

**„Übertragbare Bestimmung der Reinigungsleistung
eines Wirbelabscheiders am Regenüberlaufbecken
Bochum Dorneburger Mühlenbach – Phase II“**

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Förderkennzeichen:

IV-9-042 262

Abschlussbericht

Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. R. Widmann

Projektbearbeitung:

Dipl.-Ing. T. Mietzel

Essen, Dezember 2006

Inhalt

	Seite	
1	Einleitung	1
2	Stand der Wissenschaft	3
2.1	Dimensionierung eines Wirbelabscheiders durch den Vergleich mit einem Fangbecken	3
2.2	Bestimmung des Wirkungsgrades eines Wirbelabscheiders mit Hilfe der einzelnen Prozesse	4
2.3	Großtechnische Untersuchung an einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung	6
3	Charakterisierung des Einzugsgebietes und der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke	8
3.1	Einzugsgebiet Bochum-Riemke und Kanalnetz	8
3.2	Niederschlagswasserbehandlungsanlagen (NWBA) am Pumpwerk Riemke	9
4	Untersuchungskonzept für die hydraulischen und stofflichen Messungen	12
4.1	Messkonzept zur hydraulischen und stofflichen Bilanzierung	12
4.1.1	Zulaufmessung	13
4.1.2	Entlastungsabflussmessung am hydrodynamischen Abscheider	14
4.1.3	Drosselabflussmessung	15
4.1.4	Zentrale Messwerterfassung	15
4.1.5	Überprüfung der Hydraulischen Messdaten	16
4.1.6	Probenahme bei Entlastungsereignissen	18
4.2	Konzept zur Beurteilung von NWBA	20
4.3	Tracerversuch zur Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften des Wirbelabscheiders	21
4.3.1	Wahl eines geeigneten Tracers für Untersuchungen mit Abwasser	21
4.3.2	Durchführung der Tracerversuche	22
4.4	Entwicklung eines Modells für die Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften	24
4.5	Anwendung des Bewertungsverfahrens am Beispiel eines Stauraumkanals mit unten liegender Entlastung	27

4.6	Analytik der Mischwasserbeprobung	29
4.7	Umfang der erhobenen Messdaten	29
5	Stoffrückhalt im Wirbelabscheider Dorneburger Mühlenbach	31
5.1	Reinigungsleistung des Wirbelabscheiders unter stationären Bedingungen bei Trockenwetter	31
5.2	Auswertung der Konzentrationsganglinien	32
5.3	Einfluss der Sinkgeschwindigkeit auf die Effektivität	36
5.4	Fazit der Auswertungen	38
6	Kombination von Stauraumkanälen und Wirbelabscheidern	39
6.1	Ermittlung des Wirkungsgrades eines Kombinationsbauwerkes durch Simulationen	39
6.2	Beurteilung eines Kombinationsbauwerkes aus Stauraumkanal und Wirbelabscheider	41
7	Zusammenfassung	42
8	Literaturverzeichnis	44

Verzeichnis der Bilder

Bild 2-1: Längsschnitt der Zusammenführung von SKU-West und SKU-Ost	6
Bild 3-1: Die Einzugsgebietsgrenzen der Regenwasserbehandlungsanlage in Bochum Riemke (Luftaufnahme von Google Earth; Kartenmaterial von der Emschergenossenschaft)	8
Bild 3-2: Schema der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke	10
Bild 3-3: Regenwasserbehandlungsanlage in Bochum Riemke (Google Earth)	10
Bild 4-1: Konzeption und Ausstattung der Messstation an der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke	12
Bild 4-2: MID für die Zulaufmessung des Trockenwetterzuflusses	13
Bild 4-3: Ultraschall-Doppler-Sonde für die Zulaufmessung des Trockenwetterzuflusses	13
Bild 4-4: Kalibrierung der Drucksonde	14
Bild 4-5: Verschmutzung der Drucksonde nach einem Ereignis	14
Bild 4-6: Drosselstrecke zur Kläranlage	15
Bild 4-7: Screenshot der PC gesteuerten zentralen Messwerterfassung	16
Bild 4-8: Kumuliertes Zu- und Ablaufvolumen über einen Zeitraum von 20 Minuten am 15.10.03	17
Bild 4-9: Tagesganglinie des kumulierten Zu- und Ablaufvolumens vom 15.10.03	17
Bild 4-10: Differenz zwischen kumuliertem Zu- und Ablaufvolumen und aktiviertes Speichervolumen im Fangbecken und Wirbelabscheider bei einem Regenereignis vom 1.09.03	17
Bild 4-11: Kumulierte Zulaufvolumenganglinie und kumulierte Ab- und Überlaufvolumenganglinie bei einem Regenereignis vom 13.12.03	17
Bild 4-12: Halterung des Probenehmerschlauches im Pumpensumpf der TW- und RW-Pumpen	19
Bild 4-13: Halterung des Probenehmerschlauches am Überlauf des WA	19

Bild 4-14: Halterung des Probenehmerschlauches an der Drossel des WA	19
Bild 4-15: Probenahmeort am Ablauf des WA	19
Bild 4-16: Korrelation zwischen Uranin-Konzentration und UV-Absorption bei einer Wellenlänge von 490 nM	22
Bild 4-17: Verlauf der Uranin®-Konzentration im Ablauf und im Überlauf des Wirbelabscheiders	24
Bild 4-18: Verlauf der Ablaufkonzentration nach einer Impulsbelastung bei einem voll durchmischten Reaktor (oben) und einem Rohrreaktor (unten)	24
Bild 4-19: Ablaufkonzentrationsverläufe unterschiedlicher Reaktorkombinationen nach einer Impulsbelastung (nach LEVENSPIEL, 1999)	25
Bild 4-20: Hydraulisches Modell des Wirbelabscheiders in der Simulationsumgebung SIMBA	26
Bild 4-21: Gemessene und simulierte Ganglinie der Tracerkonzentration am Ablauf und am Überlauf	27
Bild 5-1: Bestimmung der Reinigungsleistung unter stationären Bedingungen	32
Bild 5-2: Ganglinie des Zulaufvolumenstroms und der C_{CSB} -Konzentration im Zu- und Überlauf für ein Regenereignis vom 31.08.2003	34
Bild 5-3: Ganglinie des Zulaufvolumenstroms und der C_{CSB} -Konzentration im Zu- und Überlauf für ein Regenereignis vom 13.12.2003	34
Bild 5-4: Zusammenhang zwischen dem Volumengemittelten Überlaufvolumenstrom und der Gesamteffektivität	36
Bild 5-5: Sinkgeschwindigkeitsverteilung im Zulauf des WA im Vergleich mit Literaturwerten am Beispiel eines Regenereignisses vom 06.01.2004	37
Bild 5-6: Sinkgeschwindigkeitsverteilung im Zulauf des WA im Vergleich mit Literaturwerten am Beispiel eines Regenereignisses vom 08.02.2004	37
Bild 5-7: AFS-Wirkungsgrad unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeitsfraktionen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschickung am Beispiel eines Ereignisses vom 01.02.04	38

Bild 5-8: Kehrwert des AFS-Wirkungsgrades unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeitsfraktionen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschickung am Beispiel eines Ereignisses vom 01.02.04	38
Bild 5-9: Ereignis-AFS-Wirkungsgrad für unterschiedliche Sinkgeschwindigkeitsfraktionen für ein Ereignis vom 02.02.04	38
Bild 5-10: Ereignis-AFS-Wirkungsgrad für unterschiedliche Sinkgeschwindigkeitsfraktionen für ein Ereignis vom 01.02.04	38
Bild 6-1: Simulationsmodell zum Vergleich des Wirkungsgrades eines SKUs und eines SKOs mit WA als Überlaufbauwerk	40

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1: Einzugsgebietesbezogene Daten für Dortmund-Scharnhorst	6
Tabelle 2-2: Eigenschaften des SKU-West	7
Tabelle 3-1: Kenngrößen des Einzugsgebietes der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke	9
Tabelle 4-1: Bewertung des SKU Dortmund Scharnhorst (Frehmann, 2003) nach dem neuen Bewertungskonzept	28
Tabelle 4-2: Anzahl der gezogen Proben	29
Tabelle 5-1: Entlastungsvolumen, Dauer und Effektivitäten der einzelnen Ereignisse	35
Tabelle 6-1: Vergleich des Wirkungsgrades eines SKUs und eines SKO mit WA als Überlaufbauwerk	41

1 Einleitung

Wegen des geringeren Platzbedarfs und den damit verbundenen Kosteneinsparungen, baut die Emscherogenossenschaft/Lippeverband (EG/LV) bei Neuplanungen Niederschlagswasseranlagen fast ausschließlich als Stauraumkanäle mit unten liegender Entlastung (SKU). Im ATV-A 128 (1992) wird für die Planung von SKUs ein Volumenaufschlag von 50 % im Vergleich zu einem Durchlaufbecken (DB) vorgeschrieben, da angenommen wird, dass während der Entlastung bereits sedimentierte Partikel resuspendieren und so in das Gewässer gelangen. FREHMANN (2003) konnten durch die Untersuchung eines SKUs mit entsprechendem Volumenaufschlag in Dortmund-Scharnhorst zeigen, dass nur bei einem von 24 Ereignissen die TS-Konzentration im Überlauf höher war als die im Zulauf, und somit Resuspensionseffekte so gut wie nicht auftreten. GEIGER ET AL. (2003) untersuchten einen SKU in Kamen Methler, der nach dem ATV-A 128 (1992) rund 36 % zu wenig Volumen hat. Bei diesem SKU konnte bei drei von sieben Ereignissen eine höhere TS-Überlaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf beobachtet werden. Es ist also davon auszugehen, dass die Reinigungsleistung mit kleineren spezifischen Volumina abnimmt. Dem in Kamen Methler untersuchten SKU ist eine Regenrückhaltstrecke (RHS) nachgeschaltet, die durch die starke Belastung aus dem SKU an ihre Leistungsgrenze gebracht wurde und ohne aufwändige Wartung so nicht hätte betrieben werden können. In diesem Fall wurde das Speichervolumen welches der RHS vorgeschaltet war für die Dauer der Untersuchung verkleinert, indem der Überlauf des SKU anstatt in ein vorhandenes DB direkt in die RHS geleitet wurde. Nicht immer ist aber ausreichend Platz vorhanden um entsprechendes Speichervolumen zur Verfügung zu stellen und so stellt sich die Frage, ob nicht durch den Einsatz von Bauwerken die eine höhere Reinigungsleistung haben, Speichervolumen eingespart werden kann. Ein solches Bauwerk könnte ein WA sein.

Der Bau einer solchen Kombinationsanlage ist allerdings kostenintensiv und würde ohne wissenschaftliche Nachweise für das Funktionieren einer solchen Anlage nicht genehmigt. Dieser Nachweis kann aber durchgeführt werden, indem die Reinigungsleistung in SKU und WA genauer untersucht wird. Wenn mathematische Gleichungen gefunden werden können, mit der die Reinigungsleistung in beiden Bauwerken beschrieben werden kann, könnte in Computersimulationen die Reinigungsleistung eines Kombinationsbauwerkes aus SKU und WA im langjährigen Mittel nachgewiesen werden.

Für den SKU hat FREHMANN (2003) versucht eine solche Gleichung durch Messungen im Modell und an einer großtechnischen Anlage aufzustellen und sie anschließend zu kalibrieren und zu verifizieren. Mit Hilfe dieser Gleichung könnte die Schmutzkonzentration und die Sinkgeschwindigkeitsverteilung am Überlauf eines SKU berechnet werden. Diese berechneten Daten können als Zulauf für das Modell eines WA dienen. Ein solches Modell zur Beschreibung der Reinigungsleistung eines WA hat HÜBNER (1997) mit Hilfe von Modelluntersuchungen entwickelt. Die Kalibrierung und Verifizierung wurde aber an speziellen WA deren Aufgabe das Abscheiden von Geröll und Steinen ist durchgeführt und kann deshalb nicht bedenkenlos auf WA angewandt werden die zur Steigerung der CSB-bezogenen Reinigungsleistung eingesetzt werden sollen. Im Rahmen dieser Studie soll deshalb eine Verifizierung des Modellansatzes und eine Kalibrierung der entsprechenden Parameter durchgeführt wer-

den, indem eine Messkampagne am WA der EG am Standort Bochum Dorneburger Mühlenbach durchgeführt wird.

Die dortige Regenwasserbehandlungsanlage besteht aus dem Pumpwerk Riemke, einem WA mit einem nachgeschalteten Fangbecken sowie einem Regenrückhaltebecken. Der WA wird von einer Trockenwetterpumpe und zwei Regenwetterpumpen beschickt. Abhängig vom Zufluss beschicken die Pumpen den WA mit 90 L/s, 450 L/s oder 990 L/s. Die Zulaufvolumenströme liegen damit in einem Bereich der für einen Überlauf an einem SKU realistisch ist. So wurden am SKU in Kamen-Methler Überlaufvolumenströme bis 550 L/s gemessen.

Da HÜBNER (1997) in Modelluntersuchungen an einem WA einen Zusammenhang zwischen Überlaufvolumenstrom und der Reinigungsleistung gefunden hat, wurde in der zweiten Projektphase eine Regenwetterpumpe mit einem Frequenzumrichter ausgestattet. So sollen die in der Modellstudie ermittelten Gleichungen unter stationären Bedingungen in der Großtechnik bestätigt werden.

2 Stand der Wissenschaft

Obleich in den Regelwerken (ATV-A 128, 1992, ATV-DVWK-M 153, 2000 und ATV-DVWK-M 177, 2001) keine verwertbaren Angaben zur Dimensionierung von WA gemacht werden, gibt es einige Untersuchungen zur Wirksamkeit und zur Beurteilung von WA. Mit Hilfe des in Kapitel 2.1 dargestellten Ansatzes (LFU, 1997) kann ein WA mit der Wirksamkeit eines nach ATV A-128 dimensionierten FB dimensioniert werden. Dieser Ansatz ist jedoch nicht verwendbar, wenn es gilt die Wirksamkeit von WA in Verbindung mit SKU festzustellen. Der in Kapitel 2.2 dargestellte Ansatz (HÜBNER, 1997) bestimmt die Wirkungsgrade der Prozesse Volumenstromaufteilung, Zwischenspeicherung und Sedimentation getrennt voneinander und ermöglicht so eine Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades, kann also Grundlage für die beantragte Bearbeitung sein.

2.1 Dimensionierung eines Wirbelabscheiders durch den Vergleich mit einem Fangbecken

Aufgrund von Messungen (z.B. BROMBACH, 1992) entwickelte die Firma UFT im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU, 1997) ein Bemessungsvorgehen für die Wirbelabscheider (UFT-Typen-Bezeichnung FluidSep) im Mischsystem. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die geometrischen Abmessungen des Abscheiders mit dem Ziel eines vorgegebenen Stoffrückhaltes bezüglich CSB (von ATV-A 128, 1992 definiert) mit Hilfe einfacher Gleichungen und Diagramme iterativ zu bestimmen. Die Prozedur geht von einer mittleren stationären hydraulischen Belastung aus. Der Drosselabfluss muss dabei vorgeben werden. Die gebietspezifischen Gegebenheiten (Spülstoßeffekte) werden näherungsweise vereinfacht mittels Zuschlagskoeffizienten berücksichtigt. Die zugrundeliegenden Leistungsdiagramme sind durch Labormessungen ermittelt und auf großtechnische Ausführungen umgerechnet worden. Das Bemessungsvorgehen ist für den Planer einfach zu handhaben, besitzt aber aufgrund der Verallgemeinerungen die folgenden Nachteile:

- Es ist bedingt durch die Bemessungsmethode nur ein Vergleich mit einem Fangbecken und nicht mit anderen NWBA möglich.
- Es ist nur auf eine sogenannte „Solo-Ausführung“ eines Wirbelabscheiders anwendbar, also als Ersatz für ein Fangbecken bis ca. 200 m³ Speichervolumen (LFU, 1997). Eine Hintereinanderschaltung von Bauwerken kann nicht berücksichtigt werden.
- Die Wirkung des Sedimentationsprozesses ist abhängig von der Charakteristik der Zuflussganglinien zum Bauwerk. Wird das gleiche zulaufende Mischwasservolumen bei einem kurzen Überlaufereignis mit hohen Entlastungsvolumenströmen und einer großen Entlastungsdauer mit niedrigen Entlastungsvolumenströmen behandelt, ist die sedimentative Wirkung bei hoher Entlastungsdauer wesentlich höher. Die Ausprägung der Zuflussganglinien werden von der Niederschlagscharakteristik und der Retentionswirkung im Einzugsgebiet beeinflusst. Diese ortspezifischen Einflüsse werden in dem Verfahren des LFU (1997) nicht berücksichtigt.

2.2 Bestimmung des Wirkungsgrades eines Wirbelabscheiders mit Hilfe der einzelnen Prozesse

HÜBNER (1997) und GEIGER ET USTOHAL (1998) führten Untersuchungen zum Nachweis der stofflichen Wirksamkeit von WA durch. Sie führten Modell- und Felduntersuchungen an WA und Durchlaufbecken unter stationären sowie instationären Bedingungen durch. Dabei bestimmten sie getrennt den Wirkungsgrad der Prozesse Volumenstromaufteilung, Zwischenspeicherung und Sedimentation. Die Untersuchungen wurden an Bauwerken des Ruhrverbandes (Schwerte-Westhofen und Ruhrinsel-Raffelberg) durchgeführt. Der vom Ruhrverband eingesetzte Hydrodynamische Abscheider ist eine Eigenentwicklung des Ruhrverbandes und wird als „Zyklonabscheider“ bezeichnet. Diese Zyklonabscheider werden als Trennbauwerke vor Regenüberlaufbecken eingesetzt. Es handelt sich dabei um relativ kleine Abscheider, die mit einer Oberflächenbeschickung von rund 100 m/h bei einer kritischen Regenspende von 15 L/(s*ha) belastet werden. Sie haben also eine rund 10mal kleinere Oberfläche als übliche Durchlaufbecken. Ihre Aufgabe ist weniger die Abscheidung feiner Feststoffe, an die Schmutzstoffe vorwiegend gebunden sind, sondern die direkte Ableitung von Grobstoffen zur Kläranlage. Damit wird die Reinigung der nach geschalteter Regenüberlaufbecken erleichtert. Bei den untersuchten Durchlaufbecken ist die Absetzwirkung konstruktiv durch Drosselschlitze und Prallpfeiler sichergestellt.

