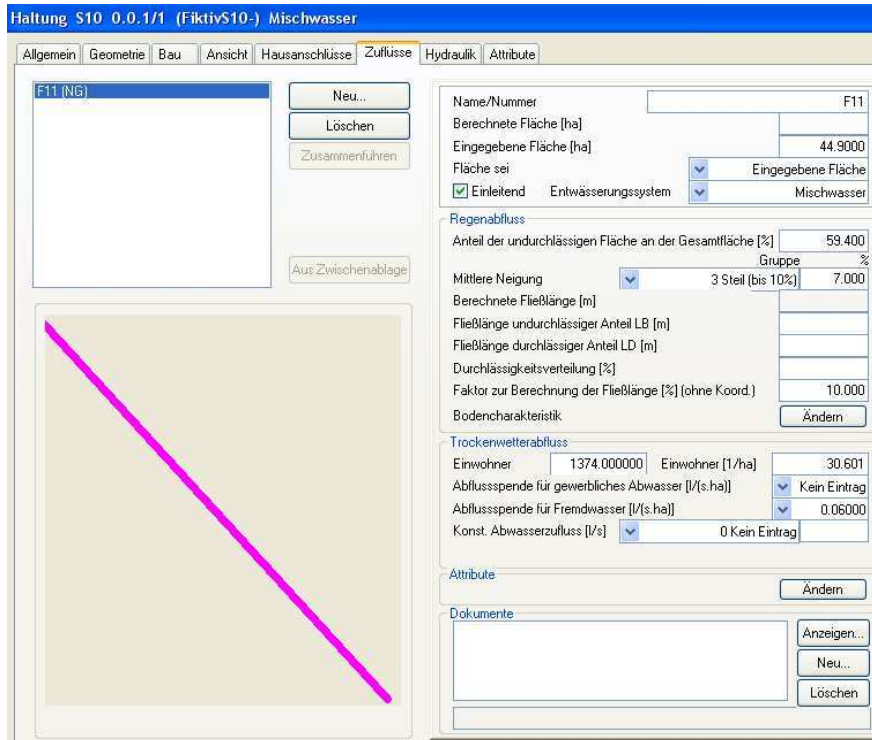


Abbildung 21: DYNA-Datenblatt Haltung Zuflüsse der Haltung S10

Die Abflussganglinien der SMUSI- und DYNA-Simulationen der Fläche F11 (Abbildung 22) sind für das Ereignis am 24.06.68 sehr ähnlich, wenn im DYNA ein Faktor zur Berechnung der Fließlänge von 10 verwendet wird. Die Übereinstimmung bei einem Faktor von 100 ist schlechter.

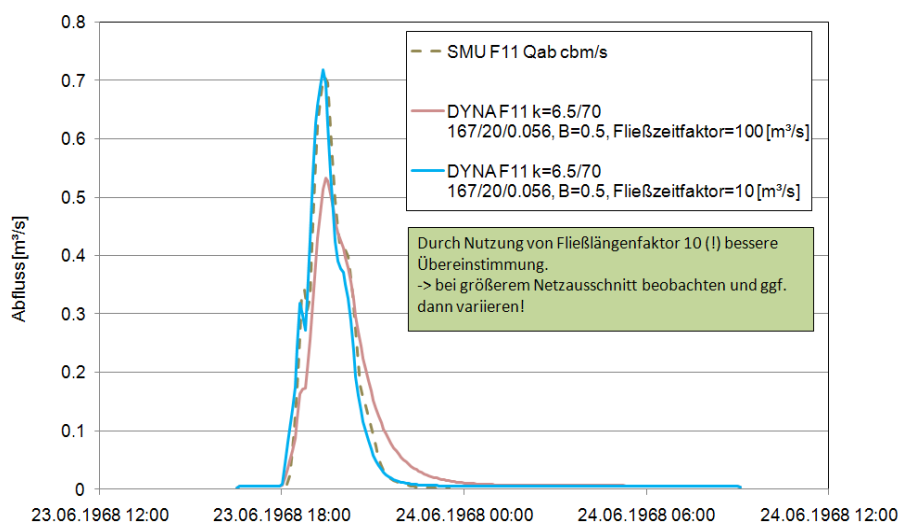


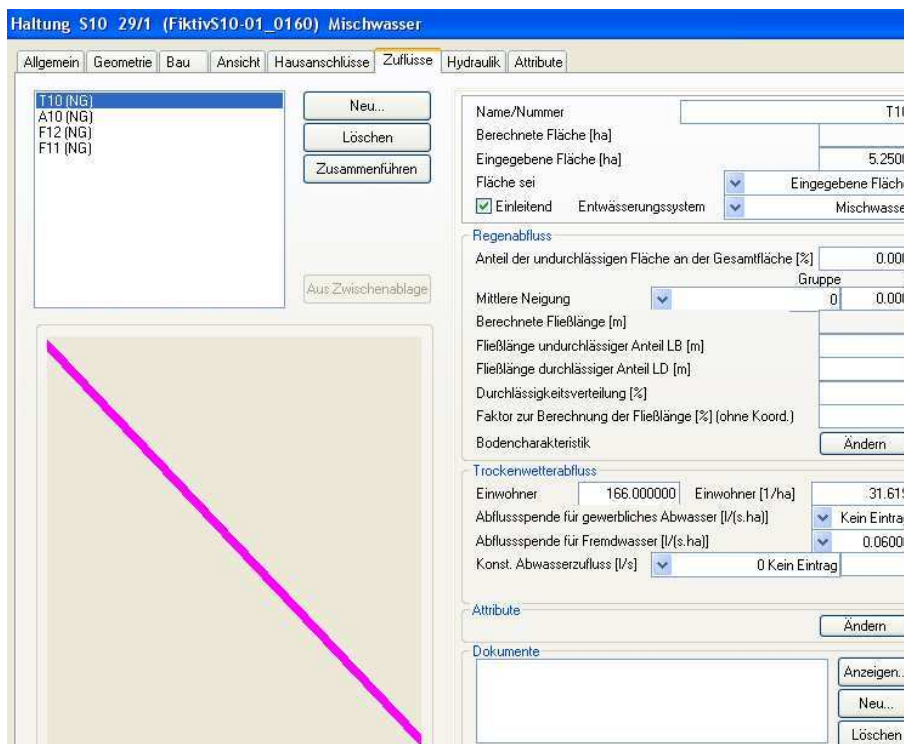
Abbildung 22: Abflussganglinien von der Fläche F11 (DYNA und SMUSI) für das Ereignis am 24.06.68

Der Vergleich der CSB-Schmutzfrachtganglinien ist nicht möglich, da von K++/DYNA/FLOW im Gegensatz zum SMUSI keine Schmutzfracht- oder Konzentrationsganglinie ausgegeben wird. Im DYNA wird nur ein über die Einzelereignisse und über den Simulationszeitraum aufsummierter CSB-Wert der Entlastungen ausgegeben.

3.6. Vergleich zwischen DYNA und SMUSI an Teilgebieten

Im folgenden sind einige Ergebnisse der Simulationen vom Teilgebiet bis zum Sonderbauwerk B10 und bis zum Regenüberlauf R17 dargestellt.

Das Teilgebiet vor dem Sonderbauwerk B10 umfasst die Flächen T10, A10, F12 und F11 (siehe auch Abbildung 4). In Abbildung 23 bis Abbildung 25 sind die DYNA-Datenblätter der vor B10 liegenden Flächen T10, A10 und F11 dargestellt.



Haltung S10 29/1 (FiktivS10-01_0160) Mischwasser																																																							
Allgemein Geometrie Bau Ansicht Hausanschlüsse Zuflüsse Hydraulik Attribute																																																							
T10 (NG) A10 (NG) F12 (NG) F11 (NG)	Neu... Löschen Zusammenführen Aus Zwischenablage																																																						
<table border="1"> <tr> <td>Name/Nummer</td> <td>T10</td> </tr> <tr> <td>Berechnete Fläche [ha]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eingegebene Fläche [ha]</td> <td>5,2500</td> </tr> <tr> <td>Fläche sei</td> <td>Eingegebene Fläche</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Einleitend</td> <td>Entwässerungssystem</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mischwasser</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Regenabfluss</td> </tr> <tr> <td>Anteil der undurchlässigen Fläche an der Gesamtfläche [%]</td> <td>0,000</td> </tr> <tr> <td>Mittlere Neigung</td> <td>0,000</td> </tr> <tr> <td>Berechnete Fließlänge [m]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fließlänge undurchlässiger Anteil LB [m]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fließlänge durchlässiger Anteil LD [m]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Durchlässigkeitsverteilung [%]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Faktor zur Berechnung der Fließlänge [%] (ohne Koord.)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bodencharakteristik</td> <td>Ändern</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Trockenwetterabfluss</td> </tr> <tr> <td>Einwohner</td> <td>166.000000</td> </tr> <tr> <td>Einwohner [1/ha]</td> <td>31,619</td> </tr> <tr> <td>Abflussspende für gewerbliches Abwasser [l/(s.ha)]</td> <td>Kein Eintrag</td> </tr> <tr> <td>Abflussspende für Fremdwasser [l/(s.ha)]</td> <td>0,06000</td> </tr> <tr> <td>Konst. Abwasserzufluss [l/s]</td> <td>0 Kein Eintrag</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Attribute</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ändern</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dokumente</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Anzeigen...</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Neu...</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Löschen</td> </tr> </table>		Name/Nummer	T10	Berechnete Fläche [ha]		Eingegebene Fläche [ha]	5,2500	Fläche sei	Eingegebene Fläche	<input checked="" type="checkbox"/> Einleitend	Entwässerungssystem		Mischwasser	Regenabfluss		Anteil der undurchlässigen Fläche an der Gesamtfläche [%]	0,000	Mittlere Neigung	0,000	Berechnete Fließlänge [m]		Fließlänge undurchlässiger Anteil LB [m]		Fließlänge durchlässiger Anteil LD [m]		Durchlässigkeitsverteilung [%]		Faktor zur Berechnung der Fließlänge [%] (ohne Koord.)		Bodencharakteristik	Ändern	Trockenwetterabfluss		Einwohner	166.000000	Einwohner [1/ha]	31,619	Abflussspende für gewerbliches Abwasser [l/(s.ha)]	Kein Eintrag	Abflussspende für Fremdwasser [l/(s.ha)]	0,06000	Konst. Abwasserzufluss [l/s]	0 Kein Eintrag	Attribute		Ändern		Dokumente		Anzeigen...		Neu...		Löschen	
Name/Nummer	T10																																																						
Berechnete Fläche [ha]																																																							
Eingegebene Fläche [ha]	5,2500																																																						
Fläche sei	Eingegebene Fläche																																																						
<input checked="" type="checkbox"/> Einleitend	Entwässerungssystem																																																						
	Mischwasser																																																						
Regenabfluss																																																							
Anteil der undurchlässigen Fläche an der Gesamtfläche [%]	0,000																																																						
Mittlere Neigung	0,000																																																						
Berechnete Fließlänge [m]																																																							
Fließlänge undurchlässiger Anteil LB [m]																																																							
Fließlänge durchlässiger Anteil LD [m]																																																							
Durchlässigkeitsverteilung [%]																																																							
Faktor zur Berechnung der Fließlänge [%] (ohne Koord.)																																																							
Bodencharakteristik	Ändern																																																						
Trockenwetterabfluss																																																							
Einwohner	166.000000																																																						
Einwohner [1/ha]	31,619																																																						
Abflussspende für gewerbliches Abwasser [l/(s.ha)]	Kein Eintrag																																																						
Abflussspende für Fremdwasser [l/(s.ha)]	0,06000																																																						
Konst. Abwasserzufluss [l/s]	0 Kein Eintrag																																																						
Attribute																																																							
Ändern																																																							
Dokumente																																																							
Anzeigen...																																																							
Neu...																																																							
Löschen																																																							

Abbildung 23: DYNA-Datenblatt Haltung Zuflüsse von Trenngebiet T10

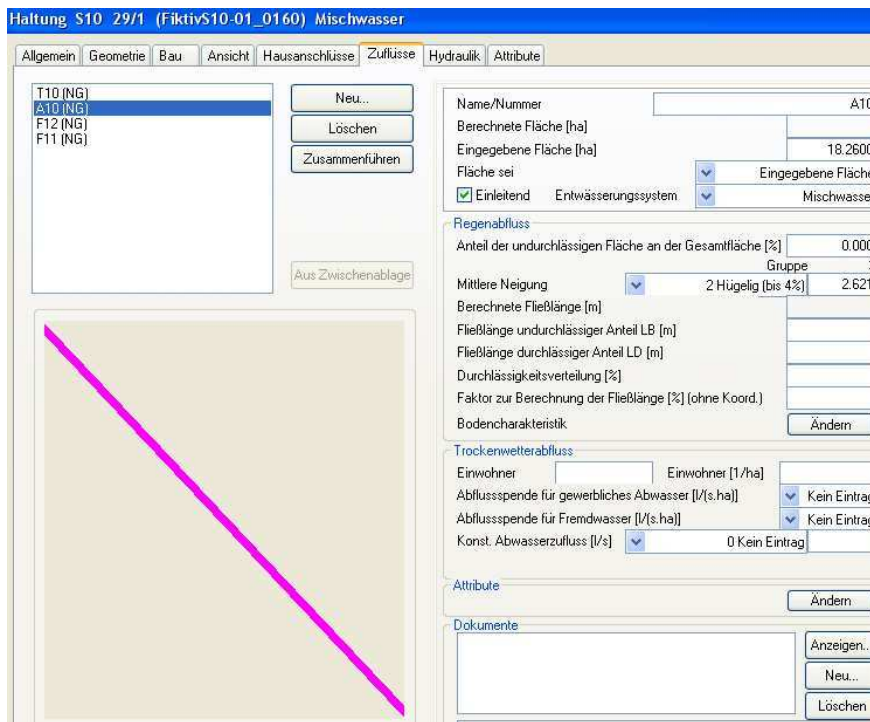


Abbildung 24: DYNA-Datenblatt Haltung Zuflüsse von Außengebiet A10

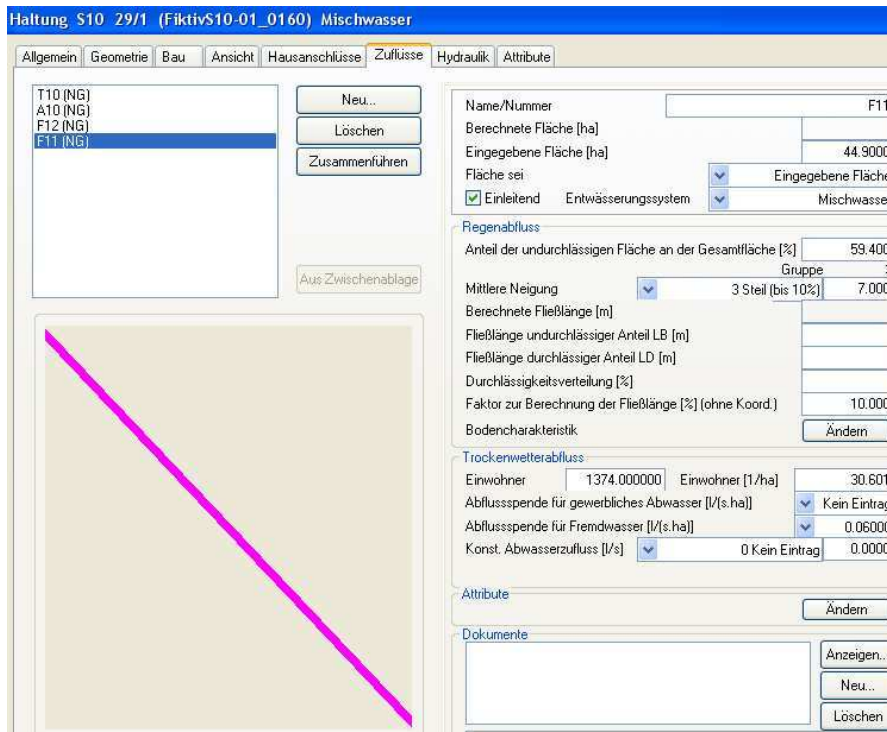


Abbildung 25: DYNA-Datenblatt Haltung Zuflüsse von kanalisierter Fläche F11

Teilgebiet vor B10

In Abbildung 26 sind Entlastungs- und Abflussganglinien des Beckens B10 der SMUSI- und DYNA-Berechnungen mit verschiedenen Einstellungen für das Ereignis am 23.06.68 dargestellt. Die mit SMUSI und DYNA berechneten Entlastungsganglinien weisen einen ähnlichen Verlauf für dieses Ereignis auf.

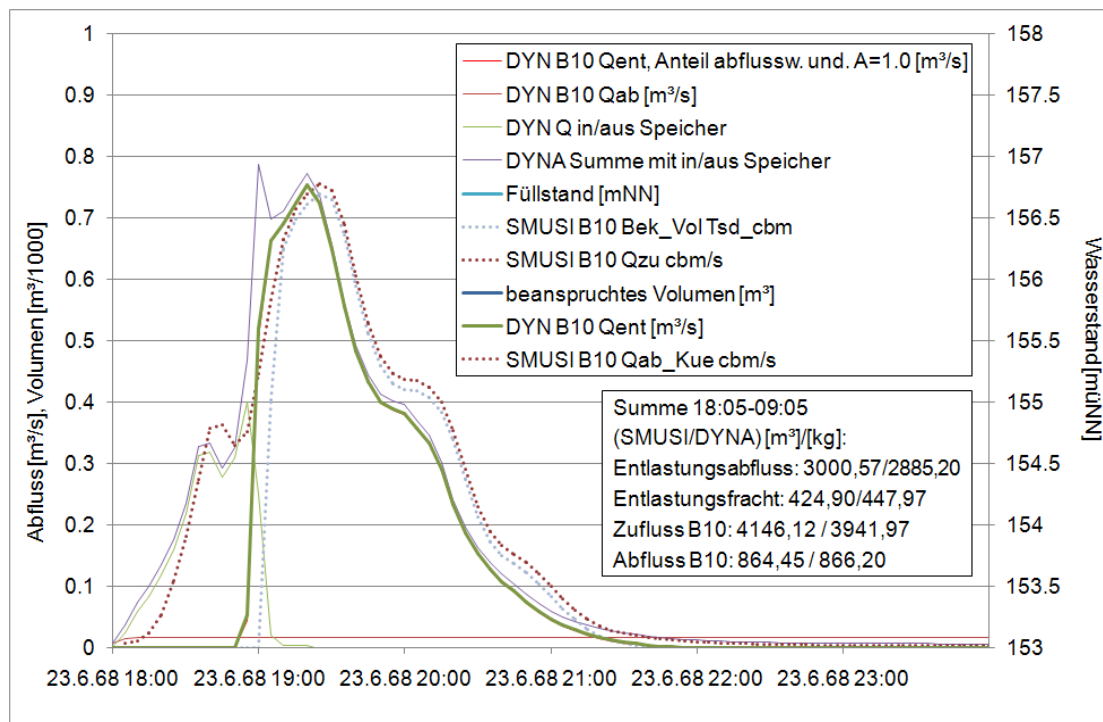


Abbildung 26: Ganglinien am Becken B10 für das Ereignis am 23.06.68 (DYNA- und SMUSI)

In Abbildung 27 sind Entlastungs- und Abflussganglinien des Beckens B10 der SMUSI- und DYNA-Berechnungen mit verschiedenen Einstellungen für das Ereignis am 15.06.68 dargestellt.

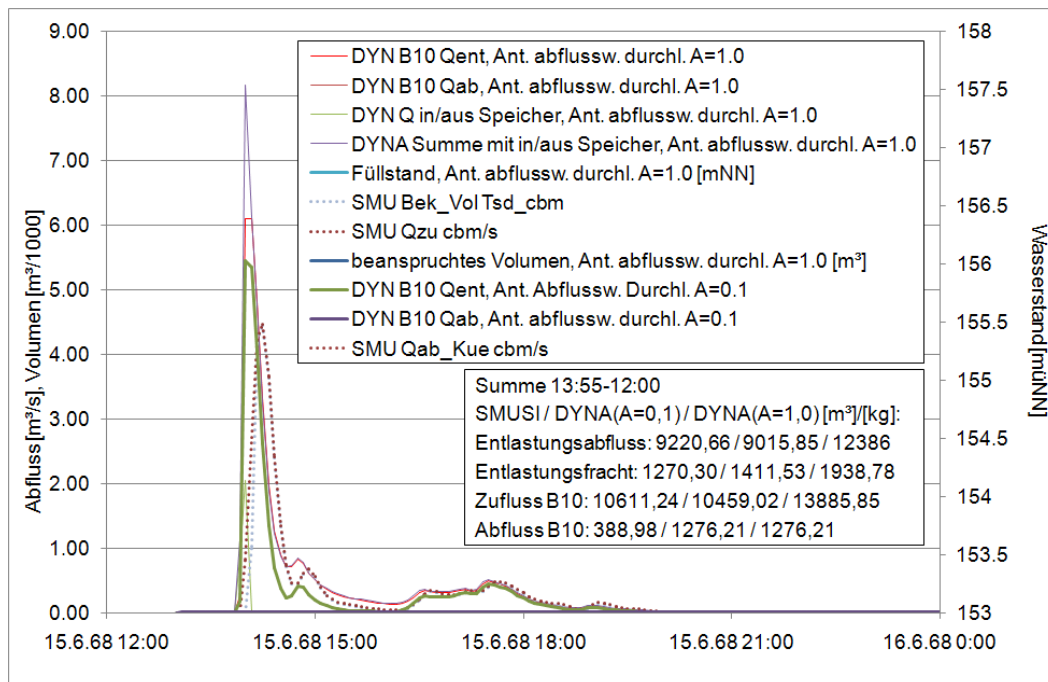


Abbildung 27: Ganglinien am Becken B10 für das Ereignis am 15.06.68 (DYNA und SMUSI)

Der Wert der abflusswirksamen durchlässigen Fläche wurde bei den Berechnungen variiert. Die Werte beim Ereignis am 15.06.1968 stimmen besser mit einer Wert für den Anteil der abflusswirksamen durchlässigen Fläche von 0,1 zusammen. Für den 23.06 ergibt sich kein großer Unterschied. Bei der späteren Berechnungen des Gesamtnetzes wurde jedoch der Wert 1,0 verwendet.

Die Niederschlagsereignisse vom 24.11 und 21.03 verursachen weder mit DYNA noch mit SMUSI eine Entlastung an B10.

Teilgebiete vor R17 und B10, Abflussmengen und Schmutzfracht

Im DYNA erfolgt beim Anhängen der Flächen an die entsprechende Haltung der Zufluss verteilt über die Haltung und nicht am oberen Ende. Deshalb werden auch die Flächen vor dem Regenüberlauf R17 mittels oberhalb liegender fiktiver Haltung angehängt.

Die Simulationen ergaben die in Tabelle 2 dargestellten Entlastungskenngrößen. Die Werte liegen bei beiden Programmen in der gleichen Größenordnung. Die sich später (bei der Berechnung des Gesamtsystems) herausgestellte erhöhte Ablaufmenge im SMUSI wird auch schon bei diesen Berechnungen der Teilgebiete deutlich.

Tabelle 2: Summierte Mengen- und Frachtentlastungsgrößen sowie Abflussmaximalwerte an B10 und R17 beim Ereignis am 23.06.08

SMUSI / DYNA beim Ereignis am 23.06.68	Ablaufmenge [m³]	Maximaler Abfluss im Entlastungskanal [l/s]	Entlastungsfracht [kg]
Ablauf	3106 / 2822		
R17	135 / 113	87 / 106	20 / 20 (19*)
B10	3106 / 2861	742 / 756	428 / 450 (422*)
* Frachten mit CSB-Regenwasserkonzentration von 145 mg/l, statt der ansonsten benutzten 150 mg/l			

Durch Variation des Parameters Anteil an der abflusswirksamen undurchlässigen Fläche von 0,10 auf 1,0 veränderten sich die Werte nicht.

Für die Schmutzfrachtberechnungen im DYNA wurde bei den Teilgebietsberechnungen mit einer CSB-Konzentration des Regenwassers von 150 mg/l gerechnet (siehe Abbildung 28). Als Variante wurden die Berechnungen mit dem Wert 145 mg/l durchgeführt. Die Ähnlichkeit der CSB-Entlastungsfrachten zwischen den DYNA- und SMUSI-Ergebnissen war für dieses Teilgebiet beim Wert 145 mg/l höher.

Im Gesamtnetz liegt der nach Flächengrößen (Gesamtfläche) gewichtete Mittelwert der kanalisierten Flächen (ohne Trenngebiete und Außengebiete) bei 2,5. Mit der Neigungsgruppe 2,5 wird, mit der für das SMUSI verwendeten Funktion beim Regen von 625 mm/a, eine Regenwasserkonzentration von 144,36 mg/l ausgerechnet. Für das Gesamtgebiet wird später mit dem Wert 144,36 mg/l gerechnet.

Günstig wäre es die Frachtansätze mit Hilfe von Fracht- oder Konzentrationsergebnisganglinien zu überprüfen. Dies ist jedoch aufgrund der fehlenden Ausgabe der Fracht- und Konzentrationganglinien im DYNA nicht möglich.

Schmutzfrachtvariante 1968

Kläranlage: Schacht "01_0520" Hydraulikvariante: 1968

Bestimmung des erforderlichen Gesamtspeichervolumens Nachweisverfahren Ergebnisse

Eingabe

Allgemeine Optionen

- differenzierte Durchmischung
- schwache Durchmischung
- starke Durchmischung
- hohe Warnungsstufe
- niedrige Warnungsstufe

Optionen für Ergebnistabelle (Ausläufe)

- Name Entlastungsbauwerk
- Typ und Nummer Entlastungsbauwerk
- Straße Entlastungsbauwerk
- Kanal-/Haltungsnummer Entlastung
- Name Entlastung
- Straße Auslauf

Verwaltung der Schmutzstoffe

CSB - Chemischer Sauerstoffbedarf

Übernehmen Neu Löschen

Tagesganglinie für häusliches SW: <keine Ganglinie>

Zusätzliche Gewerbliche SW

Konzentrationen

Häusliches SW	1050
Gewerbliches SW	1050
Fremdwasser	0
Regenwasser (MW)	150
Regenwasser (RW)	150

Kurzbezeichnung: CSB

Beschreibung: Chemischer Sauerstoffbedarf

Konzentrationseinheit: mg/l

Ergebnisse

Entlastungswerte (jährlich)

Menge: 286.08 m³

Rate: 0.85

CSB: 44.80 kg

Überstauwerte (jährlich)

Abbildung 28: DYNA-Datenblatt Schmutzfrachtvariante

3.7. Vergleich zwischen DYNA und SMUSI am Gesamtgebiet

Für den Vergleich der SMUSI- und DYNA-Ergebnisse des Gesamtgebietes werden die summierten Entlastungswassermengen verwendet. Ein Vergleich von DYNA- und SMUSI-Ganglinien wurde einzeln durchgeführt. Dies konnte nicht für viele Sonderbauwerke oder Ereignisse im Detail durchgeführt werden, da der Vergleich der Ganglinien mit viel manueller Datenbearbeitung (z.B. mit Texteditoren und mit Excel) verbunden war.

Das Netzmodell wurde im Verlauf dieser Berechnungen auf Plausibilität überprüft und einige Male verändert. Im folgenden sind i.d.R. nur die Ergebnisse des letzten Zustandes des Kanalnetzmodells dargestellt.

Tabelle 3 ist die wichtigste Ergebnistabelle beim DYNA-SMUSI-Vergleich des Gesamtnetzes. Sie zeigt die prozentualen Verhältnisse der Entlastungswassermengen und CSB-Entlastungsfrachten im DYNA zu den Werten im SMUSI über den Gesamtzeitraum. Weiterhin ist der prozentuale Anteil der Entlastungen an den Bauwerken im Verhältnis zur Gesamtentlastungswassermenge dargestellt.

Ein Verhältniswert bei der Entlastungswassermenge von 100% bedeutet, dass die Entlastungswassermenge im DYNA und im SMUSI gleich ist. Ein kleinerer Wert bedeutet eine geringere Entlastungswassermenge im DYNA im Vergleich zum SMUSI, ein größerer Wert eine größerer Entlastungswassermenge im DYNA.

In Tabelle 3 ist zu erkennen, dass die Entlastungswassermenge im DYNA bei den meisten Becken kleiner ist als im SMUSI. Über den gesamten Simulationszeitraum betrachtet liegt der Verhältniswert bei 87%, d.h. im DYNA wird 13% weniger entlastet als im SMUSI.

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse eine Variante bei der Berechnung des Gesamtnetzes im SMUSI; mit und ohne Berücksichtigung der urbanen Verdunstung (Einstellungsmöglichkeit im SMUSI). Mit urbaner Verdunstung sind die Verhältniswerte bei vielen Becken nur geringfügig (ca. 1%) größer als ohne urbane Verdunstung, über alle Becken gesehen, ergibt sich kein Unterschied im Verhältniswert DYNA/SMUSI (87%), d.h. diese Einstellungsoption (im SMUSI) hat einen sehr geringen Einfluss.

Tabelle 3: Verhältniswerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen und Frachten) des Gesamt-
netzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum

Gesamtzeitr., RW-CSB-Konz.=144.36 mg/l			
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU	CSB- Entl.fracht DYN/SMU
	[%]	[%]	[%]
B10	7.74	93	93
B20	4.28	89	91
B24	7.57	88	89
B26	3.07	63	56
B37	6.99	78	68
B39	2.38	91	85
B51	2.05	124	134
B55	3.66	96	99
B60	3.67	102	103
B70	3.70	91	91
B72	7.63	84	90
B73	4.82	96	98
B75	3.25	82	79
B80	6.60	93	89
B81	3.21	93	97
B88	2.15	81	83
B89	2.67	78	82
B90	2.30	85	79
B91	4.05	78	73
B95	3.15	82	82
B96	0.15	118	125
B97	3.98	90	83
B98	5.75	82	48
R17	1.02	139	149
R19	0.18	84	83
R22	0.13	121	126
R28	0.23	111	99
R34	0.67	76	70
R76	0.60	68	66
R77	0.33	130	128
R78	0.31	98	95
R86	0.61	114	121
R92	0.35	101	105
R93	0.39	101	106
R94	0.36	91	94
	100.00	87	82

Tabelle 4: Verhältniszerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum, ohne und mit urbaner Verdunstung

Gesamtzeitraum			Gesamtz. mit urb. Verdunstung		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU		Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]		[%]	[%]
B10	7.74	93	B10_A	7.74	94
B20	4.28	89	B20_A	4.28	89
B24	7.57	88	B24_	7.56	89
B26	3.07	63	B26_A	3.07	64
B37	6.99	78	B37_	6.99	79
B39	2.38	91	B39_A	2.38	92
B51	2.05	124	B51_A	2.05	124
B55	3.66	96	B55_A	3.66	97
B60	3.67	102	B60_A	3.67	103
B70	3.70	91	B70_A	3.70	92
B72	7.63	84	B72_	7.63	85
B73	4.82	96	B73_A	4.82	96
B75	3.25	82	B75_A	3.25	83
B80	6.60	93	B80_	6.60	95
B81	3.21	93	B81_A	3.21	94
B88	2.15	81	B88_	2.15	82
B89	2.67	78	B89_	2.67	79
B90	2.30	85	B90_A	2.30	86
B91	4.05	78	B91_A	4.05	80
B95	3.15	82	B95_	3.15	83
B96	0.15	118	B96_A	0.15	118
B97	3.98	90	B97_	3.98	91
B98	5.75	82	B98_	5.75	85
R17	1.02	139	R17_A	1.02	140
R19	0.18	84	R19_A	0.18	84
R22	0.13	121	R22_A	0.13	121
R28	0.23	111	R28_A	0.23	112
R34	0.67	76	R34_A	0.67	77
R76	0.60	68	R76_A	0.60	69
R77	0.33	130	R77_A	0.33	131
R78	0.31	98	R78_A	0.31	99
R86	0.61	114	R86_A	0.61	115
R92	0.35	101	R92_A	0.35	102
R93	0.39	101	R93_A	0.39	102
R94	0.36	91	R94_A	0.36	92
	100.00	87		100.00	87

Neben der Simulation des gesamten neunmonatigen Zeitraums wurden Simulationen von Ausschnitten aus diesem Zeitraum durchgeführt. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Simulationen über den Gesamtzeitraum ohne Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses vom 15.06.09. Zu Vergleichszwecken sind die Ergebnisse der Entlastungsmengen des, schon in Tabelle 3 dargestellten, Gesamtzeitraums inklusive dem großen Ereignis dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Verhältniswerte DYNA/SMUSI ohne das sehr große Ereignis für alle Sonderbauwerke geringer sind als mit Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses. Dies bedeutet, dass die Abweichungen zwischen DYNA und SMUSI ohne Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses stärker werden. Zusammenfassend ist dies am gemittelten Verhältniswert zu sehen. Unter Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses beträgt der Verhältniswert 87%, d.h. im DYNA 13 % weniger Entlastungen als im SMUSI, mit Berücksichtigung beträgt der Wert 79%, d.h. 21% weniger Entlastungen im DYNA als im SMUSI. An den Anteilen an der Gesamtentlastung (jeweils Spalte 2) ist zu erkennen, welche Sonderbauwerke ohne Berücksichtigung des sehr großen Ereignisses eine Abnahme am Anteil der Gesamtentlastungen aufweisen. Dies bedeutet, dass diese Bauwerke hauptsächlich beim sehr großen Ereignis entlasten und nur einen geringen Beitrag zur Entlastungswassermenge während des übrigen Zeitraums aufweisen. Dies sind insbesondere die Bauwerke, die auch schon im Gesamtentlastungszeitraum einen geringen Anteil an der Gesamtentlastungswassermenge haben. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Regenüberläufe.

Tabelle 6 zeigt die Anteils- und Verhältniswerte DYNA/SMUSI für das Ereignis am 15.6.09. Alle Verhältniswerte der Entlastungswassermengen, ausgenommen das Bauwerk B26, liegen über 100%, d.h. es wird für dieses sehr große Ereignis im DYNA mehr entlastet als im SMUSI.

