

Lamellenabscheider in der Mischwasser- behandlung

Teil 1: Literaturrecherche

Teil 2: Messkampagne RÜB Homberg-Hakenfeld



Abschlussbericht

GERICHTET AN



vorgelegt durch

Institut für Siedlungswasserwirtschaft
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen

+49 - 241 80 25207

+49 - 241 80 22285

E-Mail: isa@isa.rwth-aachen.de

www.isa.rwth-aachen.de



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Lamellenabscheider in der Mischwasserbehandlung

Literaturrecherche
im Rahmen des Projektes

„Messkampagne RÜB Homberg-Hakenfeld“

für die



Linksrheinische Entwässerungs-Genossenschaft - LINEG

Aachen, den

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(Projektleiter)

Inhalt

Verzeichnis der Bilder	III
Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis der Abkürzungen.....	V
1. Veranlassung	1
2. Bisherige Untersuchungen	3
2.1. Experimentelle Untersuchungen zur Verbesserung des Stoffrückhaltes in Stauraumkanälen durch Lamellenabscheider	3
2.2. Halbtechnische Untersuchungen zur Fällung/Flockung bei der Mischwasserbehandlung in Stuttgart-Büsnau	5
2.3. Halbtechnische Untersuchungen zur Fällung/Flockung bei der Mischwasserbehandlung in Frankreich).....	6
2.4. Regenüberlaufbecken Kläranlage Aachen-Soers	8
2.5. Regenüberlaufbecken Göbrichen	10
2.6. Demonstrationsanlage in Odense	12
2.7. Demonstrationsanlage in Aarhus	14
2.8. Regenüberlaufbecken Wiesengrund, Brühl	15
3. Zusammenfassung und Betriebshinweise	18
Literaturverzeichnis	21

Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1:	Halbtechnische Versuchsanlage zur Ermittlung des Stoffrückhaltes eines mit Lamellenabscheidern ausgestatteten Stauraumkanals, modifiziert entnommen aus [PECHER, 1997]	4
Bild 2.2:	Schema der halbtechnischen Untersuchungen zur Fällung/Flockung (Stuttgart) [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]	5
Bild 2.3:	Prinzipskizze des DensaDeg®-Verfahrens, modifiziert entnommen aus [N.N.]	7
Bild 2.4:	Installation der Versuchsanlage in dem zu untersuchenden Regenüberlaufbecken [DOHMANN et al., 2003]	9
Bild 2.5:	RÜB Göbrichen: Grundriss der Gesamtanlage und Schnitt durch das Durchlaufbecken [GLAS und STÖRR, 2007]	11
Bild 2.6:	Schema der Demonstrationsanlage [JOHANSEN et al., 2010]	13
Bild 2.7:	Design der Kammern mit einem Lamellenabscheider hinter dem Zulauf der Kammer (links) sowie vor dem Ablauf der Kammer (rechts) [NIELSEN und NIELSEN, 2006]	13
Bild 2.8:	Demonstrationsanlage in Aarhus [JOHANSEN et al., 2010]	14
Bild 2.9:	System und Untersuchungsaufbau des RÜB Brühl, modifiziert entnommen [FUCHS et al., 2010]	17

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1: Erzielte Eliminationsraten der AFS und des CSB in Abhängigkeit unterschiedlicher Beckenoberflächenbeschickungen [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]	6
Tabelle 2.2: Durchschnittliche Eliminationsraten der Schwebstoffe und des CSB in den halbtechnischen Versuchen.....	7
Tabelle 2.3: Lamellenarten für die Voruntersuchungen [DOHMANN et al., 2003]	8
Tabelle 2.4: Mittelwerte, Mediane und obere Quartile für Ereignisse $q_{A,Lamelle} \leq 4$ m/h, $q_{A,Becken}$ 4 - 10 m/h [DOHMANN et al, 2003]	10
Tabelle 2.5: Planungsgrundlagen für das RÜB Göbrichen [GLAS und STÖRR, 2007]	12
Tabelle 2.6: Kennwerte für den optimalen Anlagenbetrieb mit Lamellenabscheidern [FUCHS et al., 2010].....	15
Tabelle 2.7: Daten des Regenüberlaufbeckens Wiesengrund [FUCHS et al., 2010]	16
Tabelle 3.1: Kennwerte betrachteter Anlagen mit Lamellenabscheidern	20

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
ATV	Abwassertechnische Vereinigung, jetzt Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
BÜ	Beckenüberlauf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
GV	Glühverlust
KÜ	Klärüberlauf
q_A	Oberflächenbeschickung
RÜB	Regenüberlaufbecken

1. Veranlassung

Die Linksrheinische Entwässerungs-Genossenschaft LINEG plant am Standort Homberg-Hakenfeld bei Duisburg die Ertüchtigung eines Regenüberlaufbeckens. Am Standort Homberg-Hakenfeld werden zwei Regenüberlaufbecken (RÜB) mit unterschiedlichen Einzugsgebieten unabhängig voneinander betrieben. RÜB 1 erfüllt alle Anforderungen. Die Ertüchtigung des zweiten Beckens (RÜB 2) wird erforderlich, da unter den derzeitigen Belastungsverhältnissen der Nachweis einer ausreichenden Absetzwirkung des Regenüberlaufbeckens über die maximal zulässige Oberflächenbeschickung von 10 m/h nicht geführt werden kann.

Zur Verbesserung der Absetzwirkung von RÜB 2 ist der Einsatz eines Lamellenabscheiders geplant. Schon seit einiger Zeit existieren Überlegungen, die Absetzwirkung von Regenüberlaufbecken zu optimieren. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Absetzwirkung stellen die jetzt geplanten Lamellenabscheider dar. Lamellenabscheider werden in Deutschland derzeit jedoch noch wenig in Regenüberlaufbecken zur Verbesserung der Absetzwirkung eingesetzt, so dass bisher nur wenige Erfahrungen zur Bemessung und Dimensionierung der Lamellenabscheider vorliegen. Eine Studie des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (Einsatz von Lamellenabscheidern in Mischwasserbehandlungsanlagen, BMBF, 2003) ergab als mögliche Bemessungsgröße für den Einsatz von Lamellenabscheidern in Regenüberlaufbecken eine maximale Oberflächenbeschickung der Anlage von 4 – 5 m/h bezogen auf die Oberfläche des Lamellenabscheiders. In Bezug auf die Beckengröße des in der Studie betrachteten Regenüberlaufbeckens in Aachen Soers ergab sich bei diesen Zuflüssen eine Oberflächenbeschickung von 20 -25 m/h. Dies verdeutlicht, dass gerade bei überlasteten Regenüberlaufbecken der Lamellenabscheider eine sinnvolle Alternative zur Volumenvergrößerung eines Regenüberlaufbeckens darstellt.

Um die vorliegenden Erkenntnisse zur Bemessung von Lamellenabscheidern in Regenüberlaufbecken zu verifizieren und an die Verhältnisse in Homberg-Hakenfeld anzupassen, wurde das Institut für Siedlungswasserwirtschaft beauftragt, eine Messkampagne in Homberg-Hakenfeld zu konzipieren und die Abwasserzusammensetzung bei Mischwasserereignissen zu bewerten.

Darüber hinaus soll eine Literaturrecherche sowohl einen Überblick über in der Vergangenheit durchgeführte labor- und halbtechnische Untersuchungen mit Lamellenabscheidern zur Mischwasserbehandlung als auch über bereits realisierte großtechnische Anlagen geben. Auf Basis der Erkenntnisse vorangegangener Projekte stellt diese Literaturlauswertung eine Hilfestellung zur Bemessung von Mischwasserbehandlungsanlagen mit Lamellenabscheidern dar und gibt Hinweise auf den Betrieb, bzw.

möglicherweise auftretende Betriebsprobleme solcher Anlagen, so dass diesen schon während der Planungsphase entgegengewirkt werden kann.

2. Bisherige Untersuchungen

Lamellenabscheider finden schon seit langer Zeit Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung und Industrieabwasserbehandlung. Bei der kommunalen Abwasserreinigung in Kläranlagen werden sie zur Verbesserung der Sedimentationswirkung in der Vor- bzw. Nachklärung eingesetzt [SCHÖNBERGER et al., 2001; BUER und DORGELOH, 1999]. Ihr Einsatz in Mischwasserbehandlungsanlagen wurde in den vergangenen Jahren innerhalb diverser Projekte untersucht und vereinzelt großtechnisch realisiert.

Durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen wurde der Einsatz von Lamellenabscheidern bei der Mischwasserbehandlung in einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung auf der Kläranlage Aachen-Soers halbtechnisch untersucht. Des Weiteren wurden auf dem Gelände der Kläranlage zu einem späteren Zeitpunkt labor- und halbtechnische Untersuchungen zur Wirkung von Lamellenabscheidern in Regenüberlaufbecken durchgeführt.

Weitere halbtechnische Untersuchungen bezüglich der Wirkungsweise einer Kombination von Fällung/Flockung und Lamellenabscheidern in Durchlaufbecken wurden im Rahmen der Untersuchungen des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart durchgeführt.

Halbtechnische Untersuchungen zur Mischwasserbehandlung mit einem Verfahren der französischen Firma Degrémont (DensaDeg®-Verfahren), welches ursprünglich für die Trinkwasseraufbereitung sowie Industrieabwasserbehandlung eingesetzt wurde, wurden Mitte der 1990er Jahre durchgeführt. Mittlerweile werden Anlagen nach dem DensaDeg®-Verfahren für die Mischwasserbehandlung großtechnisch eingesetzt.

Erfahrungen aus Dänemark bezüglich des Einsatzes von Lamellenabscheidern bei der Mischwasserbehandlung liefern die Ergebnisse der Untersuchungen an zwei Demonstrationsanlagen in Odense und Aarhus.

Im Zuge der Erweiterung des Regenüberlaufbeckens in Göbrichen (Baden-Württemberg) wurde die Installation eines Lamellenabscheiders vorgesehen. Ebenso wurde im Fall des Regenüberlaufbeckens „Wiesengrund“ der Gemeinde Brühl ein Lamellenabscheider installiert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden nachfolgend dargestellt.

2.1. Experimentelle Untersuchungen zur Verbesserung des Stoffrückhaltes in Stauraumkanälen durch Lamellenabscheider

Umfangreiche theoretische Überlegungen zur Verbesserung des Stoffrückhaltes in Stauraumkanälen durch den Einsatz von Lamellen wurden durch PECHER (1997) angestellt.

Zudem wurden im Rahmen dieser Arbeit experimentelle Untersuchungen an einer halbtechnischen Versuchsanlage auf der Kläranlage Aachen-Soers durchgeführt.