Die Ergebnisse für die Volumenstromaufteilung und die Zwischenspeicherung ließen sich mit den klassischen Massenerhaltungsansätzen, wie sie üblicherweise in Schmutzfrachtmodellen eingesetzt werden, mathematisch modellieren. Für die Sedimentation entwickelten GEIGER ET USTOHAL (1998) aus Laborversuchen eine Systemfunktion, die für jeden Zeitpunkt den Wirkungsgrad der Feststofftrennung in Abhängigkeit der Oberflächenbeschickung und der Sinkgeschwindigkeitsverteilung angibt (Gleichung (2-1)). Der Aufbau der Funktion ist für Durchlaufbecken und Wirbelabscheider identisch:

$$E_{\text{Norm,FS}} = 1 - 2 \left[\left(\frac{Ha}{Ha_{T50}} \right)^\beta \right] \quad (2-1)$$

$E_{\text{Norm,FS}}$: Normierte Effektivität [-]

$Ha \equiv \frac{v_s}{q_A}$: Hazenzahl [-]

v_s : Sinkgeschwindigkeit [m/s]

q_A : Oberflächenbeschickung [m/s]

Ha_{T50} : Trennhazenzahl [-]

β : Trennschärfe [-]

In Gleichung (2-1) bezeichnet $E_{\text{Norm,FS}}$ den Wirkungsgrad der Feststoffabscheidung infolge der Sedimentation, HA ist die Hazenzahl als Verhältnis der Oberflächenbeschickung bez. Überlauf und Sinkgeschwindigkeit. Die Systemfunktion (2-1) beschreibt die Stofftrennung un-

ter dynamischen Bedingungen (wie im realen Betrieb) mit Hilfe von lediglich zwei bauwerkspezifischen Parametern: Trennhazenzahl Ha_{T50} und Trennschärfe β .

Die Werte, die GEIGER ET USTOHAL (1998) für die Trennhazenzahl Ha_{T50} und die Trennschärfe β ermittelten, gelten nur für die von ihnen untersuchten konstruktiven Ausführungsformen. Wie bestimmte konstruktiven Eigenschaften die Trennhazenzahl und die Trennschärfe beeinflussen, wurde an einzelnen Bauwerken mit einer geringen Anzahl von Ereignissen untersucht und ist daher nicht bekannt. Da Bauform und Zweck des Zyklonabscheiders in Schwerte-Westhofen und Ruhrinsel-Raffelberg sich wesentlich von der Art des WA, wie er z.B. am Dorneburger Mühlenbach besteht und wie er sinnvoller Weise in Verbindung mit SKU eingesetzt werden könnte, unterscheiden, lassen sich die durch HÜBNER (1997) und GEIGER ET USTOHAL (1998) an Hand von Messungen bestimmten Modellparameter nicht übertragen.

Auf Grundlage der Systemfunktion nach GEIGER ET USTOHAL (1998) ist sowohl die Entwicklung eines händischen Bemessungsvorgehens, ähnlich dem Vorgehen im LFU (1997), möglich, als auch der Nachweis durch Schmutzfrachtsimulation, wie in GEIGER ET USTOHAL (1998) gezeigt wurde. Bezüglich der Qualität der derzeit verfügbaren Parametersätze bestehen für Hydrodynamische Abscheider in erster Linie folgende Defizite:

- Es wurde nur ein Typ eines Hydrodynamischen Abscheiders untersucht. Der untersuchte Zyklonabscheider wird bisher nur als Trennbauwerk eingesetzt. Die Extrapolation der Systemfunktion in einen Bereich, der für die CSB-Abscheidung relevant ist, erfolgte nur am Modell. Es fehlt eine Bestimmung der Systemparameter an einem größeren Abscheider, wie dem Wirbelabscheider von UFT.
- GEIGER ET USTOHAL (1998) bestimmten die Parameter nur im Modellversuch und glichen sie an den Feldmessungen ab. Es fehlt eine Felduntersuchung an einem unabhängigen Bauwerk, die die Anwendbarkeit der Systemfunktion nachweist.

In diesem Forschungsvorhaben sollen deshalb die Trennhazenzahl und die Trennschärfe durch die Felduntersuchung am WA Dorneburger Mühlenbach bestimmt werden. Auf dieser Basis können Simulationenrechnungen durchgeführt werden, die einen Vergleich des CSB-Reinigungsgrades zwischen der realisierten Anlage und einem gemäß ATV-A 128 (1992) bemessenen Fangbecken ermöglichen. Mit Hilfe der gewonnenen Parametersätze können außerdem Wirbelabscheider in Solo-Ausführung und im Rahmen von Kombinationsbauwerken unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen bemessen werden. Da die EG/LV NWBA in erster Linie als Stauraumkanäle baut, wäre es für sie von großem Interesse, ob durch die Kombination von hydrodynamischen Abscheidern mit Stauraumkanälen eine Volumenreduktion und eine damit verbundene Kosteneinsparung möglich ist.

2.3 Großtechnische Untersuchung an einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung

FREHMANN (2003) weist im Rahmen einer Feld- und Modellstudie nach, dass es bei einem mit dem vom ATV-A 128 (1992) geforderten Volumenaufschlag von 50 %, nicht zur Remobilisierung von Partikeln in der Entlastungsphase kommt. Die Felduntersuchung erfolgt an einem Stauraumkanal in Stadtteil Scharnhorst im Norden von Dortmund. Die Modelluntersuchung erfolgt an einem halbertechnischen Modell, das den großformatigen Stauraumkanal im Maßstab 1:13 nachbildet.

Das Einzugsgebiet Dortmund-Scharnhorst mit einer kanalisiertem Einzugsgebietsfläche (A_{EK}) von 184,3 ha ist entwässerungstechnisch in zwei Teileinzugsgebiete (TEG) unterteilt. Im folgenden wird lediglich das TEG-West näher erläutert. Die charakteristischen Daten des Einzugsgebietes sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst. Die Flächengrößen und Versiegelungsgrade resultieren aus den Überfliegungsdaten, die vom Lippeverband im Mai 1998 durchgeführt und ausgewertet worden sind.

Tabelle 2-1: Einzugsgebietesbezogene Daten für Dortmund-Scharnhorst

	$A_{E,k}$ [ha]	VG [%]	A_{red} [ha]	A_U [ha]	Einwohner [E]	Dichte [E/ha]
TEG-West	97,35	42,80	41,67	33,99	5.438	56

Als Entlastungsbauwerk wurde ein Kelchüberlauf aus einem Glasfaser verstärkten Kunststoff gewählt. Durch die kreisförmige Überlaufschwelle wird bei Kelchüberläufen aufgrund ihrer kompakten Bauweise, gegenüber einem seitlich angeströmten Wehr auf der gleichen Baulänge rund die dreifache Schwellenlänge realisiert. Hinter beiden Kelchüberläufen sind Schmutzfangzellen angeordnet (vgl. Bild 2-1). Das Abwasser wird über einen Sammelschacht zur Kläranlage Scharnhorst gepumpt und dort biologisch gereinigt.

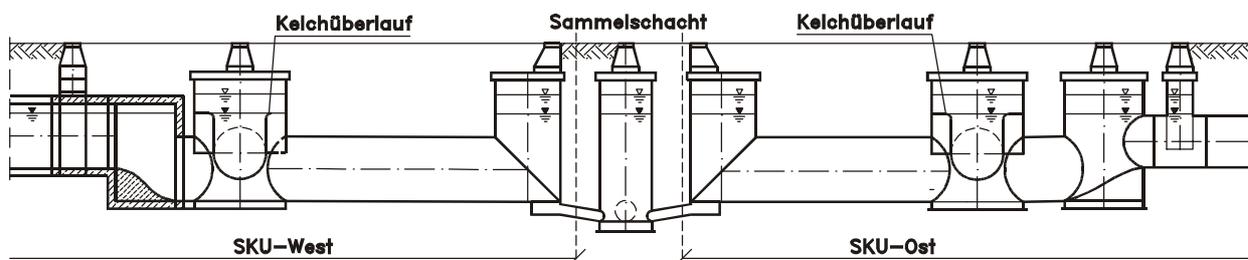


Bild 2-1: Längsschnitt der Zusammenführung von SKU-West und SKU-Ost

Der SKU-West ist aus Rohrquerschnitten DN 2500 bzw. DN 2000 im vorderen Teil, hergestellt. Die für die Regenwasserbehandlung relevanten Daten der zwei SKU sind in Tabelle 2-2 dargestellt.

Tabelle 2-2: Eigenschaften des SKU-West

	SKU-West
Durchmesser	2000 / 2500
Material	Beton
Länge	471 m
Speichervolumen	1210 m ³
Spezifisches Speichervolumen	35,6 m ³ /ha
Mittleres Gefälle	6,5 ‰
Entlastungsbauwerk	Kelchüberlauf
Seitliche Einmündung	DN 700, ca. 98 m vor Überlauf

Zur Bestimmung der Wirksamkeit des SKU wurden alle Volumen- und Feststoffströme messtechnisch erfasst. So war eine vollständige hydraulische und stoffliche Bilanzierung der Regenwasserbehandlungsanlage möglich. Ein Ziel der Untersuchung war die detaillierte Beschreibung der Prozesse Sedimentation und Remobilisierung. Die Ergebnisse der Modellstudie konnten genutzt werden um Gleichungen für die beiden Prozesse zu entwickeln. FREHMANN (2003) gelang es aber nur die Gleichungen für einzelne Ereignisse zu kalibrieren. Einen allgemeingültigen Parametersatz für alle Ereignisse konnte aus den Messergebnissen der großtechnischen Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Grund dafür waren wohl die unzähligen Randbedingungen, die bei der Mischwasserbehandlung eine Rolle spielen.

Es gelang FREHMANN (2003) aber zu zeigen, dass bei SKU die mit einem Volumenaufschlag von 50 % bemessen wurden, es in der Entlastungsphase nicht zu einer Remobilisierung von Partikeln kommt und der Rückhalt von Schmutzstoffen somit nicht schlechter funktioniert als bei einem Fangbecken. Im Rahmen dieser Arbeit werden die von FREHMANN (2003) großtechnisch ermittelten Daten genutzt, um ein neues Bewertungskonzept zu testen und um die Kombination mit Wirbelabscheidern zu simulieren.

3 Charakterisierung des Einzugsgebietes und der Niederschlagwasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke

Im folgenden sollen kurz die Kenngrößen des Einzugsgebiets Bochum-Riemke und die Funktionsweise der dortigen Regenwasserbehandlungsanlage beschrieben werden.

3.1 Einzugsgebiet Bochum-Riemke und Kanalnetz

Das Einzugsgebiet der untersuchten Niederschlagwasserbehandlungsanlage (NWBA) Bochum-Riemke liegt im Nord-Westen von Bochum und wird im Mischsystem entwässert. Ein Luftbild, die Einzugsgebietsgrenzen sowie das Pumpwerk Bochum Riemke sind in Bild 3-1 dargestellt. Auf einer Fläche von 130,17 ha leben ca. 1.282 Einwohner. Außerdem sind mehrere Gewerbegebiete an die NWBA angeschlossen. Der Versiegelungsgrad wurde durch Luftbildauswertung ermittelt und beträgt im Mittel 31,1 %, womit sich eine häusliche, undurchlässige Fläche $A_{u,h}$ von 16,99 ha und eine gewerbliche undurchlässige Fläche $A_{u,g}$ von 23,46 ha ergibt. Das Einzugsgebiet hat keine Vorentlastung, so dass die volle Entwässerungsfläche auf die NWBA wirkt. Weitere Kenngrößen des Einzugsgebietes können Tabelle 3-1 entnommen werden.

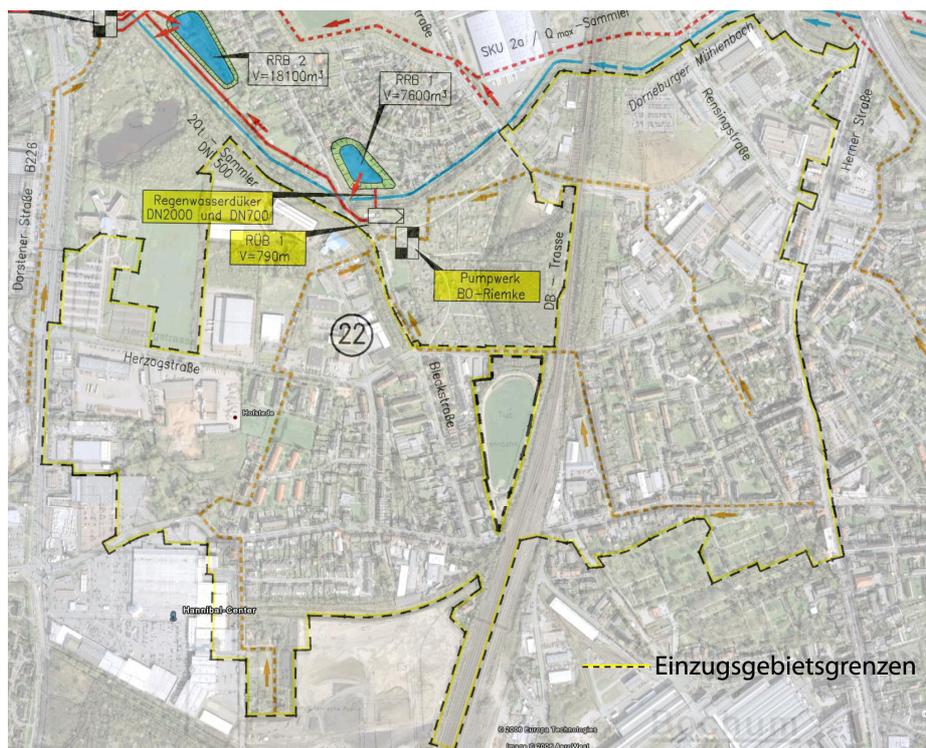


Bild 3-1: Die Einzugsgebietsgrenzen der Regenwasserbehandlungsanlage in Bochum Riemke (Luftaufnahme von Google Earth; Kartenmaterial von der Emschergenossenschaft)

Tabelle 3-1: Kenngrößen des Einzugsgebietes der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke

Fläche des kanalisiertes Einzugsgebietes	$A_{E,k}$	130,17 ha
Einwohner	E	1282 E
Neigungsgruppe	NG	2
Längste Fließzeit im Einzugsgebiet	t_f	8,3 min
Versiegelungsgrad	VG	31,1 %
Undurchlässige häusliche Einzugsgebietsfläche	$A_{u,H}$	16,99 ha
Gewerbliche Einzugsgebietsfläche	$A_{u,G}$	23,46 ha
Gesamte Einzugsgebietsfläche	A_u	40,5 ha
Fremdwasserabfluss im Tagesmittel	$Q_{f,dM}$	8,1 L/s
Trockenwetterabfluss im Tagesmittel	$Q_{T,dM}$	12,7 L/s
Maximaler stündlicher Trockenwetterabfluss	$Q_{T,h,max}$	21,7 L/s
Konzentration des CSB im Trockenwetterabfluss	$C_{T,CSB}$	395 mg/L

3.2 Niederschlagswasserbehandlungsanlagen (NWBA) am Pumpwerk Riemke

Bild 3-2 zeigt schematisch die Funktionsweise der NWBA am Pumpwerk Riemke. Im wesentlichen erfolgt die Niederschlagswasserbehandlung durch einen Wirbelabscheider (WA) als Trennbauwerk, ein Fangbecken (FB) und ein nachgeschaltetes Regenrückhaltebecken. Die drei Komponenten sind im Luftbild (Bild 3-3) dargestellt. WA und Fangbecken sowie Spülwasserschächte und der Vorschacht vor der Drossel haben ein gemeinsames Speichervolumen von ca. 900 m³. Obwohl bei der Genehmigung der NWBA durch die erhöhte Reinigungsleistung des WA eine Volumenreduktion um 25 % gegenüber ATV-A128 genehmigt wurde, wenn der Nachweis durch Messungen erbracht wurde, dass durch die Anlage keine höhere Belastung für das Gewässer besteht als durch eine nach ATV-A128 bemessene Anlage, wurde inzwischen die Drosselleistung erhöht, so dass das Volumen ATV-A128 entspricht.

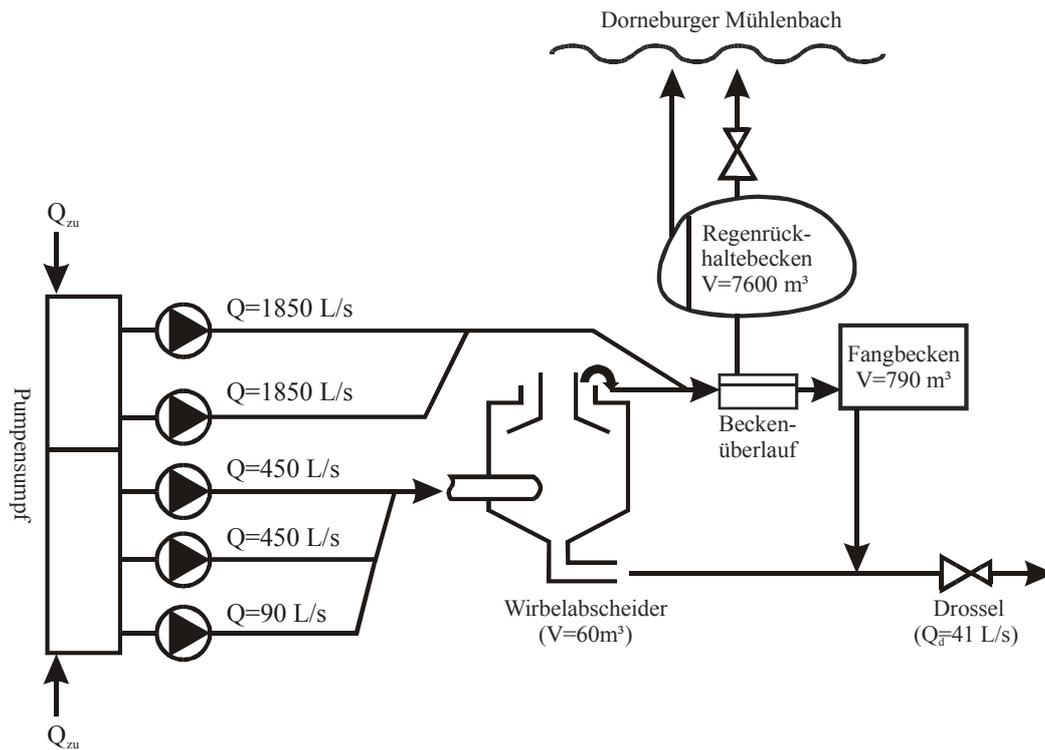


Bild 3-2: Schema der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke



Bild 3-3: Regenwasserbehandlungsanlage in Bochum Riemke (Google Earth)

Bei Trockenwetter wird das Schmutzwasser durch eine Pumpe mit einer Förderleistung von 90 L/s in den Wirbelabscheider (WA) mit einem max. Speichervolumen von ca. 60 m³ gefördert. Der Abfluss aus dem WA fließt in den MID Vorschacht und von da über einen gedückerten MID-Regler auf ca. 41 L/s gedrosselt in Richtung Kläranlage. Da der Zufluss zum WA größer ist als der Abfluss wird der WA teileingestaut. Durch den Intervallbetrieb der Trockenwetterpumpe, läuft der WA in den Phasen in denen die Trockenwetterpumpe ausgeschaltet ist leer.