In Tabelle 6 sind weiterhin die Ergebnisse mit und ohne einer Variation der Oberflächenparameter dargestellt: Die Änderung der Oberflächenparameter (Geschwindigkeitsbeiwert, original: 6,5, Variante: 4, Versickerungsverlust am Anfang, original: 167, Variante: 160) wirkt sich nur unwesentlich aus. Es werden die Werte 6,5 und 4 für die weiteren Simulationen beibehalten. Im weiteren Verlauf wird deshalb nur auf die Original-Variante eingegangen.

Tabelle 5: Verhältnswerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum, ohne / mit Ereignis vom 16.05.68

9 Monate ohne 16.05.68			Gesamtzeitraum		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU		Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]		[%]	[%]
B10	7.94	85	B10	7.74	93
B20	4.54	83	B20	4.28	89
B24	7.93	81	B24	7.57	88
B26	2.94	55	B26	3.07	63
B37	6.12	66	B37	6.99	78
B39	2.28	79	B39	2.38	91
B51	1.73	114	B51	2.05	124
B55	3.59	86	B55	3.66	96
B60	3.83	96	B60	3.67	102
B70	4.01	87	B70	3.70	91
B72	7.80	77	B72	7.63	84
B73	4.64	82	B73	4.82	96
B75	3.15	72	B75	3.25	82
B80	7.32	89	B80	6.60	93
B81	3.14	82	B81	3.21	93
B88	2.06	69	B88	2.15	81
B89	2.54	67	B89	2.67	78
B90	2.17	74	B90	2.30	85
B91	3.95	70	B91	4.05	78
B95	3.20	72	B95	3.15	82
B96	0.02	57	B96	0.15	118
B97	4.69	87	B97	3.98	90
B98	7.26	79	B98	5.75	82
R17	0.60	115	R17	1.02	139
R19	0.00	4	R19	0.18	84
R22	0.00	11	R22	0.13	121
R28	0.12	64	R28	0.23	111
R34	0.31	44	R34	0.67	76
R76	0.41	48	R76	0.60	68
R77	0.07	43	R77	0.33	130
R78	0.21	71	R78	0.31	98
R86	0.57	113	R86	0.61	114
R92	0.27	83	R92	0.35	101
R93	0.29	82	R93	0.39	101
R94	0.29	79	R94	0.36	91
	100.00	79		100.00	87

Tabelle 6: Verhältniszerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes der Einzelereignisse vom 15.06.68 mit 2 Varianten von Oberflächenparametern

nur 15.06.68			15.06, v-Beiw.=4, VersA.=160		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU		Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]		[%]	[%]
B10	7.278	132	B10	7.276	133
B20	3.762	122	B20	3.757	123
B24	6.485	119	B24	6.524	121
B26	3.449	96	B26	3.416	96
B37	8.817	115	B37	8.97	118
B39	2.68	146	B39	2.674	147
B51	2.909	153	B51	2.877	153
B55	3.843	141	B55	3.851	143
B60	3.425	137	B60	3.427	139
B70	3.01	114	B70	2.997	115
B72	7.221	123	B72	7.23	124
B73	5.34	160	B73	5.305	161
B75	3.541	129	B75	3.543	131
B80	4.775	117	B80	4.902	121
B81	3.462	145	B81	3.423	145
B88	2.309	135	B88	2.335	138
B89	2.974	124	B89	2.981	126
B90	2.59	125	B90	2.586	126
B91	4.188	109	B91	4.169	110
B95	3	130	B95	3.043	133
B96	0.446	136	B96	0.434	134
B97	2.401	121	B97	2.424	123
B98	1.889	117	B98	2.065	129
R17	2.067	170	R17	1.956	163
R19	0.599	111	R19	0.571	108
R22	0.441	143	R22	0.413	136
R28	0.502	190	R28	0.48	184
R34	1.526	118	R34	1.481	116
R76	1.062	120	R76	1.029	117
R77	0.95	206	R77	0.885	194
R78	0.574	155	R78	0.553	151
R86	0.739	129	R86	0.722	127
R92	0.563	147	R92	0.541	143
R93	0.648	147	R93	0.633	145
R94	0.535	124	R94	0.523	122
	100	127		100	128

In Tabelle 7 sind die Verhältniszerte für 4 Einzelereignisse dargestellt. Die in den Tabellen auftretende Angabe #DIV/0! wird durch eine Entlastungswassermenge von 0 bei der SMUSI-Berechnung verursacht. Bei allen Bauwerken, bei denen eine 0 oder eine Zahl größer 0 in dieser Spalte dargestellt ist, wird im SMUSI entlastet.

Aus Abbildung 2 kann abgeleitet werden, dass es sich beim Ereignis vom 05.04. um das Ereignis mit der kleinsten Entlastungswassermenge handelt. Am 17.03 tritt das Ereignis mit der fünftkleinsten Entlastungswassermenge auf, d.h. Rangfolge 5 angefangen beim kleinsten Ereignis. Das fünftkleinste Ereignis ist gleichzeitig das 26-größte Ereignis (d.h. Rangfolge 25 angefangen vom größten Entlastungsereignis (15.06)). Das Ereignis vom 2.09. ist das 23.-kleinste bzw. das 8.-größte Ereignis. Das Ereignis vom 30.08 ist das 29.-kleinste, d.h. das zweitgrößte Ereignis.

Das Ereignis am 5.4. entlastet im DYNA nur beim Becken B97. Der Verhältniszert von 8% macht deutlich, dass im SMUSI an diesem Becken bei diesem Ereignis 92% mehr entlastet wird. Absolut gesehen werden im SMUSI an diesem Becken 407 m³, im DYNA 32 m³ entlastet. Über alle Sonderbauwerke betrachtet beträgt der Verhältniszert 1%, d.h. im DYNA werden 99% weniger entlastet. Absolut betrachtet werden im SMUSI 3025 m³, im DYNA 32 m³ entlastet.

Beim Ereignis am 17.03 fällt auf, dass alle Verhältniszerte (exklusive #DIV/0! oder 0) über 100% liegen. Dementsprechend liegt hier der DYNA/SMUSI-Verhältniszert mit 138% auch über 100%. Bei diesem Ereignis wird also im DYNA 38% mehr entlastet als im SMUSI.

Die Mittelwerte der DYNA/SMUSI-Verhältniszerte der Entlastungswassermengen von den Ereignissen am 02.09. und 30.08 bewegen sich in dem Rahmen der Verhältniszerte des Gesamtzeitraumes (siehe Tabelle 5).

Am 02.09. zeigen die Verhältniszerte bei einigen Bauwerken eine kleinere, jedoch auch bei einigen Bauwerken eine größere Entlastungswassermenge. Am 30.08. ist das anders; hier ist die Entlastungswassermenge im DYNA durchgängig bei allen Bauwerken geringer.

Tabelle 7: Verhältniszerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen und Frachten) des Gesamtnetzes der Einzelereignisse vom 05.04., 17.03., 02.09. und 30.08.1968

nur 05.04.68			nur 17.03.68			nur 02.09.68			nur 30.08.68		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wassermenge DYN/SMU		Anteil an Gesamt (DYN) [%]	Entl.wassermenge DYN/SMU [%]		Anteil an Gesamt (DYN) [%]	Entl.wassermenge DYN/SMU [%]		Anteil an Gesamt (DYN) [%]	Entl.wassermenge DYN/SMU [%]
B10	0	0	B10	1.253	#DIV/0!	B10	8.78	89	B10	7.117	84
B20	0	0	B20	16.1	148.564368	B20	4.68	85	B20	4.022	85
B24	0	0	B24	0	#DIV/0!	B24	9.01	90	B24	7.486	85
B26	0	#DIV/0!	B26	0	0	B26	2.85	50	B26	3.663	71
B37	0	#DIV/0!	B37	0	#DIV/0!	B37	2.91	164	B37	11.45	78
B39	0	#DIV/0!	B39	6.123	273.016667	B39	2.41	83	B39	2.24	77
B51	0	#DIV/0!	B51	0.604	#DIV/0!	B51	1.81	108	B51	1.962	86
B55	0	#DIV/0!	B55	1.546	#DIV/0!	B55	3.51	85	B55	3.519	83
B60	0	0	B60	19.71	205.450649	B60	3.86	94	B60	3.207	85
B70	0	0	B70	11.06	295.906667	B70	4.03	87	B70	3.482	87
B72	0	0	B72	0	#DIV/0!	B72	7.87	81	B72	7.468	83
B73	0	0	B73	15.34	170.945833	B73	4.82	86	B73	4.186	80
B75	0	0	B75	0	#DIV/0!	B75	3.28	76	B75	3.447	79
B80	0	0	B80	0	#DIV/0!	B80	6.84	100	B80	6.714	90
B81	0	0	B81	11.28	131.257971	B81	3.23	82	B81	2.984	83
B88	0	0	B88	0	#DIV/0!	B88	1.76	63	B88	2.325	78
B89	0	0	B89	0	#DIV/0!	B89	2.29	60	B89	2.965	80
B90	0	#DIV/0!	B90	0	#DIV/0!	B90	1.96	74	B90	2.659	81
B91	0	#DIV/0!	B91	0	#DIV/0!	B91	4.76	77	B91	5.008	84
B95	0	#DIV/0!	B95	0	#DIV/0!	B95	2.91	68	B95	3.532	81
B96	0	#DIV/0!	B96	0	#DIV/0!	B96	0.00	0	B96	0.028	29
B97	100	8	B97	13.87	206.151852	B97	4.99	102	B97	2.927	88
B98	0	0	B98	0	#DIV/0!	B98	7.27	62	B98	3.426	87
R17	0	#DIV/0!	R17	0	#DIV/0!	R17	0.89	112	R17	0.791	83
R19	0	#DIV/0!	R19	0	#DIV/0!	R19	0.00	0	R19	0	0
R22	0	#DIV/0!	R22	0	#DIV/0!	R22	0.00	0	R22	0	0
R28	0	#DIV/0!	R28	0	#DIV/0!	R28	0.19	72	R28	0.236	81
R34	0	#DIV/0!	R34	0	#DIV/0!	R34	0.49	44	R34	0.599	53
R76	0	#DIV/0!	R76	0	0	R76	0.54	56	R76	0.617	61
R77	0	#DIV/0!	R77	0	#DIV/0!	R77	0.15	51	R77	0.107	37
R78	0	#DIV/0!	R78	0	0	R78	0.28	75	R78	0.278	69
R86	0	#DIV/0!	R86	3.106	124.62	R86	0.61	104	R86	0.574	96
R92	0	#DIV/0!	R92	0	0	R92	0.32	84	R92	0.311	79
R93	0	#DIV/0!	R93	0	0	R93	0.35	81	R93	0.336	74
R94	0	#DIV/0!	R94	0	0	R94	0.35	81	R94	0.333	79
	100	1	Sum	100	137.898282		100.00	81		100	82

Im Folgenden sind die Auswirkungen der Variation des Parameters Geschwindigkeitsbeiwert der durchlässigen Fläche zur Berechnung des Oberflächenabflusses beschrieben. Es wird, statt mit den bisher verwendeten Parametern $6,5 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$ ein Wert von $4 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$ verwendet (Der Wert Anteil der abflusswirksamen Fläche 1,00 wurde schon früher, insgesamt bei allen Berechnungen des Gesamtgebietes, berücksichtigt).

In Abbildung 29 ist der veränderte Parameter im DYNA-Datenblatt Hydraulikvariante – seitliche Zuflüsse zu sehen. In Tabelle 8 sind die DYNA/SMUSI-Verhältniswerte über dem Gesamtzeitraum mit dem variiertem Parameter dargestellt.

Hier ist zu erkennen, dass mit einem Geschwindigkeitsbeiwert von $4 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$ über den Gesamtzeitraum größere Abweichungen zu den SMUSI-Ergebnissen erzielt werden als mit den vorher eingestellten Werten. Deshalb wird der Geschwindigkeitsbeiwert $6,5 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$ beibehalten.

Hydraulikvariante "1968" ändern

Allgemeines Regen Seitliche Zuflüsse Transport Ausgabe Längsschnitt Ergebnisse

Regenabfluss

	durchlässig				undurchlässig			
	flach	hügelig	steil	sehr steil	flach	hügelig	steil	sehr steil
Muldenverlust [mm]	DMUL[1]: 4.000	DMUL[2]: 3.000	DMUL[3]: 2.500	DMUL[4]: 2.000	BMUL[1]: 1.000	BMUL[2]: 0.900	BMUL[3]: 0.800	BMUL[4]: 0.600
Geschw. beiw. [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}$]	+++KSTD: 4.000				+++KSTB: 70.000			
Fließlänge [m]	+++DLAE: 50.000				+++BLAE: 35.000			
Versickerung [$\text{l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$]	+++ANFA:+++ENDV:+++RKON: 167.000 20.000 0.0560							
Bodenkapazität [mm]	15.750							
Verfahren zum Verlustabzug	<input checked="" type="radio"/> Direkt vom Niederschlag (nur während der Regendauer) <input type="radio"/> Während des gesamten Niederschlagsabflussprozesses							
					Anfangsverlust [mm] (enthält Benetzung)	+++BENE: 1.000		
					Dauerverlust [$\text{l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$] (enthält Verdunstung)	+++VERD: 1.400		
					Anteil der abflusswirksamen durchlässigen Fläche [1]	+++ANTE: 1.000		

DYNA

DYNA - Neigung

KANAL++ - Fließlänge

Trockenwetterabfluss

Fremdwasserzuschlag [%] +++FREM: 0.000

Schmutzwasseranfall [$\text{l}/(\text{E} \cdot \text{d})$] +++SCHM: 130.000

Spitzenanfall [h] +++SPIT: 24.000

Einwohner statt Dichte

Teileinzugsgebiete zusammenfassen

Mischwasser: alle zusammenfassen

Schmutzwasser: alle zusammenfassen

Regenwasser: alle zusammenfassen

nur einleitende

Entw.-Kennz. von Haltung

Abbildung 29: Datenblatt Hydraulikvariante seitliche Zuflüsse, Geschwindigkeitsbeiwert $4 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$

Tabelle 8: Verhältnswerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes des Gesamtzeitraums mit Geschwindigkeitsbeiwert $4 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}$

Ges., an Standard angepasst		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]
B10	7.29	70
B20	4.24	70
B24	6.88	64
B26	3.64	59
B37	8.02	72
B39	2.66	81
B51	2.11	102
B55	3.53	74
B60	3.64	81
B70	3.59	70
B72	7.22	64
B73	4.84	77
B75	3.54	71
B80	6.72	76
B81	3.18	74
B88	2.05	61
B89	2.59	60
B90	2.48	73
B91	4.42	68
B95	3.06	63
B96	0.16	100
B97	3.57	64
B98	5.13	58
R17	1.04	112
R19	0.20	74
R22	0.13	98
R28	0.26	99
R34	0.77	69
R76	0.63	57
R77	0.33	104
R78	0.33	82
R86	0.64	95
R92	0.35	81
R93	0.40	82
R94	0.36	75
	100.00	70

In Tabelle 9 sind die Werte des Gesamtnetzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum mit dem DYNA-Standardwert des Faktors zur Berechnung der Fließlänge (der kanalisiert Flächen im Datenblatt Zuflüsse), 100 %, dargestellt. In der Summe über die Gesamtentlastungswassermenge liegt der

Verhältnswert von 83% unter dem Wert von 87% bei einer Fließlänge von 10%. Die Fließlänge von 10% wird beibehalten.

Tabelle 9: Verhältnswerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum, mit Faktor 100% zur Berechnung der Fließlänge

Gesamt, Faktor für Fließlänge=		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]
B10	7.66	88
B20	3.95	78
B24	7.95	88
B26	2.00	39
B37	7.88	85
B39	2.18	79
B51	1.80	104
B55	3.55	90
B60	3.29	88
B70	3.59	84
B72	7.87	83
B73	4.59	87
B75	2.97	71
B80	7.37	99
B81	2.92	81
B88	2.35	84
B89	2.74	76
B90	2.19	77
B91	3.99	73
B95	3.38	84
B96	0.12	91
B97	4.29	92
B98	7.71	104
R17	0.67	86
R19	0.11	51
R22	0.10	91
R28	0.14	63
R34	0.38	41
R76	0.47	51
R77	0.27	100
R78	0.23	68
R86	0.44	79
R92	0.28	77
R93	0.29	72
R94	0.27	67
	100.00	83

Für eine weitere Variante wurde das Kanalnetzmodell bei B51 verändert. In der neuen Version wurde das im SMUSI angesetzte Volumen im DYNA-Kanalnetzmodell in den Schacht von B51 integriert und

die Sohlhöhen der davorliegenden Haltungen wurden erhöht, so dass eine Nutzung des Rückstauvolumens ausgeschlossen ist. Der Stauraum wird dann nicht mehr als Kanalstauraum sondern als Schachtvolumen mit Überlauf im Schacht gerechnet. Ein Vergleich mit Tabelle 3 ergibt, dass sich die gesamte Entlastungswassermenge nicht verändert hat. Am Schacht B51 hat sich bei den Verhältniswerten keine Annäherung, sondern sogar eine geringe Entfernung zu den SMUSI-Werten ergeben. Diese Variante des Kanalnetzmodells wird nicht weiter verwendet, sondern der Kanalstauraum B51 wird weiterhin mit Nutzung des Volumens der Haltungen vor dem Schacht, d.h. als Kanalstauraum, simuliert.

Tabelle 10: Verhältniswerte DYNA/SMUSI (Entlastungswassermengen) des Gesamtnetzes über den 9-monatigen Simulationszeitraum, mit veränderten Daten für Sonderbauwerk B51 (Volumen im Schacht, kein Stauraumkanal (im DYNA))

Gesamtzeitraum, B51 hoch ge:		
	Anteil an Gesamt (DYN)	Entl.wasser menge DYN/SMU
	[%]	[%]
B10	7.74	93
B20	4.28	89
B24	7.56	88
B26	3.07	63
B37	6.99	78
B39	2.38	91
B51	2.16	131
B55	3.66	96
B60	3.67	102
B70	3.70	91
B72	7.63	84
B73	4.82	96
B75	3.25	82
B80	6.60	93
B81	3.21	93
B88	2.15	81
B89	2.67	78
B90	2.30	85
B91	4.05	78
B95	3.15	82
B96	0.13	107
B97	3.99	90
B98	5.65	80
R17	1.03	139
R19	0.18	84
R22	0.13	121
R28	0.23	111
R34	0.67	76
R76	0.60	68
R77	0.33	130
R78	0.31	98
R86	0.61	114
R92	0.35	101
R93	0.39	101
R94	0.36	91
	100.00	87

Als wichtigste Erkenntnis bei der Simulation des Gesamtnetzes über den Gesamtzeitraum von 9 Monaten ist festzuhalten, dass bei der Simulation mit DYNA 13% weniger Mischwasser entlastet wird als bei der Simulation mit SMUSI (siehe Tabelle 3). Bei den meisten Becken ist eine geringere Entlastungswassermenge bei der DYNA-Berechnung zu verzeichnen. Es gibt jedoch auch Becken, die mehr entlasten. Gründe dafür werden zum einen in nicht zu vermeidenden Unterschieden der Systemeingangsgrößen als auch in der Verwendung der unterschiedlichen Berechnungsansätze im DYNA und SMUSI gesehen.

Es wurden zwar soweit wie möglich die gleichen Systemeingangsgrößen benutzt. Da jedoch im DYNA einige Kenngrößen, z.B. die Wehrschwellehöhe und –länge, bei der Berechnung berücksichtigt werden, die im SMUSI nicht eingegeben werden müssen (und im Anwendungsfall auch nicht eingegeben waren), mußten für die DYNA-Berechnungen Annahmen über diese Kenngrößen getroffen werden. Zwar wurden diese Annahmen auf Grundlage von Bauwerksdaten getroffen, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass trotzdem unterschiedliche Modellverhalten im DYNA und im SMUSI aufgetreten sind.

3.8. Vorschläge zur Anpassung des K++/DYNA/FLOW für einen Einsatz in Hessen und zur Bearbeitung von Vergleichsuntersuchungen zwischen K++/DYNA/FLOW und SMUSI-ähnlichen Programmen

Die zahlreichen durchgeführten Simulationen der Teilnetze und des Gesamtnetzes und die Vergleiche mit dem Ergebnissen des Programms SMUSI lieferten Erkenntnisse in Hinblick auf eine mögliche Erweiterung des K++/DYNA /FLOW. Zum einen handelt es sich dabei um Erweiterungen, die eine Anwendung in Hessen möglicherweise vereinfachen würde. Zum anderen handelt es sich um Erweiterungen, die optimierte Möglichkeiten beim Vergleich zwischen Ergebnissen des K++/DYNA/Flow mit dem Programm SMUSI, jedoch auch anderen ähnlichen Programmen, bieten würden.

Es ist zu beachten, dass die Modellgrundlagen im DYNA und im SMUSI teilweise grundsätzlich verschieden sind, z.B. die Berechnung des Abflusses im Kanal (Kapitel 2.3.1) oder die Berechnung der Entlastungsfrachten (Kapitel 2.4). Eine grundsätzliche Änderung der Modellgrundlagen der hydrodynamischen Abflussberechnung wird nicht empfohlen, da gerade hierin ein großer Vorteil des DYNA in Hinblick auf eine realitätsnahe Simulation liegt. In diesem Projektteil wurde nicht untersucht, ob eine Änderung der Berechnungsansätze der Entlastungsfrachten im DYNA Vorteile verspricht.

Die Anpassungsvorschläge wurden der Firma Tandler.com vom Ingenieurbüro Scheer in einem internen Bericht zur Verfügung gestellt.

Anpassungsvorschläge zum DYNA in Hinblick auf eine Verwendung für den Schmutzfrachtnachweis in Hessen

Diese Vorschläge beziehen sich auf die Anpassung des K++/DYNA/FLOW in Hinblick auf eine Verwendung des K++/DYNA/FLOW anstelle des Schmutzfrachtprogrammes SMUSI für einen Nachweis und eine Prüfung in Hessen.

Die in Hessen gewünschte einheitliche und nachvollziehbare Vorgehensweise soll einen vergleichbaren Entwässerungsstandard aus ökologischer und ökonomischer Sicht gewährleisten [HLUG, 2004a]. Die Vorgehensweise bei der Prüfung ist in [HLUG, 2004b] beschrieben.

Es handelt sich nicht um Vorschläge in Hinblick auf ein verändertes Vorgehen zum Schmutzfrachtnachweis, z.B. durch den Einsatz von hydrodynamischen Programmen mit dem Ziel einer realistischen Abbildung der Situation.

Anpassungsvorschläge in Hinblick auf bessere Vergleichsmöglichkeiten zwischen DYNA/FLOW und SMUSI

Hier werden Anpassungen des K++/DYNA/FLOW vorgeschlagen, die nicht für den Schmutzfrachtnachweis notwendig sind, jedoch den Vergleich der Simulationsergebnisse von K++/DYNA/FLOW mit SMUSI und ggf. mit anderen ähnlichen Programmen vereinfachen könnten.

4. Literaturverzeichnis

Tandler (o.A.): Verfahrensbeschreibung DYNA, Komplexes Parallelschrittverfahren, Version 5.2, Tandler.com, Buch am Erlbach

HLUG (2007): Dokumentation des Schmutzfrachtmodells SMUSI, Version 5.0, Teil I – Theoretische Grundlagen, Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. M. Ostrowski, Bearbeitung: Dr.-Ing. Dirk Muschalla, Dipl.-Ing. Frank Reussner, Silke Schneider, Darmstadt, Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

HLUG (2004a): Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit SMUSI, Anlage 2, Download der Datei von http://www.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=bb3a34e4450498cbad7aa85aa61e3796 am 05.06.2009, 19:36

HLUG (2004b): Leitfaden zur effizienten und sicheren Beurteilung von Schmutzfrachtberechnungen mit dem Modell SMUSI, Download der Datei von http://www.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=bb3a34e4450498cbad7aa85aa61e3796 am 05.06.2009, 19:36

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang B

Übersicht der unterschiedlichen Parameter
FLOW++ und KOSIM

1. Übersicht der unterschiedlichen bzw. angepassten Parameter

	KOSIM	FLOW++
Abflussbildung im Trockenwetterabfluss		
Trockenwetterabfluss	Es ist möglich, tages-, wochen- und jahreszyklische Schwankungen getrennt für den Schmutzwasserabfluss und die Schmutzwasserfracht zu verarbeiten. Periodische Ganglinien können definiert werden bzw. sind bereits vorhanden. Fremdwasser kann als konstanter Zuschlag zum mittleren Schmutzwasserabfluss eingegeben oder ebenfalls durch eine eigene Trockenwetterganglinie beschrieben werden.	Die Bemessung nach ATV-A 128 ist auf den Trockenwetterabfluss im Jahresmittel Q_{t24} aufgebaut. Die Einstellung des Spitzenwertes in FLOW++ erfolgte daher mit $x = 24h$. Zusätzlich ist zu beachten, dass der Trockenwetterabfluss in FLOW++ nur während der Simulationszeit berücksichtigt wird.
Abflussbildung im Regenwetterabfluss		
Verdunstung	Ausgeschaltet während des Ereignisses	Der Dauerverlust wird zur Berücksichtigung der Verdunstung um $0,4 \text{ l/(s*ha)}$ reduziert.
durchlässige Flächen	nicht berücksichtigt	Die durchlässigen Flächen werden nicht vernachlässigt, da dies zu einer nicht der Realität entsprechender Abflusscharakteristik in FLOW++ führen würde.
undurchlässige Flächen	Mulden- und Benetzungsverluste werden mit einem Anfangs- und Endabflussbeiwert berechnet	Nur Muldenverluste berücksichtigt; unterschiedliche Werte, abhängig von der Geländeneigung
Verlustparameter	nach ATV A128	Die gesamten Verlustparameter werden prozentual reduziert oder erhöht bis die Gesamtabflussmengen mit KOSIM annähernd übereinstimmen.
Verfahren zum Verlustabzug	-	Da die abflusswirksamen Flächen ($A_{u,i}$) in den vorliegenden Projekten unter der Verwendung des ATV-Modells (gemäß ATV-M 165) ermittelt wurden, wurde das Verfahren „Direkt vom Niederschlag“ gewählt.
Fließlänge auf der Oberfläche	-	Wird in DYNA automatisch ermittelt. Bei Grobflächen empfiehlt sich die Reduzierung der Durchlässigkeitsverteilung von 100% auf 80%.

	KOSIM	FLOW++
Transport		
Ermittlung der Simulationszeit	-	Grundsätzlich sollte das „Automatische“ Verfahren gewählt werden. Dieses sorgt dafür, dass die Berechnung nicht frühzeitig abbricht. Für kleine Gebiete ist es sinnvoll die Benutzerdefinierte Variante zu verwenden u. einen möglichst hohen Wert für die Trockenvorlaufzeit einzugeben.
TMRX – Max. Nachlaufzeit nach Regenende	-	TRMX-Parameter muss ausreichend groß angesetzt werden. Werte ab 1440 Minuten und größer sind sinnvoll.
Mischungsverhältnis		
Schmutztransport	<p>An jedem Einleitungspunkt, an dem eine kanalisierte Fläche oder eine Einzeleinleitung in den Transportsammler fließt, findet eine zeitgerechte Überlagerung der Regen- und Trockenwetterabflüsse und der darin enthaltenen Stofffrachten statt.</p> <p>Über eine Mischungsrechnung wird, unter der Annahme vollständiger Durchmischung beider Abflussanteile, die im jeweiligen Zeitschritt auftretende, zeitlich veränderliche Mischkonzentration des Mischwasserabflusses ermittelt. Es wird konservatives Verhalten der Stoffe unterstellt, d.h. auf dem Transportweg findet kein Stoffumsatz statt.</p>	<p>Verfahren analog zu KOSIM. Es stehen drei Arten der Mischungsrechnung zur Verfügung:</p> <p><u>1. Schwache Durchmischung:</u> Während einer Entlastung wird das Trockenwettervolumen ins Verhältnis zum Gesamtvolumen gesetzt. Bei der entlasteten Abflussmenge wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis von Trockenwetterabfluss zu Gesamtentlastungsmenge dem zuvor berechneten Verhältnis entspricht. Daraus errechnet sich dann die entsprechende Menge der Schmutzstoffes.</p> <p><u>2. Starke Durchmischung:</u> Das Verhältnis von Trockenwettervolumen zum Gesamtvolumen wird für die Zeitintervalle berechnet, für die Vollfüllung an der Abflusshaltung herrscht. Durch diesen, gegenüber dem Entlastungszeitraum erheblich längeren Zeitraum, erfolgt eine stärkere Durchmischung.</p> <p><u>3. Differenzierte Durchmischung:</u> Bei einer untenliegenden Entlastung wird mit schwacher Durchmischung gerechnet. In allen anderen Fällen mit starker Durchmischung. Von einer untenliegenden Entlastung spricht man, falls der zum Entlastungsereignis führende Aufstau am aktuell</p>

	KOSIM	FLOW++
		untersuchten Entlastungsbauwerk entsteht und nicht durch einen Rückstau ausgehend von einer weiter unten liegenden Abflusshaltung bewirkt wird (obenliegende Entlastung).

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang C

Automatische Zentralbeckenvariante

Anhang C.....	1
1. Kläranlage (automatisch) auswählen	3
2. Berechnen der Zentralbeckengröße.....	4
3. Einstellungen für das Nachweisverfahren (Schmutzfracht)	5
4. Ergebnislisten (Gesamt- und Einzelergebnisse)	6
5. IST-Zustand (Bereich Kläranlage)	7
6. Automatisches Erzeugen der Zentralbeckenvariante	8
7. Vergleich der Ergebnisse	9

1. Kläranlage (automatisch) auswählen

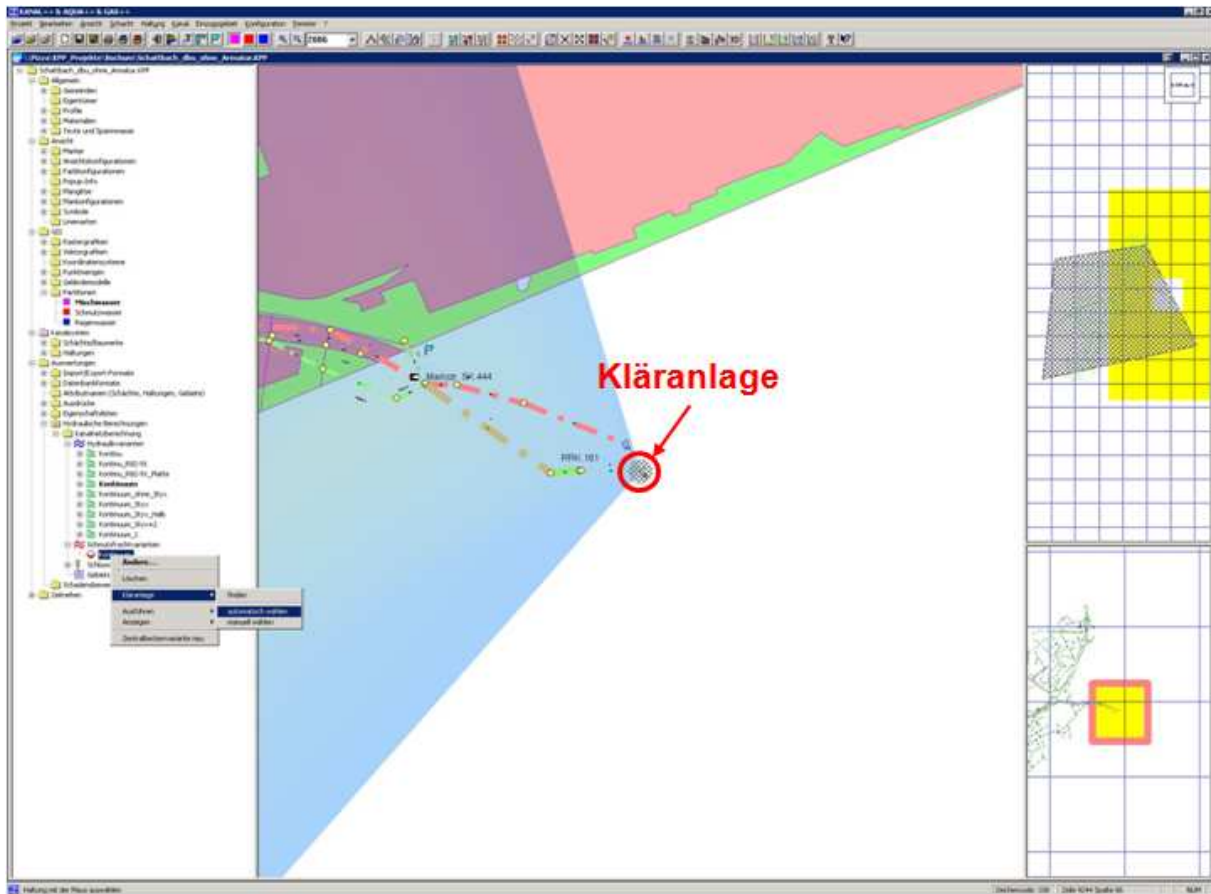


Abbildung 1: Auswahl der Kläranlage (automatisch oder manuell)

Die Zentralbeckenvariante basiert auf einem Detailmodell des jeweiligen Kanalnetzes wie es für einen hydrodynamischen Überflutungsnachweis verwendet wird. Auf den Aufbau des Modells wir hier nicht weiter eingegangen. Der Benutzer erzeugt eine neue Schmutzfrachtvariante und legt deren Kläranlage fest. Ist nur ein Auslauf vorhanden, wird dieser automatisch als Kläranlage verwendet.