Bei der Versuchsanlage handelte es sich um einen 30 m langen Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung, der mit Mischwasser aus kommunalem Rohabwasser und Bachwasser bzw. reinem Bachwasser und künstlichen Feststoffen als Substitut für partikuläre Abwasserinhaltsstoffe beschickt wurde. Der Modellkanal wurde im hinteren Teil auf einer Länge von 6 m mit drei Lamellenpaketen nach dem Gleichstromprinzip bestückt. Die einzelnen Lamellenpakete bestanden aus Bündeln von je 19 PVC-Rohren DN 100. [PECHER, 1997]

Der Aufbau der Versuchsanlage ist Bild 2.1 zu entnehmen.

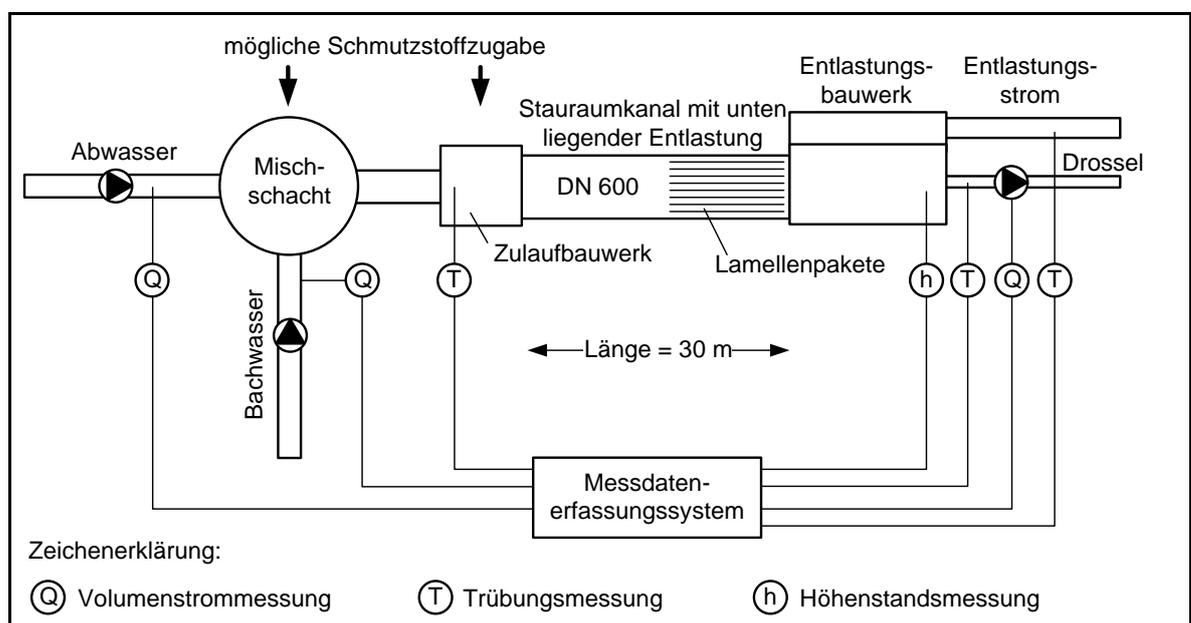


Bild 2.1: Halbtechnische Versuchsanlage zur Ermittlung des Stoffrückhaltes eines mit Lamellenabscheidern ausgestatteten Stauraumkanals, modifiziert entnommen aus [PECHER, 1997]

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz von Gleichströmern eine Verbesserung des sedimentativen Stoffrückhaltes erzielt werden kann und die Entlastungskonzentrationen während stationärer Entlastungsphasen für die untersuchten Stoffe (AFS, partikulärer CSB, gesamter CSB) gegenüber einem nicht modifizierten Stauraumkanal reduziert werden können. Insbesondere bei hohen hydraulischen Beschickungen wird eine signifikante Verbesserung des sedimentativen Stoffrückhaltes erzielt und die Feststoffremobilisation mit daraus resultierendem Feststoffaustrag in das Oberflächengewässer vermindert. [PECHER, 1997]

2.2. Halbtechnische Untersuchungen zur Fällung/Flockung bei der Mischwasserbehandlung in Stuttgart-Büsnau

Im Rahmen halbtechnischer Untersuchungen auf dem Gelände des Klärwerkes Stuttgart-Büsnau wurde die Verbesserung des Stoffrückhaltes im nach ATV-Arbeitsblatt A 128 (1992) ausgelegten rechteckigen Durchlaufbecken durch Fällung/Flockung ohne und mit Einbau von im Gegenstrom betriebenen Lamellen untersucht. Aufgrund mangelnder praktischer Erfahrungen wurden die Untersuchungen mit zwei Lamellenabscheidern durchgeführt. Das Durchlaufbecken wurde mit Oberflächenbeschickungen zwischen 2,4 und 10,4 m/h beaufschlagt. [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

Das Schema der Versuchsanlage ist in Bild 2.2 dargestellt.

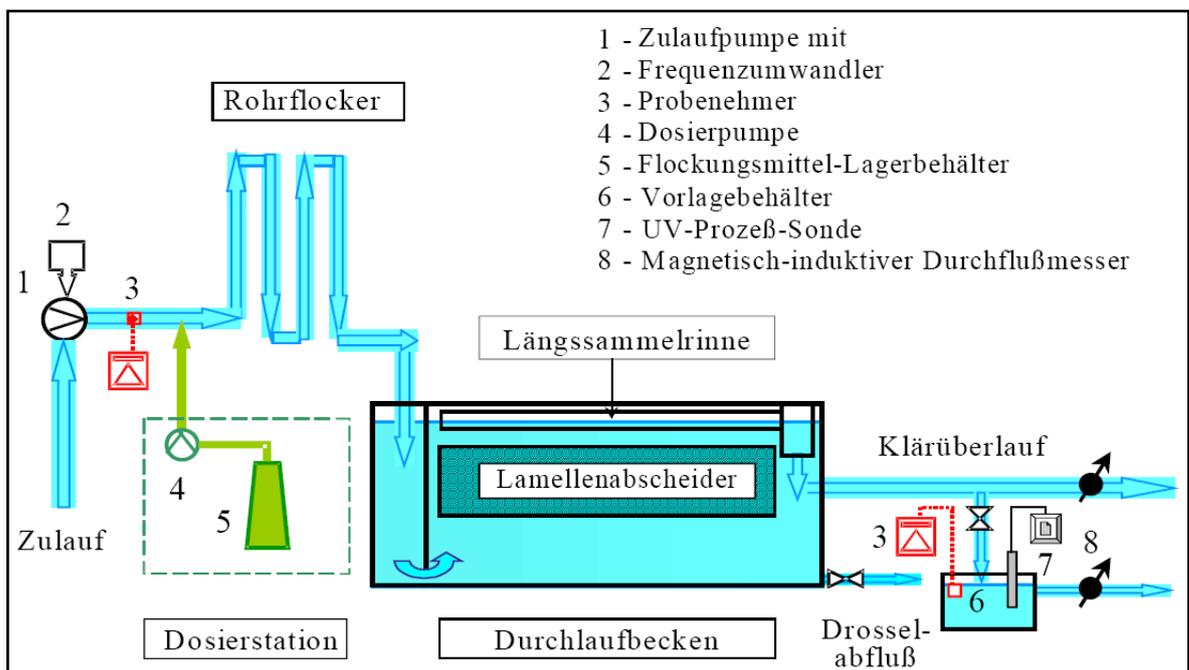


Bild 2.2: Schema der halbtechnischen Untersuchungen zur Fällung/Flockung (Stuttgart) [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

In Tabelle 2.1 sind die erreichten Eliminationsraten für AFS und CSB bei unterschiedlichen Beckenoberflächenbeschickungen ohne Lamellen und mit einem der eingesetzten Lamellenabscheider (Typ FS 41.80, Lamellenabstand 80 mm, Lamellenneigung 55°) dargestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt deutlich auf, dass durch den Lamellenabscheider unter gleichen Randbedingungen wesentlich weniger AFS und CSB über den Klärüberlauf ausgetragen wurden. Bei Oberflächenbeschickungen bis etwa 4 m/h wurde ein eher geringer Unterschied in der Klärleistung beobachtet. Im Bereich hoher Oberflächenbeschickungen konnten durch den Lamellenabscheider deutlich höhere Eliminationsraten erreicht werden. Bei einer Oberflächenbeschickung von etwa 10 m/h

wurde eine bessere Eliminationsleistung durch den Lamellenabscheider erreicht als bei einer Oberflächenbeschickung von 5 m/h ohne Lamellenabscheider. [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

Tabelle 2.1: Erzielte Eliminationsraten der AFS und des CSB in Abhängigkeit unterschiedlicher Beckenoberflächenbeschickungen [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

q _A [m/h]	AFS		CSB	
	Ohne Lamellen [%]	Mit Lamellen FS 41.80 [%]	Ohne Lamellen [%]	Mit Lamellen FS 41.80 [%]
2,4 - 2,9	51,5 - 84,2	72 - 91,7	42,8 - 54,2	53,6 - 63,6
4,8 - 6,0	26,3 - 39,7	66,7 - 87,7	18,7 - 38,5	52,0 - 60,7
6,7 - 7,6	3,3 - 19,1	42,9 - 67,7	3,5 - 26,3	31,8 - 53,1
9,5 - 10,4	≤ 1,5	28,6 - 57,0	≤ 2,2	20,8 - 50,0

Mit den in KRAUTH und BONDAREVA (2000) dargestellten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der Lamellenabscheider FS 41.80 für den Einsatz in Durchlaufbecken geeignet ist. Selbiges gilt für den zweiten getesteten Lamellenabscheider (Typ DH 50, Lamellenabstand 60 mm, Lamellenneigung 50°), der trotz des geringeren Lamellenabstandes keine Betriebsprobleme mit sich brachte. Bei beiden Lamellenabscheidern fand ein guter Schlammabrutsch von den Absetzebenen statt.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen wurde ersichtlich, dass das Verfahren der Fällung/Flockung in einem Durchlaufbecken nur dann sinnvoll ist, wenn es in Kombination mit einem Lamellenabscheider durchgeführt wird. Dabei ist die einzusetzende Abscheiderfläche von der gewünschten Klärüberlaufqualität sowie Beschaffenheit des zu behandelnden Wassers abhängig. Es wird eine Abscheiderfläche, die dem 2- bis 4,5-fachen Wert der Beckengrundfläche entspricht, empfohlen. Eine weitere Vergrößerung geht mit höheren Kosten bei unwesentlicher Verbesserung der direkten Gewässerbelastung einher. [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

2.3. Halbtechnische Untersuchungen zur Fällung/Flockung bei der Mischwasserbehandlung in Frankreich)

Das Prinzip des DensaDeg®-Verfahrens, einer Kombination aus Fällung/Flockung und Lamellenabscheidern der französischen Firma Degrémont ist in Bild 2.3 dargestellt.