Bei Regenwetter werden abhängig vom Wasserstand die beiden Regenwetterpumpen sukzessive zugeschaltet. Beide haben eine Förderleistung von je 450 L/s und fördern über eine gemeinsame Druckrohrleitung in den WA. Im Rahmen der zweiten Phase dieses Projektes, wurde die erste Regenwetterpumpe mit einem Frequenzumrichter ausgestattet. Hierdurch ist eine stufenlose Regelung der Förderleistung von ca. 200 L/s bis ca. 450 L/s möglich. Die reale Förderleistung ist auch vom Wasserstand im Pumpensumpf und vom Wasserstand im Wirbelabscheider abhängig. Daher variiert die Förderleistung z.B. bei einer gewollten Leistung von 200 L/s zwischen 180 L/s und 230 L/s. Da der Frequenzumrichter nur temporär für die Dauer der Untersuchung eingebaut wurde, wird die Förderleistung manuell geregelt und es ist keine wasserstandsabhängige Regelung vorgesehen.

Reicht die Förderleistung der beiden Regenwetterpumpen und der Trockenwetterpumpe nicht aus, so fließt Mischwasser dem Pumpensumpf der Hochwasserpumpen zu. Beide Hochwasserpumpen haben eine Förderleistung von 1850 L/s und fördern nicht in den WA, sondern direkt in das FB, um den Abscheider nicht zu überlasten.

Der Überlauf des WA fließt über die Verbindungskammer einem im Nebenschluss angeordneten Fangbecken mit einem Speichervolumen von ca. 790 m³ zu. Gleichzeitig füllen sich zwei Bodenbehälter zur Beschickung der Spülkippen. Das Fangbecken besitzt eine Verbindungskammer, in die die Förderleitung der beiden Hochwasserpumpen einmündet und die in Form eines Winkels, der den Wirbelabscheider umfasst, angeordnet ist. Ist das Volumen des Fangbeckens aufgebraucht, fließt das zusätzliche Mischwasser über einen Beckenüberlauf in der Verbindungskammer einem Regenrückhaltebecken mit einem Volumen von 7.600 m³ über zwei parallele, gedückerte Leitungen zu. Das Wasser aus dem Rückhaltebecken wird schließlich über ein Auslaufbauwerk in den Dorneburger Mühlenbach abgeschlagen.

Sinkt der Wasserspiegel im WA, wird der Entleerungsschieber des Fangbeckens geöffnet und das Fangbecken entleert sich im freien Gefälle in den MID Vorschacht. Nach Entleerung des Fangbeckens wird der abgelagerte Schlamm mittels Spülkippen in den Ablauf gespült. Anschließend wird der Elektroschieber am Ablauf des Fangbeckens wieder geschlossen.

4 Untersuchungskonzept für die hydraulischen und stofflichen Messungen

Vorraussetzung für die Bestimmung der Wirksamkeit des WA und die Ableitung einer mathematischen Beschreibung der Wirksamkeit ist die Entwicklung eines geeigneten Messkonzeptes. Im folgenden wird erläutert, mit welchen Geräten die hydraulischen und stofflichen Messungen durchgeführt wurden und an welchen Orten sie installiert wurden.

4.1 Messkonzept zur hydraulischen und stofflichen Bilanzierung

Die NWBA am Pumpwerk Riemke wurde bereits beim Bau der Anlage mit zahlreichen Messsonden zur Bestimmung von Abflüssen und Höhenständen ausgerüstet. Im Rahmen dieser Studie wurde eine weitere Drucksonde am Überlauf des hydrodynamischen Abscheiders, sowie eine Ultraschall-Doppler-Zulaufmessung für den Zulauf der Regenwetterpumpen installiert. Für die stoffliche Bilanzierung wurden außerdem drei automatische Probennehmer aufgestellt. Um einen Zugriff auf die Messwerte und eine Steuerung der Probennehmer von außerhalb zu ermöglichen wurde zusätzlich zu der bestehenden Messwerterfassung eine PC-gestützte Messwerterfassung installiert. Bild 4-1 gibt einen Überblick über die installierten Messgeräte und Probennehmer. Im Folgenden werden die einzelnen Messgeräte und deren Installationsorte detaillierter erläutert.

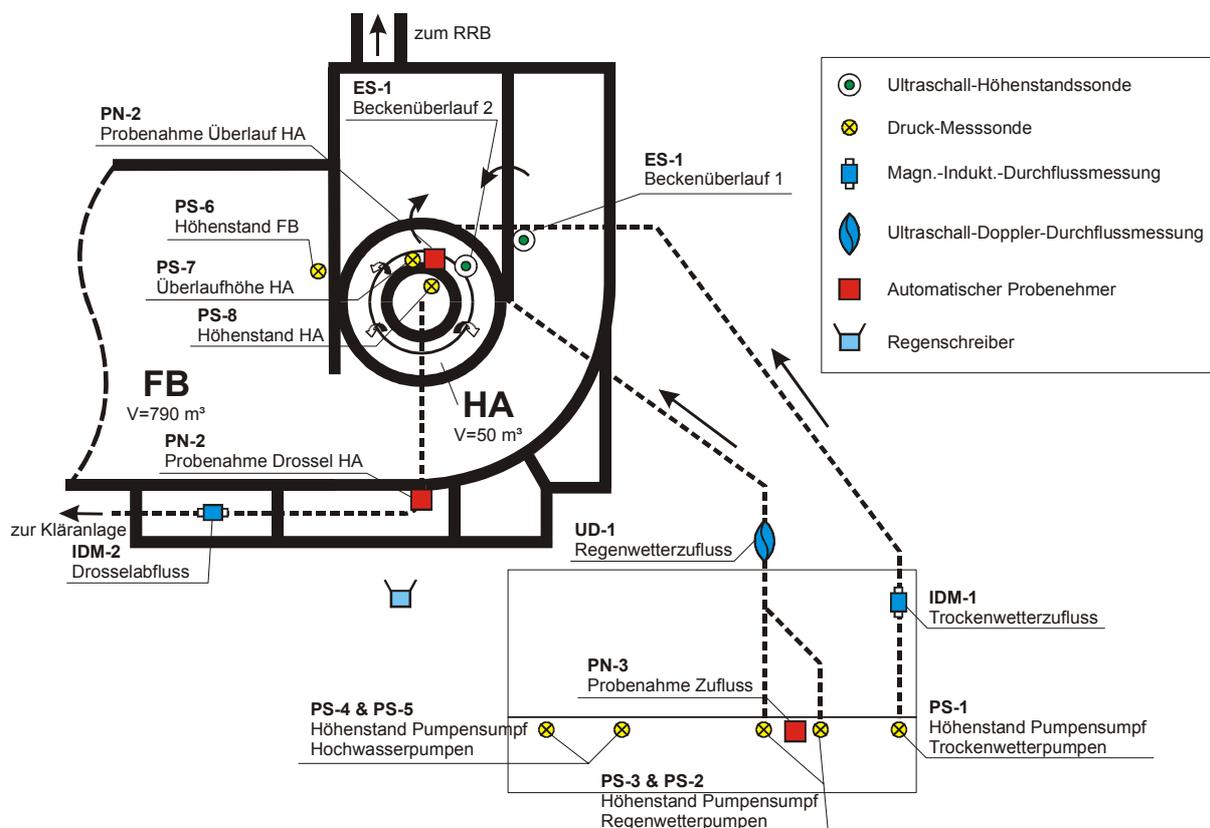


Bild 4-1: Konzeption und Ausstattung der Messstation an der Niederschlagswasserbehandlungsanlage am Pumpwerk Riemke

4.1.1 Zulaufmessung

Die Beschickung der NWBA erfolgt mit Hilfe von fünf Pumpen, die Wasserstandsabhängig sukzessive eingeschaltet werden. Bei Trockenwetter fördert Pumpe 1 intervallgesteuert mit einer Leistung von 90 L/s in den WA. Da der Abfluss zur Kläranlage mit 35 L/s nur etwa halb so groß ist wie der Zufluss, wird auch im Trockenwetterfall der WA zeitweise aufgestaut. Bei Regenwetter werden sukzessive die Pumpen 2 und 3 mit einer Förderleistung von je max. 450 L/s zugeschaltet. Beide Pumpen fördern über ein gemeinsames Rohr (DN 500) ebenfalls in den WA. Bei weiter ansteigendem Wasserspiegel werden zwei weitere Pumpen mit einer Förderleistung von je 1850 L/s zugeschaltet. Der Zufluss beider Pumpen geht direkt in das Fangbecken und muss zur Bestimmung der Wirksamkeit des WA nicht gemessen werden.

Die Zulaufmessung der Trockenwetterpumpe erfolgt über einen magnetisch-induktiven Durchflussmesser Altosonic der Firma Krohne. Die Genauigkeit ist von der Herstellerfirma mit 0,15 % angegeben. Wie Bild 4-2 zeigt, ist das MID nur 30 cm unterhalb eines Knicks angebracht. Die Herstellerfirma empfiehlt einen Abstand von 2 DN, also 40 cm. In Kapitel 4.1.5 wird untersucht, ob die Genauigkeit der Messung dadurch beeinträchtigt ist.

Die Zulaufmessung der beiden Regenwetterpumpen erfolgt im gemeinsamen Rohr mit Hilfe eines Ultraschall-Doppler-Durchflussmessers der Firma Nivus (OCM). Die Genauigkeit wird vom Hersteller mit 1 % angegeben. Durch die örtlichen Gegebenheiten konnte die Messsonde nur wie in Bild 4-3 zu sehen ist von oben im Rohr installiert werden. Dadurch ist nur eine Messung bei Vollfüllung möglich. In der Praxis hat sich aber gezeigt, dass das Rohr bereits wenige Sekunden nach Anlauf der Pumpen vollgefüllt ist, und so ist keine Einschränkung der Messungen zu erwarten.



Bild 4-2: MID für die Zulaufmessung des Trockenwetterzuflusses



Bild 4-3: Ultraschall-Doppler-Sonde für die Zulaufmessung des Trockenwetterzuflusses

4.1.2 Entlastungsabflussmessung am hydrodynamischen Abscheider

Beim Bau des WA wurde eine Drucksonde mit einem Messbereich von 0 m bis 6 m installiert. Der Hersteller gibt einen Messbereich von 0,2 % an, was einem Messfehler von 1,2 Zentimetern entspricht. Da der Fehler zu groß ist, um Überlaufmengen zu bestimmen (1,2 cm entsprechen ca. 24 l/s), wurde eine weitere Sonde mit einem Messbereich von 0 m bis 1 m und einem absoluten Messfehler von 2 mm installiert (Endress & Hauser Waterpilot FMX 165). Die Drucksonde wird durch ein Edelstahlrohr, in das Löcher gebohrt wurden geschützt. Die Drucksonde wurde monatlich mit der in Bild 4-4 dargestellten Konstruktion bei Trockenwetter kalibriert. Dabei wurde der Wasserstand mit Hilfe einer Wasserwaage in einem unten geschlossenen Plexiglasrohr auf Höhe der Überlaufschwelle gebracht und als Nullwert in der Messwerterfassung festgesetzt.

Mit Hilfe der Poleni-Formel lässt sich über den Überstau oberhalb der Wehrkante das Überlaufvolumen berechnen. Wegen der Fliehkraft des rotierenden Wasserkörpers, ist dabei der Überfallbeiwert mit 0,77 geringfügig größer als bei frontal angeströmten, festen Wehren (BROMBACH, 1997). Die Länge der Überfallkante beträgt 7,91 m. Bild 4-5 zeigt, dass die Halterung der Drucksonde nach einem Ereignis auf der einen Seite vollständig mit Toilettenpapier bedeckt ist. Durch die Rotationsbewegung des Wassers, ist aber nur die eine Seite bedeckt und die Messung funktioniert weiterhin zuverlässig. Trotzdem wurde die Sonde nach jedem Ereignis gereinigt.



Bild 4-4: Kalibrierung der Drucksonde



Bild 4-5: Verschmutzung der Drucksonde nach einem Ereignis

4.1.3 Drosselabflussmessung

Der Drosselabfluss zur Kläranlage wird über ein magnetisch-induktiven Durchflussmesser gemessen und durch einen regelbaren Schieber auf ca. 35 l/s begrenzt (vgl. Bild 4-6). Da die Messung nur bei Vollfüllung zuverlässige Werte liefert, ist das Rohr in Fließrichtung ansteigend geneigt.



Bild 4-6: Drosselstrecke zur Kläranlage

4.1.4 Zentrale Messwerterfassung

Die Messdaten der beim Bau der NWBA installierten Messgeräte werden zentral auf eine SPS der Firma Siemens (Simatic S5) erfasst. Da eine Erweiterung der SPS zur Ansteuerung der Probennehmer sehr umständlich gewesen wäre, wurde eine zusätzliche PC-basierende Messwerterfassung aufgebaut. Über ein serielles Protokoll werden die Messwerte aus der SPS ausgelesen. Die PC gesteuerte Messwerterfassung basiert auf Komponenten der Firma National Instruments und wurde unter der Software LabView 6.1 programmiert. Messdaten werden in 30-Sekundenintervallen in eine ASCII-Datei geschrieben.

Über Modem und der Software PCAnywhere ist eine Einwahl von außerhalb möglich. So können zum einen Messdaten von beliebigen Orten herunter geladen werden, zum anderen können Probennehmer ein und ausgeschaltet werden. Über ein Mobiltelefon werden Kurznachrichten verschickt, die über Ereignisbeginn, Probleme bei der Probenahme wie Verstopfungen und volle Probennehmer informieren.

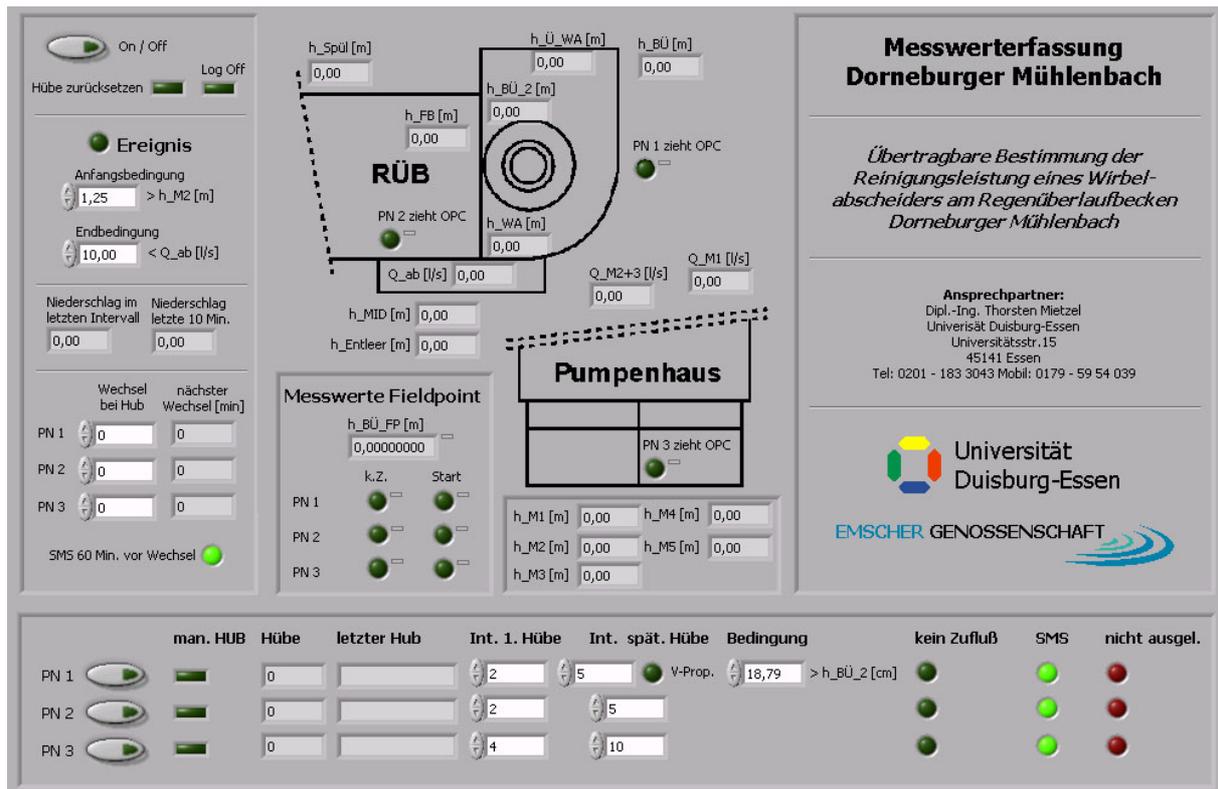


Bild 4-7: Screenshot der PC gesteuerten zentralen Messwerterfassung

4.1.5 Überprüfung der Hydraulischen Messdaten

Die Zu- und Ablaufmessung wurde zunächst an mehreren Trockenwettertagen überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Werte des Ablauf-MIDs um 5,8 % nach oben korrigiert werden müssen. Bild 4-8 zeigt beispielhaft die kumulierte Zu- und Ablaufvolumenganglinie über einen Zeitraum vom 20 Minuten vom 15.10.03 bei Trockenwetter. Durch die kontinuierliche Förderung der Trockenwetterpumpe steigt die Zulaufganglinie linear an, die Ablaufganglinie ist, obwohl die Drossel geregelt ist, wasserstandsabhängig. Bild 4-9 zeigt, dass auch über die Dauer von 24 Stunden das kumulierte Zulaufvolumen exakt dem kumulierten Ablaufvolumen entspricht.

Zur Kontrolle der Höhenstandssonden in FB und WA und der Regenwetterzulaufmessung wurde an mehreren Regenwettertagen, an denen der Beckenüberlauf nicht angesprungen ist, die Differenz aus kumuliertem Zu- und Ablaufvolumen und dem aktivierten Volumen in FB und WA verglichen. Wie Bild 4-10 für ein Ereignis vom 1.09.03 zeigt, weichen die Maximalwerte nur um 3 % voneinander ab. Die Abweichungen im zeitlichen Verlauf kommen durch Fließwege und damit verbundene Fließzeiten von der Zulaufmessung bis zur Höhenstandsmessung im Fangbecken zustande.