2. Berechnen der Zentralbeckengröße

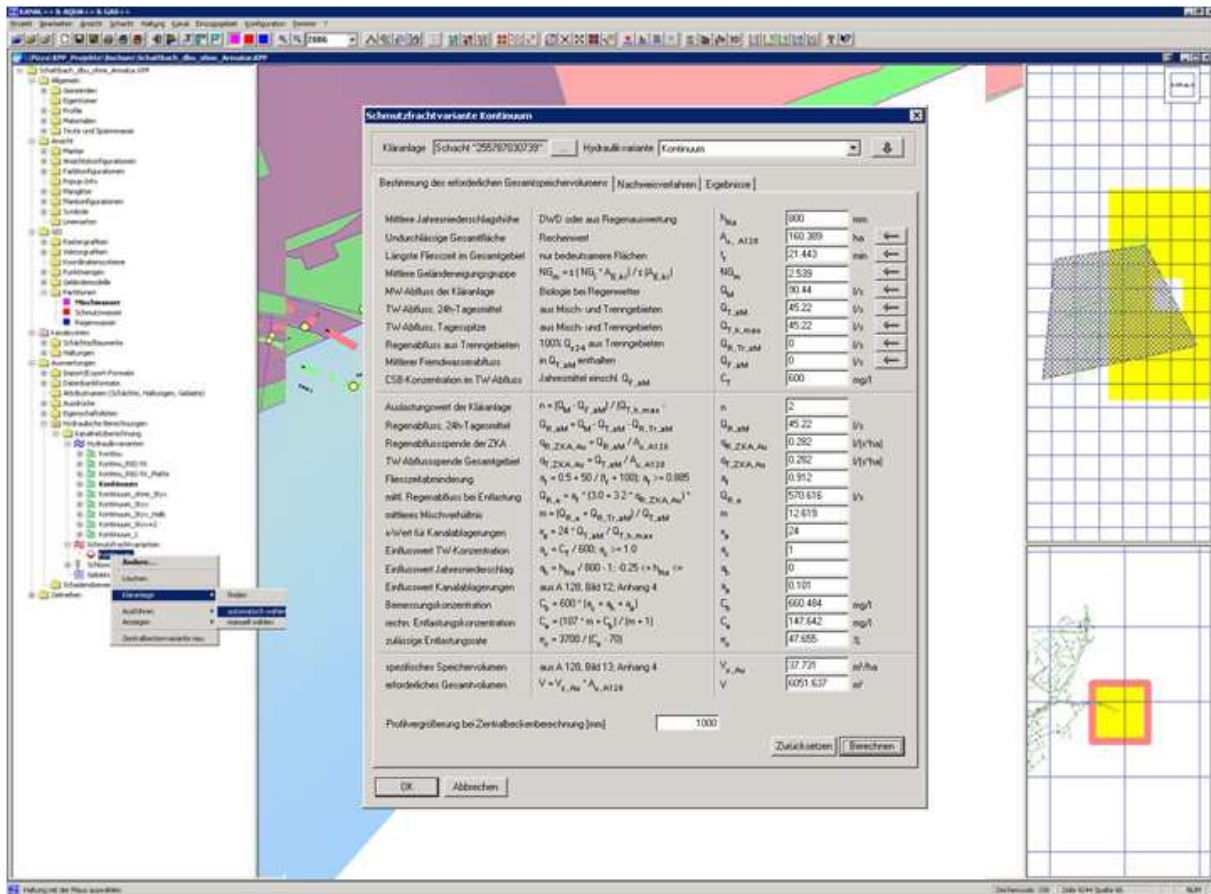


Abbildung 2: Formular zur Berechnung der Zentralbeckengröße

Der Benutzer gibt die Kenngrößen des Projektes in die Felder der Maske ein, bzw. lässt sie sich durch Knopfdruck automatisch aus dem modellierten Kanalsystem errechnen.

3. Einstellungen für das Nachweisverfahren (Schmutzfracht)

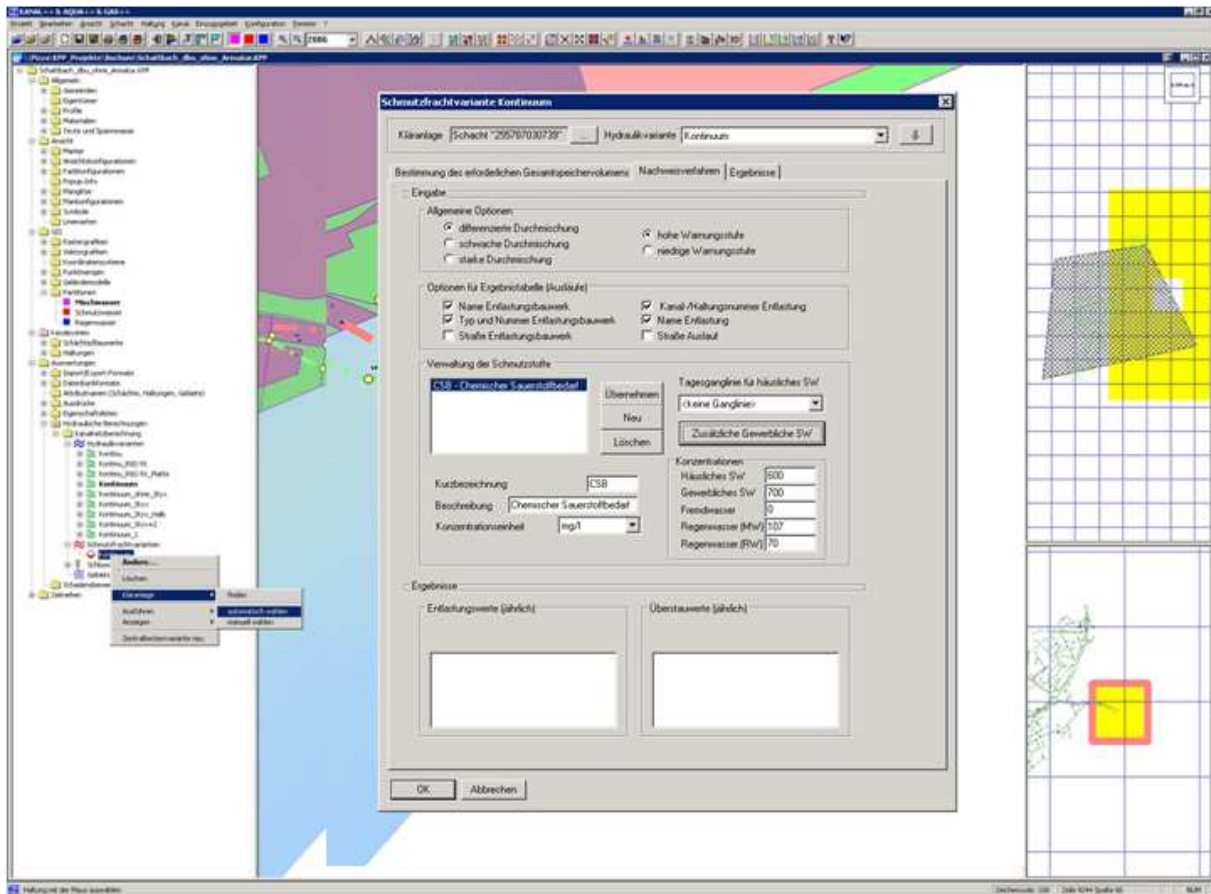


Abbildung 3: Konfigurationsdialog für Nachweisverfahren

Mit Hilfe dieses Dialoges hat der Anwender die Möglichkeit verschiedene Berechnungsparameter wie Art der Durchmischung (differenziert, schwach, stark) oder die Höhe der Warnstufe einzugeben.

Er kann die Tagesganglinie für das häusliche Schmutzwasser auswählen und für jeden Schmutzstoff die entsprechende Konzentration aufgeschlüsselt nach Wassertypen (z.B. häusliches SW, Regenwasser (MV), Regenwasser (RW) und beliebig vielen gewerblichen SW) angeben.

4. Ergebnislisten (Gesamt- und Einzelergebnisse)

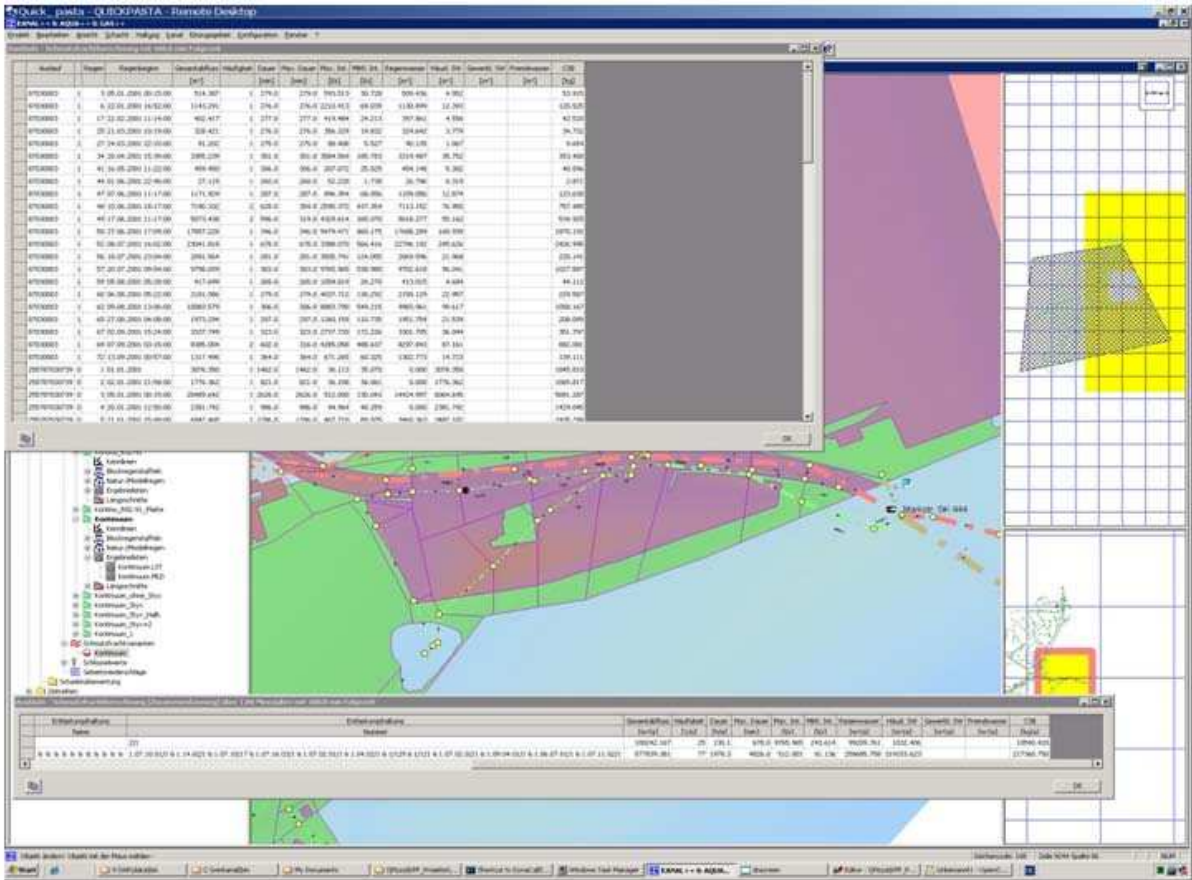


Abbildung 4: Umfangreiche Ergebnislisten

Nach der Berechnung werden zwei Listen vorgehalten. Die jährlichen Gesamtergebnisse für alle Ausläufe - hydraulische Ergebnisse wie Intensitäten, Häufigkeiten und Wassermengen sowie alle einzelnen Schmutzstoffmengen. Die Einzelergebnisse werden analog über alle Regen aufgeschlüsselt. Der Übersichtlichkeit halber aber nur für diejenigen Ausläufe bei denen ein Abfluss erfolgte ist.

5. IST-Zustand (Bereich Kläranlage)

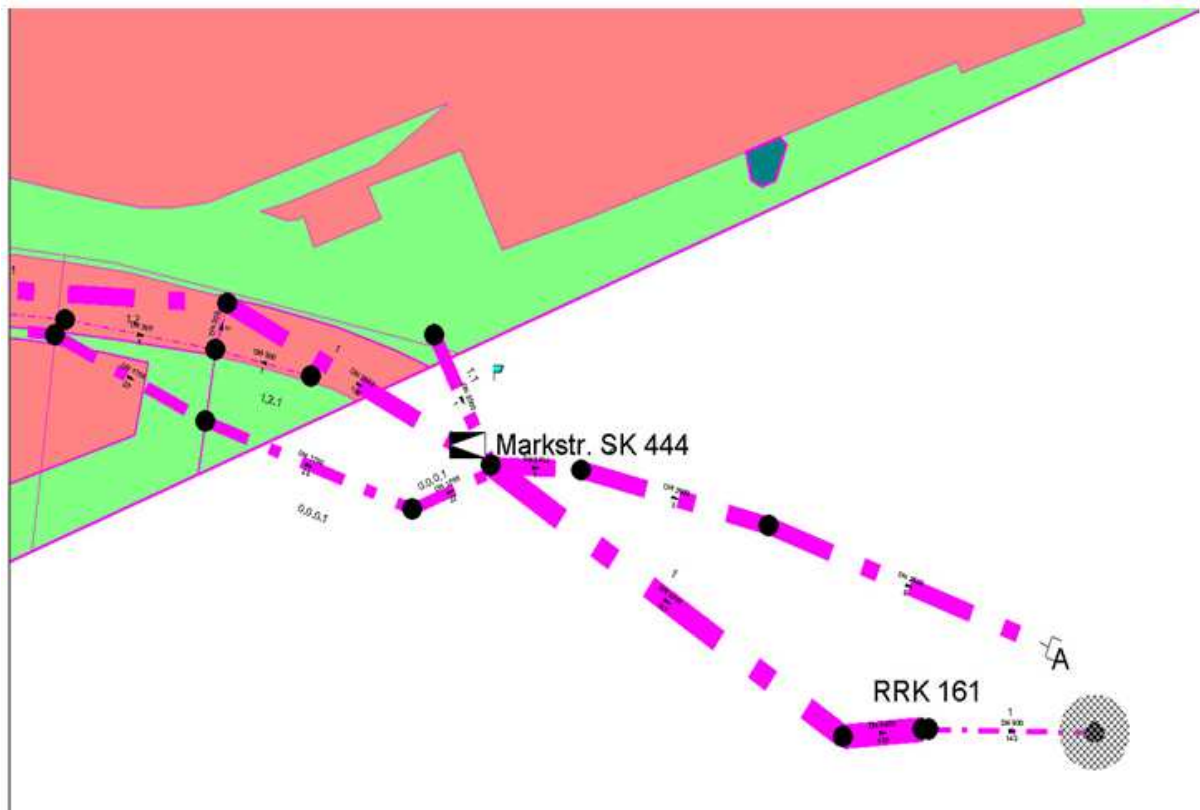


Abbildung 5: IST-Zustand

Ausgehend von der Kläranlage wird ihr Zuflussteilnetz ermittelt, zu dem alle Schächte und Haltungen gehören, von denen etwas zur Kläranlage fließen kann.

6. Automatisches Erzeugen der Zentralbeckenvariante

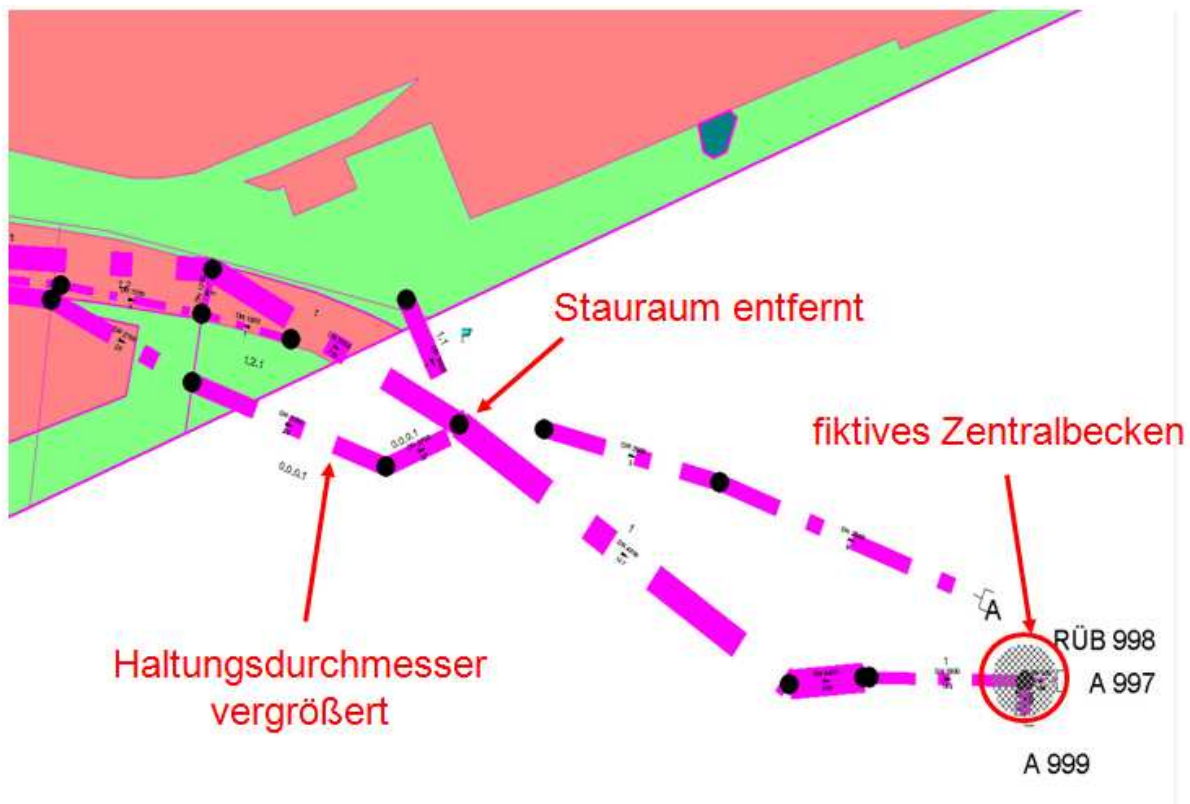


Abbildung 6: Zentralbeckenvariante (automatisch erzeugt)

Das Zentralbecken wird automatisch samt seinem Überlauf vor der Kläranlage eingefügt. Die Profile im Zuflussteilnetz werden vergrößert. Die Grenzhaltungen, die aus dem Zuflussteilnetz herausführen werden ignoriert. Die Becken im Zuflussteilsystem werden wie normale Schächte behandelt, insbesondere werden die Volumina ignoriert.

Bei steigenden Haltungen im Zuflussteilsystem wird als Durchflussfunktion eine ideale Pumpe verwendet.

7. Vergleich der Ergebnisse

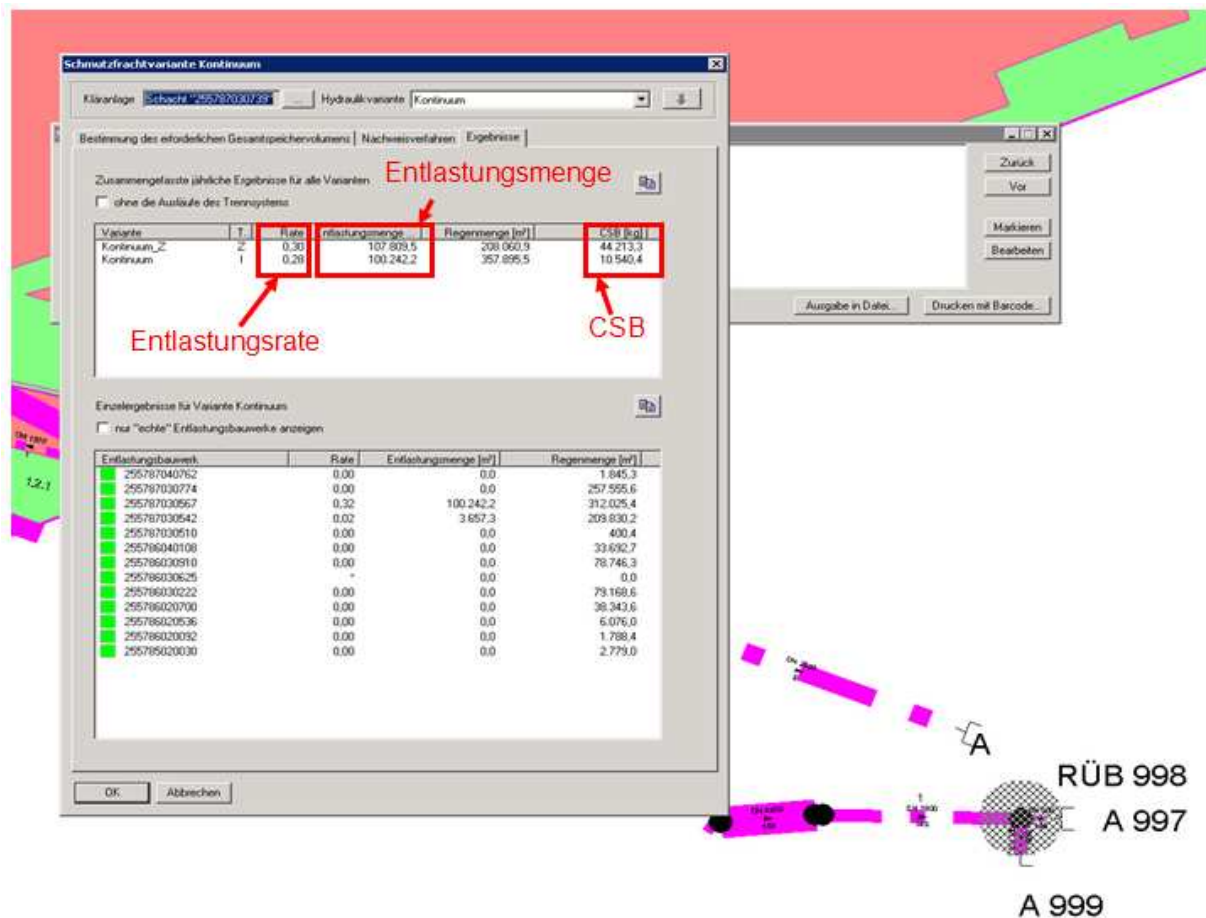


Abbildung 7: Variantenbezogene Gegenüberstellung der Ergebnisse

Die jährlichen Gesamtergebnisse - Regenmengen, Entlastungsmengen und Schmutzstoffmenge - sowie die Entlastungsrate werden für den Ist-Zustand und die Zentralbeckenvariante sowie für jede weitere Planungsvariante gegenübergestellt.

Zusätzlich werden die Einzelergebnisse aller Entlastungsbauwerke dargestellt und mit farbigen Warnhinweisen versehen. Bei gelben oder gar roten Buttons empfiehlt sich eine manuelle Überprüfung dieses Bauwerks.

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang D

Protokoll Beiratstreffen

20. November 2008

Projekt: AZ 23419/23-2:










„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgern aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

PROTOKOLL ZUM GUTACHTERTREFFEN

20. November 2008

Haus für Umweltingformatik, Buch am Erlbach

Teilnehmer:

 Deutsche Bundesstiftung Umwelt	Dipl.-Ing. Franz-Peter Heidenreich	fp.heidenreich@dbu.de	49090 Osnabrück
 Für Mensch und Umwelt	Dr. Dietmar Wunderlich	dietmar.wunderlich@uba.de	06844 Dessau
 IT IM DIENSTE DER UMWELT tandler.com	Dipl.-Math. Reinhard Tandler Dipl.-Inf. Gerald Angermair Dipl.-Ing. Johann Andorfer	ufo@tandler.com angermair@tandler.com andorfer@tandler.com	84172 Buch am Erlbach
 Guthler Ingenieure	Dipl.-Ing. Harald Güthler	ch@guethler-ingenieure.de	79761 Waldshut-Tiengen
 pecher	Dr.-Ing. Helmut Grüning	helmut.gruening@pecher.de	40688 Erkrath
 FACHHOCHSCHULE GIESSEN FRIEDBERG	Dr.-Ing. Martina Scheer	info@ib-scheer.de	87527 Sonthofen
 Fachhochschule Konstanz	Prof. Werner Lutz Susanne Thienger	wlutz@htwg-konstanz.de info@guethler-ingenieure.de	78462 Konstanz
 Mülheim an der Ruhr Stadt am Fluss	Dipl.-Ing. Bettina Neumann Dipl.-Ing. Martin Neumann	Martin.Neumann@stadt-mh.de Bettina.Neumann@stadt-mh.de	45468 Mülheim a. d. Ruhr
 Steinhardt Wasserbau	Dipl.-Ing. Jörg Steinhardt	info@steinhardt.de	65232 Taunusstein

Gliederung:

1. Agenda der Veranstaltung	4
2. Vortragsreihe	5
2.1. Projektüberblick - Zeitplan und Tätigkeiten	5
2.2. Technische Umsetzung der Verfahren - Schmutzfrachtberechnung, Schleppspannung, passive und aktive Steuerelemente	6
2.3. Kalibrierung und Validierung von Entwässerungssystemen - Grundlage der Systemerkennung in NRW	8
2.4. Untersuchungen in Hinblick auf die Genehmigungssituation in Hessen und weiteren Bundesländern	9
2.5. Verfahrensbewertung und Genehmigungsprozess Baden-Württemberg	10
2.6. Referenzprojekte Mülheim a. d. Ruhr und Augsburg	11
3. Diskussion/ Zusammenfassung	11

1. Agenda der Veranstaltung

Uhrzeit	Vortrag	Referent
10.30-11.00	Begrüßung / Kaffee	
11.00-11.30	Projektüberblick - Zeitplan und Tätigkeiten	Dipl.-Inf. Gerald Angermair (tandler.com GmbH)
~15 min	Diskussionsrunde / Fragen	
11.45-12.15	Technische Umsetzung der Verfahren - Schmutzfrachtberechnung, Schleppspannung, passive u. aktive Steuerelemente	Dipl.-Math. Reinhard Tandler (tandler.com GmbH)
~15 min	Diskussionsrunde / Fragen	
12.30-13.30	Mittagessen	
13.30-14.00	Kalibrierung und Validierung von Entwässerungssystemen – Grundlage der Systemerkennung in NRW	Dr.-Ing. Helmut Grüning (Dr. Pecher AG)
~15 min	Diskussionsrunde / Fragen	
14.15-14.45	Untersuchungen im Hinblick auf die Genehmigungssituation in Hessen und weiteren Bundesländern	Dr.-Ing. Martina Scheer (IB Scheer / FH Giessen)
~15 min	Diskussionsrunde / Fragen	
15.45-16.15	Referenzprojekte Mülheim a. d. Ruhr und Augsburg	Dipl.-Ing. Martin Neumann (Stadt Mülheim an der Ruhr)/ Dipl.-Ing. Johann Andorfer (tandler.com GmbH)
~15 min	Diskussionsrunde/ Fragen	

2. Vortragsreihe

2.1. Projektüberblick - Zeitplan und Tätigkeiten

Vorstellung des Projektes durch den Projektleiter Dipl.-Inf. Gerald Angermair (tandler.com). Dem Zuhörer sollte ein detaillierter Überblick über das Projekt gegeben werden.

1. Zielsetzung des Forschungsprojektes

Die Übergeordneten Ziele des F&E Projektes sind die Minderung der Schmutzfrachtausträge unter Beibehaltung des Entwässerungskomforts (Überstaunachweis). Erreicht werden diese Ziele durch eine realitätsnahe Simulation für eine verbesserte und vereinfachte Planung gesteuerter Systeme.

2. Überblick über die Leistungsphasen, die Projektstruktur und die Teilprojekte

Detaillierte Betrachtung der beiden Leistungsphasen des F&E Projektes. Vorstellung der in Leistungsphase I und II bereits abgeschlossenen Arbeiten (Schmutzfrachtberechnung, Schleppspannungsnachweis, HydrOstyx, Abdeckplatten) sowie der für den weiteren Projektverlauf geplanten bzw. in Bearbeitung befindlichen Umsetzungen (bewegliches Wehr, Pumpwerke, Verifikation des Systems).

Das Projekt ist in die drei Teilprojekte Berechnungsverfahren, Steuerbare Elemente und Genehmigungsbehörden aufgeteilt.

3. Projektgebiete (Augsburg, Mülheim a. d. Ruhr, Bochum)

An dieser Stelle wurde ein kurzer Überblick über die Projektgebiete Augsburg Ost, Mülheim a. d. Ruhr und Bochum gegeben. Für Augsburg Ost und Mülheim a. d. Ruhr wird im Rahmen des Projektes die Datenaufnahme, der Modellaufbau und die hydraulische Überrechnung, sowie die Schmutzfrachtberechnung durchgeführt. Für das Projektgebiet Bochum liegen 40 Jahre an Niederschlagsaufzeichnungen vor, welche im Rahmen einer Langzeitsimulation in Projektphase II zum Einsatz kommen. Zudem gehört das Projektgebiet Bochum zu den wenigen Gebieten, für welche detaillierte Abfluss- und Schmutzfrachtmessungen vorliegen.

4. Aufteilung der Arbeitsgebiete und Verantwortlichkeiten unter den Projektpartnern

Vorstellung der einzelnen Projektpartner und den Ihnen übertragenen Aufgaben und Verantwortlichkeiten.

2.2. Technische Umsetzung der Verfahren - Schmutzfrachtberechnung, Schleppspannung, passive und aktive Steuerelemente

Die entwickelten technischen Verfahren und Konzepte wurden vom Geschäftsführer der tandler.com GmbH Herrn Dipl.-Math. Reinhard Tandler vorgestellt.

1. Vergleich der passiven und aktiven Steuerung

- Veranschaulichender Vergleich der passiven und aktiven Kanalnetzsteuerung mit der passiven (Kreisverkehr / Beschilderung) und aktiven (Ampeln) Verkehrssteuerung.
- Darstellung der Risiken (Überflutungen, zusätzliche Entlastungen, etc.), die durch eine falsche bzw. nicht überprüfbare Kanalnetzsteuerung entstehen können.

2. Nachweisführung durch Simulation der Kanalnetzsteuerung

Bevor Steuerungen bzw. Steuerelemente in die Kanalnetze eingebaut werden können, müssen deren Funktionalität und Sicherheitsnachweise überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden und werden in das entwickelte hydrodynamische Verfahren spezielle Steuerungselemente (Pumpwerke, bewegliches Wehr, HydrOstyx, Abdeckplatten) eingebaut. Um große Verbundsteuerungen nachweisen zu können, muss das System um einen Regel-Interpreter (interner Arbeitsname GeoSCS) erweitert werden. Die Funktionalität wird noch im Rahmen dieses Forschungsprojektes spezifiziert. Eine Umsetzung ist allerdings nicht mehr möglich. Dies könnte im Rahmen eines Folgeprojektes durchgeführt werden und für den Simultaneinsatz in Echtzeit zur Ergänzung des Controlling und Monitoring ausgebaut werden.

3. Individualkonzepte für Flächen, Schächte und Bauwerke

Um eine möglichst exakte Simulation der realen Gegebenheiten gewährleisten zu können, müssen die vorliegenden Daten vollständig und wirklichkeitsgetreu genutzt werden. Hierzu kann im entwickelten Verfahren der individuelle Bodenaufbau/Bodenspeicher, individuelle cf-Werte (Versickerungskapazität), die verteilte Beregnung, individuelle Oberflächencharakteristika und ein automatisiertes Individualkonzept für Schächte und Bauwerke genutzt werden.

4. Passive Steuerungselemente ohne Elektronik (Gerinneabdeckung und HydrOstyx)

Die in Projektphase I umgesetzten passiven Steuerungselemente wurden nochmals anhand der vorhandenen Laborversuche der Technischen Universität München (Gerinneabdeckungen) und der Hochschule Konstanz (HydrOstyx) verifiziert.

5. Aktive Steuerungselemente (Pumpwerke, Druckrohre und bewegliches Wehr)

Die aktiven Steuerungselemente werden so ausgelegt, dass Sie von dem geplanten GeoSCS Modul zentral gesteuert werden können. Die Steueranweisungen können dann anhand beliebiger und geeigneter Zustände im Kanalnetz erfolgen. Diese Zustände werden über Messfühler (oder zukünftig über ein parallel mitlaufendes Modell) in Echtzeit ermittelt.

6. Leistungsanforderungen an Schmutzfrachtberechnung. Ökologische und sicherheitstechnische Aussagen.

Die ökologischen Aussagen wurden wie in DWA A128 gefordert umgesetzt. Der Schmutzfrachtaustrag wird in jährlicher Menge, jährlicher Anzahl/Häufigkeit und jährlicher Dauer angegeben. Zudem wird die mittlere Entlastungsrate e_0 bestimmt. Für die sicherheitstechnischen Aussagen wird er Überstau in jährlicher Menge, Anzahl und Dauer wie in DWA A118 und DIN EN 752 gefordert ausgewiesen.

7. Ganzheitliches hydrodynamisches Verfahren für Entlastungs- und Überstaunachweis mit Kontinuumssimulation und Parallelisierung

Durch die verwendete Parallelisierungstechnologie konnte zum ersten Mal bei einem Kanalnetz formidabler Größe (>25000 Elemente) auf einem 8-Kern-System (2xXeon E5450) die 100-fache Echtzeit überschritten werden.

8. Automatische Erzeugung der Zentralbeckenvariante gemäß ATV 128 Kap. 8.2

Die in ATV 128 Kap. 8.2 geforderte Zentralbeckenvariante zur Bestimmung der maximal zulässigen Schmutzfrachtausträge kann im entwickelten Verfahren automatisch erstellt werden. Es konnten alle geforderten Spezifikationen der Zentralbeckenvariante umgesetzt werden. Anhand des Referenzprojektes Bochum-Schattbach wurde die automatische Erstellung der Zentralbeckenvariante vorgeführt.

9. Umgesetzte Anforderungen aus Validation

Es wurden frei definierbare Tagesganglinien eingeführt um ein realitätsnahes, eindeutiges Mischungsverhältnis des Abwasserabflusses angeben zu können. Um Einfluss auf die

Mischungsverhältnisse nehmen zu können und um immer auf die „sichere Seite“ zu rechnen kann zwischen starker Durchmischung (ohne Absatzeffekte), schwacher Durchmischung (starke Absatzeffekte) und differenzierter Durchmischung individuell gewählt werden.

10. Schleppspannungsnachweis

Der Schleppspannungsnachweis wurde um das Schmutzpotential in einer Kanalhaltung erweitert. Als Kenngröße dient das Kanalschmutzpotential nach Macke (basierend auf DWA A-110). Es ist in den Ausprägungen relatives Kanalschmutzpotential, spezifisches Kanalschmutzpotential und Ablagerungsgefahr abrufbar.

2.3. Kalibrierung und Validierung von Entwässerungssystemen – Grundlage der Systemerkennung in NRW

Vorstellung der Vorgehensweise zur Systemerkennung in NRW durch Herrn Dr.-Ing. Helmut Grüning von der Dr. Pecher AG.