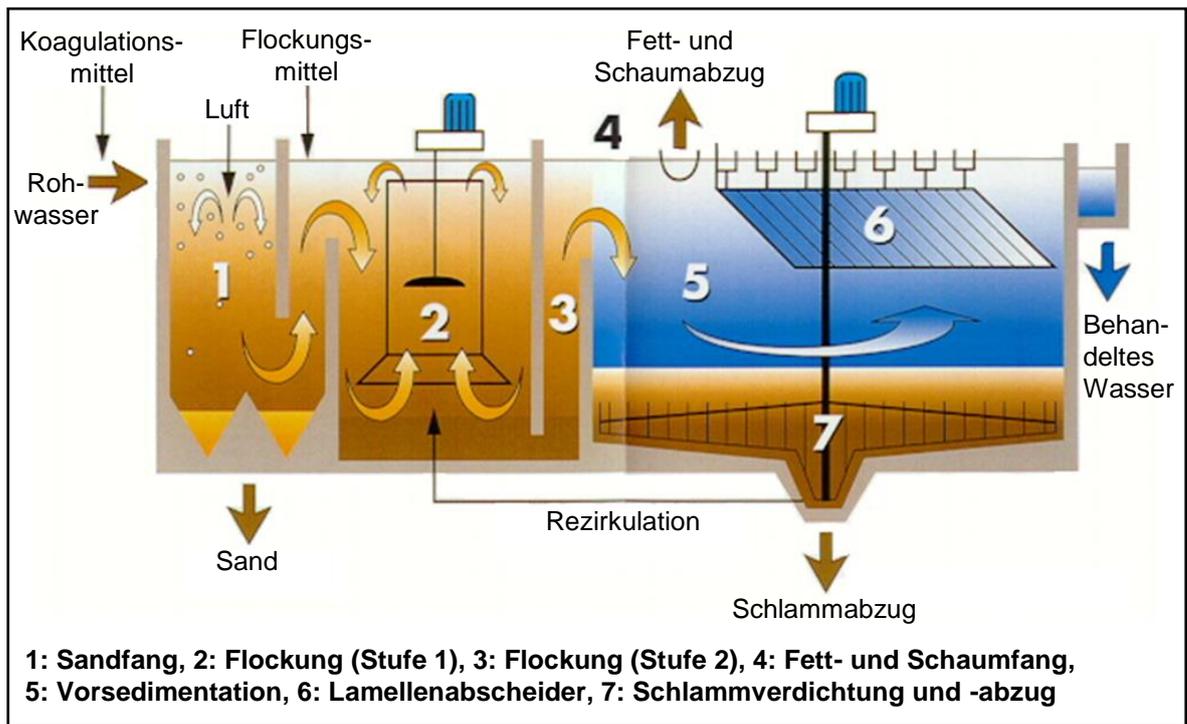


Bild 2.3: Prinzipskizze des DensaDeg®-Verfahrens, modifiziert entnommen aus [N.N.]

Über Untersuchungen zu einer Modifikation dieses Verfahrens zur Misch- und Regenwasserbehandlung wurde durch DELPORTE et al. (1995) berichtet. Das Verfahren wurde in fünf- bis achtmonatigen halbtechnischen Untersuchungen getestet. Die Dimensionen der Anlage betragen 2,5 m x 1,3 x 4,5 m (LxBxH). Die Oberfläche der eingesetzten Lamellenmodule betrug zwischen 0,3 und 1 m². Die Lamellen wurden im Gegenstrom betrieben.

Die Untersuchungen wurden an vier verschiedenen Standorten durchgeführt, die unterschiedliche Abwasserbeschaffenheit und unterschiedliche Kanalnetzlängen aufwiesen. Durch die Flockung der Abwasserinhaltsstoffe konnten extrem hohe Absetzgeschwindigkeiten erreicht und Oberflächenbeschickungen von über 100 m/h realisiert werden. Die durchschnittliche Eliminationsleistung betrug zwischen 88,0 und 90,8 % für Schwebstoffe bzw. 37,0 und 75,1 % für den CSB (Tabelle 2.2). [DELPORTE et al., 1995]

Tabelle 2.2: Durchschnittliche Eliminationsraten der Schwebstoffe und des CSB in den halbtechnischen Versuchen

	Durchschnittliche Eliminationsraten [%]	
	Schwebstoffe	CSB
- Langes Kanalisationsnetz - Abwasser mit geringem industriellen Anteil	90,8	75,1

- Langes Kanalisationsnetz - Abwasser mit hohem industriellen Anteil	85,9	54,3
- Kurzes Kanalisationsnetz - Abwasser mit hohem industriellen Anteil	88,3	63,0
- Reines Regenwasser	88,0	37,0

Großtechnisch wird ein Verfahren der Firma Degrémont zur Mischwasserbehandlung beispielsweise in Toledo, Ohio, eingesetzt [HENDERSON, 2007].

2.4. Regenüberlaufbecken Kläranlage Aachen-Soers

Mit dem Ziel, die Wirkung von Lamellenabscheidern bei der Mischwasserbehandlung näher zu untersuchen und Bemessungskriterien für die Gestaltung von mit Lamellenabscheidern ausgerüsteten kleineren Regenüberlaufbecken aufstellen zu können, wurden in einem RÜB auf der Kläranlage Aachen-Soers labor- und halbtechnische Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen der Untersuchungen kamen technische Lamellenmodule mit unterschiedlichen Baugrößen und Spezifikationen (Labortechnik: ca. 31 m³, Halbtechnik: ca. 1.200 m³) zum Einsatz. [DOHMANN et al. 2003]

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden in einem von drei parallel geschalteten RÜB an der Überfallkante in Fließrichtung fünf Leitwände eingebaut, um hydraulisch und stofflich vier gleich beschickte Segmente zu erhalten. In drei Kammern wurden Lamellenabscheider unterschiedlicher Bauform im Gegenstrom installiert (vgl. Tabelle 2.3), eine weitere Kammer diente als Referenzkammer. [DOHMANN et al. 2003]

Tabelle 2.3: Lamellenarten für die Voruntersuchungen [DOHMANN et al., 2003]

Bezeichnung des Lamellenabscheiders	Abstand der Absetzflächen	Neigungswinkel	m ² proj. Absetzfläche/m ³ Bauvolumen
FS 41.50	44 mm	60°	11
FS 41.80	80 mm	60°	6,25
FS 41.80	80 mm	55°	7

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen zeigten, dass die Lamellenabscheider im Bereich von 3 - 5 m/h Oberflächenbeschickung, je nach Lamellenpaketvariante sogar bis 5 - 7 m/h, gleiche oder zum Teil sogar bessere Ablaufwerte aufweisen als konventionelle RÜB. Da sich die Lamellen mit einer Neigung von 60° und einem Plattenabstand von

80 mm als besonders geeignet erwiesen haben, wurde dieser Lamellentyp in der nächsten Versuchsphase großflächig in 1/6 der Beckenoberfläche der letzten Kammer des RÜB installiert (Bild 2.4). Dabei wurde die projizierte Absetzfläche des Lamellenabscheiders mit 1.200 m² gleich der Absetzfläche des benachbarten Referenzbeckens gewählt. [DOHMANN et al. 2003]



Bild 2.4: Installation der Versuchsanlage in dem zu untersuchenden Regenüberlaufbecken [DOHMANN et al., 2003]

In den halbtechnischen Versuchen konnten die Ergebnisse der Voruntersuchungen weitgehend bestätigt werden: bis zu einer Oberflächenbeschickung der Lamellen ≤ 4 m/h (entsprechend einer Beckenoberflächenbeschickung von ca. 20 - 25 m/h) weisen diese gleiche oder bessere Ablaufwerte (Tabelle 2.4), bei einer Oberflächenbeschickung ≤ 5 m/h (entsprechend einer Beckenoberflächenbeschickung von ca. 25 - 30 m/h) in etwa gleiche Ablaufwerte wie konventionelle Regenüberlaufbecken mit Beckenbeschickungen ≤ 10 m/h auf. Bei Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich der mit Lamellen ausgerüstete Bereich im hinteren Bereich des RÜB befand. Dem entsprechend passierte das den Lamellen zufließende Mischwasser schon 5/6 des RÜB (entsprechend einer Absetzfläche von 1.000 m²), so dass schon eine erhebliche Voredimentation stattfand. [DOHMANN et al. 2003]

Tabelle 2.4: Mittelwerte, Mediane und obere Quartile für Ereignisse $q_{A,Lamelle} \leq 4 \text{ m/h}$, $q_{A,Becken} 4 - 10 \text{ m/h}$ [DOHMANN et al, 2003]

		Zulauf Becken	Zulauf Lamellen	Ablauf Lamellen	Ablauf Referenz- becken	Verhältnis Ablauf Lamelle / Ablauf Referenzbecken
$q_A \text{ [m/h]}$	Mittelwert		4,7	3,6	3,7	0,97
	Median		4,4	3,8	4,3	0,88
	3. Quartil		4,7	3,9	4,4	0,89
AFS [mg/l]	Mittelwert	161	118	93	122	0,76
	Median	149	129	97	112	0,87
	3. Quartil	205	140	102	132	0,77
CSB _{homogenisiert} [mg/l]	Mittelwert	151	114	101	140	0,72
	Median	152	115	104	120	0,87
	3. Quartil	205	139	114	169	0,68

Bedingungen: Zulauf Lamellen $q_A \geq 4 \text{ m/h}$ und Ablauf Lamellen $q_A \leq 4 \text{ m/h}$

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass sich durch die Installation bzw. Nachrüstung von Lamellenabscheidern in RÜB gegenüber konventionellen Becken wesentlich höhere Beckenoberflächenbeschickungen und damit Beschickungen oder entsprechend kleinere Becken bei gleicher Sedimentationswirkung realisieren lassen. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden verschiedene Varianten für die Gestaltung von RÜB mit Lamellenabscheidern im Hinblick auf aufzuwendende Investitionen betrachtet. Je nach Anwendungsfall lassen sich durch den Einsatz der Lamellentechnologie um bis zu 30 % geringere Annuitäten erreichen. Die zu erzielenden wirtschaftlichen Vorteile sind jedoch stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. [DOHMANN et al., 2003]

2.5. Regenüberlaufbecken Göbrichen

Auf der stillgelegten Kläranlage Göbrichen wurde eine notwendige Vergrößerung des Beckenvolumens des bestehenden Regenüberlaufbeckens durch die Einbindung des ehemaligen Belebungsbeckens und des Nachklärbeckens realisiert.