Die Genauigkeit des Überlaufvolumens ist beispielhaft in Bild 4-11 dargestellt. Dabei wurde das kumulierte Zulaufvolumen der kumulierten Summe aus Überlaufvolumen, Ablaufvolumen und aktiviertem Speichervolumen im WA gegenübergestellt. Der Graf endet mit Anspringen des Beckenüberlaufs und zeigt, dass die Bestimmung des Überlaufvolumens um weniger als 1 % vom Zulaufvolumen abweicht.

Zusammenfassend kann die Genauigkeit der hydraulischen Messungen als überdurchschnittlich gut bewertet werden.

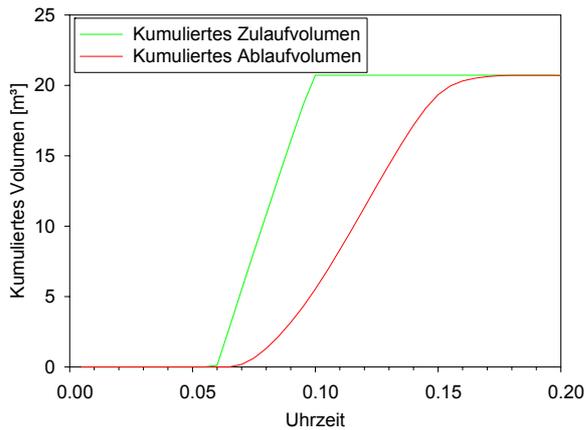


Bild 4-8: Kumuliertes Zu- und Ablaufvolumen über einen Zeitraum von 20 Minuten am 15.10.03

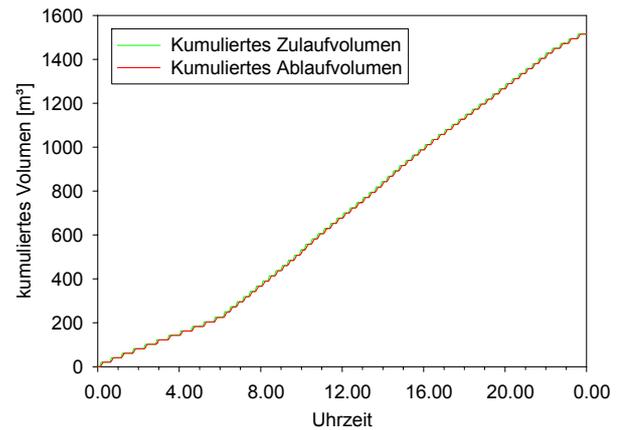


Bild 4-9: Tagesganglinie des kumulierten Zu- und Ablaufvolumens vom 15.10.03

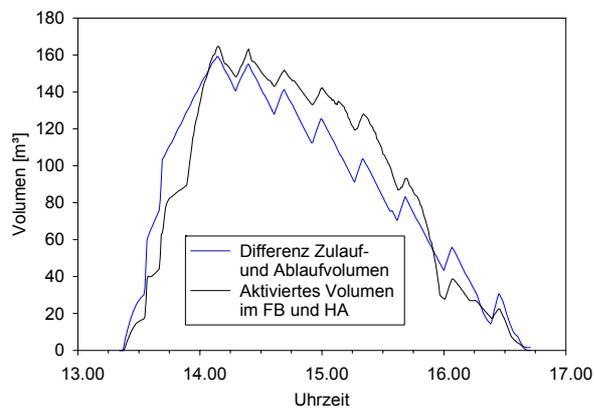


Bild 4-10: Differenz zwischen kumuliertem Zu- und Ablaufvolumen und aktiviertes Speichervolumen im Fangbecken und Wirbelabscheider bei einem Regenereignis vom 1.09.03

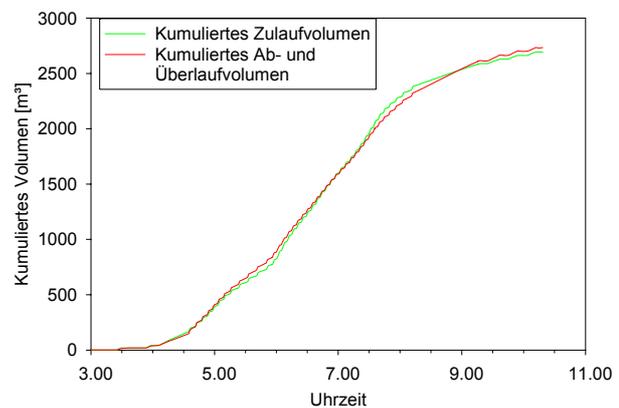


Bild 4-11: Kumulierte Zulaufvolumenganglinie und kumulierte Ab- und Überlaufvolumenganglinie bei einem Regenereignis vom 13.12.03

4.1.6 Probenahme bei Entlastungsereignissen

Um die stoffliche Belastung des Mischwassers im Zu-, Ab- und Überlauf des WA zu bestimmen werden mit Hilfe von Probenehmern Wasserproben gezogen. Es kommen Probenehmer der Fa. E+H vom Typ ASP-Station mit einer im Vergleich zum Serienmodell verstärkten Vakuumpumpen und einer angepassten Steuersoftware zum Einsatz. Die Probenehmer am Über- und Ablauf sind mit jeweils 24 Flaschen mit einem Flaschenvolumen von 2,9 l ausgerüstet. Der Zulaufprobenehmer ist aufgrund der geringen Platzverhältnisse mit 24 Flaschen und einem Flaschenvolumen von 1 l ausgerüstet.

Die Proben im Zulauf werden im Pumpensumpf der RW- und TW-Pumpen gezogen. Wie Bild 4-12 zeigt, wird der Probenehmerschlauch in einem Edelstahlrohr geführt und endet etwa auf Höhe des Ansaugstützens der RW-Pumpe 2. Da der Bereich oberhalb des Pumpensumpfes ex-geschützt ist, wurde der Probenehmer im Inneren des Pumpenhauses aufgestellt und der Schlauch durch die Wand geführt.

Bild 4-13 zeigt die Halterung des Probenehmerschlauches am Überlauf des WA. Das Edelstahlrohr zeigt in Fließrichtung, da bei einer senkrechten Konstruktion bereits nach wenigen Minuten Verzopfungen auftreten, die den Probenehmerschlauch verstopfen, so dass keine weitere Probenahme möglich ist.

Wegen der schlechten Zugänglichkeit des WA wurde der Schlauch des Drosselprobenehmers im Drosselschacht (vgl. Bild 4-14 und Bild 4-15) angebracht. Da sich der Wasserstand im Drosselschacht auf der Höhe des Wasserstandes im WA einpendelt, ist der Drosselschacht während eines Ereignisses nicht zu betreten. Verstopfungen während eines Ereignisses können deshalb nicht beseitigt werden. Wegen der hohen Fließgeschwindigkeiten an dieser Stelle werden Verzopfungen meist nach kurzer Zeit wieder weggespült. Trotzdem konnte bei einigen Ereignissen die Drossel nicht vollständig beprobt werden.

Die Ansteuerung der automatischen Probenehmer erfolgt über die zentrale Messwerterfassung. Die Probenahme des Zulauf- und des Ablaufprobenehmers wird gestartet, sobald der Wasserstand im Pumpensumpf einen gewissen Wert überschreitet, kurz bevor die RW-Pumpen anlaufen. Zu Beginn des Ereignisses werden zur Erfassung eines evtl. Spülstoßes die Proben in Intervallen von 4 Minuten, später in Intervallen von 10 Minuten gezogen. Die Probenahme am Überlauf des WA wird überlaufvolumenabhängig in Intervallen von 1 bis 10 Minuten gesteuert. Entlastet der WA, so wird der Drosselprobenehmer zeitgleich mit dem Überlaufprobenehmer angesteuert. Ansonsten erfolgt die Probenahme an der Drossel zeitabhängig in 2 bzw. 5 Minutenintervallen. Die Probenahme des Zulauf- und Ablaufprobenehmers endet, wenn der Drosselabfluss < 5 l/s ist und somit das Ereignis beendet ist und auch das Fangbecken vollständig entleert ist. Zum Teil wurden die Beprobung aber vorher abgebrochen (vgl. Kapitel 4.7).

Tritt eine Verstopfung an einem Probenehmer auf, so wird eine entsprechende Kurzmitteilung verschickt. Bei dem Zulauf- und Überlaufprobenehmern kann diese noch während des Ereignisses entfernt werden. Circa eine Stunde bevor die Probenehmer gefüllt sind, wird e-

benfalls eine Kurzmitteilung verschickt, so dass die Flaschen rechtzeitig gewechselt werden können und eine vollständige Beprobung des Ereignisses gewährleistet ist. Nach dem Wechsel werden die Proben sofort in Kühlräume gebracht, wo sie auch bis zur Analyse gelagert werden, die dann schnellstmöglich durchgeführt werden



Bild 4-12: Halterung des Probenehmerschlauches im Pumpensumpf der TW- und RW-Pumpen



Bild 4-13: Halterung des Probenehmerschlauches am Überlauf des WA



Bild 4-14: Halterung des Probenehmerschlauches an der Drossel des WA

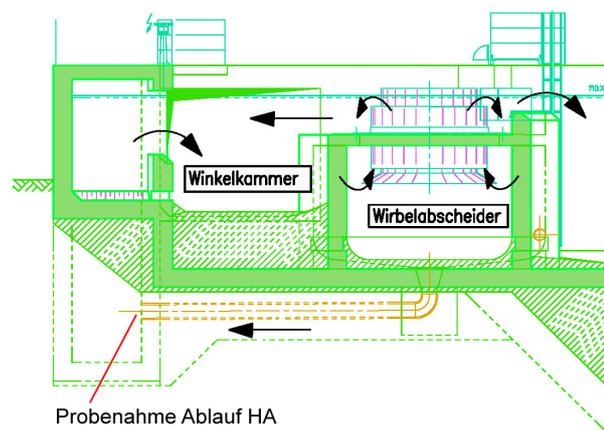


Bild 4-15: Probenahmeort am Ablauf des WA

4.2 Konzept zur Beurteilung von NWBA

Üblicherweise werden NWBA bewertet, indem die Überlauffracht mit der Zulauffracht ins Verhältnis gesetzt wird. Dieser Parameter wird Wirkungsgrad genannt. Wie aus der Definition deutlich wird, ist der Wirkungsgrad nicht nur von der Regenwasserbehandlungsanlage abhängig, sondern auch von dem jeweiligen Regenereignis und den örtlichen Randbedingungen. Daher erhält man für jedes Regenereignis auch unterschiedliche Werte für den Wirkungsgrad. Der Parameter ist also nicht geeignet, um Regenwasserbehandlungsanlage absolut zu bewerten. Wie HÜBNER (1997) und MIETZEL (2007) zeigen, kann der Wirkungsgrad aber genutzt werden, um idealisierte Bauwerke mit den untersuchten NWBA zu vergleichen. So führt HÜBNER (1997) das idealisierte Trennbauwerk ein. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es lediglich den Volumenstrom aufteilt und kein Speichervolumen hat und keine Reinigungsprozesse stattfinden. Mithilfe des idealisierten Trennbauwerkes können die Effekte der Drossel aus der Bewertung herausgerechnet werden. Dies ist sinnvoll, da die durch eine höhere Drosselleistung zurückgehaltene Fracht nicht der Regenwasserbehandlungsanlage zugeschrieben werden kann, da sie stromabwärts von der Kläranlage oder einer weiteren Regenwasserbehandlungsanlage behandelt werden muss. HÜBNER (1997) nennt den Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage abzüglich der des idealisierten Trennbauwerkes Effektivität.

MIETZEL (2007) führt neben dem idealisierten Trennbauwerk auch noch ein idealisiertes Fangbecken und ein idealisiertes Durchlaufbecken ein. Das idealisierte Fangbecken zeichnet sich dadurch aus, dass es ein mit der betrachteten Regenwasserbehandlungsanlage identisches Volumen hat und ansonsten keine Reinigungsleistung hat. Das idealisierte Fangbecken wird in eine hydrologische Schmutzfrachtsimulation integriert. Der Wirkungsgrad des idealisierten Fangbeckens wird dann bestimmt, indem die Überlauffracht mit der an der betrachteten Regenwasserbehandlungsanlage gemessene Zulaufganglinie simuliert wird. So kann leicht ermittelt werden, ob die entlastete Schmutzfracht bei Einsatz eines Fangbeckens an gleicher Stelle geringer gewesen wäre. Ein ähnliches Verfahren kommt auch bei HÜBNER (1997) zum Einsatz. Hier wird ein Wirkungsgrad für den Prozess Speicherung berechnet, indem die Bilanzgrenzen des Gesamtwirkungsgrades verschoben werden. Nachteil dieses Verfahrens ist, dass aufeinander folgende Ereignisse nicht bewertet werden können.

Das idealisierte Durchlaufbecken wird wie das idealisierte Fangbecken in eine hydrologische Schmutzfrachtsimulation integriert. Es zeichnet sich dadurch aus, dass der Speicherraum wie ein voll durchmischter Reaktor behandelt wird. Die Reinigungsleistung des idealisierten Durchlaufbeckens wird durch eine konstante Reduktion der Konzentration realisiert. Iterativ wird die Reinigungsleistung bestimmt, bei der das idealisierte Durchlaufbecken den gleichen Wirkungsgrad hat, wie das reale Bauwerk. Auch für die Bewertung der Reinigungsleistung verschiebt HÜBNER (1997) die Bilanzgrenzen des Gesamtwirkungsgrades. Dabei werden aber die hydraulischen Eigenschaften der Regenwasserbehandlungsanlage falsch eingeschätzt. HÜBNER (1997) geht davon aus, dass der erste Teil des Zuflusses, bis der Speicherraum gefüllt ist, immer gespeichert wird und der zweite Teil des Zuflusses komplett entlastet wird. In den meisten Bauwerken herrscht aber ein Mischung aus Pfropfenströmung und einem voll durchmischten Reaktor. Wie MIETZEL (2007) erläutert, handelt es sich bei dem Durchlaufbecken

nach ATV-A 128 (1992) um einen voll Durchmischten Reaktor. Deshalb wird dieser als Vergleichsbauwerk gewählt. Dass sich der hier untersuchte Wirbelabscheider ähnlich wie ein voll durchmischter Reaktor verhält, wurde mit Hilfe eines Tracerversuchs gezeigt.

4.3 Tracerversuch zur Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften des Wirbelabscheiders

Um die stofflichen Eigenschaften eines Wirbelabscheiders beschreiben zu können, müssen zunächst die hydraulischen Eigenschaften verstanden werden. Dies wird mit dem in der Wissenschaft weit verbreiteten Verfahren der Tracerversuche realisiert.

4.3.1 Wahl eines geeigneten Tracers für Untersuchungen mit Abwasser

Die Fließwege des Wassers werden in den unterschiedlichsten Wissenschaften untersucht. Dabei kann es sich z.B. um oberirdische Gewässer, um Grundwasser oder um die Fließwege in vom Menschen gebauten Systemen wie Abwasserkanälen handeln. Auch die Fragestellungen können sehr unterschiedliche sein, und umfassen u. a. Mengenbestimmungen und Untersuchungen der Fließwege. Unabhängig vom Einsatzgebiet und der Aufgabenstellung wird bei einem Tracerversuch dem Wasser an einer Stelle ein löslicher Markierungsstoff, ein sog. Tracer hinzu gegeben und an anderer Stelle nachgewiesen. Dabei sollte der Tracer nicht oder nur in geringen Mengen im untersuchten Wasser vorkommen. Er sollte gut in Wasser löslich sein und bereits in geringen Mengen nachweisbar sein. Seine Unbedenklichkeit für Menschen, Tiere und Pflanzen ist dabei genauso wichtig, wie die Widerstandsfähigkeit gegen chemische, biologische und physikalische Einflüsse. Alle diese Voraussetzungen verbindet der fluoreszierende Stoff Uranin® bei einem geringen Anschaffungspreis. Mit modernen Spektralfluorimetern kann Uranin® bis zu einer Konzentration von 0,002 $\eta\text{g/l}$ nachgewiesen werden (KÄSS, 1992).

Gute Erfahrungen zum Einsatz von Uranin® zur Untersuchung der hydraulischen Eigenschaften einer NWBA bei Regenwetter liegen vor (KLEPISZEWSKI, 2005). Da Untersuchungen bei Regenwetter deutlich aufwendiger sind, sollen die Traceruntersuchungen des hier untersuchten Wirbelabscheiders bei Trockenwetter durchgeführt werden. Die Beschickung der Anlage durch Pumpen macht dies möglich. Ob der Nachweis des Uranins® auch im, im Vergleich zum Mischwasser weniger verdünnten, Trockenwetterabfluss möglich ist, wird zunächst im Labor untersucht. Dazu wird bei Trockenwetter eine zwei Liter-Probe aus dem Zufluss des Wirbelabscheiders geschöpft. Mit einem Absorptionsspektrometer wird die Absorption durch das Uranin® bei einer Wellenlänge von 490 nm gemessen.

Um den Bereich zu ermitteln, bei dem die UV-Absorption linear zur Konzentration verläuft, wird eine Uranin® - Stammlösung mit einer Verdünnung von 1 mg/ml angesetzt und in variablen Schritten von zunächst 0,02 ml der Abwasserprobe hinzu gegeben. Nach Zugabe der Stammlösung wird die Abwasserprobe bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 18.000 U/min für fünf Minuten zentrifugiert. Bild 4-16 zeigt die Absorption in Abhängigkeit von der Konzentration. Bis zu einer Konzentration von 10 $\mu\text{g/ml}$ ist die Kurve linear.

Die Versuche zeigen, das Uranin® auch als Tracer in unverdünntem Abwasser genutzt werden kann. Für die weiteren Untersuchungen am Wirbelabscheider werden Uranin® - Konzentrationen im Zulauf von maximal 10 µg/ml gewählt. Die aus den Versuchen abgeleitete Kurve (Bild 4-16) wird außerdem genutzt, um aus den gemessenen Absorptionswerten die Konzentrationen zu berechnen.