1. Modellkalibrierung: Ziele und Konzept

Die wesentlichen Unterschiede der Modellkalibrierung für Niederschlag-Abflussmodelle (hydraulischer Nachweis) und Schmutzfrachtberechnung (Emmissionsanteil) wurde dargestellt. Bei dem hydraulischen Nachweis wird das simulierte Abflussvolumen mit den Messergebnissen an einem ausgewählten (Mess-)punkt verglichen, bei der Schmutzfrachtberechnung ist das Entlastungsvolumen nachzuweisen. Entlastungsvolumina sind nur mit hohem Aufwand messbar, so dass eine Kalibrierung von SFB-Modellen nur eingeschränkt zu erwarten ist. Die Erfassung und Kalibrierung von Stoffkonzentrationen ist mittelfristig nicht zu erwarten. Umso bedeutsamer ist eine qualifizierte Berechnung von Schmutzfrachten.

2. Modellkalibrierung und -validierung: Anforderungen

Die Anforderungen an Messstellen und die Qualität von Niederschlagsereignissen wurde erläutert.

3. Stand: Genehmigungsverfahren in NRW

Beim LANUV NRW wurde die Anerkennung des SFB-Pogrammes beantragt. Das Verfahren sieht vor, dass exemplarisch für zwei Netze der Ablauf der Modellkalibrierung und -validierung vorgestellt wird. Die Gutachterfunktion nimmt Herr Dr. Belke von der TU Darmstadt wahr.

4. Arbeitsschritte und Beispiele

Ergebnisse ausgiebiger Messkampagnen und Modellkalibrierungen wurden für zwei Gebiete vorgestellt. Für ein Entwässerungsnetz in Datteln liegen sehr gute Ergebnisse vor. Für ein zweites Netz werden die Modelanpassungen aktuell vorgenommen.

5. Fazit und Ausblick

Die Bearbeitung des zweiten Testsystems wird in Kürze abgeschlossen. Die Ergebnisse werden dann dem Gutachter vorgestellt. Die Wertung des Gutachtens und die abschließende Durchführung des Anerkennungsverfahrens erfolgt durch das LANUV. Da keine Frachten sondern nur Abflussvolumina verglichen werden, sind aufgrund der hoch entwickelten Abflussberechnungsalgorithmen in DYNA keine maßgeblichen Schwierigkeiten zu erwarten.

2.4. Untersuchungen in Hinblick auf die Genehmigungssituation in Hessen und weiteren Bundesländern

Vorstellung der Vorgehensweise zur Systemerkennung in Hessen durch Frau Dr.-Ing. Martina Scheer.

Die im DBU-Projekt entwickelten Verfahren haben das Ziel den Gewässerschutz zu verbessern. Damit dieses Ziel in großem Maße erreicht wird, ist es notwendig, die Verfahren in der Praxis anzuwenden. Eine Möglichkeit dafür liegt im Nachweis der Mischwasserbehandlung. Bei diesem Nachweis wird ermittelt, ob das im Mischwasserkanalisationssystem vorhandene Speichervolumen den behördlichen Anforderungen entspricht. In Hinblick auf diese Anwendung sind bestimmte Randbedingungen zu beachten. Eine davon ist die Tatsache, dass es in den Bundesländern verschiedene Randbedingungen beim Nachweis der Mischwasserbehandlung gibt. Aufgabe des Projektteams Professor Theilen (FH Gießen) und Martina Scheer (Ingenieurbüro Scheer) war deshalb zunächst die Ermittlung der Randbedingungen in Hinblick auf die Anwendung der entwickelten Verfahren in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und insbesondere Hessen. Eine besondere Anforderung beim Nachweis der Mischwasserbehandlung in Hessen ist die Verwendung des Programms SMUSI als Prüfprogramm. Dies steht einer uneingeschränkten Verwendung der neuen Verfahren entgegen. Deshalb werden Untersuchungen durchgeführt, die darlegen sollen, welche Unterschiede bzgl. der Simulationsergebnisse mit dem Programm SMUSI und den neuen Verfahren bestehen. Diese Untersuchungen werden an einem hessischen Anwendungsbeispiel durchgeführt.

Die Ermittlung der Anforderungen in den o.g. Bundesländern wurde auf der Grundlage von Gesprächen (hauptsächlich telefonisch) mit Mitarbeitern von Genehmigungsbehörden und Informationen aus der Literatur durchgeführt. Vom hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz wurde vorgeschlagen, einen Vergleich bezüglich der Simulationsergebnisse von SMUSI und den neuen Verfahren für ein hessisches Anwendungsbeispiel durchzuführen.

Als geeignetes Kanalnetz wurde das Netz des Abwasserverbands Hungen ausgewählt. Von diesem Netz wurden zunächst die Daten beschafft. Dann wird das Netzmodell von Teilgebieten und anschließend dem Gesamtgebiet aufgestellt und die Simulationen durchgeführt. Auf dieser Grundlage werden die Simulationsergebnisse von SMUSI und den neuen Verfahren verglichen und die Unterschiede erläutert. Es wird angestrebt ein weiteres Gebiet mit anderen Randbedingungen zu simulieren; bei zeitlicher Verfügbarkeit wird ein Teilsystem des Entwässerungssystems Gießen simuliert und verglichen. Die Ergebnisse werden anschließend beim Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz vorgestellt.

2.5. Verfahrensbewertung und Genehmigungsprozess Baden-Württemberg

1. Nachweis der Richtlinienkonformität und Genehmigungsfähigkeit

Durch die praktische Anwendung des entwickelten hydrodynamischen Verfahrens zur Schmutzfrachtsimulation werden Vergleichsrechnungen mit dem hydrologischen Verfahren KOSIM durchgeführt.

Die Ergebnisse werden auf die Einhaltung der Anforderungen in ATV-A 128 und besondere Anforderungen des Bundeslandes Baden-Württemberg überprüft.

2. Beispiele und Vergleichsrechnungen

Vom Projektpartner Gütler Ingenieurteam GmbH werden die Städte Mühlacker und Babenhausen betrachtet. Die Hochschule Konstanz führt die Berechnungen für das Gebiet des Abwasserzweckverbandes Stockacher Aach durch.

3. Antrag auf Zulassung

Das Gütler Ingenieurteam GmbH und die Hochschule Konstanz sind autorisiert, die Zulassung zu beantragen. Hierfür werden die Ergebnisse der vorangegangenen Berechnungen dem Ministerium vorgelegt und erläutert.

2.6. Referenzprojekte Mülheim a. d. Ruhr und Augsburg

Ein wichtiger Aspekt des Forschungsprojektes ist die enge Zusammenarbeit mit den Partnerstädten Mülheim a. d. Ruhr und Augsburg. Die Partnerstädte stellen den Projektpartnern die benötigten Daten zur Verfügung und unterstützen diese bei der Modellierung der vorhandenen Kanalnetze. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden das Kanalnetz der Stadt Augsburg Ost und der kompletten Stadt Mülheim a. d. Ruhr modelliert. Diese Aufgabe wurde von Herrn Dipl.-Ing. Hans Andorfer (tandler.com GmbH) übernommen und präsentiert. Die Bearbeitung der Projektgebiete erfolgt generell in den folgenden Teilschritten:

1. Sammeln und Aufbereiten der Daten
2. Aufbau des Kanalnetzes
3. Aufbau der einleitenden Flächen
4. Einlesen der Flächenparameter und Regenmessungen
5. Kalibrieren des Modells anhand der hydraulischen Messungen im Kanalnetz
6. hydrodynamische Überrechnung (Entlastungs- und Überstaunachweis)
7. Analysieren der Schwachstelle und erarbeiten von Lösungen
8. Ggf. Behebung der Schwachstellen und erneute Überrechnung

3. Diskussion/ Zusammenfassung

1. Festzustellen ist, dass nicht verkannt werden darf, dass die Mitarbeiter der Genehmigungsbehörden ihre Vorschriften zu beachten haben. Damit kommen manchmal Verfahren zur Anwendung, die die neuesten Entwicklungen, in diesem Fall z.B. die Abflusssteuerung, nicht in ausreichendem Maße berücksichtigen können. Um zu verhindern, dass neuere Entwicklungen in Hinblick auf den Gewässerschutz nicht zur Anwendung kommen ist eine Diskussion mit den Genehmigungsbehörden notwendig. Dabei sollen nicht nur Sachbearbeiter, sondern auch die Stellen, die die Vorschriften vorgeben, einbezogen werden.

2. Weiterhin wurde angesprochen, ob es nicht sinnvoll wäre ein Tool zur Übertragung der DYNA/ FLOW/ KANAL++ Daten in das SMUSI Format zu entwickeln. Diese Möglichkeit wurde bereits bei Projektbeginn diskutiert. Dabei wurde allerdings entschieden, dieses Tool nicht zu entwickeln. Dies wäre erstens mit einem hohen Aufwand verbunden. Zweitens, und das ist noch entscheidender, würde nach Übertragung der Daten in das SMUSI Format die Berechnung bei der Behörde mit dem SMUSI durchgeführt werden. Damit wären die Vorteile der neu entwickelten Verfahren in Hinblick auf den Gewässerschutz nicht vollständig nutzbar.

3. Von Herrn Prof. Lutz und Herrn Güthler wurde angemerkt, dass das Programmsystem ++SYSTEMS/ DYNA als einziges Verfahren die exakte Berechnung von HydrOstyx und Abdeckplatten gewährleistet.

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang E

DWA Landesverbandstagung Nord

Manuskript: Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen durch innovative Systemelemente im Kanalnetz

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang F

A128: Grenzen der Anwendbarkeit

1. In mehr als eine Kläranlage entwässernde Haltungen

Treten in einem Netz Haltungen auf, von denen das Wasser in mehr als eine Kläranlage fließen kann, so ist die genaue Ermittlung des Zuflussteilsystems der jeweiligen Kläranlage nicht möglich und damit ist die Grundvoraussetzung für das Nachweisverfahren nicht erfüllt.

2. Haltungen mit Steigungen (Gegengefälle)

Treten im Netz in Fließrichtung ansteigende Freispiegelhaltungen auf, so kann der geforderte freie Abfluss zum Zentralbecken auch mit den in ATV-A 128 8.2.2.1 vorgeschlagenen Maßnahmen der Vergrößerung der Drosselabflüsse bzw. der Querschnitte nicht erreicht, ja sogar weiter behindert werden. In der Zentralbeckenvariante werden daher solche Haltungen als ideale Pumpen behandelt, um den Abfluss zum Zentralbecken zu sichern, was aber zu Ungenauigkeiten führen kann, wenn viele solche Haltungen vorhanden sind und/oder solche mit großen Durchflüssen behaftet sind.

3. Begrenzter Abfluss zur Kläranlage

Der Mischwasserabfluss zur Kläranlage Q_m soll nach ATV-A 128 in der Regel nicht weniger als $2 \cdot Q_{SX} + Q_{f24}$ betragen. Soll die Kläranlage in absehbarer Zeit ausgebaut werden, dann ist sogar bereits der Planungszustand der Kläranlage zu berücksichtigen. Dabei wird das bestehende Netz aber mit der zukünftigen Kläranlage verknüpft, was bei dem erhöhten zukünftigen Q_m zu einer deutlich verringerten CSB-Jahresentlastungsfracht führen kann, die dann bei der realisierten Planungsvariante nicht mehr überschritten werden darf.

Übersteigt der Regenwasserzufluss, verringert um den Fremdwasserabfluss, den Trockenwetterzufluss zur Kläranlage, so kann die Kläranlage aufgrund der Verdünnung nicht mehr optimal arbeiten. Bei Überschreitung um mehr als das zweifache kommt die Anwendbarkeit der vereinfachten Methode zur Bestimmung des erforderlichen Gesamtvolumens an ihre Grenzen. Das hydrodynamisch zu berechnende Zentralbecken hat dann solch unrealistische Ausmaße, dass die Einhaltung der daraus resultierenden Vorgabewerte nicht möglich ist. Dies war u.a. auch die Ursache, dass zwei Projekte in der Masterarbeit von Frau Thienger [S. Thienger, 2009] nicht die erwarteten Ergebnisse (Bad Wörishofen und Stockach) zeigten.

4. Literatur

ATV-A128 (1992) Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 128, Verlag:DWA, ISBN:978-3-933693-16-7

Thienger, S (2009) „Nachweis der Richtlinienkonformität für das hydrodynamische Schmutzfracht-Simulation FLOW++“, Master-Thesis an der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgern aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang G

Nachuntersuchung der Laborversuche an der TU-München

1. Nachuntersuchung der Laborversuch an der TU-München

Die Untersuchungen an der Technischen Universität München betrafen eine Nachuntersuchung unterschiedlicher Messungen, die zur Entwicklung einer Software im Bereich Abwasserkanäle im Laboratorium des Fachgebiets Hydromechanik an der TU München durchgeführt wurden. Im Speziellen werden Messungen von Frau Dr.-Ing. J. Merlein und Christian Barrois (betreut von Dipl.-Ing. C. Rapp) noch einmal verifiziert, da aufgrund von scheinbaren Unstimmigkeiten insbesondere bei den gemessenen Wasserständen in den Schächten weitere Fragen auftraten. Diese Fragen wurden im Abschlussbericht der ersten Förderperiode aufgeworfen (siehe [Tandler, R., *Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von*

Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch

Einsatz moderner Steuerungselemente, Leistungsphase I / Firma Tandler – Forschungsbericht DBU (Aktenzeichen: 23419/01), 2006]). Im Rahmen der Untersuchung wurde die Dokumentationen beider Messreihen miteinander verglichen und Nachuntersuchungen an dem bereits vorhandenen Versuchsaufbau durchgeführt. Der Versuchsaufbau und die untersuchte Problematik wird hier als bekannt vorausgesetzt und nicht beschrieben (siehe [Merlein, J., *Einfluss der Strömung in Schächten auf die Leistungsfähigkeit von eingestauten Abwasserkanälen*, Dissertation, Technische Universität München, 2002]).

Eine Durchsicht der Dokumentation der Ergebnisse die im Abschlussbericht der ersten Förderperiode dokumentiert wurden ergab zunächst Hinweise darauf, dass die Ergebnisse sich auf unterschiedliche Bezugsniveaus bezogen. Um das zu verifizieren wurden noch einmal Testreihen durchgeführt, in denen sowohl die Durchflüsse als auch die Wehrhöhen im Auslaufbehälter variiert wurden. Zusätzlich zu den alten Werten wurde ein Durchfluss von $Q=70\text{l/s}$ sowie zwei weitere Wehrhöhen durchgemessen. Tabelle 1 gibt die Wasserstände bei den angegebenen Konfigurationen an. Diese beziehen sich auf die jeweilige Kanalsole, d.h. das Sohlgefälle ist nicht berücksichtigt. h bezeichnet den Wasserstand und w die Wehrhöhe über der Kanalsole am Auslauf. Diese Kontrollmessungen bestätigten die in der ersten Förderperiode durchgeführten Messungen.

w[cm]	Q[l/s]	Messreihe	Schachtart				
			Einlauf	45°Uml.	gerader D.	90°Uml	Auslauf
10	50	Kontrolle	71	57	51,5	47	21
30	20	Barrois	34,5	34	35	35,5	36
		Kontrolle	34	34	35	36	36
30	50	Barrois	56,5	49	46,5	44,5	42
		Kontrolle	55	48	46	44	41,5
30	70	Barrois	78,5	63,5	57	51,5	46
		Kontrolle	76	61	55	51	44,5
45	70	Kontrolle	89	76	70	66	61
65	70	Barrois	113,5	99	92,5	88	80

Tabelle 1: Wasserstände in den Schächten bezogen auf die Kanalsohle

Beim Vergleich der Kontrollmessung mit den von Merlein ermittelten kann die Ursache für die im Abschlussbericht der ersten Förderperiode bemängelten Diskrepanzen gefunden werden. Die Wasserstände werden von Frau Merlein [2002] absolut auf das Niveau der Kanalsohle am Auslauf bezogen. Um die Ergebnisse von Christian Barrois auf das gleiche Niveau zu beziehen, muss auf die gemessenen Wasserstände der Höhenunterschied des Sohlgefälles addiert werden. Dies wird in Tabelle 2 gezeigt.

Q[l/s]	Messreihe	Einlauf	45°Uml.	gerader D.	90°Uml	Auslauf
70	Bar, relativ	113,5	99	92,5	88	80
	+Sohlgefälle	5	4	2	1	0
	Bar, absolut	118,5	103	94,5	89	80
72	Mer, absolut	123	108	99	94	82

Tabelle 2: Vergleich zwischen Barrois (Bar) und Merlein (Mer). Sohlgefälle: 0,2%.

Bei dem Vergleich zwischen den Messungen von Barrois und Merlein muss berücksichtigt werden, dass der Durchfluss bei Merlein um 3% erhöht ist (von 70 auf 72 l/s). Die Energieverluste der Strömung skalieren mit v^2 . Das bedeutet bei einer um 3% höheren Strömungsgeschwindigkeit ein zusätzlicher Energieverlust von 6%. Der Gesamtenergieverlust beträgt bei Merlein 41 cm, bei Barrois

38,5 cm. Skaliert die Ergebnisse von Barrois auf den Durchfluss von Merlein, so ergibt sich ebenfalls ein Gesamtenergieverlust von 41 cm.

Damit konnten die Kontrollmessungen sowohl die Ergebnisse von Merlein, als auch diejenigen von Barrois bestätigen. Die Messungen sind somit als Grundlage für eine Validierung des Kanalnetzprogrammes geeignet. Die Ursache für die im Abschlussbericht der ersten Förderperiode bemängelten Unterschiede zwischen den Wasserständen konnten identifiziert werden. Zunächst wurden die Wasserstände im Abschlussbericht auf die falschen Bezugsniveaus bezogen. Zum anderen wurde die Abhängigkeit der Energieverluste von der Geschwindigkeit nicht berücksichtigt. Bezieht man die Daten auf dasselbe Bezugsniveau und berücksichtigt man die unterschiedliche Geschwindigkeitshöhe, so fallen beide Messungen aufeinander.

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang H

Stellungnahme der Unteren Wasserbehörde (UWB) Mülheim an der Ruhr über das
Softwareprogramm „FLOW++“

Firma

Tandler.com GmbH

Am Griesberg 25 - 27

84172 Buch am Erlbach

Ihr(e) Zeichen: / Ihr Schreiben vom:

Amt für Umweltschutz

Gebäude: **Hans Böckler Platz 5**
Eingang: **Hans Böckler Platz 5**
Auskunft: **Herr Neumann**
Zimmer: **12.22**
Telefon: **(0208) 455 - 7027**
Telefax: **(0208) 455 - 58 7027**

Online:

Martin.Neumann@stadt-mh.de
<http://www.muelheim-ruhr.de>

Sprechzeiten:

nach Vereinbarung

Öffentliche Verkehrsmittel:

Bahn: alle Linien/Innenstadt/Hauptbahnhof
Bus: alle Linien/Innenstadt/Hauptbahnhof

Datum: **12. November 2009**

Aktenzeichen: **70.4**

**Stellungnahme der Unteren Wasserbehörde (UWB) Mülheim an der Ruhr über das
Softwareprogramm „FLOW++“.**

Sehr geehrte Damen und Herren,
bezüglich Ihrer Anfrage über die Genehmigungsfähigkeit von mit FLOW++ erstellten
Schmutzfrachtberechnungen teile ich Ihnen die Stellungnahme der UWB Mülheim an der
Ruhr mit.

Das Programm ist für die Simulation des Schmutzfrachtaustrages (CSB, prioritäre Stoffe
u.ä.) und deren Bilanzierung prädestiniert. Die UWB erkennt Schmutzfrachtberechnungen,
welche in ihrer Zuständigkeit liegen, die mit FLOW++ erstellt wurden in vollem Umfang an.
Aus unserer Sicht sind die mit FLOW++ erstellten Schmutzfrachtberechnungen in vollem
Umfang genehmigungsfähig.

Mit freundlichen Grüßen

i. A.

J. Landers

M. Neumann

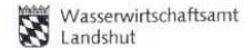
Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang I

Offizielle Bestätigung der Schmutzfrachtberechnung für die Stadt Landshut durch das
Wasserwirtschaftsamt Landshut

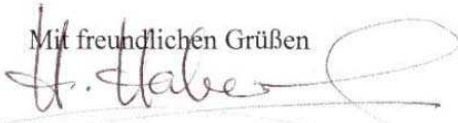
1. Offizielle Bestätigung der Schmutzfrachtberechnung



In der Summe konnten die zum Vergleich vorliegenden Ergebnisse der vom Ingenieurbüro Schlegel durchgeführten SMUSI Berechnung des Grobnetzes bestätigt werden. Allerdings verteilte sich bei der Schmutzfrachtberechnung mit dem Parallelschrittverfahren die gesamte Entlastungsmenge von ca. 1,3 Mio. cbm/a auf eine deutlich größere Zahl an Ausläufen (54 statt 15) gegenüber der SMUSI Berechnung.

Nach Aussage der Stadtwerke Landshut wird die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte realitätsnahe Simulation künftig in Landshut zum Einsatz kommen.

Mit freundlichen Grüßen



Helmut Haberl

Projekt: AZ 23419/23-2

„Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente“

Anhang J

Vergleichsrechnung Bochum

Programmnahe Darstellung der Simulation von Entlastungsfrachten –
Optimierte Betrachtung des Kanalnetzes

Anhang J.....	1
1. Übersicht.....	3
2. Modellaufbau und Modellierung	3
3. Niederschläge.....	6
4. Berechnungsparameter und Berechnungskonfiguration.....	9
5. Hydrodynamische Überrechnung.....	14
6. Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung.....	17
7. Vergleich der gemessenen und berechneten Ergebnisse	19
8. Messungen – Simulation Moment – Simulation FLOW++ Gesamtmengen.....	21
9. Optimierungsberechnung	25
10. Einbau von Abdeckplatten.....	29
11. HydrOstyx Armaturen	35
12. Berechnung der CSB Frachten im Vergleich mit den Messungen.....	39
13. Fazit	41

1. Übersicht

Etwa 50 % der Gesamtemissionen aus Abwasserentsorgungssystemen machen die niederschlagsbedingten diskontinuierlichen Einleitungen aus den Kanalnetzen aus. Der rechnerische Nachweis dieser Entlastungsfrachten erfolgt üblicherweise über Langzeitbetrachtungen mit vereinfachten Modellansätzen. Der messtechnische Nachweis für Entlastungsabflüsse erfolgt aufgrund der einschränkenden Randbedingungen an den Entlastungsbauwerken in der Regel nicht. Somit ist eine generelle Kontrolle sowie eine Überprüfung der zumeist durch Grobnetze simulierten Abschlüsse nur eingeschränkt möglich.

Eine auf hydrodynamischen Ansätzen basierende Simulation mit dem kompletten Kanalnetzmodell weist dabei wirklichkeitsnahe Ergebnisse auf. Die hydrodynamische Simulation war bislang jedoch aufgrund der Rechenzeiten für Langzeitbetrachtungen nicht praktikabel. In diesem von der DBU geförderten Forschungsprojekt wurde unter anderem dieses Defizit ausgemerzt. Durch das „Komplexe Parallelschrittverfahren“ besteht nunmehr auch die Grundlage für die kontinuierliche Simulation rückflussbehafteter, vermaschter und sogar gesteuerter Systeme.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Ruhr-Universität Bochum war es möglich, durch innovative messtechnische Entwicklungen, sowohl die Entlastungsabflüsse als auch Stoffparameter, über mehrere Monate für ein 360 ha großes Gebiet zu erfassen. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen u.a. das Resultat dieser Messkampagne, welche als Referenz mit den Ergebnissen der Entlastungsberechnungen unseres geförderten Verfahrens verglichen werden. Im Anschluss daran wird ein geeignetes Szenario für eine mögliche Reduzierung der Emissionsmengen durch Einbau einfacher innovativer Steuerelemente dargestellt, und dies ohne entscheidende Beeinträchtigung des Entwässerungskomforts des Kanalnetzes.

Diese Verfahrensbeschreibung soll zugleich auch die programmtechnischen Möglichkeiten des Entwickelten Verfahrens FLOW++ in Kombination mit dem zugrundeliegenden GIS ++SYSTEMS darstellen. Grundkenntnisse in der Anwendung von ++SYSTEMS / FLOW++ sind hilfreich aber nicht zwingend nötig.

2. Modellaufbau und Modellierung

Die Modellierung des Projektgebietes wurde vollständig mit dem Verfahren ++SYSTEMS durchgeführt. Der Datenbestand wurde erstmalig an der Ruhruniversität Bochum (Prof. Orth) aufgenommen.

Bei tandler.com wurde dieser Bestand auf seine Plausibilität geprüft und an die aktuellen Gegebenheiten angepasst, wie sie im Abschlussbericht zum FE-Vorhaben „Untersuchung zum Austragsverhalten von Stauraumkanälen“ beschrieben wurden.

Zum Zwecke der Orientierung und Abschätzung der abflusswirksamen Flächen wurde ein Orthofoto mit relativ schwacher Auflösung hinterlegt, welches direkt aus dem Internet vom Amt für Geoinformation in Bochum allgemein zugänglich zur Verfügung gestellt wird. Dabei ergibt sich eine Gesamtübersicht im ++SYSTEMS.

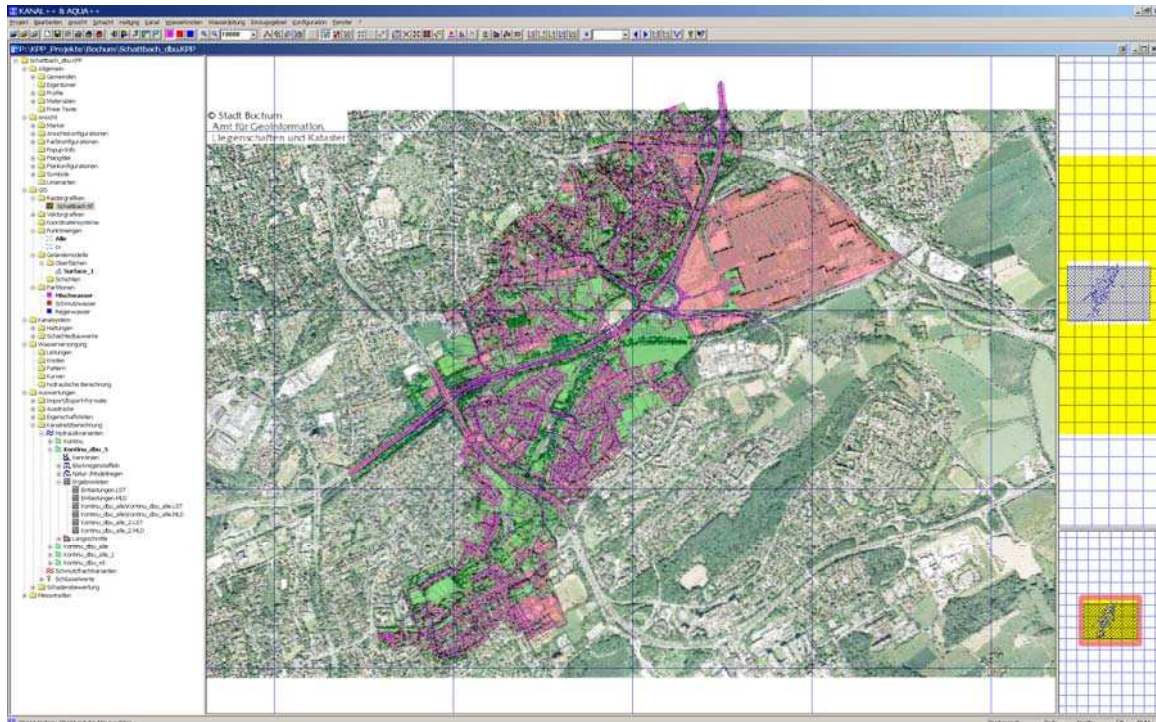


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Bochum Schattbach: ++SYSTEMS Bildschirm mit Orthofoto

Anschließend wurde aus den Schachtdeckelhöhen ein Geländemodell erstellt. Dies dient zur Berechnung der genauen Geländeneigungen. Es ergab sich gegenüber der übergebenen Situation eine deutliche Steigerung der Gefälle der Einzugsgebiete. Anstelle eines Mittelwertes von 2,7 % ergibt sich nun ein mittleres Gefälle von 4,9%. Alle anderen Daten stimmen sehr genau mit Tabelle 1 der im Bericht (Prof. Orth) beschriebenen Situation überein, wie die nachfolgend dargestellte ++SYSTEMS Haltungsstatistik zeigt.

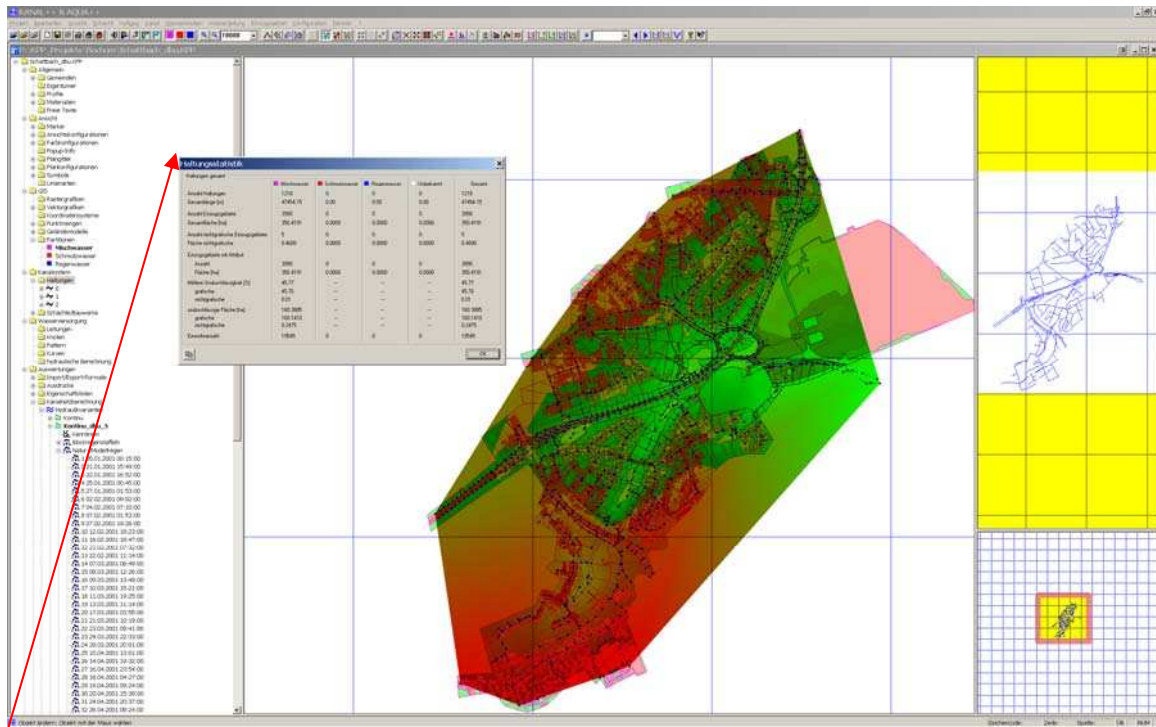


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet Bochum-Schattbach mit Geländemodell aus Schachtdeckeln: Kanal++ Modell im Masstab 1:10000

Haltungsstatistik					
Haltungen gesamt	Mischwasser	Schmutzwasser	Regenwasser	Unbekannt	Gesamt
Anzahl Haltungen	1218	0	0	0	1218
Gesamtlänge [m]	47454.15	0.00	0.00	0.00	47454.15
Anzahl Einzugsgebiete	3990	0	0	0	3990
Gesamtläche [ha]	350.4191	0.0000	0.0000	0.0000	350.4191
Anzahl nichtgrafische Einzugsgebiete	5	0	0	0	5
Fläche nichtgrafische	0.4600	0.0000	0.0000	0.0000	0.4600
Einzugsgebiete mit Attribut					
Anzahl	3990	0	0	0	3990
Fläche [ha]	350.4191	0.0000	0.0000	0.0000	350.4191
Mittlere Undurchlässigkeit [%]					
grafische	45.77	---	---	---	45.77
nichtgrafische	0.01	---	---	---	0.01
undurchlässige Fläche [ha]					
grafische	160.3885	---	---	---	160.3885
nichtgrafische	160.1410	---	---	---	160.1410
nichtgrafische	0.2475	---	---	---	0.2475
Einwohnerzahl	19545	0	0	0	19545

Abbildung 3: Untersuchungsgebiet Bochum Schattbach Kanalnetzdaten

3. Niederschläge

In einem nächsten Schritt wurden die gemessenen Niederschläge importiert. Diese wurden nochmals mit 1 Minuten Intervallen neu erfasst und wie folgt über die Zwischenablage aus einer Excel-Tabelle importiert. Ausschlaggebend sind dabei die Abbildung 4 Dialog geforderten Parameter der Auswertegrenze sowie das Quell- und Zielzeitintervall.

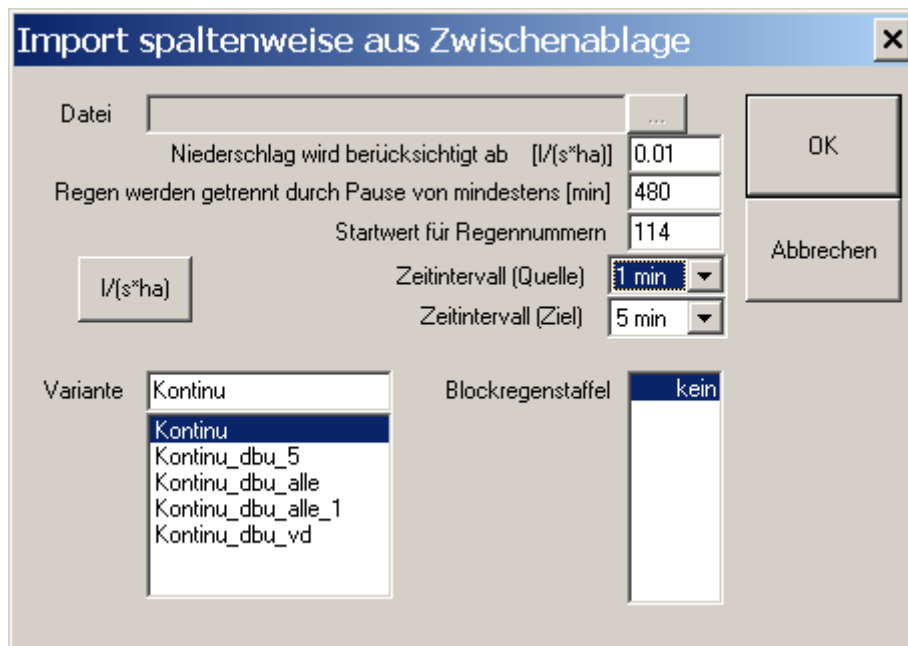


Abbildung 4: Import der Niederschlagsmessungen mit Folgezeit, Quell- und Zielzeitintervall

Durch letztere Angabe erfolgte eine Transformation von 1 Minuten Werten in 5 Minuten Werte. Wie die nachfolgenden Messdaten zeigen, unterliegt das Gebiet zeitweise deutlichen Schwankungen in der räumlichen Niederschlagsverteilung. Somit stellt die punktuell sicher etwas ungenauere lokale Intervallbreite von 5 Minuten sicher keine Einschränkung der Berechnungsgenauigkeit dar. Auch eine Testrechnung mit einem 10-Minuten-Intervall ergab keine signifikante Abweichung im Endergebnis.