Das ursprüngliche Regenüberlaufbecken wird als Fangbecken im Nebenschluss betrieben und bei Regenwetterabfluss zuerst beschickt (Bild 2.5). Nach Vollenfüllung bis auf Höhe der einstigen Beckenüberlaufschwelle mit Siebanlage erfolgt der Zufluss mechanisch vorgeklärten Abwassers (außer bei Zuflüssen $> 80 \text{ l/(s*ha)}$) zu den zu einem gemeinsamen Durchlaufbecken umgebauten ehemaligen Kläranlagenbecken. [GLAS und STÖRR, 2007]

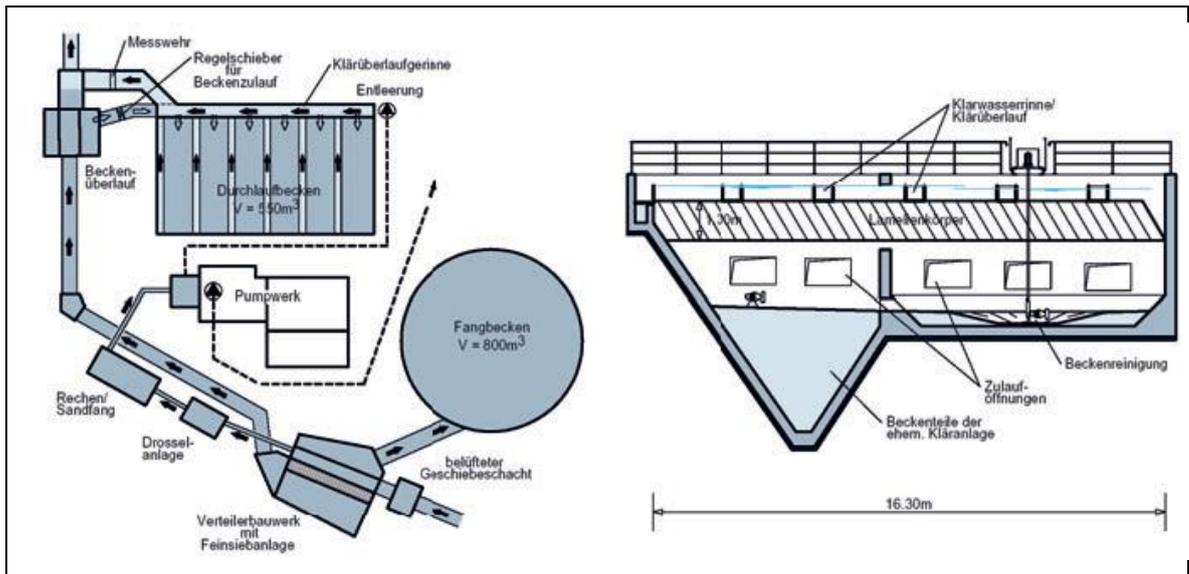


Bild 2.5: RÜB Göbrichen: Grundriss der Gesamtanlage und Schnitt durch das Durchlaufbecken [GLAS und STÖRR, 2007]

Das Durchlaufbecken wurde mit dem Ziel der Reduzierung der Oberflächenbeschickung von $q_A = 30 \text{ m/h}$ (bei konventionellem Betrieb des Beckens mit einer Grundfläche von $A = 147 \text{ m}^2$) auf $q_{A, \text{Lamelle}} = 3,9 \text{ m/h}$ mit einem Lamellenabscheider ausgestattet, woraus sich eine effektive Absetzfläche von $A_O = 1.137 \text{ m}^2$ ergibt. Die Lamellenmodule werden im Gegenstrom betrieben. [GLAS und STÖRR, 2007]

Das durch den Lamellenabscheider behandelte Mischwasser wird über sechs Ablaufrinnen in den Ablaufkanal entlastet. Stauklappen am Beckenüberlauf verhindern, dass die Lamellenabscheideranlage im Falle eines Ausfalls des vor dem Beckenzulauf angeordneten Regelschiebers in offener Stellung mit einer unzulässig hohen Wassermenge beschickt würde. [GLAS und STÖRR, 2007]

Das Durchlaufbecken sowie das Fangbecken werden nach einem Regenerignis über Pumpen entleert. In der Entleerungsphase erfolgt eine Beckenreinigung durch Umwälzaggregate. Eine Einrichtung zur automatischen Reinigung der Lamellen wurde zunächst nicht vorgesehen. [GLAS und STÖRR, 2007]

Die Planungsgrundlagen für das RÜB zeigt Tabelle 2.5.

Tabelle 2.5: Planungsgrundlagen für das RÜB Göbrichen [GLAS und STÖRR, 2007]

Parameter	Bemessung
kritischer Regenwasserabfluss ($r_{\text{krit}} = 30 \text{ l/(s*ha)}$)	$Q_{\text{rkrit}} = 1.220 \text{ l/s}$
Beckenvolumen der Durchlaufbecken	$V = 550 \text{ m}^3$
Beckengrundfläche	$A = 147 \text{ m}^2$
Effektive projizierte Absetzfläche	$A_O = 1.137 \text{ m}^2$
Oberflächenbeschickung	$q_{A,\text{Lamelle}} = 3,9 \text{ m/h}$
Abstand der Röhrenlamellen (Wabenstruktur)	80 mm
Lamellenneigung (Wabenstruktur)	60°
Spezifische projizierte Absetzfläche	$6,25 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Bauhöhe der Lamellenmodule	1,30 m

Die Anlage ist seit 2005 in Betrieb. Erste Betriebserfahrungen zeigten, dass sich der Eintrag von Laub störend auf den Betrieb auswirkte. Zudem gelangten wiederholt Vögel in den unteren Beckenbereich, die aufgrund der vollständigen Bedeckung des Beckens mit den Lamellenmodulen nicht mehr entkommen konnten und verendeten. Durch die nachträgliche Überdachung des Beckens mit einem freitragenden Zeltdach-Hallensystem konnte diesen Problemen begegnet werden. [GLAS und STÖRR, 2007]

Bezüglich der Wirksamkeit der Sedimentationsanlage konnte nach FUCHS und MAYER (2009) im Mittel ($n=20$) ein Rückhalt der AFS von 71 % bzw. 50 % für P_{ges} und 40 % für Zn ermittelt werden.

2.6. Demonstrationsanlage in Odense

In Odense (Dänemark) wurden die Potenziale der Optimierung eines sich im Zulauf zur Kläranlage befindlichen Rückhaltebeckens mit einem Volumen von $V = 7.400 \text{ m}^3$ erprobt. Dazu wurde das bestehende Becken mit acht identischen Kammern umgebaut und in zwei Becken aufgeteilt. Nach 75%iger Füllung der vier Kammern des ersten Beckens, das als Fangbecken dient, gelangt das Mischwasser in das zweite Becken mit vier parallel angeordneten Kammern, von denen zwei mit Lamellenabscheidern und eine mit einer TurboFloc-Einheit ausgestattet sind. Eine weitere Kammer ohne weitere Behandlung dient als Referenzkammer (Bild 2.6) [NIELSEN und NIELSEN, 2006; ANDERSEN et al., 2005].

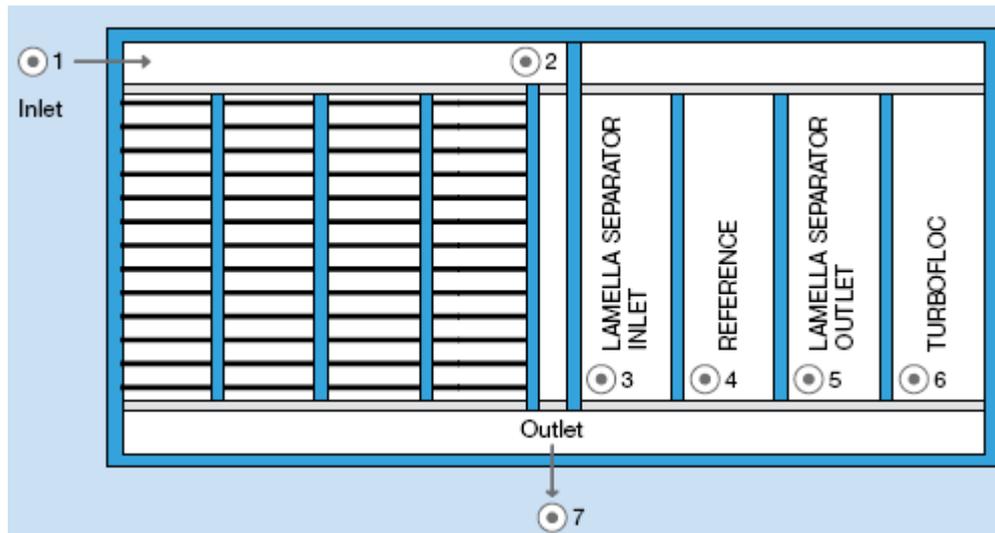


Bild 2.6: Schema der Demonstrationsanlage [JOHANSEN et al., 2010]

Die beiden im Gegenstrom betriebenen Lamellenabscheider unterscheiden sich neben ihrer Anordnung innerhalb der jeweiligen Kammer in der Anzahl der Lamellen und Volumina. Der Lamellenabscheider hinter dem Zulauf der Kammer (Bild 2.7, links) verfügt über ca. 100 Lamellen mit einem Gesamtvolumen von 44 m³. Der Lamellenabscheider vor dem Ablauf der Kammer (Bild 2.7, rechts) verfügt über ca. 140 Lamellen mit einem Gesamtvolumen von 58 m³. Der Neigungswinkel der Lamellen beträgt bei beiden Abscheidern 60°, der Lamellenabstand 45 mm. Die Oberflächenbeschickungen betragen $q_{A,Lamelle,INLET} = 6,6 \text{ m/h}$ bzw. $q_{A,Lamelle,OUTLET} = 5 \text{ m/h}$. [NIELSEN und NIELSEN, 2006]

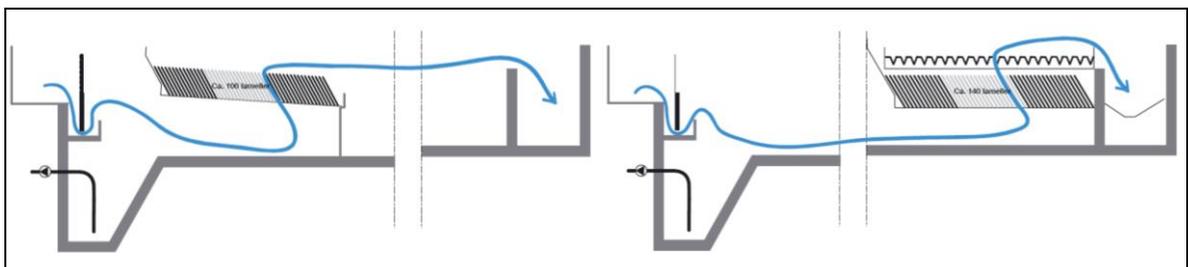


Bild 2.7: Design der Kammern mit einem Lamellenabscheider hinter dem Zulauf der Kammer (links) sowie vor dem Ablauf der Kammer (rechts) [NIELSEN und NIELSEN, 2006]