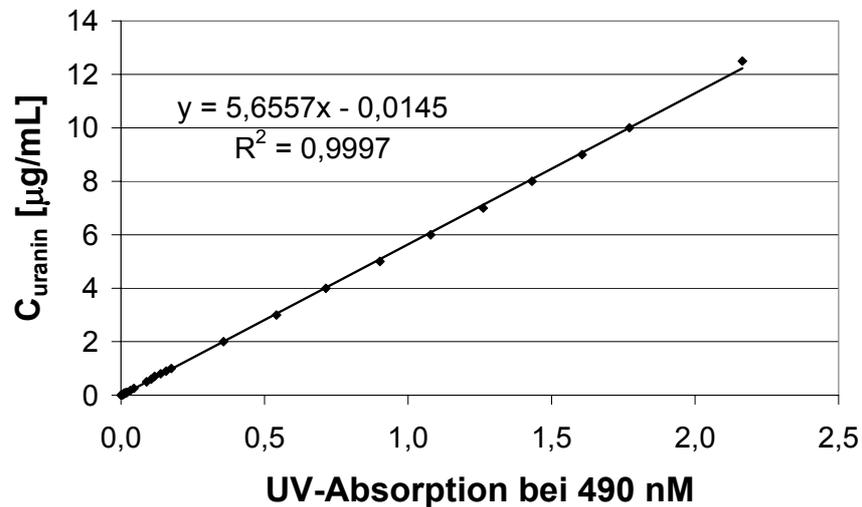


Bild 4-16: Korrelation zwischen Uranin-Konzentration und UV-Absorption bei einer Wellenlänge von 490 nM

4.3.2 Durchführung der Tracerversuche

Die Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften eines Reaktors erfolgt in der Regel durch Dosierung des Tracers in den Zufluss und Messung des zeitlichen Konzentrationsverlaufs im Abfluss. Dabei werden zwei unterschiedliche Varianten der Tracerdosierung verwendet. In der einen Variante wird dem Zulauf ab einem bestimmten Zeitpunkt ein konstanter Tracerstrom beigemischt. Sobald die Zulaufkonzentration konstant am Ablauf gemessen wird ist der Versuch beendet. Mit Hilfe des zeitlichen Verlauf der Konzentration am Ablauf können dann Rückschlüsse auf die hydraulischen Eigenschaften des Reaktors gezogen werden. Nachteil dieser Variante ist, dass je nach Größe des Reaktors große Mengen des Tracers benötigt werden, da einige Zeit vergehen kann, bis die Zulaufkonzentration auch am Ablauf erreicht ist. Bei der zweiten Variante wird nur ein kurzer Impuls in Form einer einmaligen Tracerzugabe dem Zulauf hinzudosiert. Der Verlauf der Tracerkonzentration am Ablauf kann dann ebenfalls genutzt werden, um Rückschlüsse auf die hydraulischen Eigenschaften zu ziehen. Wegen der geringeren benötigten Tracermenge, wird für die Untersuchungen am WA in Bochum Riemke die impulsartige Zugabe des Tracerstoffes gewählt.

Idealer Weise erfolgen die Untersuchungen zur Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften unter hydraulisch statischen Bedingungen. Zu- und Abläufe sollten während der Versuche also konstant sein. Ansonsten können bei der Auswertung die hydraulischen Eigenschaften

des Reaktors nicht von dem Einfluss der hydraulischen Zu- und Ablaufveränderungen getrennt werden.

Für den Tracerversuch werden die Zulaufpumpen für vier Stunden abgeschaltet und der durch leichten Nieselregen verdünnte Trockenwetterabfluss im Pumpensumpf und im Kanalnetz eingestaut. In einem Behälter werden 50 mg Uranin® in einem Liter destilliertem Wasser klumpenfrei aufgelöst. Der Versuch wird bei einem Zulaufvolumenstrom von 200 L/s und einem Ablaufvolumenstrom von 41 L/s durchgeführt. Nach dem Einschalten der Pumpe wird zunächst der WA gefüllt und es wird abgewartet, bis sich am Überlauf des WA ein konstanter Überstau eingestellt hat. Bevor der Tracer zugegeben wird, wird im Zulauf eine Nullprobe genommen. Anschließend wird über einen Trichter und einen Schlauch in unmittelbarer Nähe zum Ansaugstutzen der Pumpe der aufgelöste Tracer zudosiert. Wegen des begrenzten Durchmessers des Schlauches dauert die Zugabe etwa 30 Sekunden. Anschließend wird jede Minute mit dem Probenehmer am Ablauf und am Überlauf eine Probe gezogen. Am Überlauf ist nach kurzer Zeit eine deutliche Färbung zu erkennen. Nach 22 Minuten ist der Wasserstand im Pumpensumpf nur noch wenige Zentimeter oberhalb des Ansaugstutzens der Pumpe. Zu diesem Zeitpunkt, ist keine Färbung am Überlauf mehr zu erkennen und der Versuch wurde abgebrochen. Eine absolut konstante Beschickung des WA ist trotz der regelbaren Pumpen nicht möglich. Durch den mit der Zeit abnehmenden Wasserstand im Pumpensumpf reduziert sich die Pumpenleistung von 200 L/s auf 160 L/s.

Die Proben werden ca. eine Stunde nach dem Versuch im Labor wie bereits bei der Kalibrierung (vgl. Kapitel 4.3.1) aufbereitet und analysiert. Über die in Bild 4-16 dargestellte Kalibrierungskurve, lässt sich der in Bild 4-17 dargestellte Konzentrationsverlauf berechnen. Multipliziert man die Konzentrationsganglinien mit den einzelnen Volumenströmen, so erhält man eine Masse von 43,2 g. 86 % des eingesetzten Tracers konnten also wieder gefunden werden. Wie Bild 4-17 zeigt, liegt die Konzentration am Ende des Versuchs sowohl im Überlauf als auch im Ablauf bei 0,1 mg/L. Dass sowohl im Überlauf als auch im Ablauf die gleiche Konzentration vorliegt, lässt die Vermutung nahe, dass auch das im WA gespeicherte Wasser noch eine Uranin®-Konzentration von ca. 0,1 mg/L hat. Addiert man diese noch gespeicherten 6,5 g zu den 43,2 g, so liegt der relative Fehler unterhalb einem Prozent.

Wie Bild 4-17 zeigt, erreicht der Tracer zunächst den Überlauf. Etwas später ist der Tracer auch im Ablauf nachzuweisen, allerdings ist die Amplitude geringer und dafür länger gezogen. Im folgenden soll ein Modell gefunden werden, mit dem sich das hydraulische Verhalten im WA beschreiben lässt.

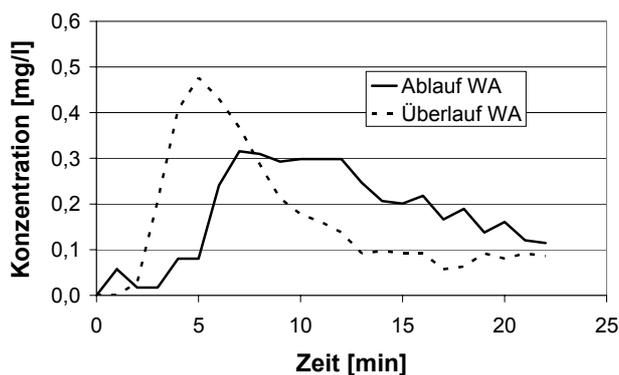


Bild 4-17: Verlauf der Uranin®-Konzentration im Ablauf und im Überlauf des Wirbelabscheiders

4.4 Entwicklung eines Modells für die Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften

Modelltechnisch werden reale Systeme durch Reaktoren abgebildet. Die einfachsten Reaktoren sind der voll durchmischte Reaktor und der Rohrreaktor. Der voll durchmischte Reaktor zeichnet sich dadurch aus, dass die Zuflüsse mit dem Inhalt des Reaktors ideal vermischt werden, so dass an jeder Stelle im Reaktor und auch im Ablauf die exakt gleiche Konzentration vorliegt. Bild 4-18 zeigt die Ablaufkonzentration nach einer Impulsbelastung im Zulauf.

Das genaue Gegenteil stellt der Rohrreaktor dar. In ihm werden die zugeflossenen Frachten durch den Reaktor geschoben, ohne, dass sie sich mit dem Inhalt des Reaktors vermischen. Die Ganglinie am Ablauf ist also nur eine zeitlich nach hinten verschobene Zulaufganglinie (Bild 4-18).

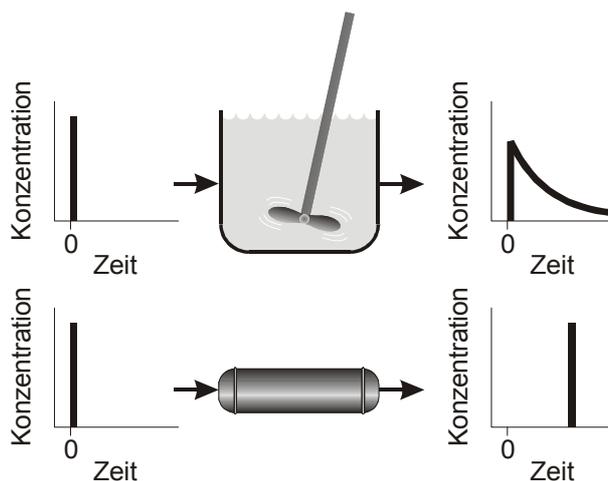


Bild 4-18: Verlauf der Ablaufkonzentration nach einer Impulsbelastung bei einem voll durchmischten Reaktor (oben) und einem Rohrreaktor (unten)

In der Realität findet man keinen der beiden Reaktortypen. Vielmehr ist ein realer Reaktor eine Mischung aus einem voll durchmischten Reaktor und einem Rohrreaktor. Hinzu kommt, dass es Kurzschlussströmungen und Todzonen geben kann. Kurzschlussströme sind solche,

die ohne den gesamten Reaktorraum zu durchfließen, direkt vom Zulauf in den Ablauf gelangen. Unter Todzonen versteht man die Bereiche des Reaktors, die beim Durchfließen vom Zulauf in den Ablauf nicht durchströmt werden. Bei einem statischen System haben Todzonen deshalb nur insofern einen Einfluss auf das Verhalten des Reaktors, als dass sich das aktive Volumen verkleinert. LEVENSPIEL (1999) zeigt die Ablaufkonzentrationsverläufe unterschiedlicher Reaktorkombinationen nach einer Impulsbelastung (vgl. Bild 4-19). Weitere Systeme können durch die Parallelschaltung von voll durchmischten Reaktoren und Rohrreaktoren mit unterschiedlichen Volumina idealisiert werden.

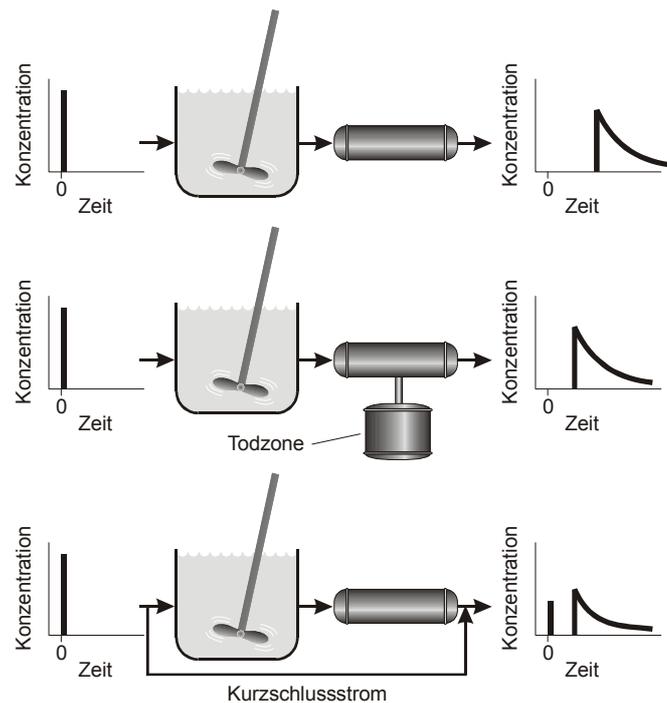


Bild 4-19: Ablaufkonzentrationsverläufe unterschiedlicher Reaktorkombinationen nach einer Impulsbelastung (nach LEVENSPIEL, 1999)

Reale Systeme werden deshalb als Kombination von voll durchmischten Reaktoren und Rohrreaktoren beschrieben, weil diese sich mathematisch leicht beschreiben lassen und bereits in vielen Simulationsumgebungen vorhanden sind. Die beim Tracerversuch gemessenen Ganglinien (s. Bild 4-17) werden genutzt, um das System zu kalibrieren.

Vergleicht man die gemessenen Tracerganglinien (Bild 4-17) mit den Modellvorstellungen aus Bild 4-18, so gleicht der vollaufmischte Reaktor am ehesten den Ganglinien. Es fällt allerdings auf, dass die Amplitude nicht direkt bei Zeitpunkt 0, also der Zugabe des Tracers auftritt, sondern zeitverzögert. Ein Teil dieser Zeitverzögerung ist mit der Zeit zu erklären, die das Wasser benötigt, um die Zulaufleitung zu durchfließen. Bei der gewählten Belastung dauert das Durchfließen der Leitung aber rechnerisch max. 30 Sekunden. Ein Teil der Verzögerung liegt auch darin begründet, dass im Wirbelabscheider eine Pfropfenströmung vorliegt. Der Anstieg der gemessenen Ganglinie bis zur Amplitude verläuft nicht wie bei einem vollaufmischten Reaktor sofort, sondern etwas langsamer ansteigend. Dies kann dadurch erklärt werden, dass in der Zulaufleitung keine vollständige Pfropfenströmung vorliegt, sondern

durch die Turbulenzen die zum Teil durch die Wandreibung bedingt sind, das Wasser im Rohr vermischt wird.

Vergleicht man die gemessene Überlaufganglinie mit der Drosselganglinie, so wird die Amplitude am Drosselabfluss später erreicht als am Überlauf. Außerdem ist sie länger gezogen. Dies lässt sich ähnlich wie beim Zulauf durch die ca. 10 m lange Drosselleitung erklären. Bei dem Drosselabfluss von ca. 38 L/s dauert das Durchfließen der Leitung ca. eine halbe Minute. Auch hier handelt es sich nicht um eine ideale Pfropfenströmung, sondern ein Teil ist durchmischt.

Das aus diesen Überlegungen entwickelte Modell ist in Bild 4-20 dargestellt. Der Block Wirbelabscheider ist ein voll durchmishtes Speicherbauwerk mit einem Volumen von 75 m³ und einem Drosselabfluss von 38 L/s. Ist das Volumen erschöpft, so wird das überschüssige Wasser am Überlauf entlastet. Die Zulaufleitung und die Drosselleitung sind wie oben beschrieben mit jeweils einem voll durchmishten Reaktor, mit einem geringen Volumen von 2 m³, und einem in Serie geschalteten Reaktor mit Pfropfenströmung idealisiert.

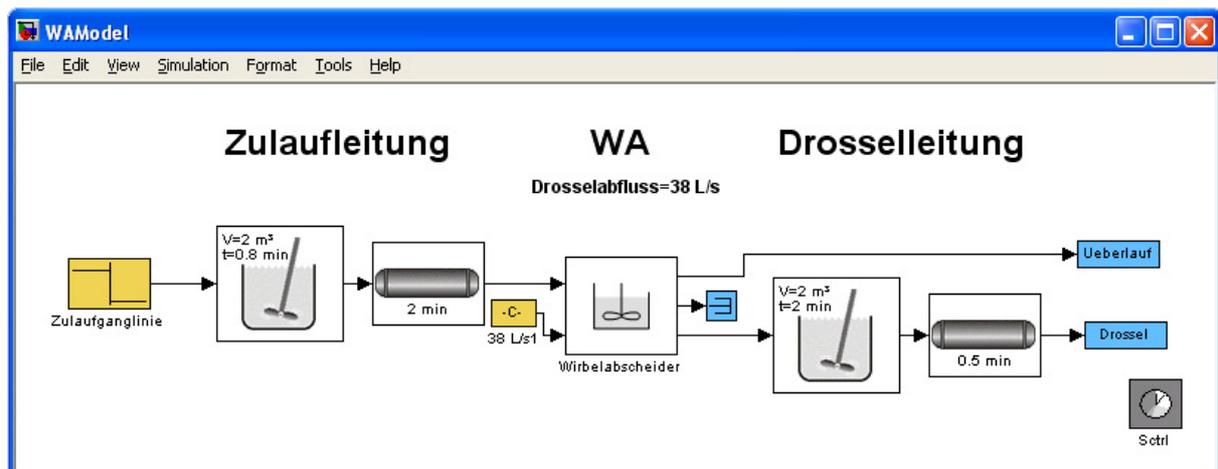


Bild 4-20: Hydraulisches Modell des Wirbelabscheiders in der Simulationsumgebung SIMBA

Für die Überprüfung des Modells wird eine Zulaufganglinie generiert. Um zunächst stationäre Zustände herzustellen, läuft dem WA ein Tag lang ein Volumenstrom von 200 L/s und einer Tracerkonzentration von 0 mg/L zu. Anschließend wird für 30 Sekunden die Konzentration so eingestellt, dass insgesamt 50 mg Tracer dem WA zufließen. Danach wird die Konzentration wieder auf 0 gesetzt und die beim Tracerversuch gemessene Zuflussganglinie wird übernommen. Die simulierte Konzentrationsganglinie des Tracers ist in Bild 4-21 dargestellt. Wie der Vergleich mit den gemessenen Daten zeigt, ist das entwickelte Modell geeignet die hydraulischen Eigenschaften des Reaktors wiederzugeben.