Ein wesentlich wichtigerer Parameter ist die Folgezeit, das heißt diejenige Zeitdauer, die mindestens ohne Niederschlag verstreichen muss, damit eine nachfolgende Niederschlagstätigkeit als neues Regenereignis gezählt wird. Als Standardwert sind hier 480 Minuten bzw. 8 h voreingestellt, der im vorliegenden Fall auch benutzt wurde. Alle so automatisch erstellten Regenereignisse können dann also Trockenperioden enthalten, die jedoch allesamt kürzer sind, als 8 h.

Dass diese Folgezeit groß genug gewählt wird, ist vor allem dann ausschlaggebend, wenn nicht mit einer Folgeregenbetrachtung gearbeitet wird. Ist diese Zeitspanne zu klein, so ist keineswegs

auszuschließen, dass nachfolgende Regenereignisse irrtümlich ein Kanalnetz antreffen, welches noch nicht in den Trockenwetterzustand zurückgekehrt ist, in der Simulation dieser jedoch vorausgesetzt wird. Das Ergebnis bewegt sich dann natürlich zur unsicheren Seite hin.

Im nachfolgenden Bild wurde ein Ereignis dieses Imports (Nr.30) zu Kontrollzwecken herausgegriffen während sich der ++SYSTEMS Schirm bereits in einem etwas größeren Maßstab von 1:5000 befindet.

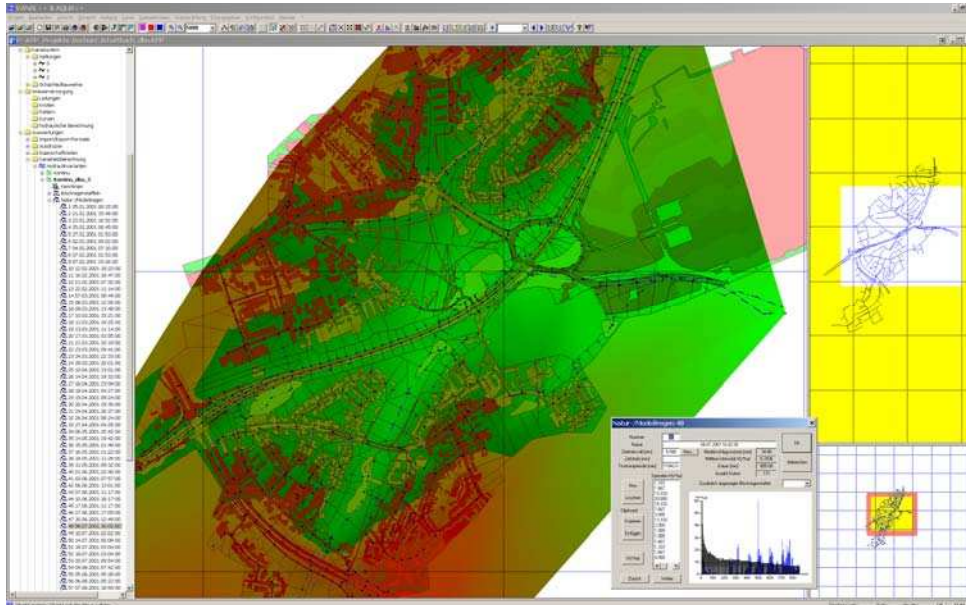


Abbildung 5: Kanal++ Arbeitsbereich 1:5000 mit Niederschlagsmessungen

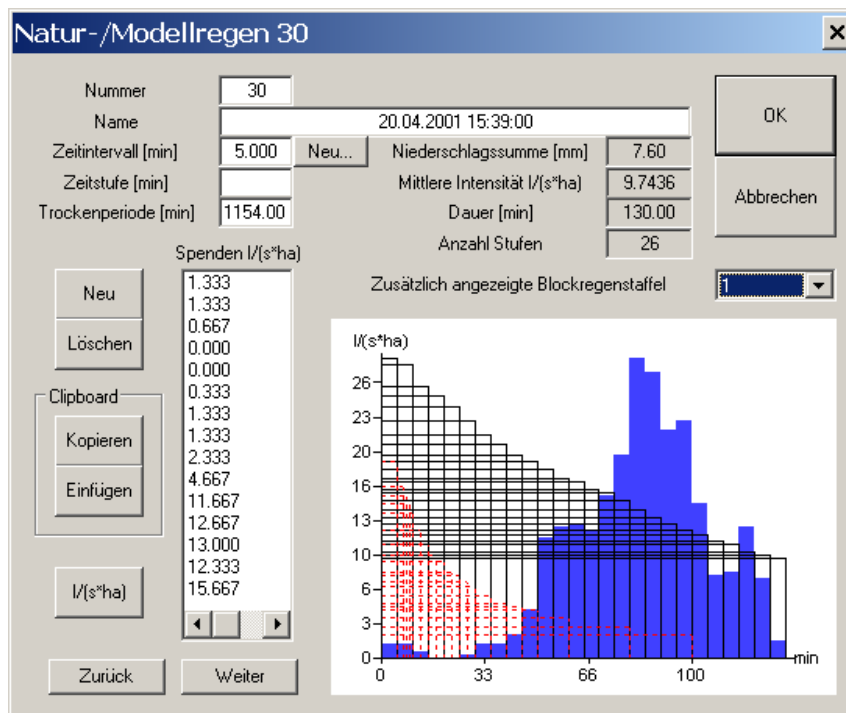
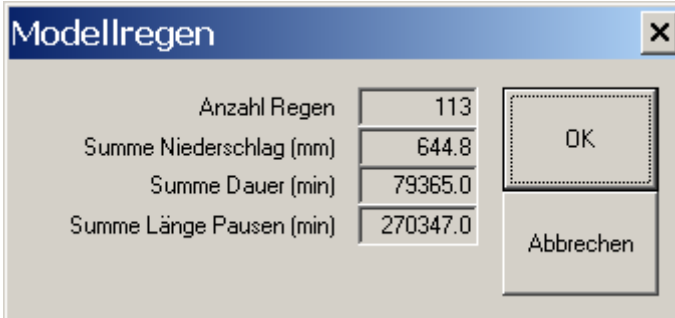


Abbildung 6: Niederschlagsmessung vom 20.4.2001

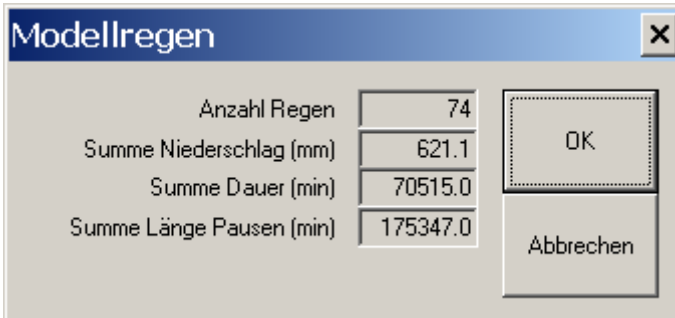
Bei der hier eingestellten Option „Folgeregenbetrachtung“ spielt diese Folgezeit eine untergeordnete Rolle, da ohnehin das gesamte Kontinuum wie ein einziger Regen gerechnet wird. Hier ist es wiederum wichtig, die Niederschlagspausen bzw. Trockenperioden nicht komplett zu rechnen, sondern nur eine ausreichende Zeitspanne. Diese muss nur lange genug sein, damit im Kanal wieder Trockenwetterzustand herrscht und auch die Aufnahmekapazität des Bodens aufgrund des Bodenaufbaus wieder in ihren Anfangszustand zurückgekehrt ist bzw. die Oberfläche wieder komplett abgetrocknet ist. Dieser Parameter ist also groß genug zu wählen, jedoch nicht zu groß, damit die Rechenzeiten sich nicht unnötig lange hin ziehen, wobei ein großer Teil der Rechenzeit dann in die ggf. unnötige Berechnung des Trockenwetters investiert wird. In diesem Fall wurde dieser Parameter auf 960 Minuten gesetzt. Die vom Ordner Natur-/Modellregen abzurufende Statistik zeigt Abbildung 7. Es wurde insgesamt eine Niederschlagsmenge von 644.8 mm importiert. Anschließend wurden über einen in Abbildung 6 als rotes Diagramm eingblendeten Filter irrelevante kleine Regenereignisse aussortiert. D.h. alle Regen, deren Wiederkehrzeitcharakteristik (schwarze Balken) komplett unterhalb der rot eingblendeten Blockregestaffel zu liegen kommt, werden ausgeblendet. Die rote Staffel entspricht dabei etwa einer Regenhäufigkeit von 50/a.



Modellregen	
Anzahl Regen	113
Summe Niederschlag (mm)	644.8
Summe Dauer (min)	79365.0
Summe Länge Pausen (min)	270347.0
OK	
Abbrechen	

Abbildung 7: Niederschlagsstatistik vor Selektion von irrelevanten Niederschlägen

Man sieht deutlich, dass die Zahl der Ereignisse ~35% (und damit die Gesamtrechenzeit) drastisch reduziert wurde, ohne dass sich die Gesamtniederschlagsmenge erheblich verändert hätte (~3%). Letztlich ergab auch eine vergleichende Berechnung keine Unterschiede.



Modellregen	
Anzahl Regen	74
Summe Niederschlag (mm)	621.1
Summe Dauer (min)	70515.0
Summe Länge Pausen (min)	175347.0
OK	
Abbrechen	

Abbildung 8: Niederschlagsstatistik nach Selektion von irrelevanten Niederschlägen

Für einen Überstau- bzw. Entlastungsnachweis nach A118 bzw. A128 reicht diese Gesamtregendauer bei weitem nicht aus. Da hier Aussagen über den Erwartungswert langjähriger Statistiken zu treffen sind, ist hierbei auch ein möglichst großer Auswertez Zeitraum heranzuziehen, mindestens ein solcher, über den sich die Aussage erstrecken soll. In dieser Untersuchung soll jedoch gezeigt werden, dass eine Simulation über einen langen Zeitraum äquivalent ist zu einer Messserie über diesen Zeitraum. Dies erspart immense Kosten beim Nachweis, vor allem dort, wo solche teuren Messserien nicht vorliegen. Ferner reduziert sich die Nachweisfragestellung auf die Einrichtung eines möglichst großen Netzwerkes von Niederschlagsmessstationen. Selbst dies und die zugehörigen Auswertungen erfordern einen Kostenaufwand, der bisher noch nicht vollständig getragen wurde.

4. Berechnungsparameter und Berechnungskonfiguration

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen noch einmal die Mischwasserpartition, die Partitionsstatistik und die mittleren Neigungen, die sich allein aus dem Geländemodell ergeben haben. Anschließend mussten nur noch die Berechnungsparameter innerhalb eines Variantenobjektes angepasst werden.

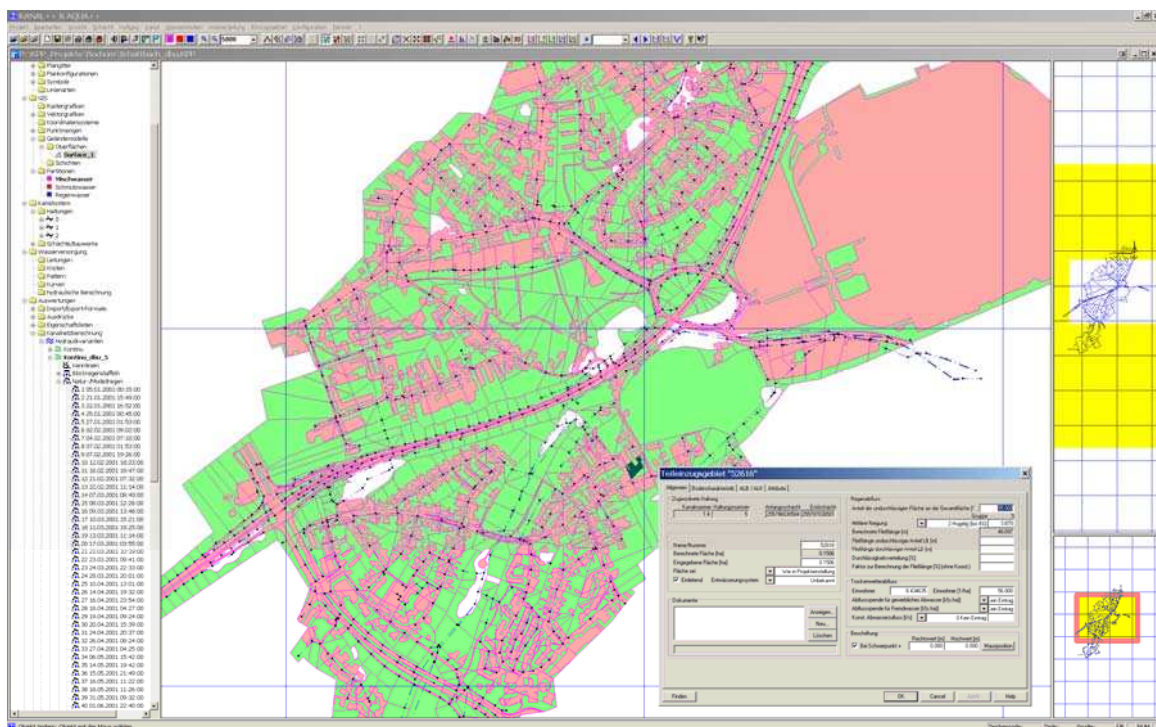


Abbildung 9: Hydraulische Einzugsgebiete: Mischwasserpartition mit Detailflächenstruktur, Neigungen individuell abgeleitet aus Geländemodell

Partitionsstatistik		
Partition	Mischwasser	
Einzugsgebiete	Anzahl	Fläche [ha]
Gesamt	4092	359.51
Einer Haltung zugeordnet	3985	349.96
	97.39 %	97.34 %
Einzugsgebiete mit Attribut 'undurchlässig'	4092	359.51
Mittlere Undurchlässigkeit	44.60 %	
Einzugsgebiete mit Attribut 'Mittl. Neigung'	4092	359.51
Mittlere Neigung	4.94 %	
Linien	29954	

Abbildung 10: Partitionsstatistik Mischwasser

Die Variantenobjekte (unterschiedliche Berechnungen) bestehen aus den Karteikarten „Allgemeines“, „Regen“, „Oberflächenabfluss“, „Transport“, „Ausgabe“ und „Längsschnitt“. Über diesen Dialog wird ein Objekt nach außen geführt, durch welches eine Berechnung vollständig und eindeutig definiert ist. Im Folgenden sind nun alle (bis auf die Karte „Allgemeines“) für diese Berechnung verwendeten Karteikarten komplett aufgeführt. Zunächst die Karte „Regen“, in der das betreffende Intervall aus dem mit aufsteigenden Nummern versehenen Niederschlagskontinuum definiert wird.

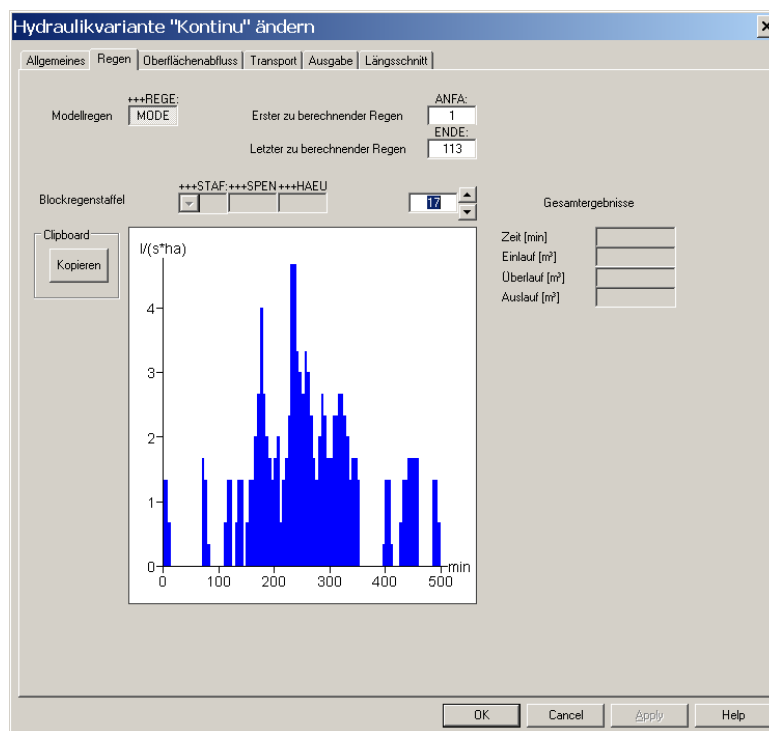


Abbildung 11: Berechnungsvariante Kontinuum: Karteikarte Regen

Hydraulikvariante "Kontinu" ändern

Allgemeines | Regen | Oberflächenabfluss | Transport | Ausgabe | Längsschnitt

Regenabfluss

	durchlässig				undurchlässig			
	flach	hügelig	steil	sehr steil	flach	hügelig	steil	sehr steil
Muldenverlust [mm]	DMUL[1]: 4.000	DMUL[2]: 3.000	DMUL[3]: 2.500	DMUL[4]: 2.000	BMUL[1]: 1.000	BMUL[2]: 0.900	BMUL[3]: 0.800	BMUL[4]: 0.600
Geschw. beiw. [m ^{0,333} /s]	+++KSTD: 4.000				+++KSTB: 70.000			
Fließlänge [m]	+++DLAE: 50.000				+++BLAE: 35.000			
Benetzungsverlust [mm]	+++BENE: 1.000							
Versickerung [l/(s*ha)]	+++ANFA: 180.000		+++ENDV: 30.000		+++RKON: 0.056			
					Verdunstung [l/(s*ha)]	+++VERD: 0.400		
					Anteil der abflusswirksamen undurchlässigen Fläche [1]	+++ANTE: 1.000		

Trockenwetterabfluss

Fremdwasserzuschlag [%]	+++FREM: 0.000
Schmutzwasseranfall [l/(E*d)]	+++SCHM: 200.000
Spitzenanfall [1]	+++SPIT: 24.000
Einwohner statt Dichte	

Teileinzugsgebiete zusammenfassen

Mischwasser	alle zusammenfassen	auch nicht einleitende
Schmutzwasser	alle zusammenfassen	
Regenwasser	alle zusammenfassen	Entw.-Kennz. von Haltung

OK Cancel Apply Help

Abbildung 12: Berechnungsvariante Kontinuum: Karteikarte Oberflächen- und Trockenwetterabflussparameter

Es wird weitgehend mit Standardwerten für den Oberflächenabfluss gearbeitet. Alle auf eine Haltung zugeordneten Detailflächen werden zu einer Fläche jeweils zusammengefasst. Die Flächenattribute werden dabei in kanonischer Weise berechnet. Beispielsweise erhält man eine mittlere Fließlänge von 36.0 m für die befestigten/undurchlässigen und 51.2 m für die durchlässigen Flächen.

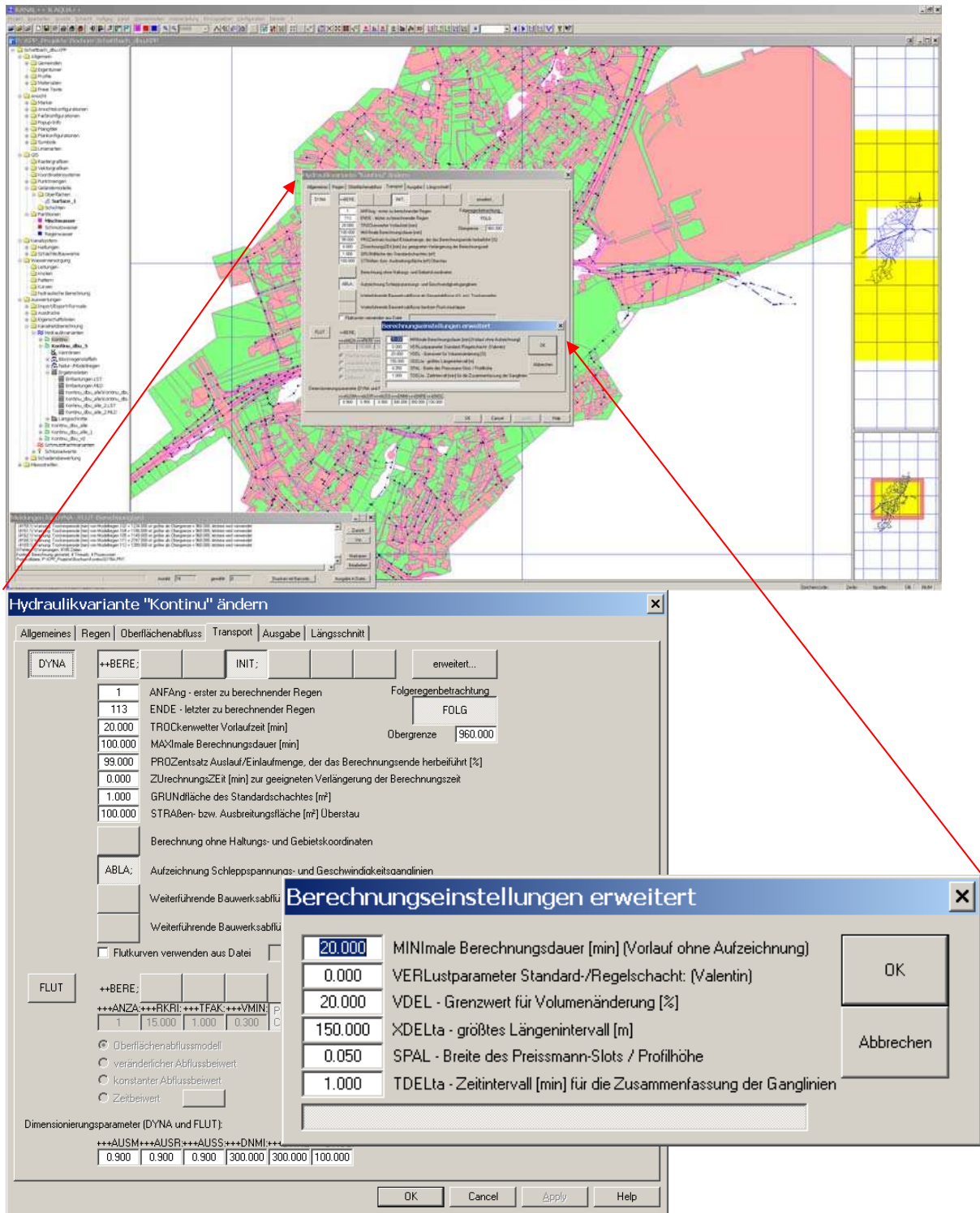


Abbildung 13: Berechnungsvariante Kontinuum: Karteikarte Transportparameter

Hier die Karteikarte für die Einstellung der Berechnungsparameter. Auch hier wurden weitestgehend die Standardwerte eingestellt.

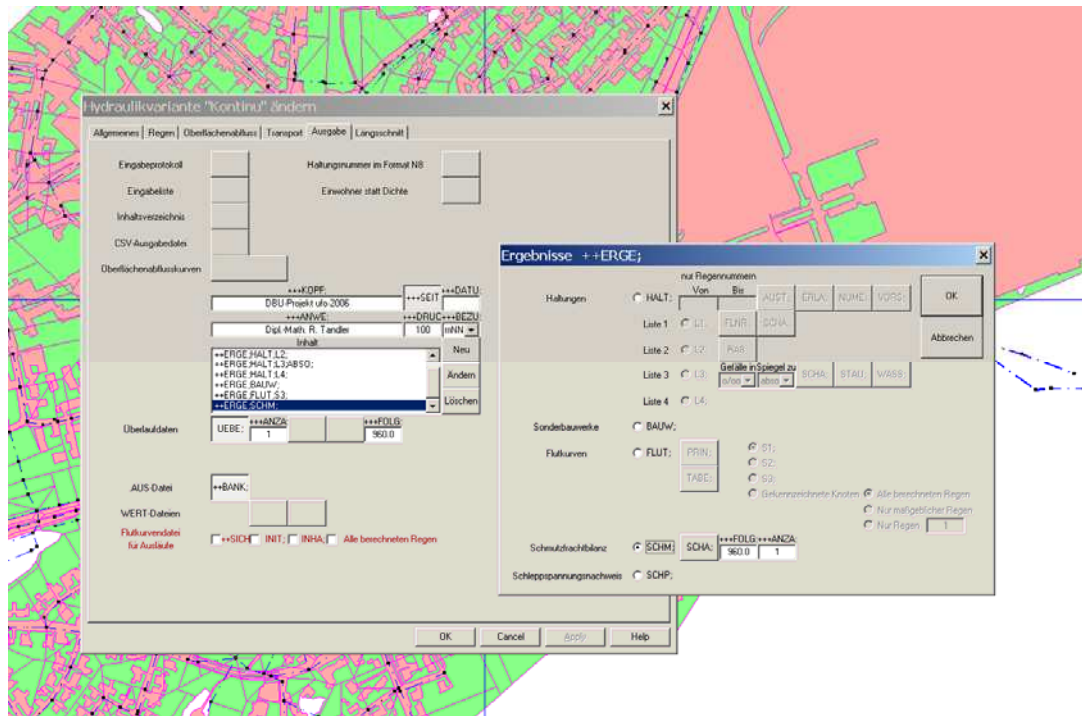


Abbildung 14: Berechnungsvariante Kontinuum: Karteikarte Ausgabelisten Konfiguration

In diesem Zusammenhang erscheint die Liste mit der Anweisung ++ERGE; SCHM; in der die Entlastungstätigkeit zusammengestellt wird.

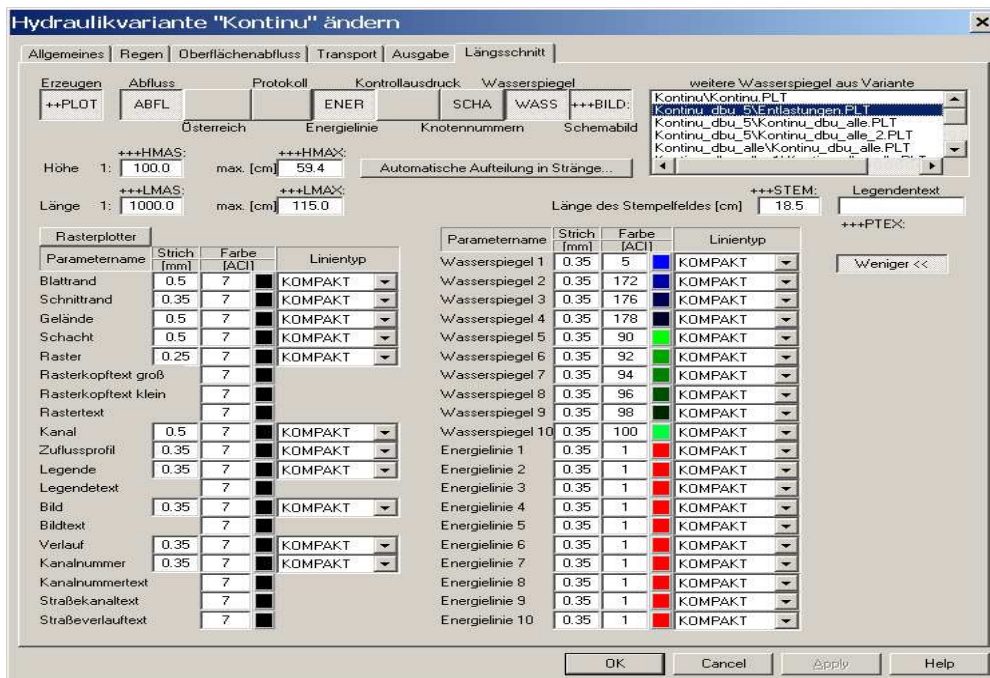


Abbildung 15: Berechnungsvariante Kontinuum: Karteikarte Längsschnitt Konfiguration

5. Hydrodynamische Überrechnung

Nun kann die Berechnung erfolgen. Sie wird wie folgt aktiviert.

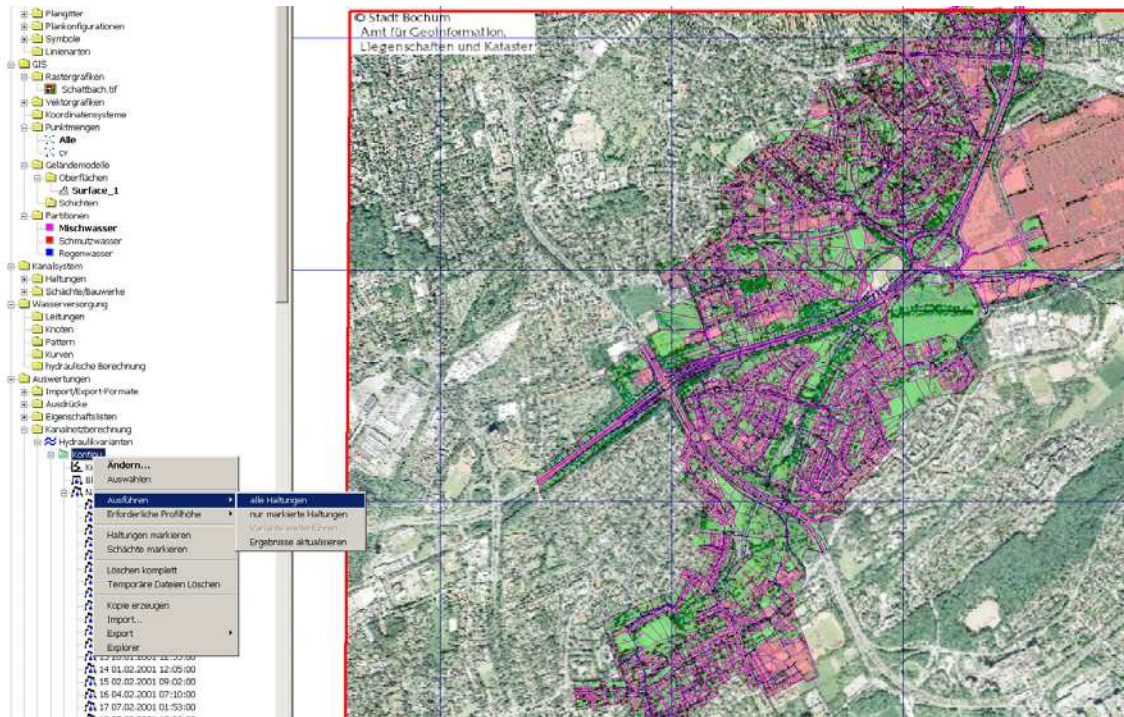
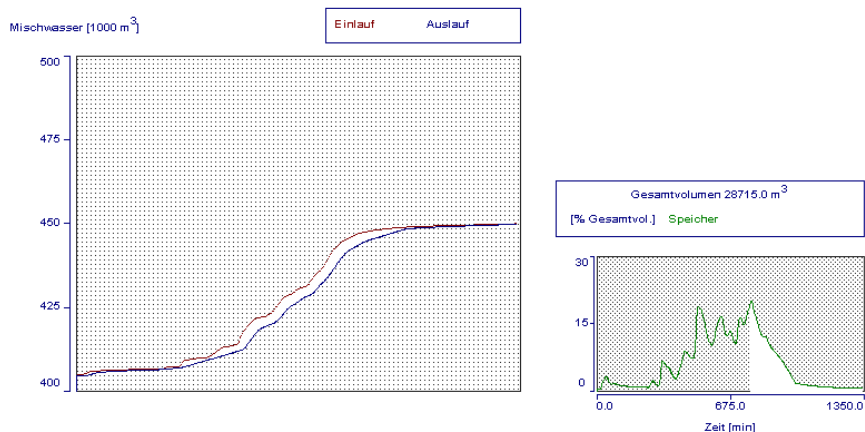


Abbildung 16: Berechnungsvariante Kontinuum ausführen

Prof. Dr. Ing. Rolf Pecher - DYNA - Hydrodynamisches Modell Version 4.3
 Komplexes Parallelschrittverfahren: Fortschrittsanzeige
Kontinuitätsgesetz Gesamtnetz

DBU Projekt

Regennummer: 0048 - Pfad:P:\KPP_Projekte\Bochum\Kontinu_dbu_5



Autor: Dipl.-Math. R. Tandler, tandler.com/Pecher Software GmbH

Nächster/erster Regen:[n] Ende/er Letzter:[l] Nummer: mmm <-!-

Abbildung 17: Anzeige während der Berechnung

In diesem Control kann nach Erscheinen der roten Eingabeaufforderung (unten rechts) jeder einzelne Regen hinterher noch einmal aktiviert werden, um sich das Gesamtverhalten des Netzes in Bezug auf die Kontinuität vor Augen zu führen. Deutlich erkennbar wird hier stets die Rückführung der Belastung auf den Trockenwetterzustand. d.h. es wird stets die Frage beantwortet, ob der angesetzte Parameter für die Simulationsdauer der Trockenperiode ausgereicht hat, um das Netz wieder in den (stabilen, konstanten) Trockenwetterzustand zurückzuführen.

Ist dies an einer gewissen Stelle nicht der Fall, so wird die Berechnung auf die unsichere Seite hin fortgesetzt.