Durch den Umbau des Rückhaltebeckens konnte die Eliminationsrate für den CSB von 54 % auf 63 % gesteigert werden. Dieser Effekt ist hauptsächlich auf die hydraulische Optimierung des Rückhaltebeckens zurückzuführen. Durch die Modifikation des Beckens wird eine Resuspension der Sedimente deutlich besser vermieden als vor dem Umbau, wobei eine Beschickung der acht Kammern in Serie erfolgte. [JOHANSEN et al., 2007]

Ein Vergleich der Effektivität der getesteten Behandlungsmöglichkeiten zeigt, dass die Unterschiede in den erzielten Eliminationsraten der Schwebstoffe gering sind. Mit dem Lamellenabscheider vor dem Ablauf der Kammer konnten die Schwebstoffe am besten eliminiert werden. Durch den Einsatz des Lamellenabscheiders hinter dem Zulauf der Kammer sowie des TurboFloc-Systems konnten keine besseren Eliminationsraten der Schwebstoffe erreicht werden als in der Referenzkammer. [JOHANSEN et al., 2007]

2.7. Demonstrationsanlage in Aarhus

Im Rahmen der Umgestaltung eines bestehenden Mischwasserüberlaufs in Aarhus (Dänemark) erfolgte die zusätzliche Installation eines Lamellenabscheiders im Gleichstromverfahren.

Während des normalen Trockenwetterabflusses gelangt das Abwasser zweier Einzugsgebiete direkt über die Haltungen B334 und B335 zur „alten“ Pumpstation. Übersteigt der Wasserspiegel im Pumpensumpf während eines Regenereignisses ein definiertes Höheniveau ($Q_{ZU} \geq 20$ l/s), wird der Zufluss zur Pumpstation durch Haltung B335 unterbrochen und das Mischwasser zu einem Sammelschacht geleitet. Eine neu errichtete Pumpstation befördert bis zu 80 l/s des Mischwassers zur „alten“ Pumpstation. Das überschüssige Mischwasser gelangt über ein Überlaufwehr zum Lamellenabscheider und wird anschließend in das Oberflächengewässer eingeleitet (Bild 2.8). [KRÜGER, 2006]

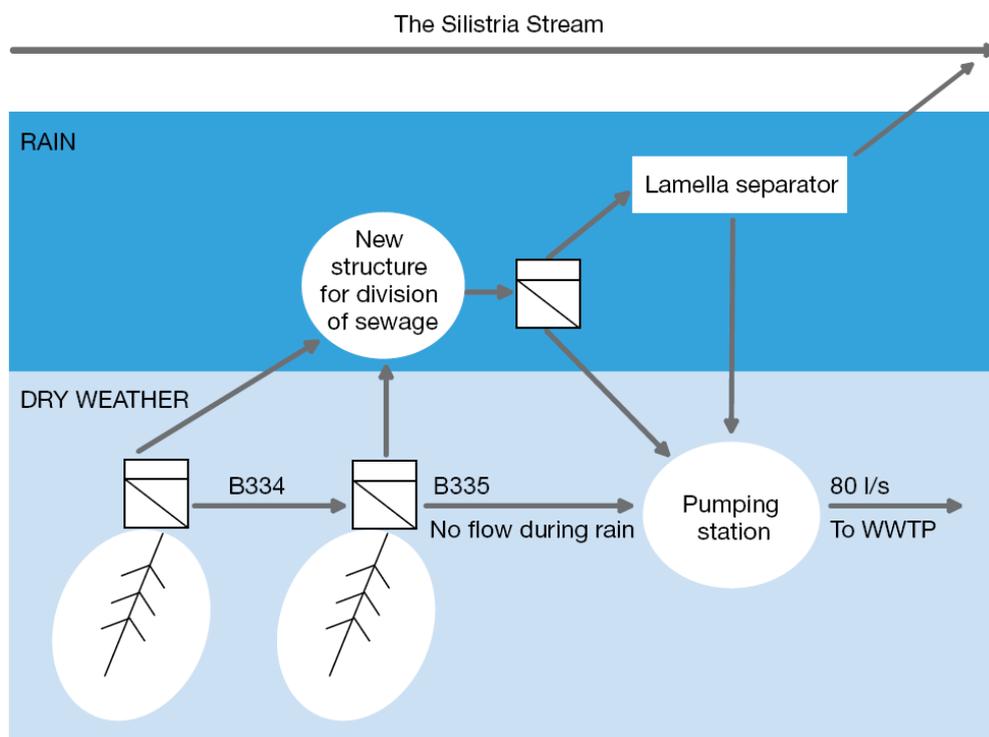


Bild 2.8: Demonstrationsanlage in Aarhus [JOHANSEN et al., 2010]

Um eine sichere Abscheidung der Partikel zu gewährleisten, muss die Oberflächenbeschickung $q_{A,Lamelle}$ kleiner sein als die Sinkgeschwindigkeit der Partikel. Aufgrund der baulichen Situation war die Größe des Lamellenabscheiders, korrespondierend mit einer Oberflächenbeschickung von $q_{A,Lamelle} = 3,2 \text{ m}^3/\text{h}$, auf 25 m^3 begrenzt. Der Neigungswinkel der Lamellen beträgt 55° , der Lamellenabstand 80 mm . Die Abreinigung der Lamellen nach einem Regenereignis erfolgt durch oberhalb der Lamellen montierte Waschdüsen. [KRÜGER, 2006]

Durch die Demonstrationsanlage in Aarhus konnte eine klare Reduktion der Menge und Konzentrationen der in den Vorfluter abgeleiteten Schmutzstoffe verzeichnet werden. Allerdings erwies sich der Lamellenabscheider aufgrund eines sehr geringen Zuflusses als nicht effizient. Zudem zeigte die neue Struktur des Mischwasserüberlaufs nur einen geringen Effekt. Aufgrund des großen Verdünnungseffektes hat sich der Lamellenabscheider als uneffizient und damit unnötig erwiesen. [JOHANSEN et al., 2007].

2.8. Regenüberlaufbecken Wiesengrund, Brühl

Auf Basis einer Literaturrecherche durch FUCHS et al. (2010) erfolgte die Zusammenstellung von Kennwerten für den optimalen Anlagenbetrieb mit Lamellenabscheidern (Tabelle 2.6). Diese beruhen auf Untersuchungen von YAO (1970), COLOMB (1976), BEACH (1972), CAMP (1946) und FISCHERSTRÖM (1955).

Tabelle 2.6: Kennwerte für den optimalen Anlagenbetrieb mit Lamellenabscheidern [FUCHS et al., 2010]

Parameter	Empfehlung
Oberflächenbeschickung	$q_A < 1 \text{ m}^3/\text{h}$
Strömungskennzahlen	$Re_{Rh} < 500, Fr_{Rh} > 10^{-5}$
Strömungsgeschwindigkeit in der Lamelle/Röhre	$v \leq 15\text{-}20 \text{ m/h}$ (bei laminarer Strömung)
Aufenthaltszeit	$t_A > 7 \text{ min}$ (bei $v \leq 15\text{-}20 \text{ m/h}$ und $h = 80 \text{ mm}$)
Neigung	$45^\circ < \Theta < 60^\circ$
Verhältnis Lamellenlänge zu Lamellenabstand	$L/h_b = 20$ optimal; darüber keine nennenswerte Steigerung des Abscheidegrads
empfohlene Störzone (zusätzlich zu Lamellen/Röhrenlänge)	$L_{Stör} = 0,058 Re$ [%] (Einhaltung einer laminar durchströmten Mindestlänge)
Lamellenabstand/Röhrendurchmesser	h_b Regenwasserbehandlung: $40 - 85 \text{ mm}$ belebter Schlamm: $80 - 100 \text{ mm}$

Während in der Literatur häufig eine Oberflächenbeschickung von $q_A < 1$ m/h empfohlen wird, empfehlen DOHMANN et al. (2003) eine Oberflächenbeschickung von $q_A < 5$ m/h. FUCHS et al. (2010) weisen darauf hin, dass sich dieser Unterschied daraus ergibt, dass Untersuchungen zur Wirksamkeit von Lamellenabscheidern vor allem in Kläranlagen durchgeführt wurden und sich die abgeleiteten Kennwerte damit häufig auf das Absetzverhalten von Belebtschlammflocken beziehen. Weiterhin zeigt die Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsabflussereignissen, dass die maximale rechnerische Oberflächenbeschickung in Großanlagen nur in einem Bruchteil der Betriebszeit erreicht wird [FUCHS et al., 2010]. Die praktischen Untersuchungen von FUCHS et al. (2010) bestätigen dies: im Fall des Regenüberlaufbeckens „Wiesengrund“ in Brühl wird die Oberflächenbeschickung von $q_A = 1$ m/h in nur 25 % der Entlastungszeit überschritten. Das Becken ist auf eine Oberflächenbeschickung von $q_{A,Max} = 3$ m/h bemessen. Aufgrund der Entwicklung des Einzugsgebietes war 2002 eine Erweiterung des seit 1988 betriebenen Durchlaufbeckens ($V = 980$ m³) diskutiert worden. Diese wurde durch einen Röhrenabscheider umgesetzt. Das Becken wurde in geschlossener Bauweise ausgeführt und wird im Nebenschluss betrieben. [FUCHS et al., 2010]

Die Kenngrößen des RÜB sind in Tabelle 2.7 dargestellt.

Tabelle 2.7: Daten des Regenüberlaufbeckens Wiesengrund [FUCHS et al., 2010]

Parameter	Bemessung
kanalisierte Einzugsgebietsfläche	$A_{E,K} = 181$ ha
undurchlässige Fläche	$A_U = 118$ ha
Beckenvolumen	$V = 980$ m ³
Flächenspezifisches Volumen	$V_{A, spez.} = 8,3$ m ³ /ha
Absetzfläche (vor Umbau/ nach Umbau)	$A_{Sed} = 285$ m ² (A_{SK}) / 1.639 m ² ($A_{proj.}$)
Kritischer Regenwasserabfluss ($r_{krit} = 12$ l/(s*ha))	$Q_{r, krit} = 1.416$ l/s
Aufenthaltszeit	$t_A = 11$ min
Q_{ein}/A_{ein} (in Lamellenpaket einströmender Volumenstrom / Eintrittsströmungsfläche)	$7,4$ m/h
L/h_b	$16,2$
Froude-Zahl	$Fr_{Rh} = 2,3 \cdot 10^{-3}$
Reynolds-Zahl	$Re_{Rh} = 41$

Bild 2.9 zeigt das System des Regenüberlaufbeckens sowie den schematischen Untersuchungsaufbau inklusive dem Beckenüberlauf (BÜ), der Drosseleinrichtung zur Kläranlage und den Klärüberlauf (KÜ).