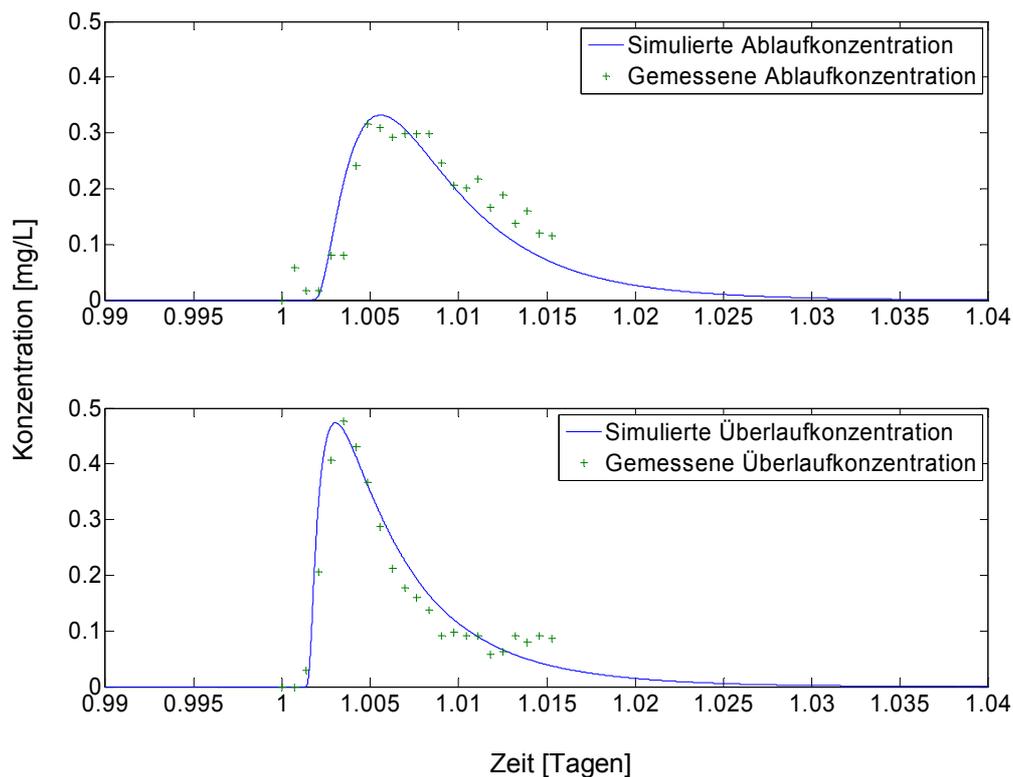


Bild 4-21: Gemessene und simulierte Ganglinie der Tracerkonzentration am Ablauf und am Überlauf

4.5 Anwendung des Bewertungsverfahrens am Beispiel eines Stauraumkanals mit unten liegender Entlastung

Das in Kapitel 4.2 vorgestellte Bewertungskonzept wird verwendet um zehn Ereignisse am SKU Dortmund Scharnhorst (FREHMANN, 2003) zu bewerten. Tabelle 4-1 zeigt die Ergebnisse. Der Gesamtwirkungsgrad und der Wirkungsgrad des Trennbauwerkes unterscheiden sich nicht von der Definition die FREHMANN (2003) verwendet. Dass die hier dargestellten Werte trotzdem geringfügig von den Werten von FREHMANN (2003) abweichen liegt daran, dass FREHMANN (2003) gemessene CSB-Konzentration innerhalb des Messzeitraums für konstant ansieht. Die hier berechneten Wirkungsgrade wurden dagegen mit linear interpolierten Werten berechnet. Die Effektivität der Speicherung wird hier nicht wie bei FREHMANN (2003) durch Verschiebung der Bilanzgrenzen berechnet, sondern durch den Vergleich mit einem simulierten Fangbecken. Der Vorteil ist der, dass die Fangwirkung auch bei teil eingestautem Speicherraum berechnet werden kann. Die Effektivität der Reinigung wird von FREHMANN (2003) nach der Definition von HÜBNER (1997) bestimmt. Sie ergibt sich aus der Differenz zwischen der Gesamteffektivität und der Effektivität der Speicherung. Bei dieser Art der Betrachtung werden hydraulische Effekte nicht berücksichtigt und die Reinigungsleistung wird deutlich schlechter bewertet, als sie in Wirklichkeit ist. Das in Kapitel 4.2 vorgestellte Verfah-

ren sieht daher den Vergleich mit einem theoretischen Durchlaufbecken vor. Hier wird die Reinigungsleistung eines theoretischen Durchlaufbeckens im Nebenschluss durch Iteration in einer Simulation ermittelt.

In Tabelle 4-1 wurde die Reinigungsleistung eines DB mit einem Speichervolumen von 810 m³ und 1215 m³ ermittelt. Die 810 m³ entsprechen einem DB ohne den für SKU geforderten Volumenaufschlag von 50 %. Die Werte zeigen, selbst ein DB mit Volumenaufschlag müsste im Mittel 45 % der Gesamt-CSB-Fracht entfernen, um auf den gleichen Gesamtwirkungsgrad zu kommen wie der SKU. Ein DB ohne den Volumenaufschlag müsste im Mittel sogar 71 % der Gesamt-CSB-Fracht zurück halten. Die extrem hohen Werte zeigen sehr deutlich, dass die Reinigungsleistung des SKU deutlich besser ist, als von der ATV-A 128 (1992) angenommen. Auch wenn die großtechnischen Untersuchungen an DB fehlen, ist nicht davon auszugehen, dass sie eine Reinigungsleistung von 71 % haben. Die von der ATV-A 128 (1992) befürchtete Remobilisierung von Partikeln in der Entlastungsphase bei SKU, kann nach dieser Betrachtung ausgeschlossen werden.

Tabelle 4-1: Bewertung des SKU Dortmund Scharnhorst (Frehmann, 2003) nach dem neuen Bewertungskonzept

Ereignis	Gesamtwirkungsgrad SKU	Wirkungsgrad Trennbauwerk	Wirkungsgrad FB (V=1215 m ³)	Effektivität Reinigung nach HÜBNER (1997)	Gesamteffektivität	Reinigungsleistung DB (V=810 m ³)	Reinigungsleistung DB (V=1215 m ³)
17.03.01	92%	9%	90%	2%	83%	81%	47%
23.03.01	96%	38%	98%	-2%	58%	85%	15%
05.08.01	83%	10%	79%	4%	73%	68%	51%
04.09.01	98%	33%	99%	-1%	65%	92%	20%
10.02.02	77%	22%	71%	6%	55%	56%	39%
20.02.02	92%	71%	88%	4%	21%	45%	27%
10.07.02	64%	5%	39%	25%	59%	61%	60%
13.07.02	92%	14%	93%	-1%	78%	83%	57%
21.08.02	66%	11%	41%	25%	55%	53%	46%
05.10.02	95%	33%	75%	20%	62%	89%	85%

Der Vergleich zwischen Gesamtwirkungsgrad des SKU und dem Wirkungsgrad eines theoretischen Fangbeckens zeigt, dass trotz der guten Reinigungsleistung des SKU, der Gesamtwirkungsgrad nur geringfügig höher ist, als der eines Fangbeckens. Dies liegt vor allem an der Pfropfenströmung in einem SKU. Da das Entlastungsbauwerk am Ende des SKU liegt, wird das dem Bauwerk am Anfang zugeflossene Wasser entlastet. Dies ist meist durch den Spülstoß stärker verschmutzt als das später zulaufende stärker verdünnte Mischwasser. Diese Erkenntnis legt es nahe, das Speichervolumen eines Stauraumkanals allein für die Speicherung zu verwenden, so wie es in einem Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung passiert. Die Reinigung sollte dann durch ein Bauwerk mit deutlich geringerem Speichervolumen erfolgen. Ein solches Bauwerk könnte der Wirbelabscheider sein. Um dessen Wirkungsgrad zu

bestimmen, werden im folgenden stoffliche Messungen an dem WA am Dorneburger Mühlenbach durchgeführt.

4.6 Analytik der Mischwasserbeprobung

Die während der Regenereignisse von den insgesamt drei Probenehmern entnommenen Abwasserproben wurden im Labor des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Essen auf abfiltrierbare Stoffe (X_{TS}), homogenisierten CSB (C_{CSB}) und gelösten CSB (S_{CSB}) untersucht. Die Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe erfolgt nach dem Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung DEV H 2 (DIN 38409-2, 1987). Die Bestimmung des CSB (sowohl homogenisiert, als auch gelöst) erfolgt mit Küvettentestanalytik der Fa. Dr. Lange nach (DIN 38409-41, 1980).

4.7 Umfang der erhobenen Messdaten

Die Messstation am Dorneburger Mühlenbach wurde vom 01.07.2003 bis 31.03.2004 und vom 1.4.2006 bis 31.12.2006 betrieben. In diesem Zeitraum wurden die hydraulischen Daten mit sehr wenigen Ausfällen in 30-Sekundenintervallen gespeichert. Zusätzlich wurden Mischwasserproben während 18 Entlastungsereignisse des WA im Zu-, Ab- und Überlauf gezogen und im Labor untersucht. Ziel der Untersuchung war nicht die Untersuchung der gesamten Regenwasserbehandlungsanlage, sondern die Untersuchung des WA. Deshalb wurde die Probenahme der Drossel bei den meisten Ereignissen nicht bis zur vollständigen Leerung des Fangbeckens fortgesetzt, sondern abgebrochen, wenn abzusehen war, dass keine weiteren Entlastungen des WA zu erwarten waren. Tabelle 4-2 zeigt, wie viele Proben während der Ereignisse gezogen wurden.

Tabelle 4-2: Anzahl der gezogen Proben

Ereignis	Datum	PN Überlauf	PN Ablauf	PN Zulauf	Sinkgeschwindigkeitsanalyse
E01	26.07.2003	10	34	39	nein
E02	28.08.2003	32	45	50	nein
E03	31.08.2003	5	14	11	nein
E04	01.09.2003	3	12	9	nein
E06	25.11.2003	3	16	13	nein
E07	13.12.2003	15	keine Proben	19	nein
E08	06.01.2004	8	20	17	ja
E09	09.01.2004	24	18	24	ja
E10	01.02.2004	8	keine Proben	21	ja
E11	01.02.2004	34	50	71	ja
E12	08.02.2004	8	24	24	ja

Ereignis	Datum	PN Überlauf	PN Ablauf	PN Zulauf	Sinkgeschwindigkeitsanalyse
E13	25.04.2006	2	7	9	nein
E14	19.06.2006	2	7	9	nein
E15	05.07.2006	24	keine Proben	17	nein
E16	30.07.2006	12	keine Proben	12	nein
E17	14.08.2006	16	7	9	nein
E18	16.08.2006	4	keine Proben	7	nein
E19	17.08.2006	6	keine Proben	4	nein
E20	28.08.2006	12	4	12	ja
Summe		228	258	377	

5 Stoffrückhalt im Wirbelabscheider Dorneburger Mühlenbach

Die während der ersten und zweiten Phase der Studie gesammelten hydraulischen und stofflichen Messdaten wurden genutzt, um die Wirksamkeit des WA zu bestimmen und mit anderen Bauwerken der Regenwasserbehandlung zu vergleichen. Durch die Sinkgeschwindigkeitsanalyse sollte ein mathematischer Ansatz zur Beschreibung der Wirksamkeit verifiziert und für den WA am Dorneburger Mühlenbach kalibriert werden. Da sich nach Abschluss der ersten Phase herausgestellt hatte, dass der Wirbelabscheider beim Überlauf meistens nur von der Trockenwetterpumpe und der ersten Regenwetterpumpe beschickt wurde, und so das Zulaufvolumen bei fast allen Ereignissen gleich war, wurde für die zweite Phase ein Frequenzumrichter zur Steuerung der ersten Regenwetterpumpe eingebaut. So konnte der Zulaufvolumenstrom zwischen 200 L/s und 400 L/s beliebig variiert werden.

Zunächst wurde versucht, ob unter konstanten Bedingungen nach Einstau des Pumpensumpfes bei Trockenwetter die Reinigungsleistung des Wirbelabscheiders untersucht werden kann.

5.1 Reinigungsleistung des Wirbelabscheiders unter stationären Bedingungen bei Trockenwetter

Da die Randbedingungen bei Regenwetter durch den Spülstoß und unterschiedliche Zulaufvolumina sehr schlecht sind um einen Stoffrückhalt zu bestimmen, wurde versucht den Trockenwetterzufluss über mehrere Stunden einzustauen, und so unter stationären Bedingungen die Reinigungsleistung des Wirbelabscheiders zu bestimmen.

Nachdem für vier Stunden alle Pumpen abgestellt waren, wurde die erste Regenwetterpumpe mit einem Zulaufvolumenstrom von ca. 200 L/s eingeschaltet. Im Zulauf und im Drosselabfluss wurde jede Minute eine Probe gezogen. Nach Anspringen des Überlaufs, wurden auch dort in Minutenintervallen Proben gezogen.

Bild 5-1 zeigt die Ergebnisse des Versuchs. Obwohl die Frequenz der Pumpe während des Versuches konstant war, sinkt die Leistung der Pumpe von 225 L/s am Anfang des Versuches bis auf 150 L/s am Ende des Versuches ab. Dies liegt an dem sinkenden Wasserspiegel im Pumpensumpf.

Zu Beginn des Versuches liegt die CSB-Konzentration im Zulauf bei 600 mg/L. Sie steigt gegen Ende des Versuches auf einen fast dreimal so hohen Wert. Der Anstieg gegen Ende ist damit zu erklären, dass in der vierstündigen Eintauphase das Wasser weit ins Kanalnetz zurückgestaut wird und dort Partikel sedimentieren. Diese werden dann beim Leerlaufen des Kanals remobilisiert. Allerdings ist davon auszugehen, dass auch im Pumpensumpf Partikel sedimentieren. Warum diese nicht bereits am Anfang des Remobilisiert werden und zu einem Anstieg der CSB-Konzentration führen, kann nur versucht werden zu erklären. In dem relativ großen Pumpensumpf werden auch große Mengen an Feststoffen in der Eintauphase sedimentiert. Beim Einschalten der Pumpe entsteht ein starker Sog, der vermutlich auch die sedimentierten Partikel ansaugt. Da der Probenahmeschlauch etwas versetzt zum Ansaugstutzen

der Pumpe angeordnet ist, werden diese nicht vom Probenehmer erfasst. Dass die Zulaufkonzentration nicht stimmen kann zeigt sich auch an der Konzentration im Ablauf. Hier liegt die anfängliche CSB-Konzentration bei über 2000 mg/L. Diese hohe Konzentration kann nur durch eine ebenfalls hohe Zulaufkonzentration erklärt werden, da der Boden des Wirbelabscheiders zu Beginn des Versuches keine erhöhte Verschmutzung an der Sohle aufwies. Auch die höhere Überlaufkonzentration lässt sich anders nicht erklären.

Der Versuch hat nicht wie erwartet gezeigt, dass Versuche mit langen Einstauphasen zu keinen brauchbaren Ergebnissen führen. Durch den beschriebenen Effekt wird vermutlich die Zulaufkonzentration nicht richtig bestimmt. Eine Stelle an der der Zulauf besser beprobt werden kann, wurde nicht gefunden. Die Versuche in der ersten Projektphase haben gezeigt, dass dieser Effekt bei Regenwetter und kurzen Einstauphasen nicht auftritt. Es können also nur Versuche bei Regen durchgeführt werden.

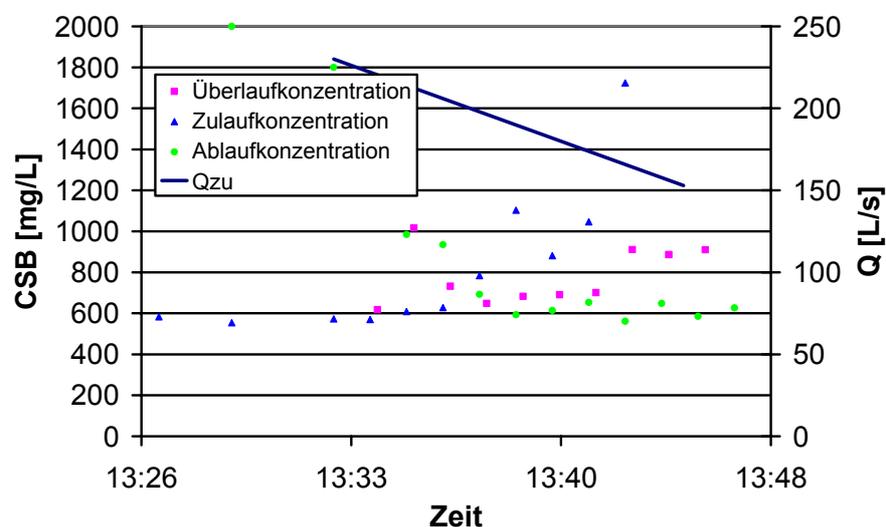


Bild 5-1: Bestimmung der Reinigungsleistung unter stationären Bedingungen

5.2 Auswertung der Konzentrationsganglinien

Bei sämtlichen Entlastungsereignissen ist zu Beginn des Ereignisses ein Anstieg der C_{CSB} -Konzentration im Zulauf zu beobachten. Dieser Spülstoßeffekt ist auch in Bild 5-2 für ein Ereignis vom 31.08.2003 deutlich zu erkennen. Die Ganglinie der C_{CSB} -Konzentration im Überlauf liegt während der gesamten Entlastung unterhalb der Zulaufkonzentration. Im Ablauf ist eine Aufkonzentrierung der Schmutzstoffe zu erkennen und so liegt die C_{CSB} -Konzentration im Ablauf stets oberhalb der Zulaufkonzentration. Die im Vergleich zum Zulauf höheren Ablauf und niedrigeren Überlauf-Konzentrationen sind der Reinigung des WA zuzuschreiben. Dass die Reinigung durch Sedimentation nicht bei allen Ereignissen so gut funktioniert wie bei dem Ereignis vom 31.08.2003 zeigt Bild 5-3. Gerade am Anfang des Ereignisses liegen die Überlaufkonzentrationen z. T. oberhalb der Zulaufkonzentration. Dies

liegt aber nicht daran, dass die Sedimentation im WA nicht funktioniert, sondern liegt daran, dass der WA sich wie ein voll durchmischter Reaktor verhält. Dies konnte mit Hilfe von Tracerversuchen (vgl. Kapitel 4.3) gezeigt werden. Die Entlastungskonzentration muss demnach nicht mit der im Zulauf verglichen werden – vielmehr, muss auch das vorher zugelaufen Mischwasser berücksichtigt werden. Eine Bewertung der Reinigungsleistung des WA kann also nicht nur durch den Vergleich von Zulauf und Überlaufkonzentrationen erfolgen, sondern muss durch das in Kapitel 4.2 dargestellte Verfahren erfolgen.

Ein weiteres Indiz dafür dass die Sedimentation im Hydrodynamischen Abscheider gut funktioniert ist die Tatsache, dass das Dosiergefäß des Ablaufprobenehmers bei allen Ereignissen nach wenigen Hüben verstopft war und manuell gereinigt werden musste. Dieser Effekt ist bei keinem der Ereignisse im Zulauf oder im Überlauf aufgetreten. Die Verschmutzung im Ablauf muss also wesentlich stärker sein. Da die Ablaufkonzentration für die Berechnung der Wirksamkeit des Hydrodynamischen Abscheiders nicht relevant ist (vgl. Kapitel 4.2), wurde der Aufwand des manuellen Reinigens nur für die ersten drei Ereignisse betrieben. Im Rahmen der zweiten Phase des Forschungsvorhabens, wurde der Ansaugschlauch so modifiziert, dass die Probenahme verstopfungsfrei funktioniert hat.