Ergebnisse der Berechnung zusammengefasst für jeden einzelnen Regen:

Regen Nr	Einlauf		Auslauf	Restmenge	Überlauf	Volumen	Verweilzeit
	Gesamt	Seitlich Durchlässig m ³	m ³	Im Netz m ³	Gelände m ³	Fehler %	im Rechner min
1	4007,35	0,00	3583,16	427,03	0,00	0,0000	4,16
2	6241,18	0,00	5815,32	428,71	0,00	0,0000	1,92
3	31354,76	0,00	30966,34	391,27	0,00	0,0000	38,36
4	34029,80	0,00	33645,63	387,01	0,00	0,0000	3,04
5	41208,24	0,00	40812,82	398,27	0,00	0,0000	9,79
6	54752,76	0,00	54358,46	397,15	0,00	0,0000	12,67
7	58832,69	0,00	58443,58	391,96	0,00	0,0000	4,97
8	63026,93	0,00	62648,77	381,01	0,00	0,0000	4,57
9	69286,85	0,00	68909,63	380,07	0,00	0,0000	10,19
10	82045,14	0,00	81658,50	389,49	0,00	0,0000	23,57
11	106279,48	0,00	105923,59	358,74	0,00	0,0000	80,54
12	109931,37	0,00	109577,56	356,65	0,00	0,0000	5,89
13	112769,88	0,00	112425,48	347,24	0,00	0,0000	3,97
14	117307,14	0,00	116950,23	359,75	0,00	0,0000	5,26
15	123099,53	0,00	122756,09	346,29	0,00	0,0000	9,06
16	128373,94	0,00	128030,34	346,44	0,00	0,0000	7,62
17	138746,66	0,00	138417,27	332,24	0,00	0,0000	10,79
18	142207,98	0,00	141867,84	342,99	0,00	0,0000	3,77
19	144488,84	0,00	144170,22	321,48	0,00	0,0000	3,09
20	148370,66	0,00	148056,30	317,20	0,00	0,0000	4,71
21	155445,44	0,00	155134,00	314,29	0,00	0,0000	8,17
22	158427,50	0,00	158120,75	309,60	0,00	0,0000	3,34
23	168554,34	0,00	168252,31	304,88	0,00	0,0000	10,54
24	188937,33	0,00	188663,91	276,28	0,00	0,0000	37,19
25	196654,84	0,00	196368,17	289,51	0,00	0,0000	6,02
26	204290,16	0,00	204011,28	281,72	0,00	0,0000	7,12
27	215013,30	0,00	214782,00	234,14	0,00	0,0000	16,02
28	223533,77	0,00	223301,86	234,76	0,00	0,0000	11,21

Regen	Einlauf		Auslauf	Restmenge	Überlauf	Volumen	Verweilzeit
	Nr	Gesamt	Durchlässig	Im Netz	Gelände	Fehler	im Rechner
				m ³	m ³	%	min
29	227700,34	0,00	227460,64	242,55	0,00	0,0000	4,02
30	248196,69	0,00	247999,30	200,23	0,00	0,0000	57,42
31	250451,58	0,00	250248,98	205,44	0,00	0,0000	2,49
32	257237,84	0,00	257042,78	197,92	0,00	0,0000	10,34
33	260711,11	0,00	260526,86	187,10	0,00	0,0000	4,24
34	271122,34	0,00	270892,78	232,41	0,00	0,0000	3,89
35	280719,78	0,00	280521,09	201,54	0,00	0,0000	14,69
36	285627,62	0,00	285441,94	188,55	0,00	0,0000	4,49
37	292708,53	0,00	292538,28	173,08	0,00	0,0000	10,61
38	296646,25	0,00	296464,44	184,67	0,00	0,0000	7,39
39	300685,16	0,00	300513,59	174,43	0,00	0,0000	4,37
40	303752,62	0,00	303573,88	181,62	0,00	0,0000	3,04
41	312329,53	0,00	312158,25	174,12	0,00	0,0000	6,64
42	319281,59	0,00	319121,50	162,94	0,00	0,0000	5,74
43	322617,41	0,00	322467,16	153,09	0,00	0,0000	3,67
44	336296,75	0,00	336157,66	141,96	0,00	0,0000	19,47
45	339636,41	0,00	339498,84	140,42	0,00	0,0000	3,37
46	342640,84	0,00	342489,62	154,07	0,00	0,0000	2,16
47	355187,88	0,00	355058,81	131,90	0,00	0,0000	15,99
48	376959,44	0,00	376822,94	139,35	0,00	0,0000	15,36
49	397385,09	0,00	397242,25	145,68	0,00	0,0000	12,89
50	425423,88	0,00	425279,72	147,02	0,00	0,0000	7,91
51	431335,44	0,00	431185,25	153,03	0,00	0,0000	7,52
52	476860,41	0,00	476717,31	145,95	0,00	0,0000	22,24
53	479795,31	0,00	479693,44	104,73	0,00	0,0000	4,54
54	490777,91	0,00	490678,50	102,26	0,00	0,0000	14,01
55	493025,56	0,00	492934,09	94,33	0,00	0,0000	2,67
56	503433,47	0,00	503336,28	100,03	0,00	0,0000	7,04
57	520792,47	37,77	520612,22	183,10	2,43	0,0000	4,89
58	526576,88	37,77	526438,75	140,97	0,00	0,0000	5,84
59	532942,88	37,77	532800,12	145,66	0,00	0,0000	4,56
60	542699,88	37,77	542549,81	152,90	0,00	0,0000	5,61
61	547024,69	37,77	546890,81	136,71	0,00	0,0000	6,92
62	564832,00	37,77	564617,69	217,13	0,42	0,0000	3,94
63	570944,31	37,77	570795,81	151,38	0,00	0,0000	7,64
64	574402,81	37,77	574230,50	175,19	0,00	0,0000	2,31
65	584251,44	37,77	584069,12	185,19	0,00	0,0000	5,04
66	585955,44	37,77	585811,81	146,46	0,00	0,0000	1,87
67	614488,94	37,77	614332,56	159,19	0,00	0,0000	42,94
68	618618,06	37,77	618470,12	150,76	0,00	0,0000	4,36
69	657135,50	37,77	656993,88	144,52	0,00	0,0000	53,52
70	659755,50	37,77	659646,75	111,61	0,00	0,0000	2,96

Regen- Nr	Einlauf		Auslauf	Restmenge	Überlauf	Volumen	Verweilzeit
	Gesamt	Seitlich Durchlässig	m ³	Im Netz m ³	Gelände m ³	Fehler %	im Rechner min
71	664259,69	37,77	664136,31	126,22	0,00	0,0000	4,97
72	680946,31	37,77	680867,50	81,67	0,00	0,0000	21,16
73	682897,25	37,77	682816,69	83,39	0,00	0,0000	2,14
74	685036,75	37,77	684960,00	79,57	0,00	0,0000	2,72
75	699769,62	37,77	699704,00	68,48	0,00	0,0000	18,66
76	713735,56	37,77	713682,75	55,67	0,00	0,0000	27,34
77	717116,56	37,77	716997,06	122,38	0,00	0,0000	2,37

Tabelle 1: Automatisch erstellte Ergebnisliste

Im gesamten Auswertezeitraum sind 717.000 m³ Mischwasser in das Kanalnetz geflossen, fast 100% von den undurchlässigen Flächenteilen. Es ist also auffallend, dass die durchlässigen Flächen im gesamten Zeitraum fast gar nicht zum Gesamtabfluss beigetragen haben. Es gab am 20.7. und am 9.8. drei kleinere Überstauereignisse an zwei Schächten in der Nähe der Sheffieldallee.

6. Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung

Die berechneten Entlastungsereignisse an der Messstelle werden automatisch in folgender Liste zusammengefasst: (Abzurufen mit der Programmsteueranweisung: ++ERGE;SCHM)

Schmutzfrachtberechnung: Auslaufbauwerk 1184 Messjahre: 1 Folgezeit: 480 min

Strassenname	Kanal- Haltungsnummer	Anfangsschacht	Endschacht
	2	5	87030002 87030003

Regen- nummer	Gesamt- abfluss[m ³]	Häufig- keit	Dauer [min]	Max,Dauer [min]	Mittl,Int, [l/s]	Maxim,Int, [l/s]
3	135,921	1	1363,0	1363,0	1,66	181,53
6	521,746	1	56,0	56,0	155,28	737,24
17	120,360	1	760,0	760,0	2,64	143,76
25	61,337	1	246,0	246,0	4,16	82,44
34	2935,895	1	109,0	109,0	448,91	1518,22
41	238,842	1	265,0	265,0	15,02	108,30

Regen- nummer	Gesamt- abfluss[m ³]	Häufig- keit	Dauer [min]	Max,Dauer [min]	Mittl,Int, [l/s]	Maxim,Int, [l/s]
47	406,137	1	75,0	75,0	90,25	403,01
48	5173,298	2	212,0	143,0	1249,59	1269,83
49	3292,155	2	193,0	118,0	464,99	1376,78
50	17216,447	1	161,0	161,0	1782,24	5612,91
52	21312,732	1	937,0	937,0	379,10	1937,63
56	1208,216	1	77,0	77,0	261,52	1298,34
57	8799,074	1	126,0	126,0	1163,90	5715,27
60	1350,710	1	77,0	77,0	292,36	1453,71
62	9506,043	1	510,0	510,0	310,65	5308,75
65	1066,429	1	312,0	312,0	56,97	693,05
67	2701,373	1	126,0	126,0	357,32	1230,66
69	6006,620	2	211,0	123,0	1137,62	1986,22
72	666,061	1	154,0	154,0	72,08	478,87

Tabelle 2: Ergebnisliste Schmutzfrachtberechnung

7. Vergleich der gemessenen und berechneten Ergebnisse

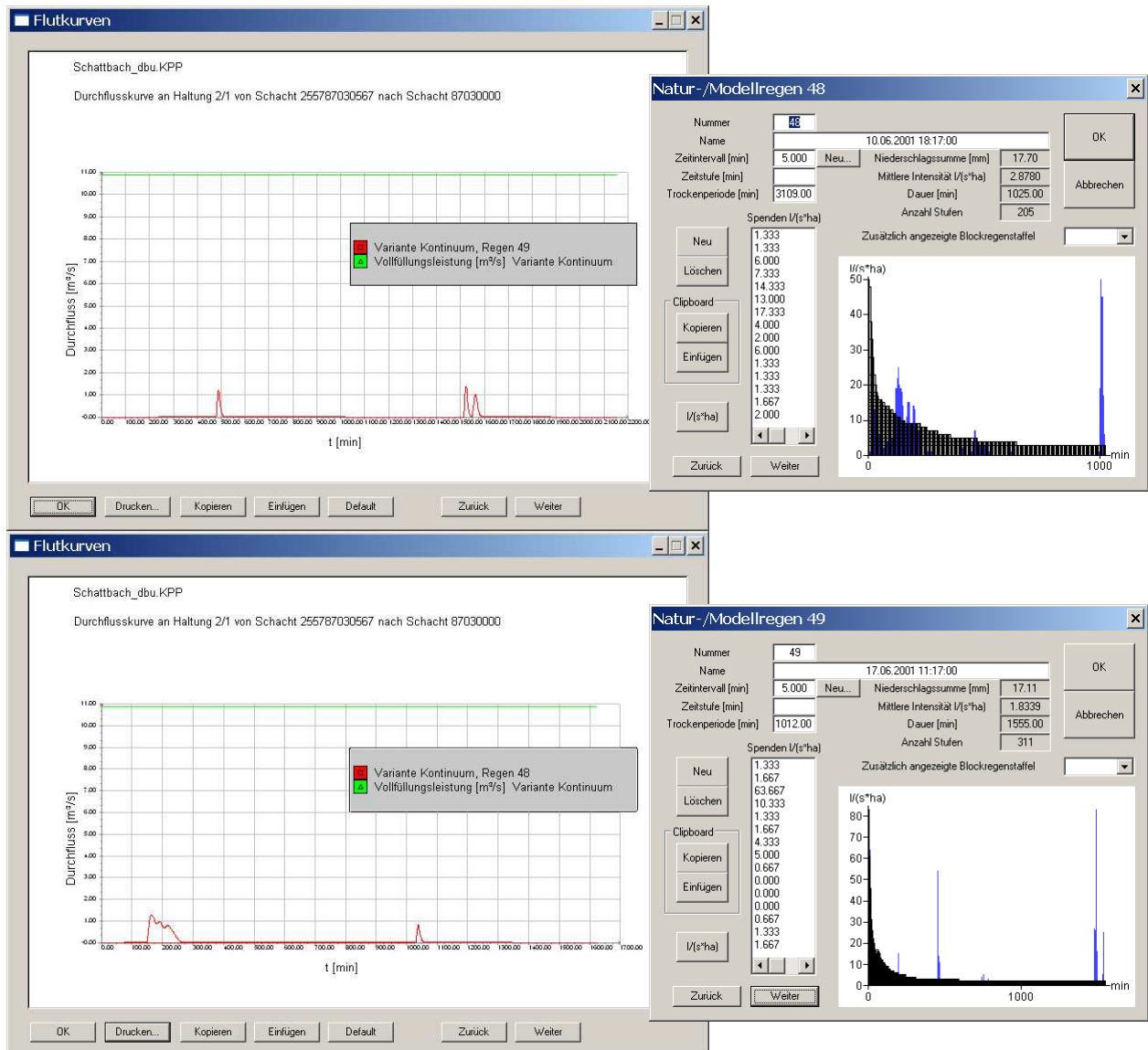


Abbildung 18: Flutkurven und Regenaufzeichnung für 10.06. und 17.06.

Am 10.6. und am 17.6. resultierten aus jeweils einem Regenereignis zwei Entlastungsereignisse (Folgezeit 480 Minuten), wie Abbildung 18 verdeutlicht, so dass insgesamt 18 Entlastungsereignisse zu zählen waren. Es ergab sich ein Gesamtentlastungsvolumen von 73.000 m³. Dies ist gegenüber der Messung von ~ 65.000 m³ eine Abweichung von nur 9,5%. Da über den exakten Zeitraum der Messkampagne nur die Zeitpunkte mit Datum der Entlastungsereignisse vorlagen, entstand die Frage, welche der im Folgenden noch stattgefundenen simulierten Ereignisse noch hinzuzurechnen sind. In diesem Falle wurde das Ereignis, welches am darauffolgenden Tag nach dem Ende der Entlastung simuliert wurde mit einbezogen. Insgesamt wurden dann bis Ende der Niederschlagsmessungen bis

einschl. September noch 5 weitere Entlastungen mit einem Entlastungsvolumen von insgesamt 21.000 m³ gezählt, die jedoch dann im Vergleich nicht herangezogen wurden.

Datum		gemessen				Moment		simuliert		Dyna	simuliert	
		Qm	V m ³	gemessen		Qm	V	simuliert	Qm	V	simuliert	
05.01.2001	00:55	372	706	706	04:25	506	4290	4290			0	
05.01.2001	01:25	285	962	1668								
06.01.2001	01:05	536	1062	2730	01:30	638	1549	5839	181	135,529	135,529	
24.01.2001	01:10	456	1064	3794	01:30	626	1595	7434	0	0	135,529	
06.02.2001	00:25	166	125	3919	k. E.	0	0	7434	739,5	521,365	656,894	
22.02.2001	k. E.	0	0	3919	02:00	585	1623	9057	143,83	120,429	777,323	
13.03.2001	k. E.	0	0	3919	00:40	63	45	9102	0	0	777,323	
21.03.2001	01:00	431	879	4798	01:35	447	1195	10297	82,83	61,632	838,955	
23.03.2001	00:50	106	235	5033	01:00	219	283	10580	0	0	838,955	
25.03.2001	01:30	459	1226	6259	01:35	429	1296	11876	0	0	838,955	
07.04.2001	03:35	1077	5541	11800	k. E.	0	0	11876	0	0	838,955	
10.04.2001	01:22	812	1752	13552	k. E.	0	0	11876	0	0	838,955	
15.04.2001	04:54	431	4639	18191	02:50	297	1453	13329	0	0	838,955	
20.04.2001	01:38	1083	2995	21186	01:55	1356	3578	16907	1512,67	2935,806	3774,761	
26.04.2001	00:41	231	195	21381	k. E.	0	0	16907		0	3774,761	
16.05.2001	01:49	680	2250	23631	01:35	465	1556	18463	109	241,665	4016,426	
18.05.2001	00:55	279	328	23959	k. E.	0	0	18463	0	0	4016,426	
02.06.2001	01:10	520	901	24860	01:35	483	1036	19499	0	0	4016,426	
02.06.2001	00:17	7	4	24864	k. E.	0	0	19499	0	0	4016,426	
02.06.2001	00:37	100	96	24960	k. E.	0	0	19499	0	0	4016,426	
08.06.2001	01:17	775	1713	26673	01:30	632	1571	21070	402,83	405,992	4422,418	
10.06.2001	02:09	863	4141	30814	02:45	1304	6310	27380	1269,5	4659,6186	9082,0366	
11.06.2001	01:26	1231	2463	33277	01:10	317	688	28068	900	517,7354	9599,772	
17.06.2001	k. E.	0	0	33277	01:20	424	960	29028	1100	987,2547	10587,0267	
18.06.2001	01:40	1789	3258	36535	02:00	857	2712	31740	1370,34	2303,5943	12890,621	
27.06.2001	02:30	4633	11613	48148	03:20	6128	19452	51192	5576,34	17234,428	30125,049	
08.07.2001	06:33	996	9269	57417	08:40	2262	26960	78152	1931,67	21315,479	51440,528	
19.07.2001	00:48	165	216	57633	01:25	603	1399	79551	1293,17	1207,565	52648,093	
20.07.2001	01:42	5102	7182	64815	02:20	4601	9007	88558	5605,84	8799,393	61447,486	
06.08.2001	01:05	365	617	65432	01:50	524	1178	89736	1468,17	1351,289	62798,775	

Tabelle 3: Vergleich der gemessenen und simulierten Entlastungswerte

8. Messungen – Simulation Moment – Simulation FLOW++ Gesamtmenngen

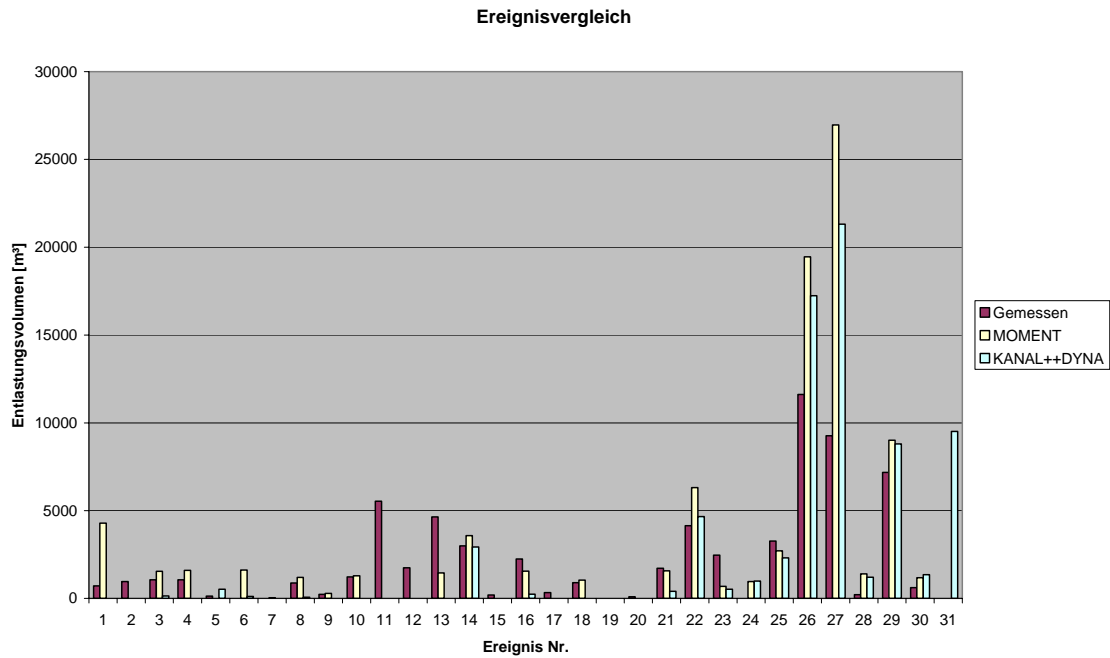


Abbildung 19: Einzelvergleich der gemessenen und simulierten Entlastungsereignisse

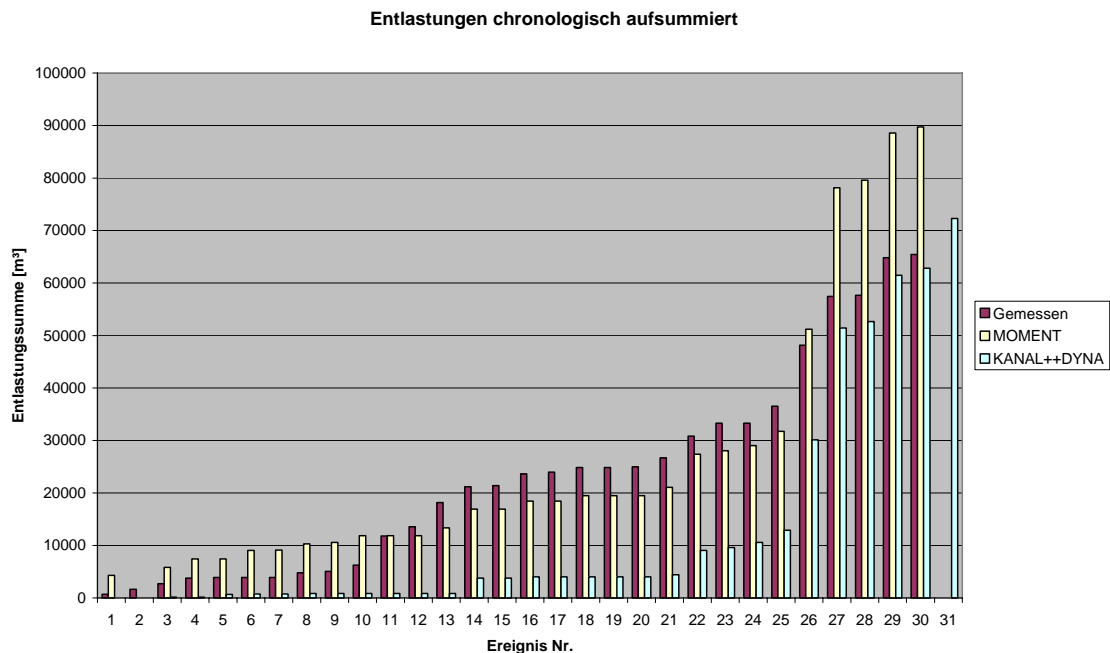


Abbildung 20: Summenvergleich der gemessenen und simulierten Entlastungsereignisse

Vergleich von Einzelereignissen:

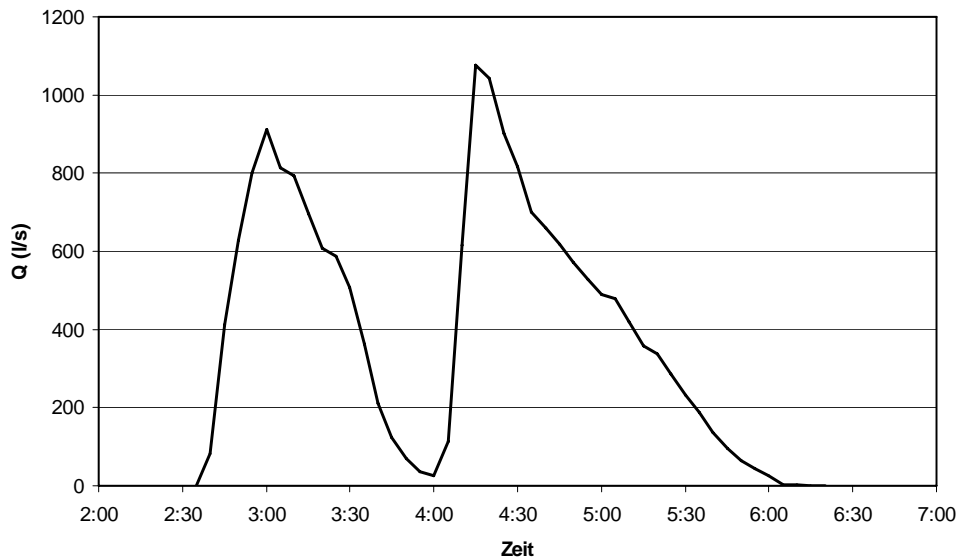


Abbildung 21: Gemessene Abflussganglinie in der Entlastung; Entlastung vom 7.4.2001

Die Unsicherheit einer Niederschlagsmessung als Punktmessung zeigt noch deutlicher die Entlastung vom 7. April 2001. Es wurde eine Entlastung mit einer Dauer von 3:35 h, einem Spitzenabfluss von 1077 l/s und einem Gesamtvolumen von 5541 m³ gemessen (Abbildung 21).

Die steilen Anstiege der Abflussganglinie bis auf 912 l/s um 3:00 Uhr bzw. bis auf 1077 l/s um 4:15 Uhr und das dazwischen erfasste rasche Absinken auf einen Abfluss von 25 l/s um 4:00 Uhr lassen auf zwei kurze intensive Niederschlagsphasen schließen. Am Aufstellort des Niederschlagschreibers im Zentrum des Einzugsgebietes wurde jedoch kein Niederschlag registriert. Die Simulation ergab dementsprechend keinen Entlastungsabfluss. Es ist davon auszugehen, dass es sich um ein Starkregenereignis mit geringer räumlicher Ausdehnung handelte, so dass das Einzugsgebiet nur teilweise überregnet wurde.

Ein wesentlich stärkeres Regen- und Entlastungsereignis trat am 8./9. Juli 2001 ein. Abbildung 22 zeigt die gemessene Abflussganglinie und die entsprechende simulierte Abflussganglinie.

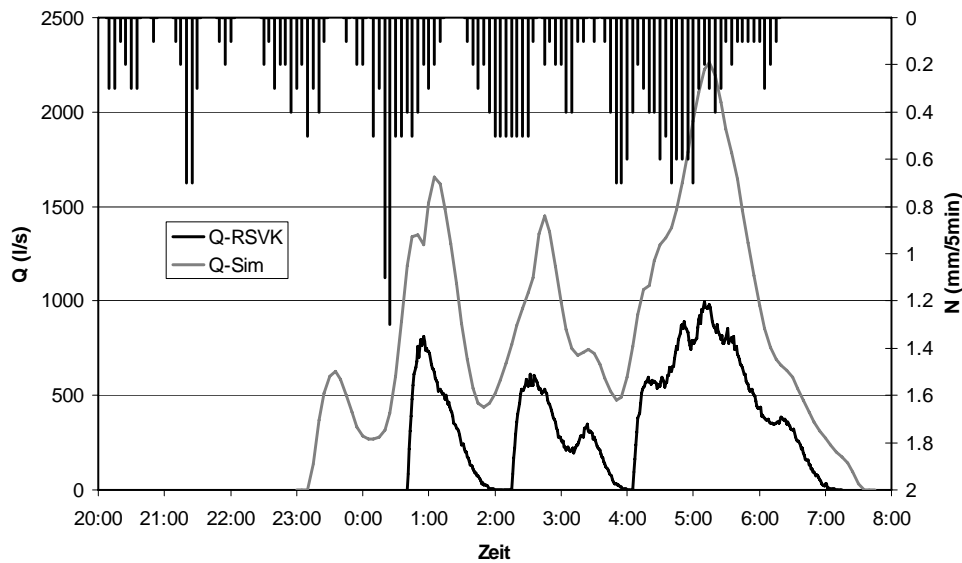


Abbildung 22: Gemessene und mit Moment simulierte Abflussganglinien in der Entlastung vom 8./9.7.2001

Bei dem vor und während des Entlastungsereignisses beobachteten Niederschlag handelt es sich um ein Regenereignis mit einer Gesamthöhe von 32,0 mm und einer maximalen Intensität von 1,3 mm / 5min. Die mittlere Regenspende im gesamten Niederschlagszeitraum von zehn Stunden betrug 8,9 l/(s·ha).

Das Beispiel zeigt, dass ein Niederschlag mit stark schwankenden Intensitäten mit einer Punktmessung nicht völlig zutreffend für das gesamte Einzugsgebiet zu erfassen ist. Große Abweichungen ergeben sich zwischen Messung und Simulation durch das hydrologische Verfahren „Moment“: Der Spitzenabfluss beträgt 996 l/s, das Gesamtvolumen der Entlastung liegt bei 9269 m³. Dagegen ergab die Simulation mit MOMENT einen Spitzenabfluss von 2262 l/s bei einem Gesamtvolumen von 26960 m³. Damit liegen die Simulationsergebnisse um 1266 l/s entsprechend 127 % bzw. 17691 m³ entsprechend 191 % über dem jeweiligen Messwert.

Das FLOW++ Simulationsergebnis liegt dagegen deutlich näher an der Messung, wenngleich auch hier höhere Werte anzutreffen sind. Hierbei ist ein Spitzenabfluss von 1931 l/s sowie ein Gesamtentlastungsvolumen von 21315 m³ zu verzeichnen. Damit hat man immer noch fast doppelt so hohe rechnerische Werte, wie sie das Messgerät an diesem Tag aufgezeichnet hat. Der qualitative Verlauf der FLOW++ Simulation jedoch passt sich deutlich an den Verlauf der Messkurve an, wie die folgende Grafik zeigt:

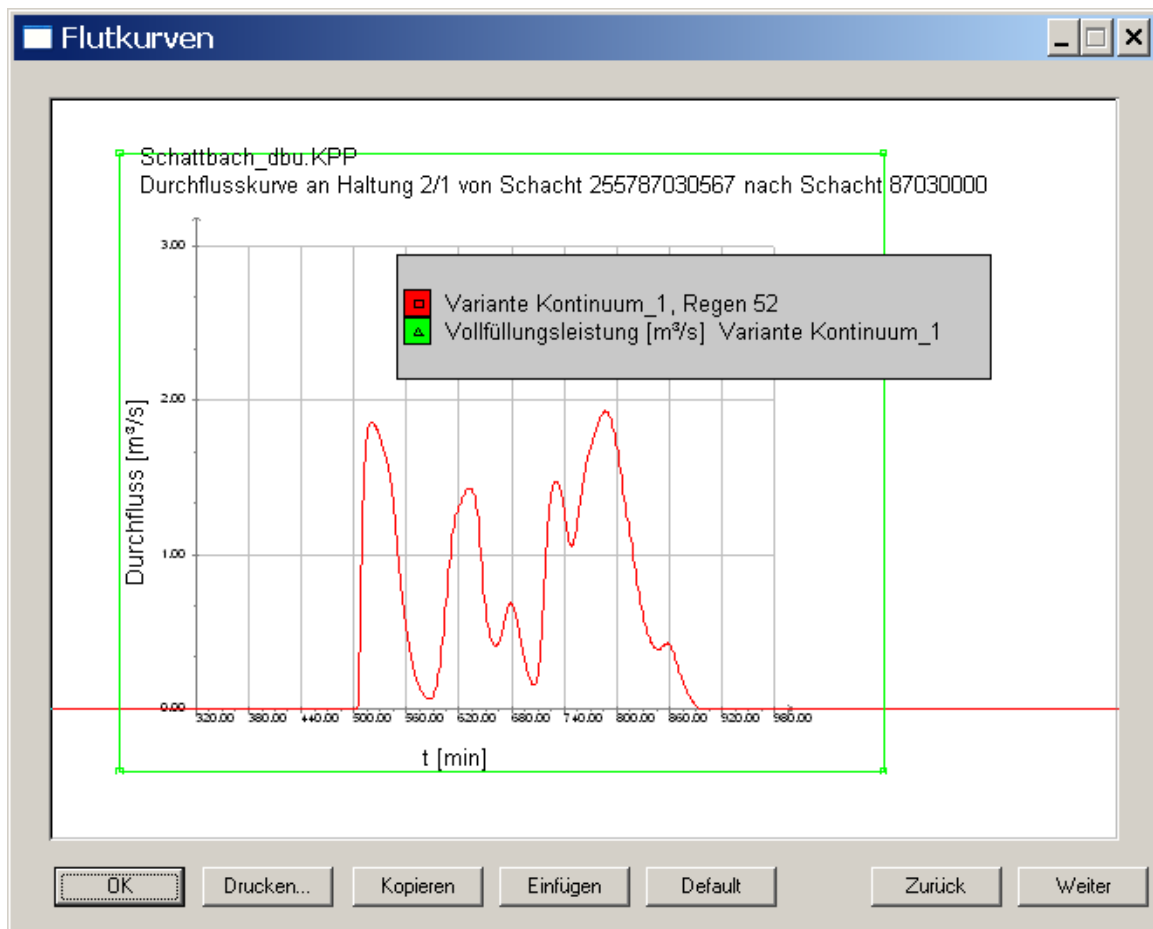


Abbildung 23: Mit KANAL++DYNA simulierte Abflussganglinie in der Entlastung; Entlastung vom 8./9.7.2001

Die Hauptursache für den quantitativen Unterschied sollte zunächst einmal in der unterschiedlichen Gebietsberechnung gesucht werden. Hier liegt der größte Unsicherheitsfaktor. Hinzu kommen mögliche Exfiltrationsvorgänge, hervorgerufen durch mögliche undichte Stellen im Kanalnetz.

Für zukünftige Untersuchungen erscheint es aufgrund der hier festgestellten Unsicherheiten bezüglich des Gebietsniederschlags ratsam, zum Vergleich noch andere Messstationen mit einzubeziehen. Trotzdem scheint eine Nachweisrechnung mit FLOW++ unter Zugrundelegung einer einzigen punktuellen Regenmessstation durchaus geeignet, eine insgesamt erwartungstreue Prognose über das Langzeitverhalten abgeben zu können, welche in ihrer Gesamtmenge, ihrer Frequenz und ihrer Intensitätsmaxima beim Austragsverhalten knapp auf der sicheren Seite der Wirklichkeit bewegt. D.h. die Unterschiede in der Gebietsberechnung scheinen sich auf lange Sicht auszugleichen. Die Starkregen scheinen nicht generell ein bestimmtes Gebiet und auch nicht eine bestimmte Tageszeit zu bevorzugen, wie diese Nachrechnung zeigt. Dessen ungeachtet wäre ein genauer statistischer Nachweis dieser beiden Behauptungen Aufgabe weiterer wissenschaftlicher Auswertungen in möglicherweise weiteren Forschungsprogrammen.