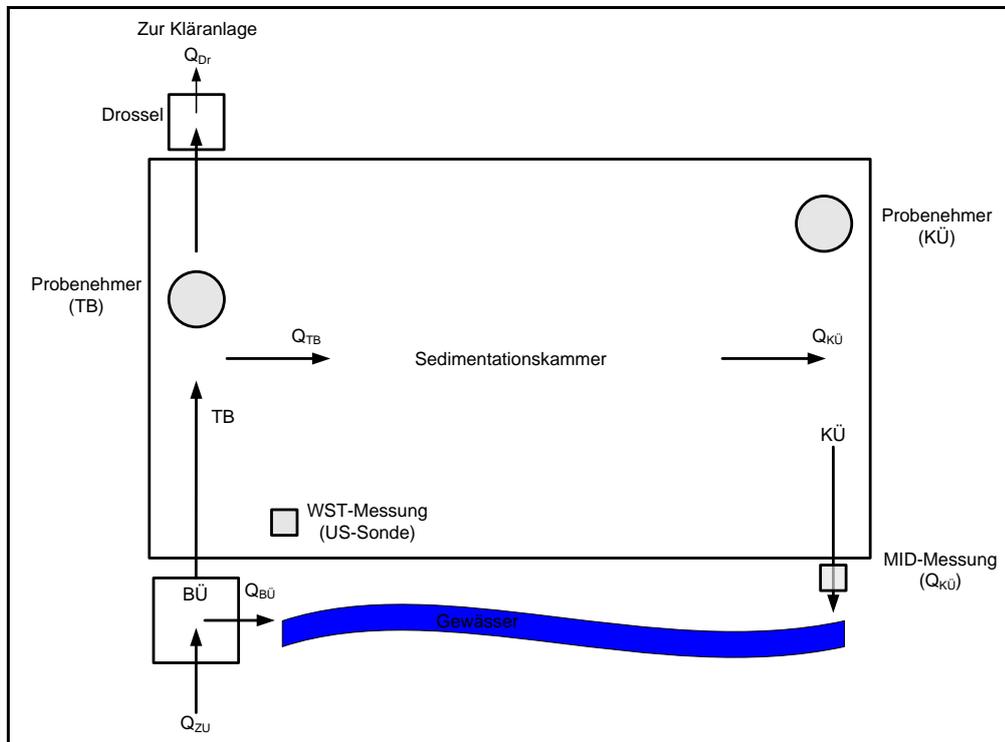


Bild 2.9: System und Untersuchungsaufbau des RÜB Brühl, modifiziert entnommen [FUCHS et al., 2010]

Nach FUCHS et al. (2010) bietet sich der Parameter AFS zur Beurteilung des Wirkungsgrades von Sedimentationsanlagen an. Um die Effektivität der Anlage bewerten zu können, wurden bereits vor dem Umbau vier Entlastungsereignisse vollständig und zusammenhängend (Becken-zulauf und Klärüberlauf) beprobt. Nach Einbau der Lamellen wurden neun Entlastungsereignisse vollständig und zusammenhängend beprobt.

Für beide Phasen wurden Wirkungsgrade hinsichtlich der Elimination der AFS ermittelt, indem die Einzelwirkungsgrade entsprechend der Höhe der bei den Ereignissen aufgetretenen Zulauffrachten bestimmt wurden. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass der rechnerische Wirkungsgrad der Sedimentationskammer nach der Ausbaumaßnahme mit 66 % um 25 Prozentpunkte über dem Wirkungsgrad liegt als bei dem Betrieb ohne Röhrenabscheider. [FUCHS et al., 2010]

3. Zusammenfassung und Betriebshinweise

Lamellenabscheider stellen für den Einsatz in Mischwasserbehandlungsanlagen ein sinnvolles Instrument dar. Durch ihren Einbau kann die effektive Absetzfläche um das fünf- bis zehnfache erhöht werden, wodurch eine notwendige Vergrößerung der effektiven Absetzfläche in Form einer Vergrößerung des Beckenvolumens umgangen werden kann. Umgekehrt kann die Oberflächenbeschickung in gleichem Maße reduziert werden und dadurch die Leistungsfähigkeit bezüglich des Feststoffrückhaltes erhöht werden. [FUCHS et al., 2000]

Die Untersuchungen in Stuttgart-Büsnau von KRAUTH und BONDAREVA (2000) zeigten, dass bei der Fällung und Flockung in Durchlaufbecken ohne den Einsatz eines Lamellenabscheiders vor allem im Bereich hoher Oberflächenbeschickungen nur ein unzureichender Feststoffrückhalt erreicht wird. Bei einer Oberflächenbeschickung von $q_A = 10 \text{ m/h}$ wurde während der Überlaufdauer etwa 90 % der Feststofffracht über den Klärüberlauf ausgetragen. Durch den Einbau der Lamellen konnte eine erhebliche Verbesserung des Frachtrückhaltes erreicht werden. Empfohlen wird eine Abscheiderfläche, die dem 2 bis 4,5-fachen der Beckengrundfläche entspricht. Bezogen auf eine Oberflächenbeschickung des Beckens von 10 m/h ohne Ausrüstung mit einem Lamellenabscheider liegt die Bemessungsgeschwindigkeit der Lamelle in diesem Fall in einem Bereich zwischen 2,2 – 5,0 m/h.

Für den Einsatz von Lamellenabscheidern in Durchlaufbecken werden durch KRAUTH und BONDAREVA (2000) Lamellen mit einem Abstand von 50 bis 80 mm und einem Neigungswinkel von 55 bis 60° empfohlen. Im halbtechnischen Betrieb traten bei Lamellenabscheidern dieser Dimensionen weder Verstopfungen noch ein schlechter Schlammabrutsch ein. Nach einem starken Regenereignis wird eine Sichtprüfung empfohlen, um zu kontrollieren, ob Störungen aufgetreten sind oder sich Schwimmschlamm gebildet hat. KRAUTH und BONDAREVA (2000) gehen davon aus, dass Lamellenabscheider einmal je Halbjahr gereinigt werden sollten. Dazu sollte das geleerte Becken in Neigungsrichtung der Lamellen abgespritzt werden, um auch die tiefer liegenden Sektoren zu reinigen. Anschließend sind die Verunreinigungen aus dem Becken zu entsorgen. Die Reinigungsdauer wird mit zwei Stunden Arbeitszeit je 100 m² Beckenfläche eingeschätzt. Eine chemische Reinigung der Lamellen ist in der Regel nicht nötig. [KRAUTH und BONDAREVA, 2000]

Im Falle des RÜBs in Göbrichen konnte die Oberflächenbeschickung durch Installation eines Lamellenabscheiders (Lamellenabstand 80 mm, Lamellenneigung 60°) von $q_A = 30 \text{ m/h}$ auf $q_{A, \text{Lamelle}} = 3,9 \text{ m/h}$ reduziert und eine effektive Absetzfläche von $A_O = 1.137 \text{ m}^2$ erreicht werden. Es zeigte sich, dass die offene Bauweise des Lamellenabscheiders durch den Eintrag von Laub zu Betriebsproblemen führte. Des Weiteren wurde

über das Eindringen von Vögeln in den Lamellenabscheider berichtet, die nicht mehr entkommen konnten. Mit einer Überdachung konnte diesen Problemen begegnet werden [GLAS und STÖRR, 2007]. Bei geplanter offener Bauweise wird daher empfohlen, schon in der Planungsphase Vorrichtungen für eine potentielle nachträgliche Überdachung zu bedenken, um, wenn nötig, diese kostengünstig nachzurüsten. Es bleibt anzumerken, dass durch eine Überdachung die Vorteile der Abreinigung der Lamellen durch natürlichen Regen ausbleiben. Daher ist spätestens dann eine Sprüheinrichtung vorzusehen, die nach einem Einstauereignis anspringt und die noch feuchten Lamellen abreinigt. Bei offenen Becken ist nach DOHMANN et al. (2003) eine automatische Reinigung nur erforderlich, wenn die Lamellen nicht mindestens jährlich gereinigt werden. Im Falle des RÜB der Kläranlage Aachen-Soers erfolgte eine hinreichende Abreinigung der Lamellen durch natürlichen Regen. Je nach Mischwasserzusammensetzung kann sich diese Form der Abreinigung allerdings als nicht ausreichend erweisen [DOHMANN et al., 2003].

Das Problem der Eisbildung, das sich während einer lang anhaltenden Frostphase an einem Regenklärbecken (RKB) in Pforzheim ergeben hat, soll aufgrund der Übertragbarkeit zum RÜB nicht unerwähnt bleiben. Es sollte sichergestellt werden, dass die Lamellenmodule vor einwachsendem Eis geschützt werden. Im Falle des RKBs in Pforzheim ist die Sedimentationskammer des RKBs vollständig mit Gitterrosten abgedeckt, die temporär abgedeckt werden können, um Eisbildung zu vermeiden. [GLAS und STÖRR, 2007]

Die innerhalb der beschriebenen Demonstrationsanlagen in Dänemark (Odense und Aarhus) eingesetzten Lamellenabscheider unterscheiden sich u. a. durch die gewählten Neigungswinkel der Lamellen. Nach NIELSEN und NIELSEN (2006) wurden die Lamellen der beiden Lamellenabscheider innerhalb der Anlage in Odense mit einer Neigung von 60° verbaut mit der Annahme, dass bei diesem Neigungswinkel eine ausreichende Selbstreinigung der Lamellen stattfindet. Der Lamellenabstand betrug bei beiden 45 mm. Die Lamellen des Lamellenabscheiders in Aarhus wurden mit einem Abstand von 80 mm verbaut. Es wurde ein Neigungswinkel der Lamellen von 55° gewählt; die Abreinigung der Lamellen erfolgt nach einem Regenereignis über eine Sprüheinrichtung, die mit dem erzeugten Klarwasser betrieben wird [KRÜGER, 2006].

Es liegen nur wenige Aussagen bezüglich Empfehlungen einzuhaltender Oberflächenbeschickungen in Regenüberlaufbecken mit Lamellenabscheidern vor. Nach DOHMANN et al. (2003) sollte eine Oberflächenbeschickung von $q_A = 5 \text{ m/h}$ nicht überschritten werden. FUCHS et al. (2010) merken an, dass die maximale rechnerische Oberflächenbeschickung in großtechnischen Anlagen nur in einem Bruchteil der Betriebszeit erreicht wird. Die Untersuchungen am Regenüberlaufbecken in Brühl, das auf eine Oberflächenbeschickung von $q_{A,MAX} = 3 \text{ m/h}$ bemessen wurde, ergaben, dass eine Oberflächenbeschickung von $q_A = 1 \text{ m/h}$ in nur 25 % der Fälle überschritten wurde.