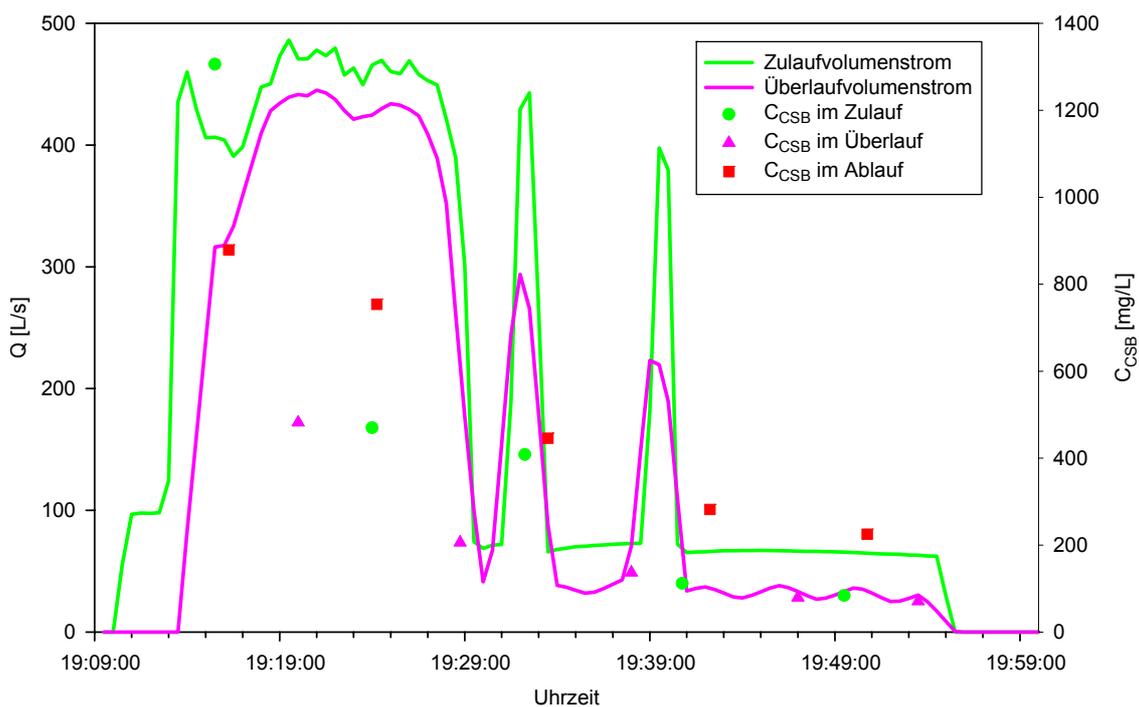


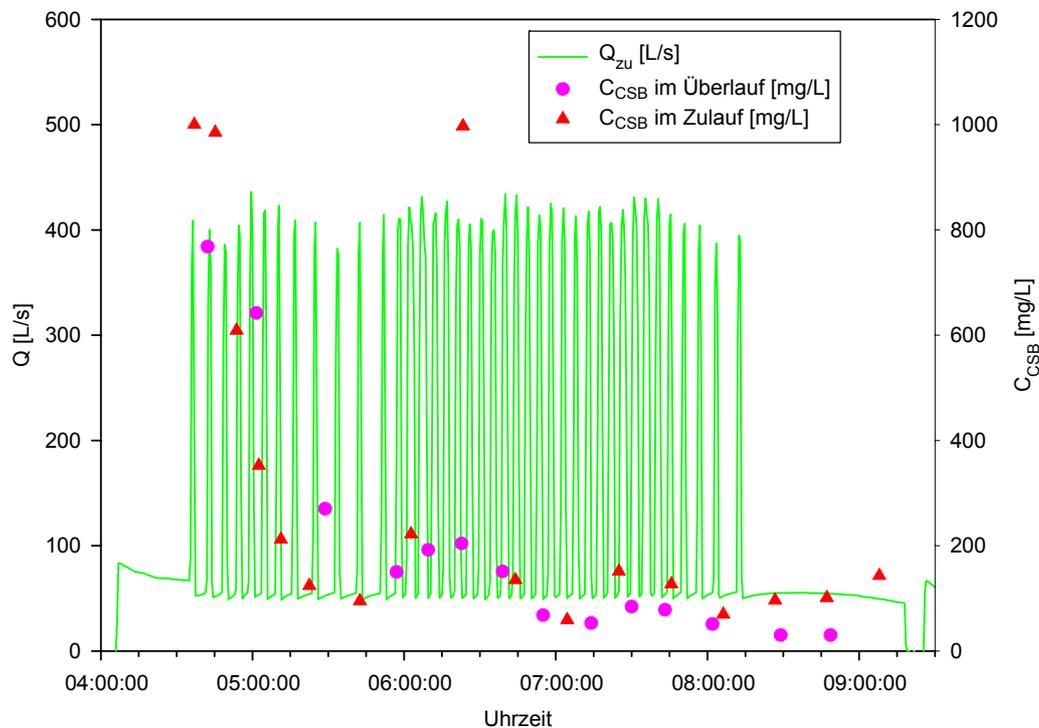
Bild 5-2: Ganglinie des Zulaufvolumenstroms und der C_{CSB} -Konzentration im Zu- und Überlauf für ein Regenereignis vom 31.08.2003Bild 5-3: Ganglinie des Zulaufvolumenstroms und der C_{CSB} -Konzentration im Zu- und Überlauf für ein Regenereignis vom 13.12.2003

Tabelle 5-1 zeigt die Auswertung aller Ereignisse. Im Rahmen der zweiten Projektphase wurden zwar insgesamt zehn Ereignisse beprobt, letztendlich ausgewertet werden konnten aber nur vier. Dies lag vor allem daran, dass bei den restlichen Ereignissen der in Kapitel 5.1 beschriebene Effekt auftrat. Hier wurde versucht, auch bei Regenwetter die Entlastungsphase zu verlängern, indem am Anfang des Ereignisses zunächst die Pumpen noch ausgeschaltet blieben. Obwohl die Einstauzeit hier deutlich kürzer war, als bei den Versuchen mit Trockenwetterzufluss war die Konzentration im Zulauf viel zu gering und am Überlauf und am Drosselablauf zu hoch. Bei den restlichen in Tabelle 5-1 dargestellten Ereignissen wurde der Pumpensumpf nicht eingestaut und der Effekt konnte hier nicht beobachtet werden.

Die Gesamteffektivität aller Ereignisse schwankt zwischen 3 und 64 %, wobei der Mittelwert bei 32 % liegt. Er ist damit etwa halb so groß, wie der der SKU in Dortmund Scharnhorst (vgl. Tabelle 4-1). Allerdings ist das spezifische Volumen auch mit $1,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ im Vergleich zu $37,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ unverhältnismäßig kleiner. Der von HÜBNER (1997) beobachtete Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschickung und der Effektivität konnte nicht beobachtet werden. Bild 5-4 zeigt, dass hohe Effektivitäten sowohl bei geringen, als auch bei hohen Überlaufvolumenströmen beobachtet werden konnten. Die Trendlinie zeigt sogar eher den umgekehrten Effekt, dass mit steigendem Überlaufvolumenstrom die Effektivität ansteigt. Diese Beobach-

tung macht deutlich, dass sich in der Großtechnik die von HÜBNER (1997) entwickelte Gleichung (2-1) nicht kalibrieren lässt. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozesse ist auch am WA, wie schon durch FREHMANN (2003) am SKU festgestellt, nicht möglich. Eine detaillierte Langzeitsimulation um die Effektivität einer Bauwerkskombination aus SKU und WA lässt sich somit auch nicht durchführen.

Trotzdem konnten einige interessante Details aus den großtechnischen Untersuchungen gewonnen werden. Beim Vergleich mit einem idealisierten Durchlaufbecken zeigt sich, dass die Reinigungsleistung trotz des sehr geringen spezifischen Volumen sehr gut funktioniert. Der Vergleich mit einem idealisierten Durchlaufbecken zeigt, dass der Mittelwert der Reinigungsleistung hier mit 35 % um nur zehn Prozentpunkte unter dem des Vergleichsdurchlaufbecken beim SKU liegt, obwohl das spezifische Volumen beim SKU um ein vielfaches höher ist. Die Beobachtung, dass ein SKU nur geringfügig besser ist als ein Fangbecken mit gleichem Volumen und die Tatsache, dass der WA bei geringem spezifischen Volumen eine sehr gute Reinigungsleistung hat, zeigt, dass eine Kombination beider Bauwerke durchaus sinnvoll sein kann. Darauf wird in Kapitel 6 genauer eingegangen, nachdem im folgen der Einfluss der Sinkgeschwindigkeit näher untersucht wird.

Tabelle 5-1: Entlastungsvolumen, Dauer und Effektivitäten der einzelnen Ereignisse

Ereignis	Vüber [m ³]	Dauer Entlastung [h]	Gesamtwirkungsgrad HA (V=70 m ³)	Wirkungsgrad Trennbauwerk (V=0 m ³)	Gesamteffektivität	Wirkungsgrad FB (V=70 m ³)	Reinigungsleistung DB NS (V=70 m ³)
E1	619,87	2,24	69%	29%	40%	50%	54%
E2	5231,37	8,82	34%	2%	32%	3%	32%
E3	598,45	0,57	77%	13%	64%	36%	72%
E4	82,58	0,50	84%	37%	47%	79%	58%
E6	148,41	0,58	74%	32%	42%	64%	50%
E7	1820,04	4,60	56%	24%	32%	31%	41%
E8	940,95	2,75	50%	44%	6%	54%	5%
E9	570,89	2,30	59%	32%	27%	49%	31%
E10	718,33	3,18	54%	34%	20%	50%	23%
E12	1576,35	5,10	43%	25%	18%	33%	19%
E1 – 2	204,75	0,42	79%	30%	49%	50%	57%
E3 – 2	336,39	1,22	75%	31%	44%	52%	60%
E5 – 2	3334,72	3,65	18%	15%	3%	27%	4%
E6 – 2	294,72	0,44	29%	10%	19%	42%	0%

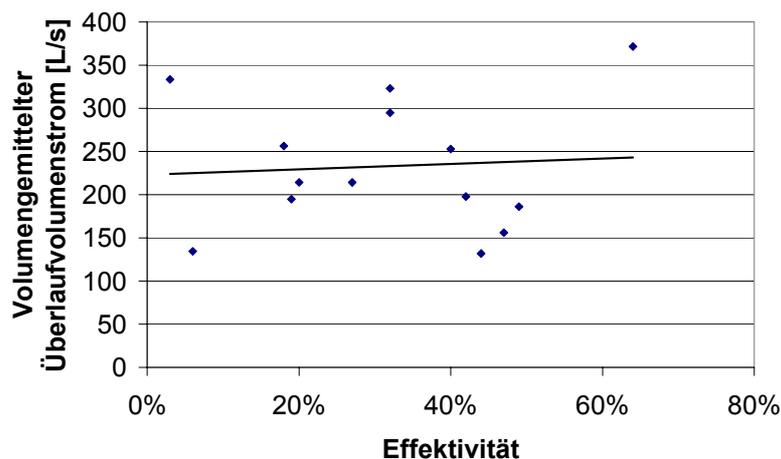


Bild 5-4: Zusammenhang zwischen dem Volumengemittelten Überlaufvolumenstrom und der Gesamteffektivität

5.3 Einfluss der Sinkgeschwindigkeit auf die Effektivität

Nach HÜBNER (1997) sind die maßgeblichen Parameter zur Bestimmung der Effektivität von WA neben bauwerkstypischen Parameter die Sinkgeschwindigkeit der Inhaltsstoffe im Regen- und Mischwasser und die Oberflächenbeschickung. Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben wurden deshalb für sechs der beprobten Ereignisse die Sinkgeschwindigkeitsverteilung zeitaufgelöst ermittelt. Die Sinkgeschwindigkeitsanalytik basiert auf dem Verfahren von BROMBACH ET AL. (1992), statt den absetzbaren Stoffen wurden aber analog zu Geiger et al. (2003) als Parameter die abfiltrierbaren Stoffe herangezogen.

In Bild 5-5 ist beispielhaft die Sinkgeschwindigkeitsverteilung im Zulauf am Anfang des Ereignisses vom 6.01.04 (E08) dargestellt. Der Vergleich mit Werten aus der Literatur zeigt, dass die Partikel im Zulauf „gut absetzbar“ sind. Wie Bild 5-6 zeigt, war bei einem Ereignis vom 8.02.04 (E12) die Sinkgeschwindigkeitsverteilung „mittel“ bis „schlecht absetzbar“. Warum bei verschiedenen Ereignissen die Absetzbarkeit der Partikel so unterschiedlich ist, kann auf mehrere Ursachen zurück geführt werden. Zum einen ist die Absetzbarkeit bei Ereignissen an einem Samstag oder Sonntag tendenziell eher schlecht. Dies könnte durch den fehlenden gewerblichen Anteil erklärt werden. Da die Sinkgeschwindigkeitsanalyse aber durch einen sehr hohen Anteil an Toilettenpapier sehr schwierig war, könnten die Unterschiede auch durch Fehler bei der Analytik begründet werden.

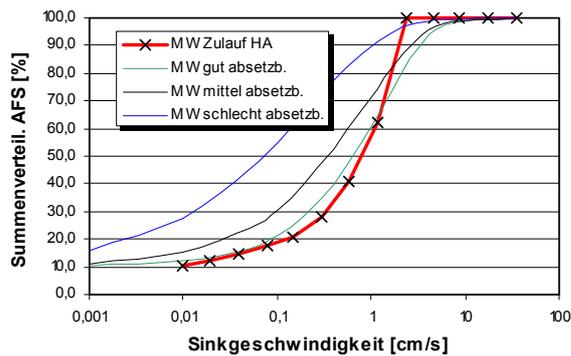


Bild 5-5: Sinkgeschwindigkeitsverteilung im Zulauf des WA im Vergleich mit Literaturwerten am Beispiel eines Regenereignisses vom 06.01.2004

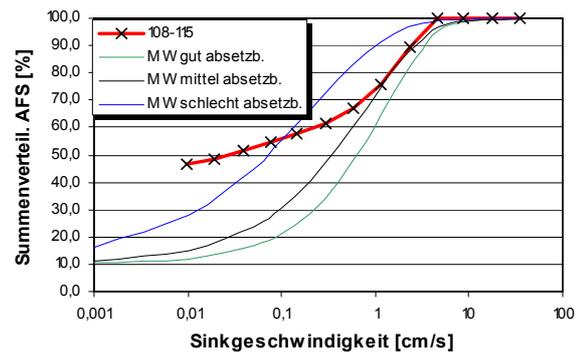


Bild 5-6: Sinkgeschwindigkeitsverteilung im Zulauf des WA im Vergleich mit Literaturwerten am Beispiel eines Regenereignisses vom 08.02.2004

In HÜBNER (1997) wurde sowohl in den Laborversuchen als auch im Feld ein Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschickung und der Effektivität festgestellt. Dieser Zusammenhang ließ sich, wie in Bild 5-7 zu sehen ist, in dieser Studie nicht finden. Der Quotient aus der Masse im Überlauf und Masse im Zulauf schwankt unabhängig von der Oberflächenbeschickung zwischen 0 und 9. Bild 5-8 stellt den Quotienten aus Zulaufmasse und Überlaufmasse, also den Kehrwert von Bild 5-7 dar. Es ist zwar erkennbar, dass die Sinkgeschwindigkeit im Zulauf tendenziell höher ist als im Überlauf, eine Abhängigkeit zu Oberflächenbeschickung ist aber nicht zu erkennen.

In Bild 5-9 ist der Wirkungsgrad für ein gesamtes Ereignis für die einzelnen Sinkgeschwindigkeiten dargestellt. Der Wirkungsgrad ist für die Fraktionen mit hohen Sinkgeschwindigkeiten geringfügig besser als der Durchschnitt. Bei einem anderen Ereignis, dargestellt in Bild 5-10 bestätigt sich dies jedoch nicht. Zwar ist der Wirkungsgrad der Fraktion mit der Sinkgeschwindigkeit 1,75 cm/s besser als der Durchschnitt, die Wirkungsgrade der Fraktionen mit Sinkgeschwindigkeiten zwischen 0,88 und 0,22 cm/s sind aber wesentlich schlechter als die der Fraktionen mit Sinkgeschwindigkeiten zwischen 0,01 und 0,11 cm/s.

Die Ergebnisse der Sinkgeschwindigkeitsanalyse lassen keine Zusammenhänge zwischen Wirkungsgrad und Sinkgeschwindigkeit oder Oberflächenbeschickung zu, obwohl HÜBNER (1997) diese Zusammenhänge in Modellstudien gefunden hat. Es muss aber festgestellt werden, dass sich diese Zusammenhänge bei großtechnischen Untersuchungen nicht feststellen lassen. Wie bereits in Kapitel 5.2 erläutert, sind auch bei der Untersuchung der Sinkgeschwindigkeit die Fehler bei der Analytik und der Einfluss unbekannter Prozesse zu groß.

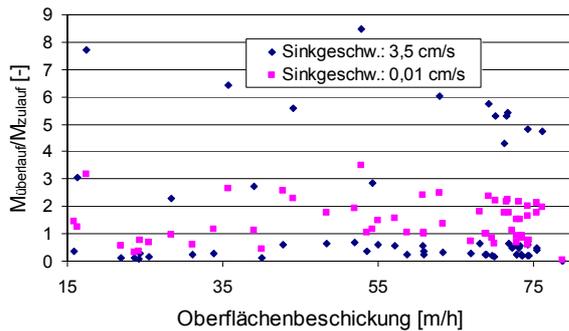


Bild 5-7: AFS-Wirkungsgrad unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeitsfraktionen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschickung am Beispiel eines Ereignisses vom 01.02.04

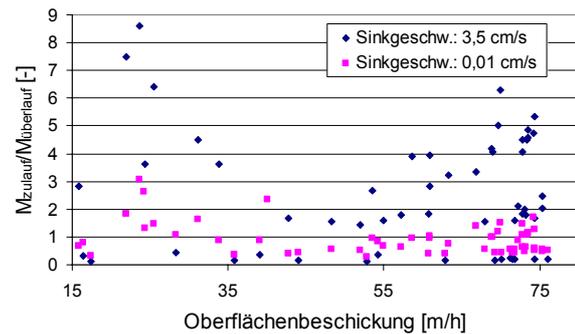


Bild 5-8: Kehrwert des AFS-Wirkungsgrades unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeitsfraktionen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschickung am Beispiel eines Ereignisses vom 01.02.04

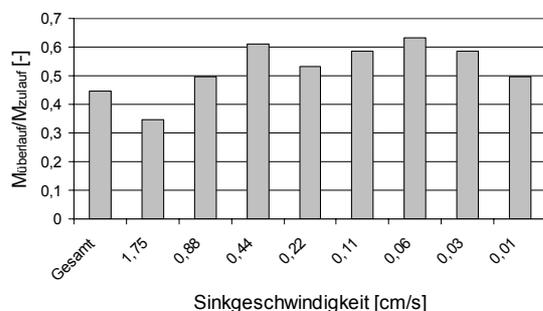


Bild 5-9: Ereignis-AFS-Wirkungsgrad für unterschiedliche Sinkgeschwindigkeitsfraktionen für ein Ereignis vom 02.02.04

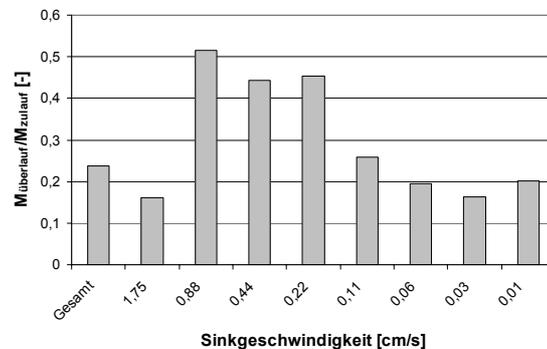


Bild 5-10: Ereignis-AFS-Wirkungsgrad für unterschiedliche Sinkgeschwindigkeitsfraktionen für ein Ereignis vom 01.02.04

5.4 Fazit der Auswertungen

Wie in Kapitel 5.2 und 5.3 gezeigt, konnte im Rahmen dieser Studie kein Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad, der Sinkgeschwindigkeit und der Oberflächenbeschickung gefunden werden. Nach Abschluss der ersten Phase des Forschungsvorhabens, wurde davon ausgegangen, dass dies vor allem daran lag, dass die Oberflächenbeschickung bei fast allen Ereignissen gleich war. Aber auch nachdem die erste Regenwetterpumpe mit einem Frequenzumrichter ausgestattet worden ist, konnte kein Zusammenhang zwischen der Effektivität als Maß für die Reinigungsleistung und der Oberflächenbeschickung gefunden werden. Wie Bild 5-4 zeigt, können hohe Effektivitäten sowohl bei geringen, als auch bei hohen Oberflächenbeschickungen auftreten. Der in Kapitel 2.2 erläuterte Ansatz von HÜBNER (1997) ließ sich also trotz der steuerbaren Pumpe im großtechnischen Maßstab nicht nachweisen. Der Grund dafür muss nicht der sein, dass es den Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschickung und Ef-

fektivität im großtechnischen Maßstab nicht gibt. Viel wahrscheinlicher ist, dass er von zu vielen anderen Effekten überlagert wird und er deshalb nicht mehr erkennbar ist.