9. Optimierungsberechnung

Optimierungsberechnung:

Bei der Planung und Optimierung von Kanalisationsnetzen tritt immer mehr der ganzheitliche Ansatz in den Vordergrund. Dies betrifft sowohl die räumliche wie auch zeitliche Betrachtung.

Fragestellung:

1. Wie können durch geeigneten Einsatz von Abdeckplatten und HydrOstyx Armaturen die 2 Überstauereignisse verhindert werden?
2. Wie können durch geeigneten Einsatz von Abdeckplatten und Hydrostyx Armaturen die Entlastungen deutlich (>20%) reduziert werden?

Verhinderung von Überstauereignissen durch Einbau von Abdeckplatten.

Die Kontinuumssimulation war gekennzeichnet von drei Überstauereignissen an zwei Schächten verursacht von zwei Regenereignissen (Nr. 83 und Nr. 90):

DYNA Berechnungsmodell Prof. Dr. Pecher - Version 4.4 Stand 23.05.2006
 Dipl.-Math. R...Tandler 27.05.06
 DBU-Projekt ufo-2006 Seite 12153

Hydrodynamische Kanalnetzberechnung: Komplexes Parallelschrittverfahren Überlaufdaten

Kanal- Nummer	Haltungs- Nummer	Regen 1-9999	Dauer (min)	Überlaufereignisse		Überlaufmaximum		Überlauf-		
				Beginn (min)	Ende (min)	Zeitpunkt (min)	Menge (m³)	intens. (l/s)	anz. abs.	hfg. 1/a
1. 6	19	83	1.0	442.0	443.0	442.0	0.6	10.5	1	1.00
1. 6. 6	13	83	1.0	442.0	443.0	442.0	0.3	5.4	1	1.00
1. 6. 6	13	90	3.0	395.0	398.0	396.0	1.0	5.4	1	1.00

Tabelle 4: Überstauereignisse bei Regen Nr. 83 und Nr. 90

Insgesamt sind also nur 1,9 m³ auf die Geländeoberkante ausgetreten. Die Austrittsintensität mit 10 bzw. 5 l/s war relativ gering, so dass von diesen Ereignissen keine schädlichen Auswirkungen zu erwarten sind. Trotzdem soll mit einer einfachen Maßnahme verhindert werden, dass die Wasserspiegellinie über der Geländeoberkante zu liegen kommt.

Der ++SYSTEMS Bildschirm unten zeigt im Maßstab 1:1000 die beiden Überstaustellen am großen Straßenkreuz Sheffieldstr. In der Nähe der Opelwerke zusammen mit dem gemessenen Niederschlag vom 20.7., der beide rot gefärbten Schächte zum Überlauf brachte.

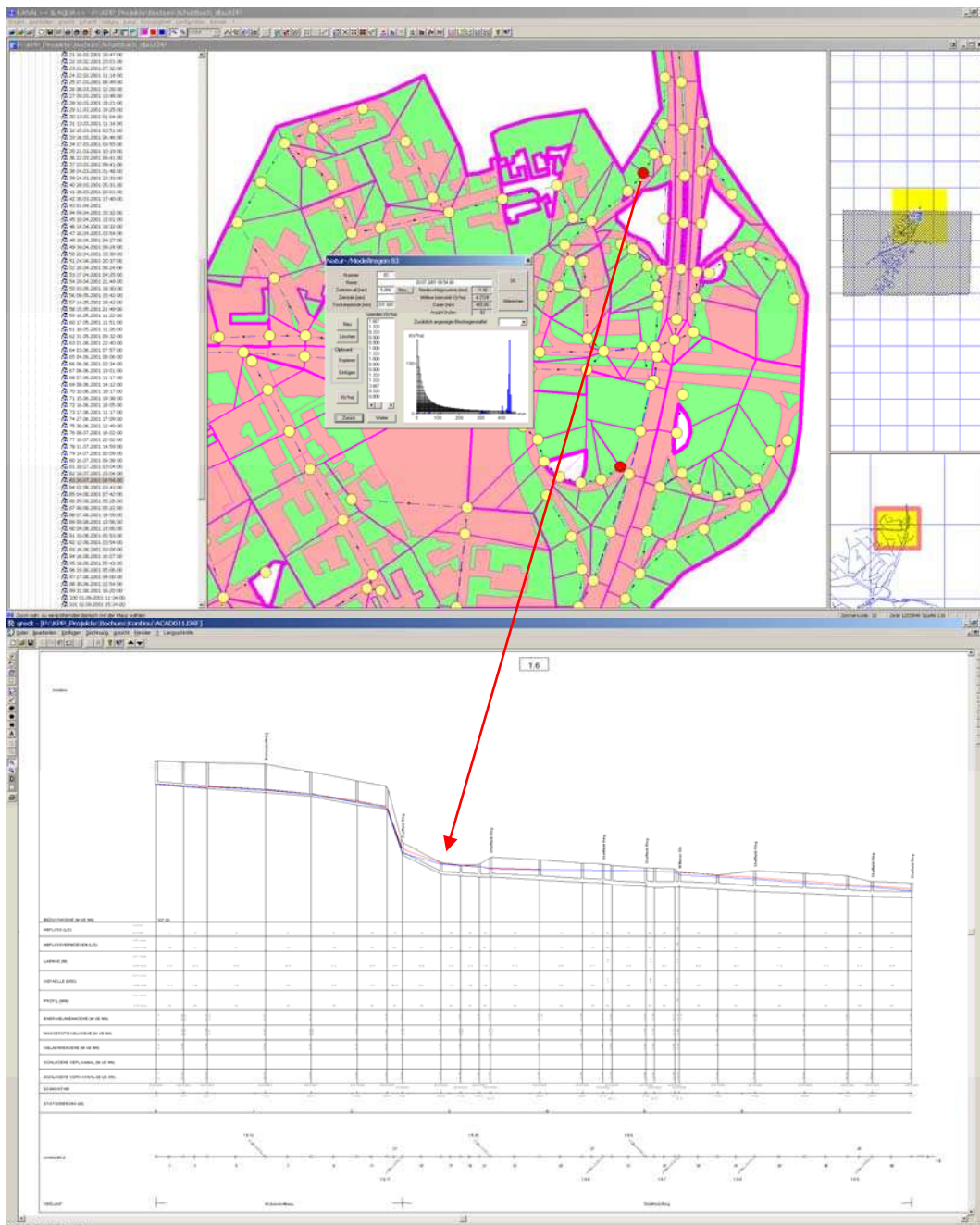


Abbildung 24: Übersicht und Längsschnitt des überstauten Schachts

Ursächlich für den Überstau zwischen Haltung 17 und 19 ist der tief liegende Geländeverlauf an dieser Stelle, wie folgender Längsschnitt des Kanals 1.6 zeigt.

Die Füllstandskurven für Regen Nummer 83 und 90, direkt abgerufen im System, zeigen, dass Regen Nummer 90 nur sehr knapp den Überstau verfehlt.

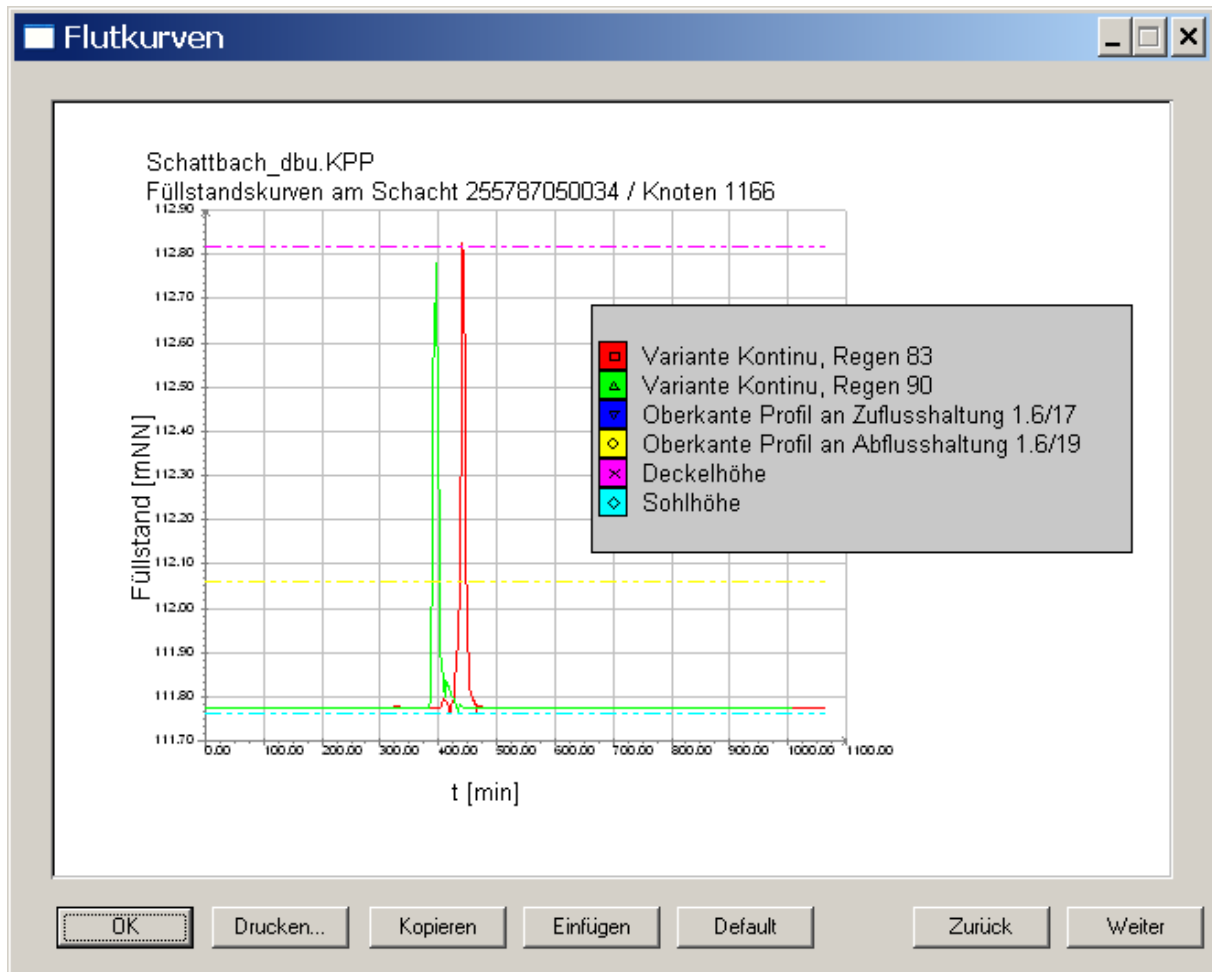


Abbildung 25: Füllstandsverlauf Überstau 1

Die andere Überstaustelle zwischen Kanal 1. 6. 6 Haltung 11 und Haltung 13 wird dagegen von beiden Regenereignissen in etwa gleicher Weise überstaut, wie die Füllstandsverläufe direkt vom betreffenden Schacht abgerufen zeigen.

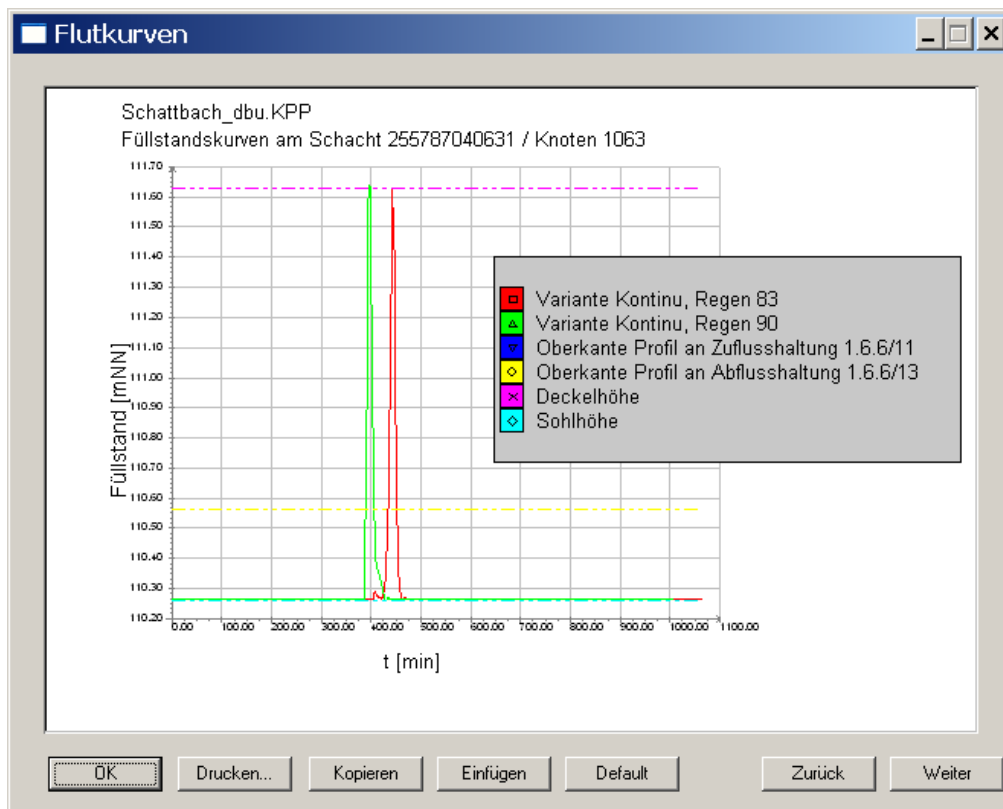


Abbildung 26: Füllstandsverlauf Überstau 2

Der Längsschnitt mit dem Wasserspiegel- und Energielinienverlauf, abgerufen für die betreffende Haltung, verdeutlicht diese Situation:

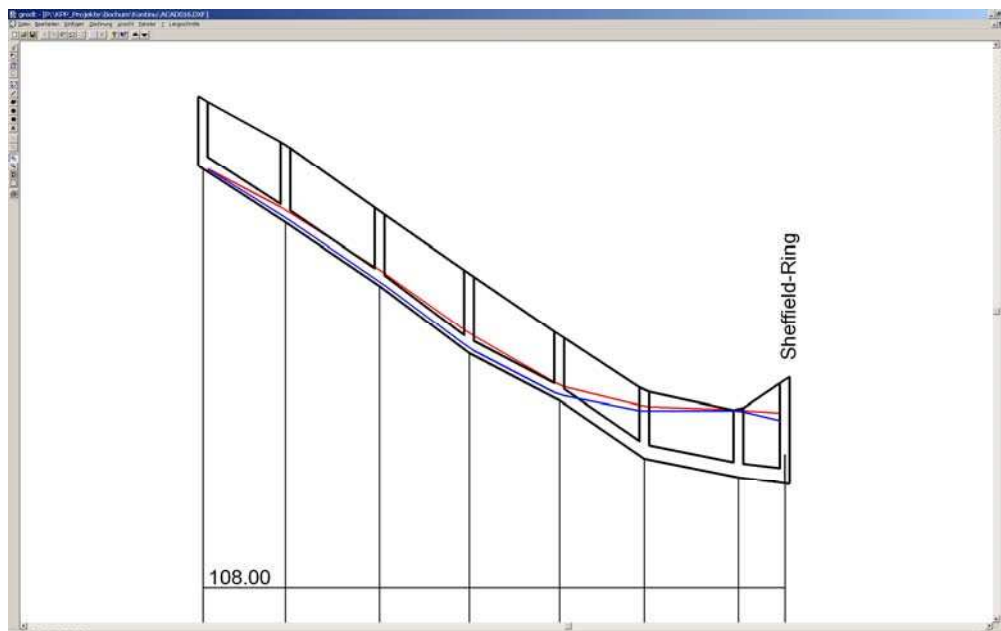


Abbildung 27: Längsschnitt Überstau 2

Ursache ist eine Einmündung in den Kanal des Sheffieldrings, wobei der Überstau wiederum vom ungünstigen Geländeverlauf hervorgerufen wird.

Der Geländeverlauf wird im nächsten Bild auch anhand des KANAL++ immanenten Geländemodells im Maßstab 1:1000 verdeutlicht, der aus der dreidimensionalen Punktwolke der Schachtdeckel abgeleitet ist, die normalerweise eine recht gute mittlere Genauigkeit besitzt.

10. Einbau von Abdeckplatten

Es wird nun versucht, durch Einbau von zwei Abdeckplatten diese Überstausituationen zu entschärfen. Vor allem die Stellen mit den größten Umlenkungen und gleichzeitig geringsten Überdeckungen werden mit solchen Einbauplatten versorgt, wie sie in den Arbeiten von Frau Dr.-Ing. J. Merlein am Lehrstuhl von Prof. Dr.-Ing. Franz Valentin untersucht und beschrieben wurden. Ferner sind diese Platten ein Gegenstand der Untersuchung in diesem DBU-Forschungsprojekt.

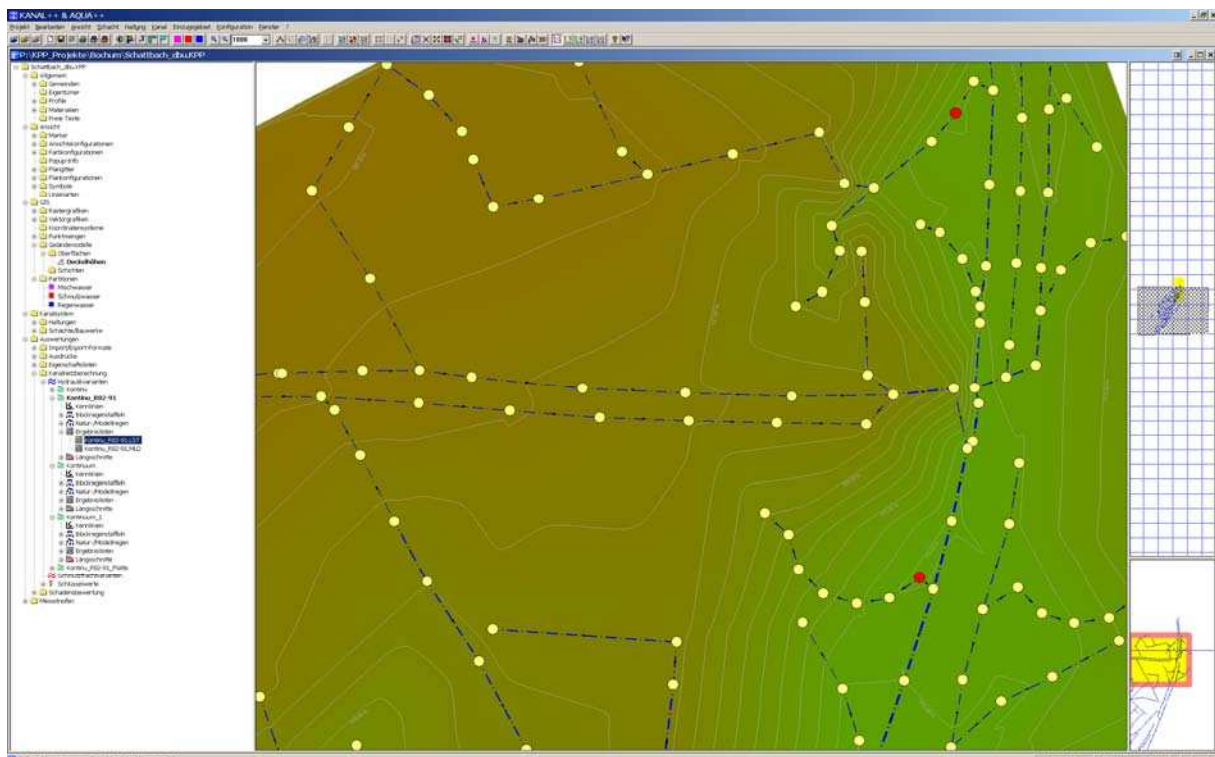


Abbildung 28: Überstautellen mit Geländemodell und Höhenlinien

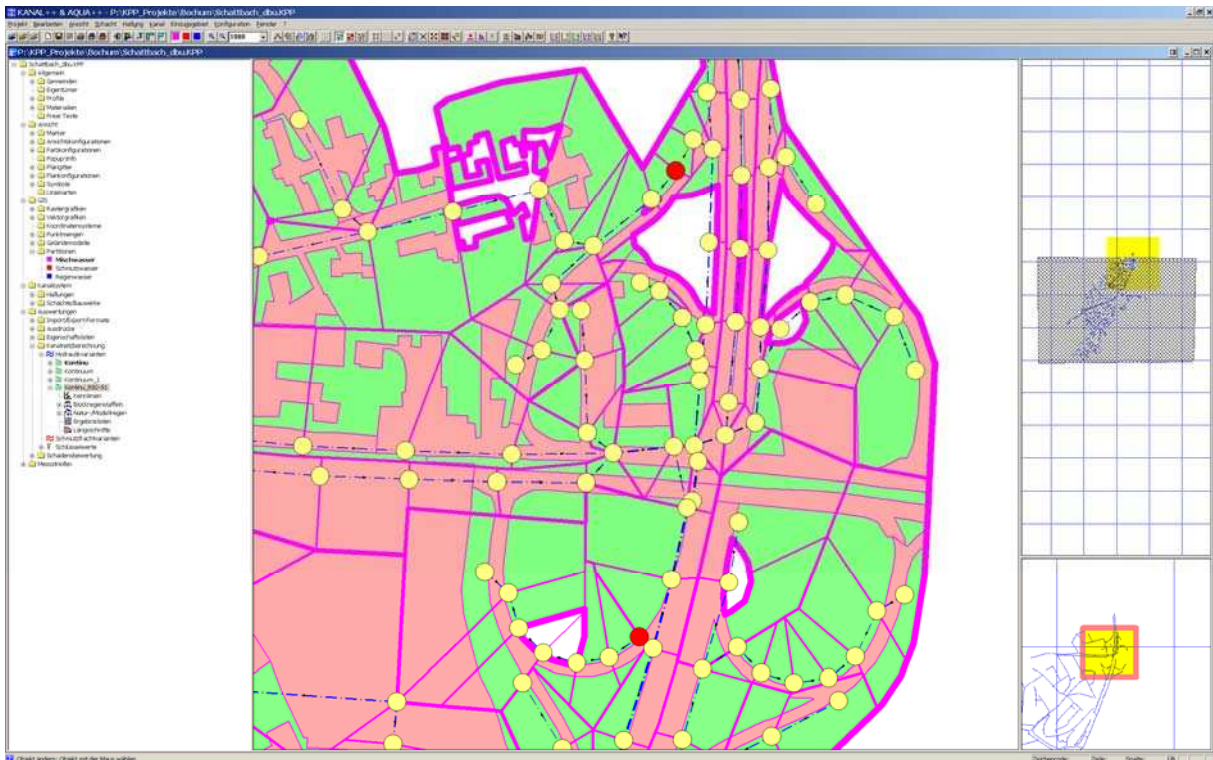


Abbildung 29: Einbaustellen von Abdeckplatten im Lageplan

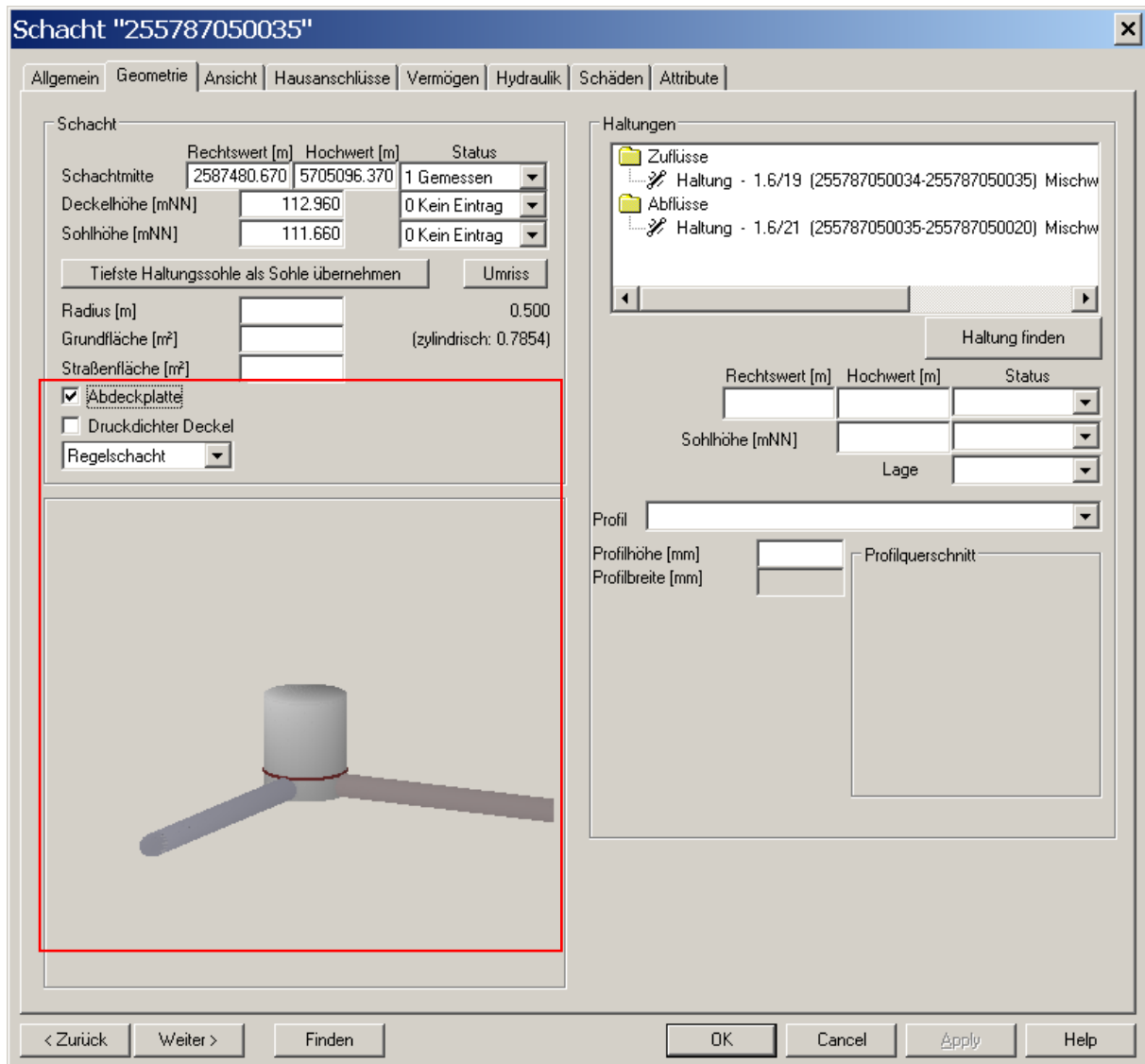


Abbildung 30: KANAL++Dialog Einbau Abdeckplatte an Schacht Nr. 255787050035

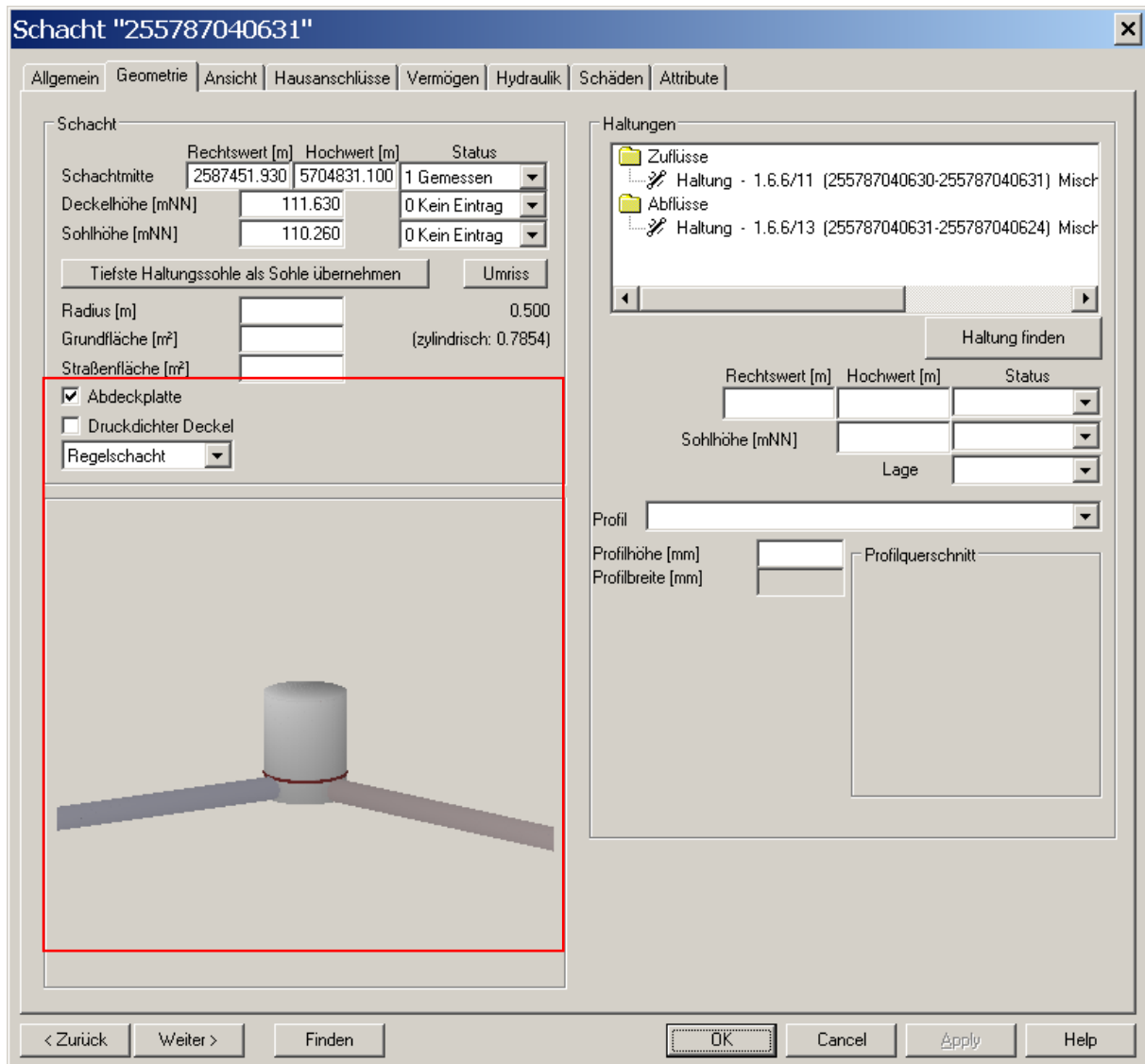


Abbildung 31: KANAL++Dialog zum Einbau Abdeckplatte an Schacht Nr. 255787040631

Die Berechnungsvariante „Kontinu“ wird kopiert nach „Kontinu_R82-91“. Damit ist gewährleistet, dass alle Einstellungen der ursprünglich gerechneten Variante „Kontinu“ erhalten bleiben. Die einzige Änderung ist nun der Berechnungsausschnitt aus dem Regenkontinuum. Es wird nunmehr nur ab Regen Nummer 82 bis Regen Nummer 91 gerechnet, also vom 18.7.2001 bis 10.8.2001. Damit sind die beiden Ereignisse Nr. 83 und Nr. 90 garantiert innerhalb ihres zeitlichen Gesamtkontexts enthalten.

Nach Durchlaufen der Berechnung sehen wir sofort, dass die beiden bisher rot (Überstau) eingefärbten Schächte nun ebenfalls wie die umgebenden in gelber (Wasserlinie unter GOK) Farbe erscheinen.