Eine Aufstellung der beschriebenen Versuchsanlagen mit den entsprechenden Oberflächenbeschickungen sowie sich aus den Erfahrungswerten ergebende Empfehlungen für die Oberflächenbeschickung zeigt Tabelle 3.1. Es wurden nur Anlagen ohne Chemikaliendosierung berücksichtigt, da auch im Falle des RÜBs in Homberg-Hakenfeld keine Chemikaliendosierung vorgesehen ist.

Tabelle 3.1: Kennwerte betrachteter Anlagen mit Lamellenabscheidern

Standort	Betriebsweise	Neigung [°]	Abstand [mm]	$q_{A,Lamelle}$ Bemessung/ Versuchsspanne [m/h]	$q_{A,Lamelle}$ Bemessungs-empfehlung [m/h]
Aachen-Soers (RÜB)	Gegenstrom	60	44	0-11	< 4,0 - 5,0
	Gegenstrom	60	80	0-15	
	Gegenstrom	55	80	0-13	
Göbrichen	Gegenstrom	60	80	3,9	-
Odense	Gegenstrom	60	45	6,6	-
	Gegenstrom	60	45	5,0	-
Aarhus	Gleichstrom	55	80	3,2	-
Brühl	Gegenstrom	-	-	3	1,0 – 3,0

Übereinstimmend nennen alle betrachteten Studien als Bemessungswert für die Lamellenoberfläche eine Oberflächenbeschickung kleiner 4,0 – 5,0 m/h bzw. kleiner als 3,0 m/h. Die umgesetzten Versuchsanlagen wurden ebenfalls in diesem Wertebereich betrieben, so dass eine Oberflächenbeschickung < 4,0 m/h auch für die Bemessung des Lamellenabscheiders in Homberg-Hakenfeld empfohlen werden kann. Um Verstopfungen des Lamellenabscheiders zu vermeiden und eine größtmögliche Betriebssicherheit zu gewährleisten, sollte ein Lamellenabstand von 80 mm bei einer Lamellenneigung von 55 – 60° eingehalten werden.

4. Literaturverzeichnis

Andersen, N. K.; Hallager, P.; Laustsen, A.; Nielsen, J. B.; Kristensen, N. T. D.; Nordemann, P.; Rauch, W.; Nielsen, G. G.; Arnbjerg-Nielsen, K. (2005): Full scale testing of enhanced local treatment of CSOs enabling a cost-efficient implementation of the EU Water Framework Directive, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 21-26, 2005, online verfügbar unter:

http://www.cowiprojects.dk/lotwater/nyheder/10icud_Andersen_etal_LOTWATER_paper_050212_76.PDF. Zugriff am 19.10.2010.

Beach, W. A. (1972): Fundamentals of tube settler design, Proceedings of the 27th Industrial Waste Conference, Purdue University, 1972, S. 68-79.

Buer, T. und Dorgeloh, E. (1999): Leistungsverbesserung von Nachklärbecken durch Kreuzstromabscheider in der Einlaufzone. GWF-Abwasser-Special 1999 (15), S.46-48.

Brombach, H. und Fuchs, S. (2001): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwasserabflüssen in Misch- und Trennkansalisationen, Abschlussbericht des Projektes 1-01 des ATV-DVWK-Forschungsfonds 2001, Januar 2002.

Camp, T. R. (1946): Sedimentation and the design of settling tanks, Am. Soc. of Civil Eng., 1946, 111, S. 937-957.

Colomb, P. (1976): Lamella-Absetzbecken, gwa Gas - Wasser - Abwasser, 1976, 56 (1), S. 43-46.

Delporte, C.; Pujol, R. und Vion, P. (1995): Optimized lamellae settling for urban stormwater waste. Water Science and Technology, Volume 32, No 1, S. 127–136.

Dohmann, M.; Buer, T.; Stepkes, H.; Krisam, J.; Arndt, D. (2003): Einsatz von Lamellenabscheidern in Mischwasserbehandlungsanlagen. Schlussbericht zu dem vom BMBF geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.

Fischerström, C. N. H. (1955): Sedimentation in rectangular basins. San. Eng. Div., 1955, 81 (687), S. 1-29.

Fuchs, S. und Mayer, I. (2009): Schrägklärer in der Regenwasserbehandlung – Wirksamkeit und betriebliche Randbedingungen. Vortrag auf den 9. Regenwassertagen, 08.-09.06.2010 in Bremen, online verfügbar unter:

[http://regenwassertage.dwa.de/portale/regenwassertage/regenwassertage.nsf/C125724A004A7447/F28C1A3288691EA2C12577540054FD79/\\$FILE/PP_Fuchs.pdf](http://regenwassertage.dwa.de/portale/regenwassertage/regenwassertage.nsf/C125724A004A7447/F28C1A3288691EA2C12577540054FD79/$FILE/PP_Fuchs.pdf). Zugriff am 19.10.2010.

Fuchs, S.; Mayer, I.; Haller, B.; Roth, H. (2010): Einsatz von Schrägklärern in der Regenwasserbehandlung. KA Abwasser, Abfall 2010 (57) Nr. 11, S. 1109-1117.

Glas, M. und Störr, H. (2007): Lamellenabscheider bei der Regenwasserbehandlung. Planung, Bau und erste Betriebserfahrungen. KA Abwasser, Abfall 2007 (54) Nr. 5.

Henderson, S. K. (2007): A Compact Solution for CSO Treatment. Water & Wastes Digest, August 2007, Volume 47, Number: 8, online verfügbar unter:

<http://www.roadsbridges.com/articles/compactsolutionforcso.pdf>. Zugriff am 03.11.2010.

Johansen, N. B.; Hallager, P.; Laustsen, A.; Nielsen, J. B.; Kristensen, N. T. D.; Nordemann, P.; Nielsen, G. G.; Arnbjerg-Nielsen, K. (2007): Enhanced local treatment of combined sewer overflows enabling the implementation of the Water Framework Directive. online verfügbar unter:

http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/25544/0689_059johansen.pdf?sequence=1. Zugriff am 19.10.2010.

Johansen, N. B.; Nielsen, J. B.; Hallager, P.; Kristensen, N. T. D.; Laustsen, A.; Nordemann, P.; Arnbjerg, K. (2010): Innovative technologies for local treatment of combined sewage. online verfügbar unter:

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=laymanReport&fil=LIFE03_ENV_DK_000053_LAYMAN.pdf. Zugriff am 19.10.2010.

Krauth, K. H.; Bondareva, O. (2000): Anwendung von Flockungsverfahren bei der Regenwasserbehandlung. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart, online verfügbar unter:

<http://bwplus.fzk.de/berichte/SBer/PA97189SBer.pdf>. Zugriff am 02.11.2010.

Krüger, O. S. (2006): Design of demonstration facility in Aarhus - Installation of lamella separator at small existing combined sewer overflow (CSO). online verfügbar unter:

http://www.cowiprojects.dk/lotwater/pdf/design_notat_Aarhus_Eng_final.pdf. Zugriff am 19.10.2010.

Nielsen, P. und Nielsen, G. G. (2006): Design of demonstration facility in Odense - Optimization of CSO detention basin at Ejby Mølle WWTP, online verfügbar unter:

http://www.cowiprojects.dk/lotwater/pdf/design_notat_Odense_final_Eng.pdf. Zugriff am 19.10.2010.

N.N. (1998): Informationsbroschüre zum DensaDeg®-Verfahren der Fa. Degremont, Cedex, Frankreich.

Pecher (1997): Optimierung des Stoffrückhaltes in Stauraumkanälen, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen GWA, 1997, Bd. 161.

Schönberger, D.; Köhne, M.; Plaß, R.; Sekoulov, I.; Schröder, R.; Schieberr, M. (2001): Einsatz von Lamellenpaketen im Belebungsbecken zur Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes. Korrespondenz Abwasser 2001 (48) Nr. 1, S. 54-68.

Yao, K. M. (1970): Theoretical study of high rate sedimentation, Jour. Water Pollution Control Fed., 1970, 42 (2), S. 218-228.

Bericht

zur

„Messkampagne RÜB Homberg-Hakenfeld“

für die

Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft

Aachen, im August 2015

i.V. Dr.-Ing. R. Haußmann
(Akademische Direktorin)

Inhalt

Inhalt.....	II
Verzeichnis der Abbildungen	III
Verzeichnis der Tabellen	IV
1 Einführung	1
1.1 Hintergrund der Untersuchungen.....	1
1.2 Aufgabenstellung, Ziele und zeitlicher Ablauf.....	1
2 Material und Methoden	3
2.1 Rahmenbedingungen am Standort Homberg-Hakenfeld.....	3
2.2 Durchführung und Auswertung der Messkampagne	5
3 Darstellung der Ergebnisse.....	8
3.1 Zulaufqualität des zu behandelnden Mischwassers	8
3.2 Ereignisübersicht.....	11
3.2.1 Niederschlagsereignisse in der 1. Phase (09/2010-06/2012).....	11
3.2.2 Niederschlagsereignisse in der 2. Phase (07/2012-01/2015).....	12
3.3 Auswertung der Zu- und Ablaufqualität	14
3.3.1 Zu- und Ablaufqualität während der 1. Phase	14
3.3.2 Zu- und Ablaufqualität während der der 2. Phase	16
3.3.3 Gesamtbetrachtung der Leistung von RÜB II.....	18
3.4 Auswertung von Oberflächenbeschickung und Frachten	21
4 Zusammenfassung und Fazit.....	24
5 Literatur	27

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Übersicht des Standortes Homberg-Hakenfeld [LINEG, 2010]	3
Abbildung 2: Lamellenabscheider in RÜB II	5
Abbildung 3: Standorte der Probenehmer am Standort Homberg-Hakenfeld [Google Maps, 2014]	6
Abbildung 4: Vergleichende Darstellung des Verlaufs der AFS- und AS10-Konzentration im Zulauf in Phase 1	9
Abbildung 5: Vergleichende Darstellung des Verlaufs der AS30- und AS120-Konzentration im Zulauf in Phase 1	9
Abbildung 6: Vergleichende Darstellung des Verlaufs des GV und des CSB im Zulauf in Phase 1	9
Abbildung 7: Zulaufqualität über den gesamten Messzeitraum	10
Abbildung 8: CSB in Abhängigkeit des AFS im Zulauf über den gesamten Messzeitraum	11
Abbildung 9: Auswertung aller Analysen der AFS in Phase 1	15
Abbildung 10: Auswertung aller Analysen des CSB in Phase 1	15
Abbildung 11: Auswertung aller Analysen der AS120 in Phase 1	15
Abbildung 12: Auswertung aller Analysen der AFS in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II	17
Abbildung 13: Auswertung aller Analysen des CSB in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II	17
Abbildung 14: Auswertung aller Analysen der AS120 in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II	18
Abbildung 15: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – AFS	19
Abbildung 16: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – CSB	19
Abbildung 17: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – AS120	19
Abbildung 18: Verlauf aller Zu- und Ablaufwerte des RÜB II in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders	20
Abbildung 19: Vergleich der Ablaufwerte von RÜB II in Phase 1 und 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders	21