6 Kombination von Stauraumkanälen und Wirbelabscheidern

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Reinigungsleistung eines Wirbelabscheiders mit Hilfe von großtechnischen Untersuchungen so genau beschreiben zu können, dass mit Hilfe von Langzeitsimulationen die Möglichkeit der Kombination von Wirbelabscheidern und Stauraumkanälen bewertet werden kann. Es hat sich aber gezeigt, dass mit den Ergebnissen großtechnischen Untersuchungen keine entsprechende Gleichung kalibriert werden kann. Langzeitsimulationen mit einer detaillierten Beschreibung der Prozesse, scheinen mit dem heutigen Stand der Technik nicht möglich zu sein. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch KUTZNER (2005), als er versucht hat die Reinigungsprozesse in einer Regenrückhaltestrecke zu beschreiben, und FREHMANN (2003) bei der Beschreibung von Sedimentations- und Remobilisierungsprozessen im SKU.

Die Ergebnisse haben aber gezeigt, dass ein Wirbelabscheider bei jedem Ereignis eine sehr gute Reinigungsleistung gehabt hat. Eine gute Reinigungsleistung bei geringem spezifischem Volumen zeichnet der WA aus.

Wie FREHMANN (2003) gezeigt hat, hat ein SKU durch sein extrem großes Speichervolumen eine sehr hohe Effektivität. Die Effektivität ist aber, wie Tabelle 4-1 zeigt, gegenüber einem Fangbecken nur geringfügig höher. Dies liegt nicht daran, dass die Reinigungsleistung eines SKUs gering ist, sondern hauptsächlich daran, dass der SKU mit einer Pfropfenströmung durchflossen wird. So wird der relativ stark verschmutzte Spülstoß entlastet, der als erstes das Entlastungsbauwerk erreicht. Dass die entlastete Fracht eines SKU nicht größer ist als bei einem Fangbecken liegt allein daran, dass der SKU eine gute Reinigungsleistung haben muss, die aber durch den beschriebenen hydraulischen Effekt nicht zum Tragen kommt. Es zeigt sich also, dass ein SKU aufgrund seiner hydraulischen Eigenschaften nicht das ideale Bauwerk zur Reinigung ist. Gleiches gilt für ein Durchlaufbecken in dem auch das stark verschmutzte Mischwasser vom Anfang des Ereignisses entlastet wird. Daher ist eine Kombination von zwei Bauwerken sinnvoll, bei denen das eine für die Speicherung und das andere für die Reinigung zuständig ist. Sinnvoll wäre also ein Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung (SKO), bei dem das Entlastungsbauwerk ein Wirbelabscheider ist. Dass diese Bauwerkskombination zu einem besseren Gewässerschutz führen kann, soll mit Hilfe von Simulationen gezeigt werden.

6.1 Ermittlung des Wirkungsgrades eines Kombinationsbauwerkes durch Simulationen

Um zu zeigen, dass eine Kombination aus SKO und WA zu einer geringeren Emission führen kann als ein SKU, werden Simulationen durchgeführt. Hierzu werden die Zulaufganglinien

von zehn Ereignissen des SKU in Dortmund Scharnhorst (FREHMANN, 2003) verwendet. Es werden zwei Bauwerkstypen verglichen. Zum einen ein SKU mit einem Volumen von 810 m^3 . Die Reinigungsleistung entspricht dem Mittelwert der Reinigungsleistung eines theoretischen DB, die in Tabelle 4-1 dargestellt sind, und wird somit zu 45 % gesetzt. Als Vergleichsbauwerk wurde ein SKO mit einem WA als Überlaufbauwerk gewählt. Das Volumen der beiden Bauwerke beträgt dabei ebenfalls 810 m^3 und auch die Drosselleistung ist identisch mit der des SKU. Die Reinigungsleistung des WA wird ebenfalls aus dem Mittelwert der beprobten Ereignisse zu 35 % gesetzt. Die Reinigungsleistung der Kombination aus SKO und WA ist also um 10 Prozentpunkte (also ca. 22 %) schlechter als bei dem SKU. Das Simulationsmodell ist in Bild 6-1 dargestellt.

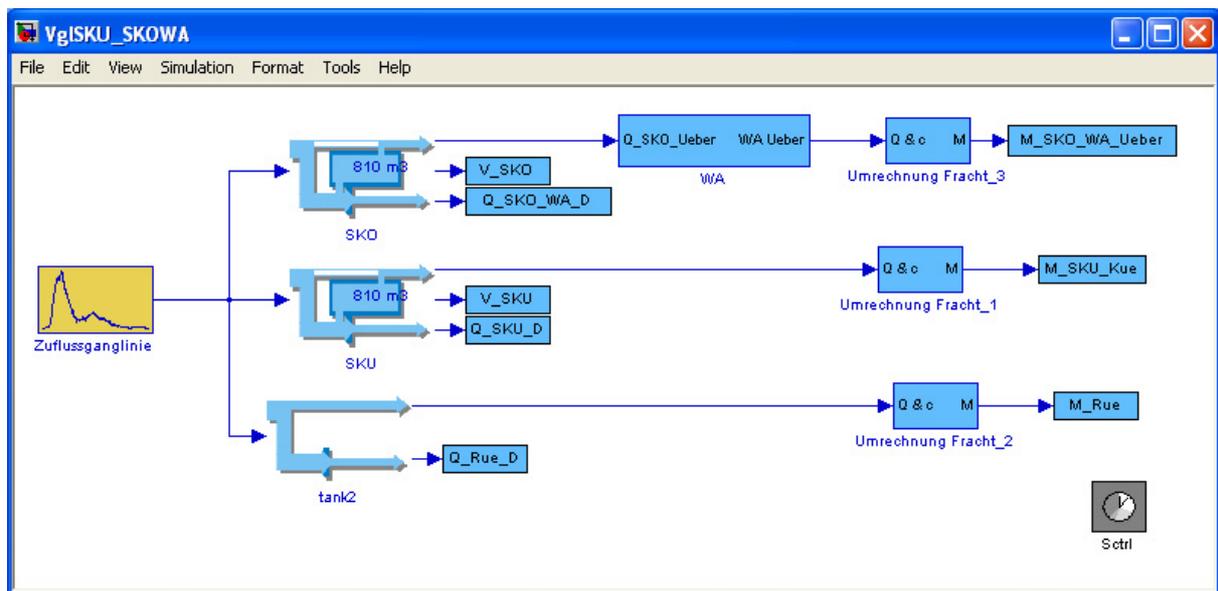


Bild 6-1: Simulationsmodell zum Vergleich des Wirkungsgrades eines SKUs und eines SKOs mit WA als Überlaufbauwerk

Wie Tabelle 6-1 zeigt, ist der Wirkungsgrad des Kombinationsbauwerkes trotz der schlechteren Reinigungsleistung bei allen außer einem Ereignis besser. Bei neun von zehn Ereignissen ist der Wirkungsgrad um zwischen ein und 13 Prozentpunkte besser. Lediglich bei einem Ereignis am 21.08.02 wäre die entlastete Fracht beim SKU geringer als bei dem Kombinationsbauwerk aus SKU und WA. Dies liegt daran, dass bei allen anderen Ereignissen ein deutlicher Spülstoß zu erkennen ist. Durch die hydraulischen Eigenschaften des SKUs, wird ein Teil des Spülstoßes mit entlastet, so dass der Wirkungsgrad trotz der höheren Reinigungsleistung geringer ist als bei dem Kombinationsbauwerk. In der Realität dürfte der Wirkungsgrad noch deutlich niedriger sein, da ein SKU eher mit einer Pfropfenströmung durchflossen wird, als wie ein voll durchmischter Reaktor. Der voll durchmischte Reaktor wurde hier nur gewählt, um auf der sicheren Seite zu sein. Nur bei Ereignissen, bei denen die Zulaufkonzentration vom Anfang bis zum Ende auf einem Niveau liegt, ist die höhere Reinigungsleistung des SKUs von Vorteil.

Tabelle 6-1: Vergleich des Wirkungsgrades eines SKUs und eines SKO mit WA als Überlaufbauwerk

	Wirkungsgrad SKU	Wirkungsgrad SKO+WA
17.03.01	77%	78%
23.03.01	85%	93%
05.08.01	70%	74%
04.09.01	86%	90%
10.02.02	72%	74%
20.02.02	92%	92%
10.07.02	49%	53%
13.07.02	75%	88%
21.08.02	60%	55%
05.10.02	75%	79%

6.2 Beurteilung eines Kombinationsbauwerkes aus Stauraumkanal und Wirbelabscheider

Für die hier durchgeführten Simulationen wurden einige Vereinfachungen getroffen. Ein Stauraumkanal wird aufgrund seiner länglichen Bauform eher mit einer Pfropfenströmung durchflossen. Da FREHMANN (2003) die reale Hydraulik des SKU nicht näher untersucht hat, wurde der SKU hier mit einem voll durchmischten Reaktor simuliert um auf der sicheren Seite zu sein.

Für den WA wurde eine Reinigungsleistung von 35 % angesetzt. Dies ist der Mittelwert aus allen beprobten Ereignissen. Bei der hier betrachteten Simulation springt der WA erst an, nachdem das Speichervolumen des SKO erschöpft ist. Der WA muss also den Spülstoß nicht reinigen, sondern erst das nach fließende stärker verdünnte Mischwasser. Betrachtet man die Reinigungsleistung des WA nach abklingen des Spülstoßes, so liegt die Reinigungsleistung sogar bei 43 % (vgl. Bild 5-3). Da aber nur bei drei Ereignissen auch eine ausreichende Anzahl von Proben nach abklingen des Spülstoßes genommen wurde, wurde hier auch ein Wert für die Reinigungsleistung auf der sicheren Seite gewählt.

Somit wurden alle Annahmen auf der sicheren Seite gewählt und trotzdem führte die Simulation des Kombinationsbauwerkes zu besseren Wirkungsgraden als die Simulation des SKU. Eine Kombination von einem Bauwerk mit relativ großem Speichervolumen und einem Bauwerk mit kleinem Speichervolumen und trotzdem guter Reinigungsleistung scheint also Sinn zu machen. Die NWBA wie sie am Dorneburger Mühlenbach realisiert wurde, funktioniert grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip. Der WA springt zwar bereits am Anfang des Ereignisses an, das entlastete Mischwasser wird aber im Fangbecken gespeichert. Nachdem der Spülstoß abgeklungen ist, ist das Fangbecken gefüllt und das über den WA entlastete Mischwasser wird entlastet. Somit handelt es sich bei der NWBA am Dorneburger Mühlenbach um ein Kombinationsbauwerk, dass nach den Erkenntnissen dieses Forschungsvorhabens befürwortet werden kann.

7 Zusammenfassung

Wirbelabscheider sind Bauwerke zur Regenwasserbehandlung die im Vergleich zu Regenbecken und Stauraumkanälen eher selten gebaut werden. In Baden-Württemberg werden sie z. T. als Ersatz für ein Fangbecken gebaut um Speichervolumen einzusparen. Im übrigen Bundesgebiet, werden sie an einigen Standorten z. B. in Kombination mit Fangbecken als Versuchsobjekte gebaut.

Ziel dieser Studie war mit Hilfe von Langzeitsimulationen und einer genauen Beschreibung der einzelnen Prozesse im SKU, SKO und WA die Kombination von Wirbelabscheidern und Stauraumkanälen hinsichtlich der Emission zu beurteilen. Wie sich aber im Laufe der großtechnischen Untersuchung an einem WA in Bochum Riemke gezeigt hat, war es nicht möglich die Sedimentationsvorgänge in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschickung zu beschreiben. Auch die Gleichungen die FREHMANN (2003) für Sedimentation und Remobilisierung im SKU entwickelt, konnten nicht mit einem einheitlichen Parametersatz für alle beprobten Ereignisse kalibriert werden. Die in NWBA auftretenden Prozesse scheinen zu komplex zu sein und sie scheinen sich zu stark zu überlagern, um einzelne Prozesse allgemeingültig mathematisch zu beschreiben.

Die großtechnischen Untersuchungen haben aber gezeigt, dass der Wirkungsgrad des Wirbelabscheiders selbst bei hohen hydraulischen Belastungen noch deutlich über der eines Regenüberlaufs ohne Reinigungsleistung liegt.

Die von FREHMANN (2003) beprobten Ereignisse am SKU haben gezeigt, dass der Wirkungsgrad des SKU nur geringfügig über dem eines Fangbeckens liegt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass im Zulauf, trotz einer längsten Fließzeit im Einzugsgebiet von mehr als 20 Minuten, ein deutlicher Spülstoß zu erkennen ist. Da der SKU mit einer Pfropfenströmung durchflossen wird, gelangt der Spülstoß als erstes zum Überlaufbauwerk und das stärker verschmutzte Mischwasser wird entlastet. Dass der Wirkungsgrad des SKU trotzdem auf dem Niveau des Fangbeckens liegt, kann nur mit der hohen Reinigungsleistung des SKU begründet werden. Diese Beobachtung und die Tatsache, dass der WA auch bei hohen hydraulischen Belastungen eine hohe Reinigungsleistung hat, führte zu der Idee idealer Weise einen SKO, bei dem das gesamte Speichervolumen für die Speicherung genutzt wird, und einen WA zu kombinieren.

Bei der Simulation von zehn Ereignissen konnte gezeigt werden, dass obwohl für den Wirbelabscheider eine um über 20 % schlechtere Reinigungsleistung angesetzt wurde, der Wirkungsgrad des Kombinationsbauwerkes deutlich besser war als bei einem SKU. Dabei wurde der SKU als volldurchmischer Reaktor gerechnet, um auf der sicheren Seite zu sein. Da der SKU aber in der Realität wohl eher mit einer Pfropfenströmung durchflossen wird, läge der Wirkungsgrad wohl noch unter dem hier simulierten.

Auch die NWBA in Bochum Riemke kombiniert ein Bauwerk zur Speicherung und ein Bauwerk zur Reinigung des Mischwassers. Nach den Erkenntnissen dieses Forschungsvorhabens

gewährleistet eine solche Kombination von Bauwerken einen besseren Gewässerschutz als ein Durchlaufbecken oder ein SKU mit gleichem Volumen.

8 Literaturverzeichnis

- ATV-A 128 (1992): Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen. ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall, Hennef
- ATV-DVWK-M 153 (2000): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall, Hennef
- ATV-DVWK-M 177 (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen -Erläuterungen und Beispiele-. ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall, Hennef
- BROMBACH, H. (1992): Solids removal from combined sewer overflows with vortex separators. In: Novatech 1992, S. 447-459
- BROMBACH, H.; MICHELBAACH, S.; WÖHRLE, C. (1992): Sedimentations- und Remobilisierungsvorgänge im Abwasserkanal. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Abschlußbericht des Teilprojektes 3 des BMFT Verbundprojekts: Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer (Phase I). Heft 3
- DIN 38409-2 (1987): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H 2). Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 38409-41 (1980): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Bereich über 15 mg/l (H 41). Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin
- FREHMANN, T. (2003): Untersuchung der Wirksamkeit von Stauraumkanälen mit unten liegender Entlastung zur Regenwasserbehandlung. Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft Universität Essen, Heft 21, Diss.
- GEIGER, W.F.; KUTZNER, R.; MIETZEL, T. (2003): Quantitative und Qualitative Wirkungsweise eines Stauraumkanals mit nachgeschalteter Regenrückhaltestrecke. FG Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Uni Duisburg-Essen. Forschungsbericht i. A. von EG/LV u. MUNLV-NRW
- GEIGER, W.F.; USTOHAL, P. (1998): Ermittlung des rechnerischen Speichervolumens eines hydrodynamischen Abscheiders. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Uni Essen. Forschungsbericht. ATV e.V.-Forschungsfonds, Projekt-Nr. 10/97
- HÜBNER, M. (1997): Beurteilung und Ermittlung der Wirkungsweise von Anlagen zur Regenwasserbehandlung. Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft Universität GH Essen, Heft 10, Dissertation
- KÄSS, W. (1992): Geohydrologische markierungstechnik. Gebrüder Bornträger
- KLEPISZEWSKI, K. (2005): Analyse und modelltechnische Nachbildung der Reinigungswirkung eines kombinierten Bauwerks zur Mischwasserbehandlung.

- KUTZNER, R. (2005): Prozessorientierte Beschreibung von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen - Möglichkeiten und Grenzen. Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Heft 25, Dissertation
- LEVENSPIEL, O. (1999): Chemical Reaction Engineering - Third Edition. John Wiley & Sons
- LFU (1997): Wirbelabscheideranlagen: Hinweise zu Entwurf und Bemessung. Handbuch Wasser 4, Band 5. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz
- MIETZEL, T. (2007): Gesamtheitliche Betrachtung der Wirksamkeit von Wirbelabscheidern im Vergleich zu konventionellen Regenbecken. Dissertation, in Arbeit