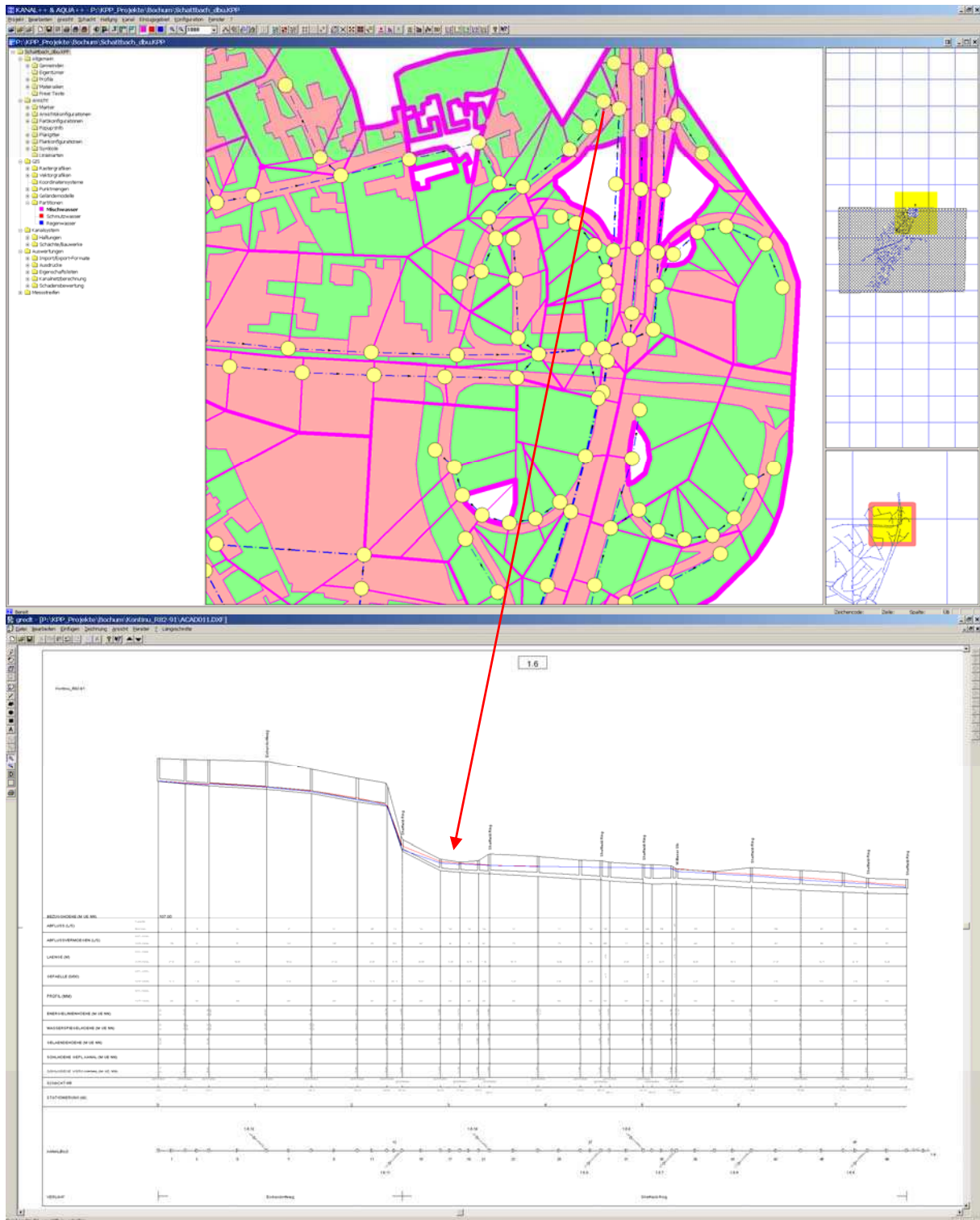


Abbildung 32: Entschärfte Überstaussituation nach Einsatz zweier Abdeckplatten und zugehöriger Längsschnitt mit deutlich reduzierter Wasserspiegellage bei Einsatz einer Abdeckplatte

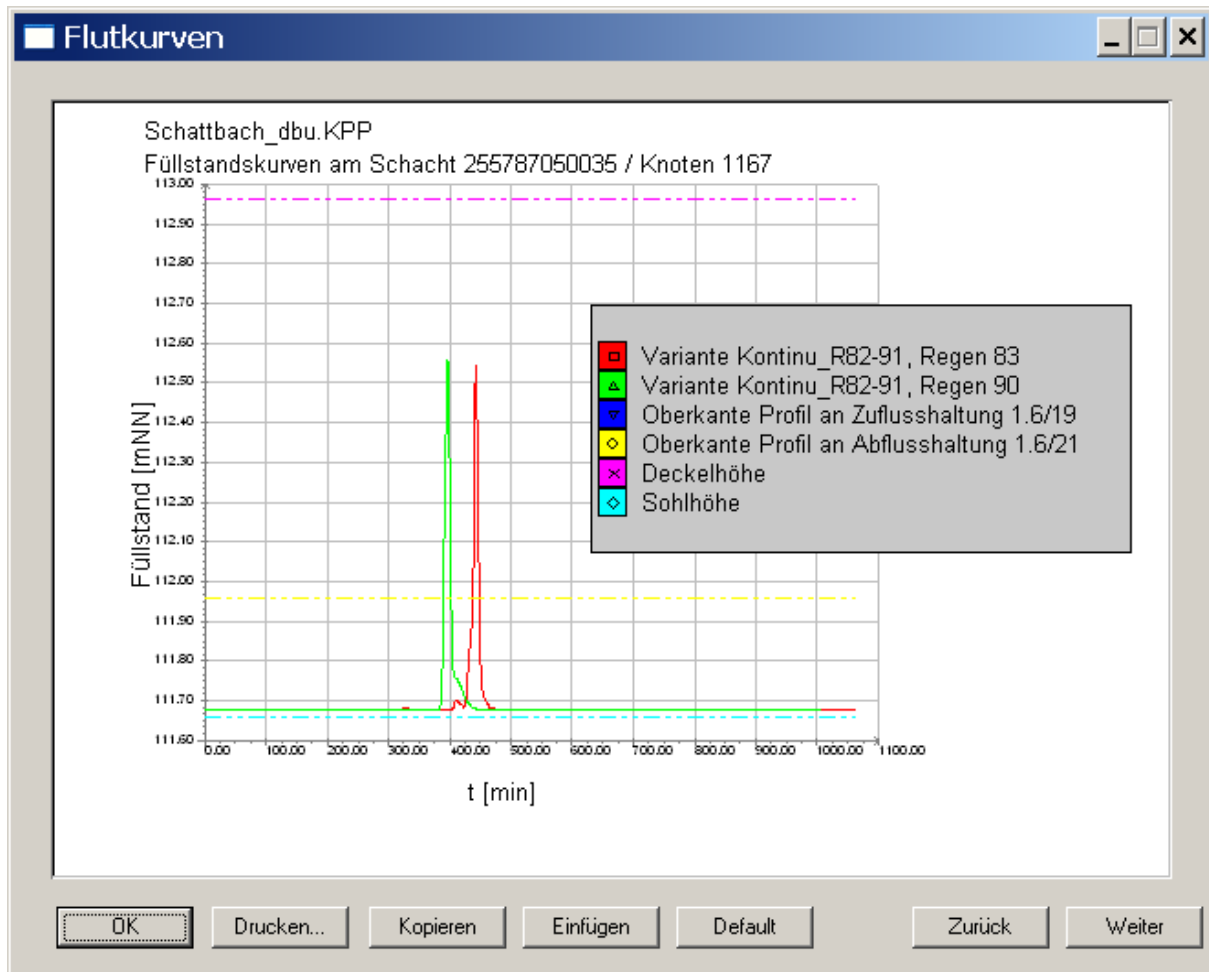


Abbildung 33: Vergleichskurven bei Einsatz von Platten

An dem zweiten ursprünglich überstauten Schacht ergibt sich eine analoge Situation, so dass hier nicht weiter bildlich darauf eingegangen wird.

Damit ist gezeigt, dass es äußerst kostengünstige Maßnahmen gibt, ungewünschte Überstausituationen entscheidend zu entschärfen. Ereignisse, die zu Überstaus führen, haben mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Entlastungspotential, wie auch das hier berechnete Beispiele zeigt. Beide Ereignisse entlasten etwa mit einem Volumen von 9000 m³. In beiden Fällen erhöht sich erwartungsgemäß die Entlastungsmenge durch den Einbau der Abdeckplatten um etwa 20 m³, das sind 0,2%. Durch den Einbau der Platten reduziert sich der Energieverlust, so dass am Ende des Netzes – wenn auch minimal - mehr Energie zur Verfügung steht.

Will man also die Entlastungsmengen reduzieren, muss man umgekehrt oberhalb der Entlastung kinetische Energie temporär in potentielle umwandeln, und somit den Abfluss verzögern, wenn man unterstellt, dass die zur Kläranlage weitergeleitete gedrosselte Wassermenge (512 l/s) nach oben

ausgereizt ist. Diese entspricht normalerweise dem doppelten des Schmutzwasserabflusses plus Fremdwasserabfluss. Hier wurde in seiner Dissertation vom Mitautor Dr. H. Grüning weitergehendes Optimierungspotential aufgezeigtⁱⁱ, was jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

11. HydrOstyx Armaturen

Nun zu Punkt 2: Reduzierung der Entlastungen durch geeigneten Einbau von HydroStyx Armaturen.

In dieser Arbeit wird untersucht, wie in geeigneten Netzteilen oberhalb durch kostengünstigen Einbau von HydrOstyx Armaturen eine deutliche Reduzierung der Entlastungstätigkeit erreicht werden kann, ohne jedoch die Sicherheit (Überstauwahrscheinlichkeit) entscheidend zu beeinträchtigen. Die geeigneten Stellen sind also dort zu suchen, wo die Wasserspiegellinie deutlich unter Geländeoberkante verläuft sowie der oberhalb liegende Geländeverlauf so steil ist, dass keine zusätzlichen Überstausituationen entstehen.

Zu diesem Zwecke wird aus der Differenz zwischen maximalem Wasserspiegel und Gelände ein Modell aufgestellt:

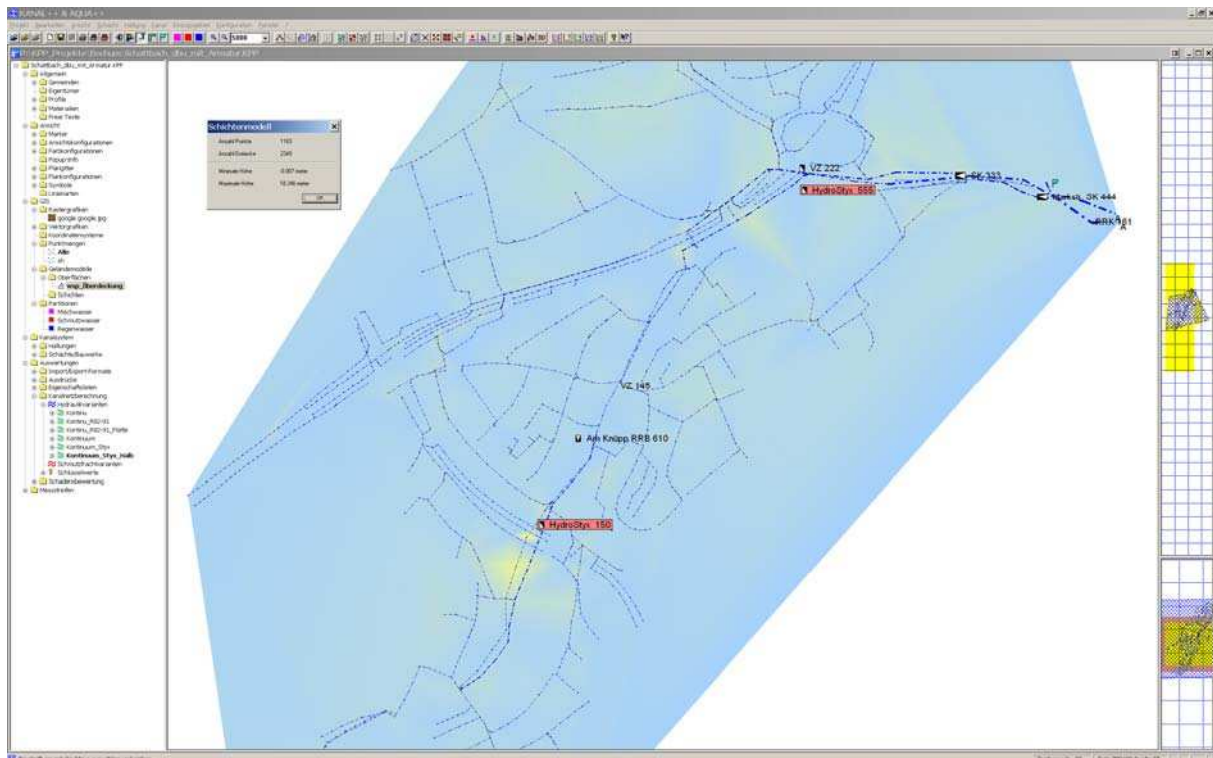


Abbildung 34: Einfärbung Überdeckung des maximalen Wasserspiegels

Aus dieser Auswertung ergaben sich in natürlicher Weise geeignete Stellen. Es stellte sich heraus, dass dort bereits Bauwerke eingebaut waren, die eine ähnliche Funktionalität aufwiesen, wie eben

gerade die zur Untersuchung anstehenden Hydrostyx Armaturen. Zu Testzwecken wurden diese Bauwerke durch entsprechende HydroStyx Armaturen ersetzt. Im Berechnungsergebnis bestätigte sich die Vermutung: das hydraulische Verhalten des Kanalnetzes änderte sich nicht. Auch eine Halbierung der Drosselquerschnitte änderte weder etwas am Überstau- noch am Entlastungsverhalten.

Nun wurden zwei zusätzliche Armaturen wie folgt eingesetzt:

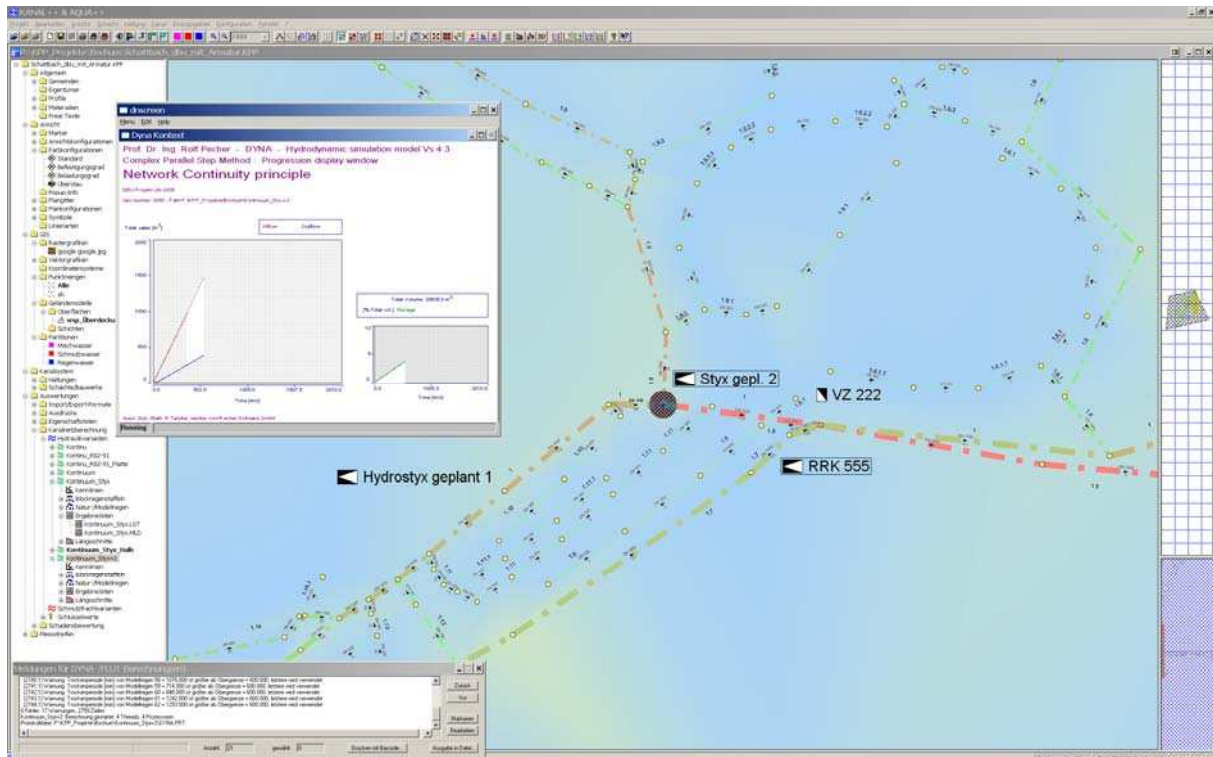


Abbildung 35: Zusätzliche Kaskaden

Diese Berechnung wurde verworfen, da sich hier keine signifikante Reduktion des Entlastungsverhaltens ergab (4%), jedoch deutlich mehr Überstau in den oberhalb liegenden Gebieten der neuen Armaturen.

Eine weitere Berechnung ohne sämtliche Armaturen ergab ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen der Entlastungstätigkeit.

Eine eingehende Analyse des Abflussverhaltens ergab, dass die Abflussverzögerungen infolge der Armaturen zu gering waren, um an der gesamten Entlastungssituation eine signifikante Änderung herbeizuführen. Dies insbesondere wegen der ohnehin sich im Bereich der Entlastung befindlichen kaskadenartig angeordneten Stauraumkanäle, die für sich genommen bereits eine erhebliche Abflusskonzentration herbeiführen.

Nunmehr mussten neue Wege beschritten werden: Eine Drosselung der Gesamtabflüsse im Bereich der weiterführenden Haltungen wurde vorgenommen. Jede der drei Armaturen wurde mit einem beschränkten Abfluss von 500 l/s versehen. Auch hierdurch ergab sich noch keine Verbesserung der Situation. Erst als eine Abflussbeschränkung von 150 l/s angesetzt wurde, so dass sich als Summe insgesamt weniger als die 500 l/s ergaben, die zur Kläranlage abgeleitet werden, konnte eine entscheidende Verbesserung der Situation herbeigeführt werden.

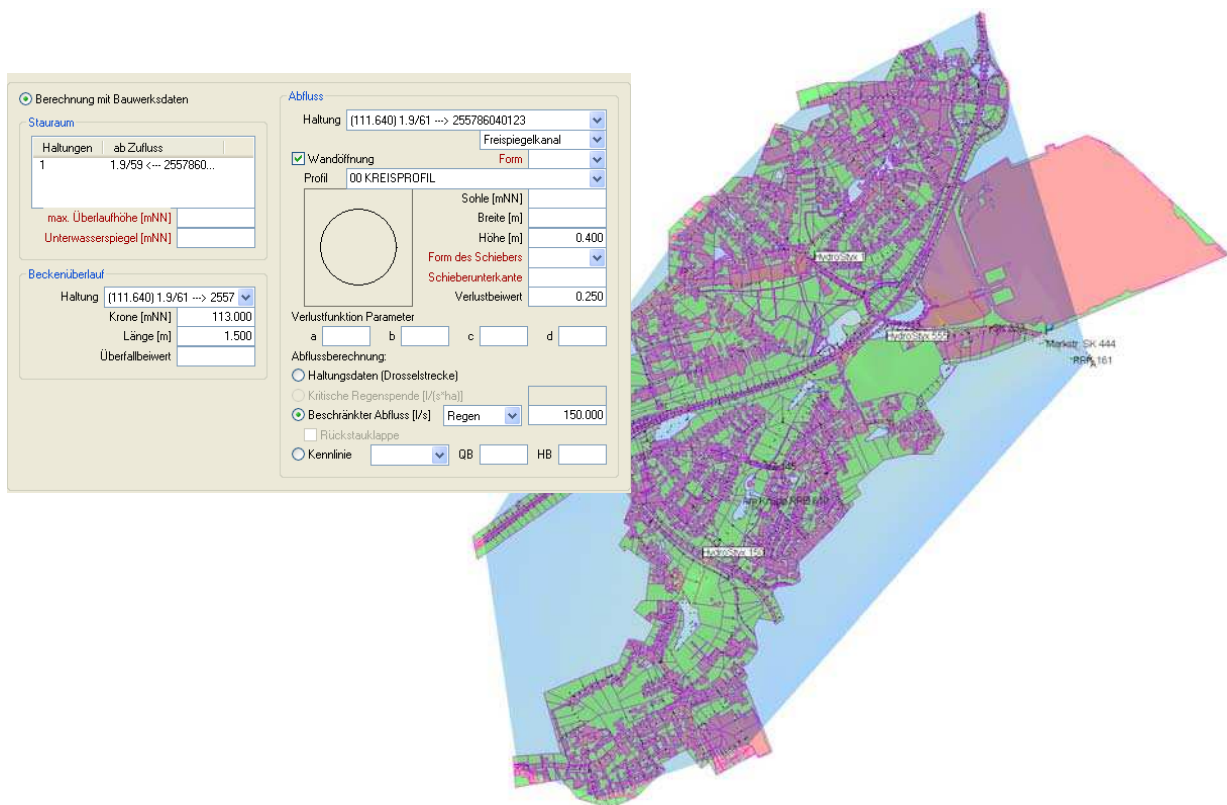


Abbildung 36: HydrOstyx Armaturen

Ergebnis:

Wie man folgender Grafik entnehmen kann, ergab sich eine Gesamtreduktion im Entlastungsvolumen von 13 % gegenüber der Entlastung ohne Armaturen über den gesamten Auswertzeitraum hinweg.

Ereignisvergleich

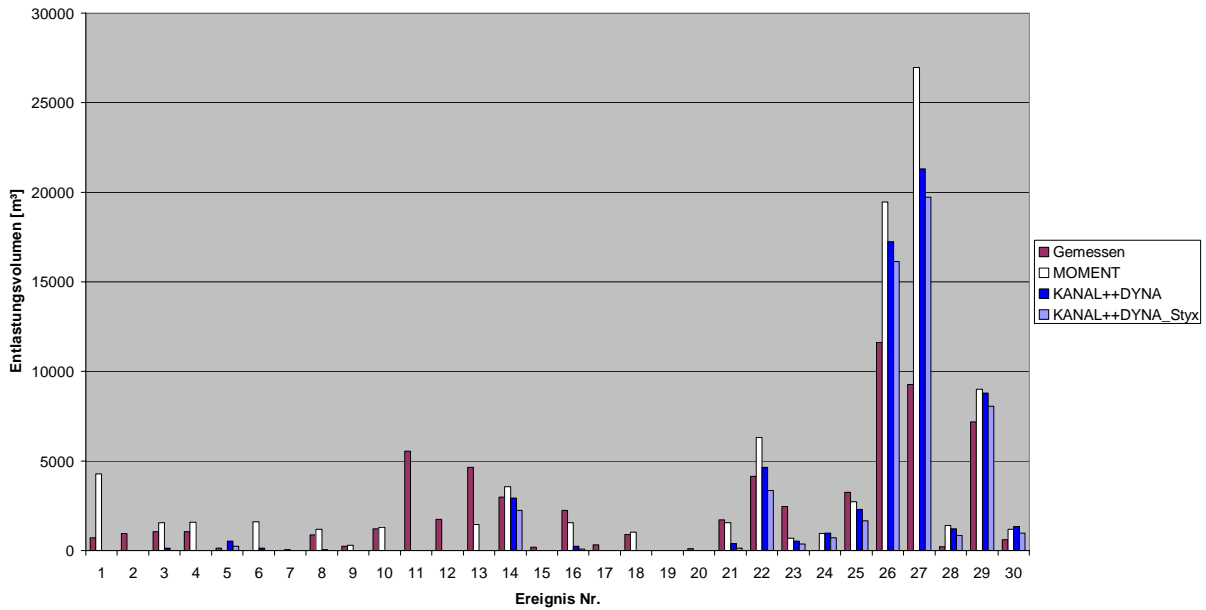


Abbildung 37: Einzelereignisse im Vergleich: Entlastungstätigkeit Jan.-Aug. 2001

Entlastungen chronologisch aufsummiert

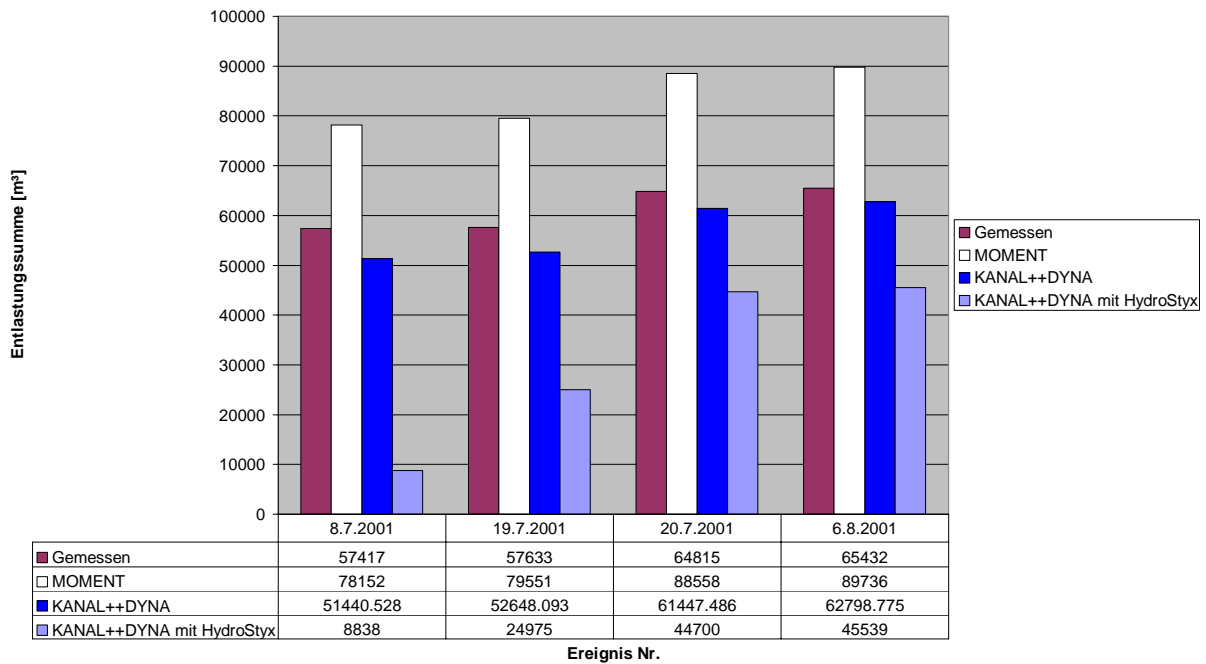


Abbildung 38: Summierte Gesamtentlastung Juli/August 2001

12. Berechnung der CSB Frachten im Vergleich mit den Messungen

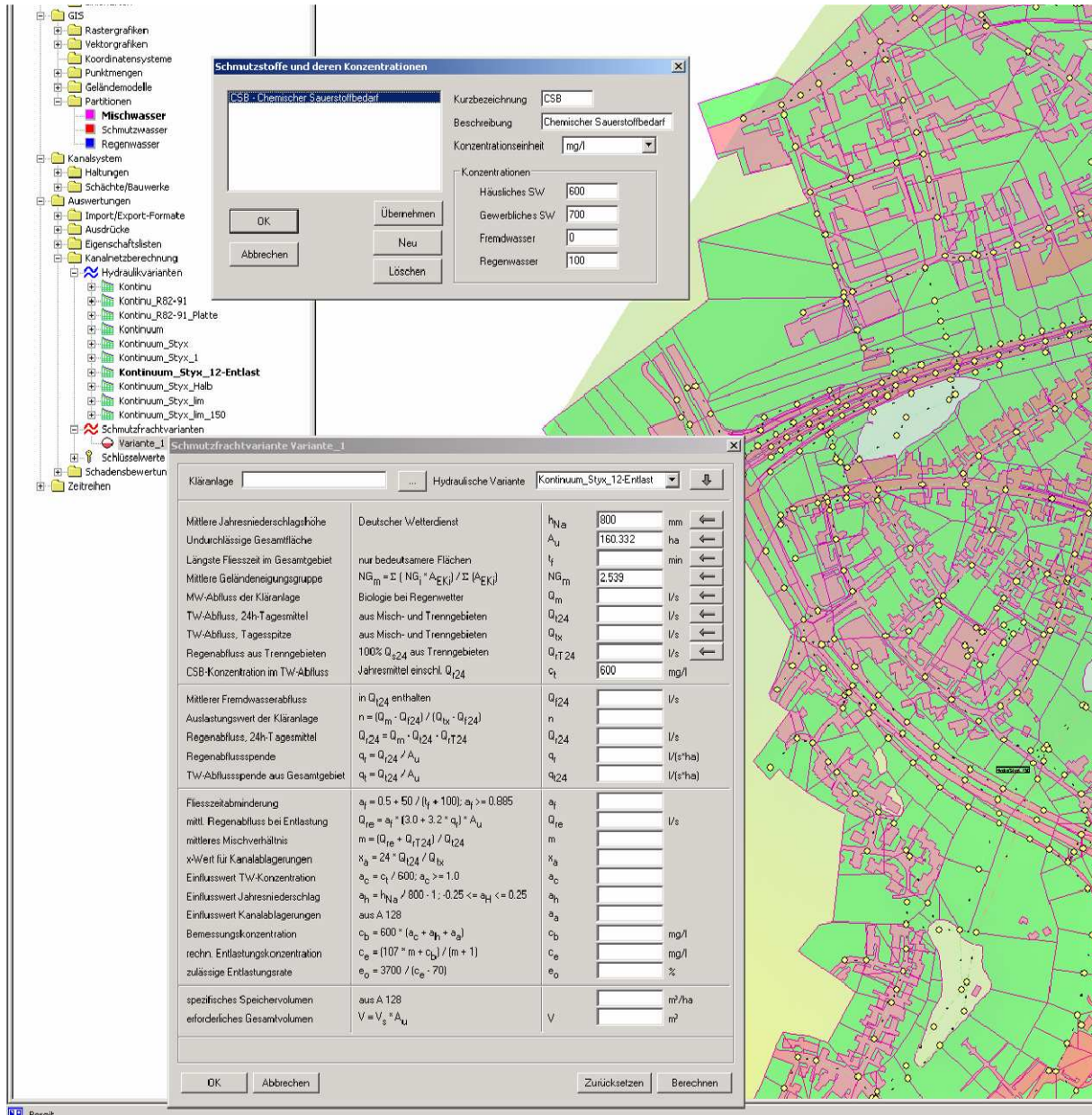


Abbildung 39: Eingabemaske für Stoffkonzentrationen

Abbildung 39 zeigt die FLOW++ Eingabemaske für die Stoffkonzentrationen jeweils getrennt für Schmutz- und Regenwasser sowie industrielle Abwässer.

Beliebig viele verschiedene Stoffe mit ihren mittleren Konzentrationen können hierbei verwaltet und in ++SYSTEMS permanent gespeichert werden. Dies ist dann die Grundlage für eine Gesamtmengenermittlung an jedem Ort im Netz insbesondere an den Auslaufbauwerken.

In diesem konkreten Falle wurde eine mittlere CSB Konzentration im Regenwasser von 100 mg/l und im Schmutzwasser von 600 mg/l eingegeben. Industrielle Abwässer wurden nicht gesondert berücksichtigt.

Für die Schmutzfrachtberechnung sind zwei Varianten, die Absetzwirkung betreffend vorgesehen: Zunächst haben wir eine Variante mit hoher Absetzwirkung des Schmutzwassers im Kanalstauraum bzw. Becken realisiert. (siehe Hauptteil).

Es wurden dann nur diejenigen Regen gerechnet, für die auch ein Messergebnis vorlag. Im Einzelnen ergab sich das folgende Ergebnis:

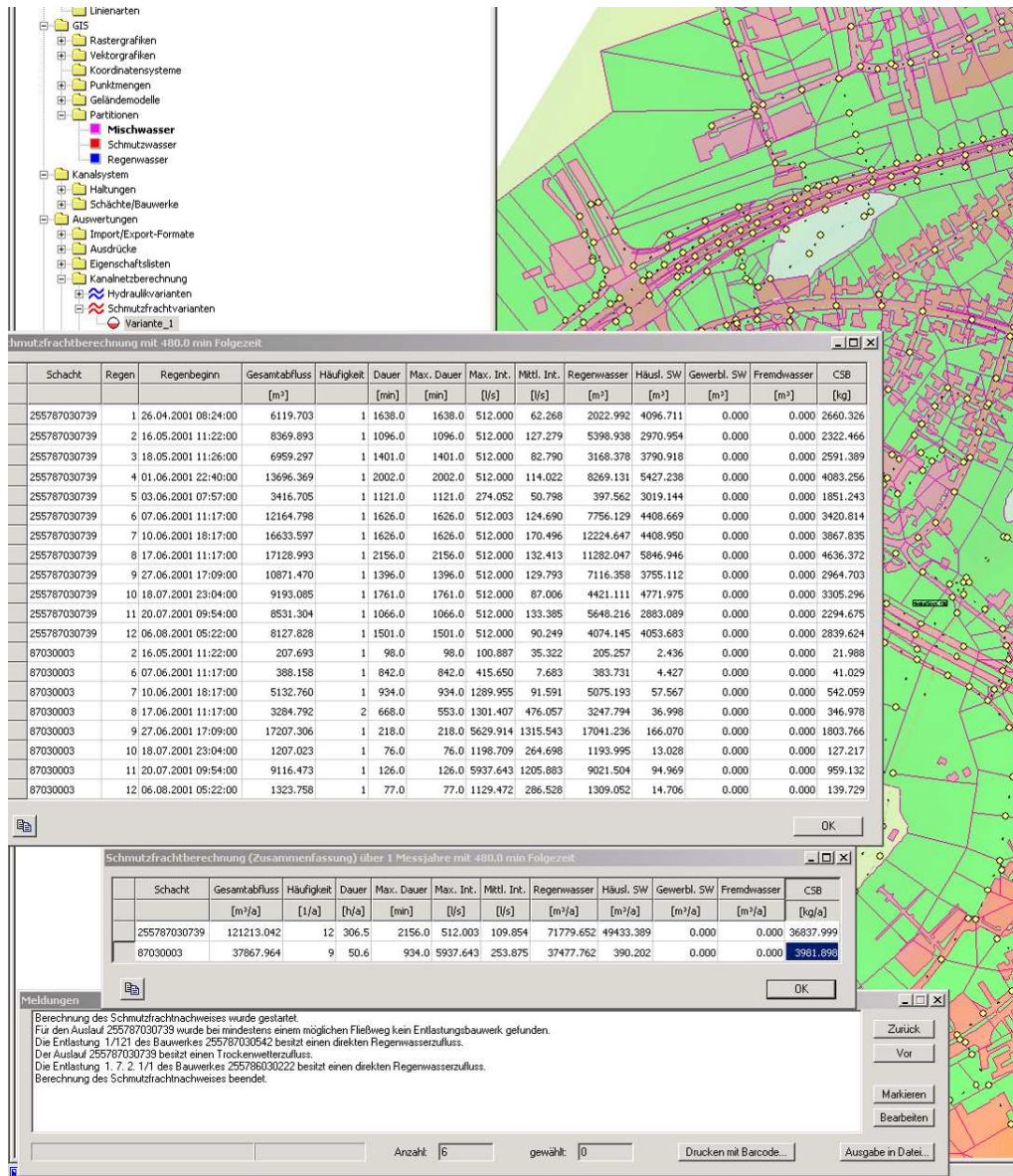


Abbildung 40: Ergebnisse der Schmutzfrachtberechnung

Auch hier wieder haben wir mit 3982 kg CSB eine sehr gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Gesamtwert von 3915 kg.

13. Fazit

Mit den Abdeckplatten ist es gelungen, Überstaus zu beseitigen, ohne die unterhalb liegende Entlastung signifikant stärker zu belasten. Mit den Hydrostyx Armaturen und konstanten Abflüssen ist es gelungen, die Entlastungen unterhalb zu reduzieren, ohne einen zusätzlichen Überstau oberhalb zu provozieren.

Da der Simulationszeitraum nur ein Dreivierteljahr umfasste, reicht dies für einen signifikanten statistischen Nachweis nicht aus. Hierzu sind die Daten einer weiteren Bochumer Regenmessstation heranzuziehen, die einen größeren Auswertzeitraum umfasst.

ⁱ Prof. Dr.- Ing. H. Orth Abschlussbericht zum FE-Vorhaben „Untersuchung zum Austragsverhalten von Stauraumkanälen“

ⁱⁱ Grüning, Helmut (2002): Ein Modell zur simultanen Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage unter Berücksichtigung resultierender Gewässerbelastungen. ISSN 0178-0980