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Vergleich der beiden RÜB am Standort Homberg-Hakenfeld [Hydro-Ingenieure, 2010].....	4
Tabelle 2: Eigenschaften der im RÜB II verbauten Lamellenpakete [Hydro-Ingenieure, 2010].....	4
Tabelle 3: Probenübersicht der ersten Phase	11
Tabelle 4: Probenübersicht der zweiten Phase	12
Tabelle 5: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des AFS in RÜB I.....	22
Tabelle 6: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des CSB in RÜB I	22
Tabelle 7: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des AFS in RÜB II.....	23
Tabelle 8: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des CSB in RÜB II	23

1 Einführung

1.1 Hintergrund der Untersuchungen

Die Linksrheinische Entwässerungs-Genossenschaft LINEG betreibt in Duisburg am Standort Homberg-Hakenfeld die Abwasserpumpanlage Homberg sowie die Vorflutpumpanlage Hakenfeld. Die zur Abwasserpumpanlage gehörige Mischwasserbehandlung umfasst zwei Regenüberlaufbecken (RÜB I und RÜB II), welche unabhängig voneinander zwei im Stadtteil Homberg gelegene Einzugsgebiete bedienen. Nach einer Überprüfung der Größe der Einzugsgebiete wurde eine Neuberechnung des Nachweises der Mischwasserbehandlung notwendig. Dabei konnte der Nachweis über die zulässige Oberflächenbeschickung von 10 m/h für das RÜB II nicht erfüllt werden. Nach einer Variantenbetrachtung erfolgte daher im Jahr 2010 die Planung für eine Ertüchtigung des RÜB II mittels eines Lamellenabscheiders.

Die Auslegung des Lamellenabscheiders orientierte sich unter anderem an einer vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen erstellten Literaturstudie über die Bemessung und Nutzung von Lamellenabscheidern in der Mischwasserbehandlung. Demnach wird für die Bemessung von Lamellenabscheidern in Regenüberlaufbecken eine Oberflächenbeschickung von maximal 3 bis 5 m/h empfohlen. Der Lamellenabscheider in Homberg-Hakenfeld wurde daraufhin mit einer Oberflächenbeschickung von 2,66 m/h bemessen und realisiert.

1.2 Aufgabenstellung, Ziele und zeitlicher Ablauf

Im Rahmen der Umrüstung wurde das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen beauftragt, eine Messkampagne in Homberg-Hakenfeld durchzuführen. Ziel dieser Messkampagne ist der Nachweis der Leistungsfähigkeit des Lamellenabscheiders bzw. der Veränderung der Absetzwirkung des RÜB II. Dazu musste im Vorfeld die Leistungsfähigkeit des Beckens ohne Lamellenabscheider erfasst werden. Zeitgleich wurden in RÜB I und RÜB II Messungen der Zu- und Ablaufqualität durchgeführt, um zu klären, ob das RÜB I nach Einbau des Lamellenabscheiders als Referenzbecken herangezogen werden kann.

Die Messkampagnen waren für einen Zeitraum von jeweils sechs Monaten vor (Phase 1) und nach (Phase 2) dem Einbau des Lamellenabscheiders mit der Beprobung von bis zu zehn Mischwasserüberlaufereignissen geplant. Der Einbau und die Installation der Messtechnik erfolgten im September 2010. Aufgrund einer Verzögerung beim Bau des Lamellenabscheiders verlängerte sich der Zeitraum der ersten Phase bis Anfang 2012. Trotzdem konnten aufgrund von betrieblichen und organisatorischen Problemen keine zehn Überlaufereignisse aufgezeichnet werden. Nach Einbau des Lamellenabscheiders im ersten

Halbjahr 2012 wurden die Probenehmer für die zweite Phase im Juli 2012 wieder in Betrieb genommen. Die Messkampagne wurde im Januar 2015 beendet.

Eine Besonderheit bei der Probenahme stellte der mehrfache, mehrere Monate andauernde Einstau der Becken dar. Dieser ist notwendig, da die örtliche Nähe der Becken zum Rhein sowie ihre bauliche Ausführung zu einem Auftriebsrisiko der Becken bei Anstieg des mit dem Rheinpegel variierenden Grundwasserspiegels führen.

2 Material und Methoden

2.1 Rahmenbedingungen am Standort Homberg-Hakenfeld

Am Standort Homberg-Hakenfeld betreibt die Linksrheinische Entwässerungs-Genossenschaft die Vorflutpumpanlage Hakenfeld und die Abwasserpumpanlage Homberg einschließlich der Mischwasserbehandlung in Form der RÜB I und II. Die in Abbildung 1 dargestellte Übersicht des Geländes zeigt in brauner Farbe die zur Mischwasserbehandlung gehörigen Anlagen.

Beide am Standort vorhandenen Regenüberlaufbecken sind als Durchlaufbecken im Nebenschluss angeordnet und werden über ein Trennbauwerk beschickt. Das über den Klärüberlauf entlastete Mischwasser wird der Vorflutpumpanlage zugeführt. Der Drosselvolumenstrom wird mittels der Abwasserpumpanlage zur Kläranlage Moers-Gerdts gefördert.

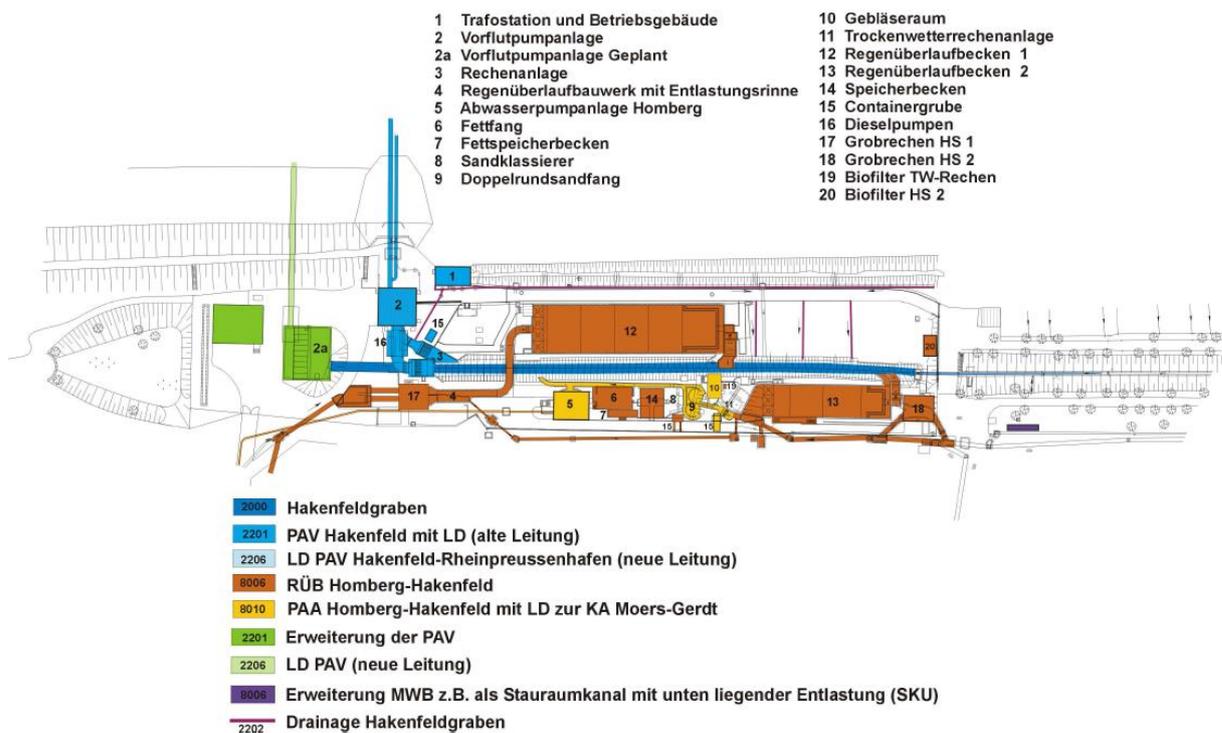


Abbildung 1: Übersicht des Standortes Homberg-Hakenfeld [LINEG, 2010]

Das westlich gelegene RÜB I hat ein befestigtes Einzugsgebiet mit einer Fläche von 72,99 ha und ist mit einem Volumen von 2.512 m³ und einer Oberfläche von 847 m² das größere der beiden Regenüberlaufbecken. Der Zufluss in das RÜB I erfolgt mittels des Haupttransportsammlers 1, welcher den südwestlichen und nördlichen Bereich des Einzugsgebietes der Gesamtanlage entwässert. Im Vergleich zu RÜB I bedient das RÜB II ein wesentlich größeres Einzugsgebiet mit einer befestigten Fläche von 132,35 ha. Mit einem

Volumen von 1.310 m^3 ist es dennoch das Kleinere der beiden RÜB. Der Zufluss in das RÜB II erfolgt über Haupttransportsammler 2 aus südöstlicher Richtung des Einzugsgebietes. [Hydro-Ingenieure, 2010] Weitere vergleichende Informationen zu RÜB I und RÜB II sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Vergleich der beiden RÜB am Standort Homberg-Hakenfeld [Hydro-Ingenieure, 2010]

	RÜB I	RÜB II
Befestigtes Einzugsgebiet A_U [ha]	72,99 ha	132,35 ha
Einwohnerwert	9.994 E	20.981 E
Beckenvolumen V	2.512 m^3	1.310 m^3
Beckenoberfläche A	847 m^2	433 m^2
$Q_{R,krit=15l/(s \cdot xha)}$	$1,09 \text{ m}^3/\text{s}$	$1,99 \text{ m}^3/\text{s}$
Oberflächenbeschickung q_A	4,63 m/h	16,5 m/h
Horizontale Fließgeschwindigkeit v	0,029 m/s	0,066 m/s
Vorhandene Entlastungsrate $e_{0,vorh}$	25,05 %	44,90 %
Zulässige Entlastungsrate $e_{0,zul}$	52,44 %	

Vor Einbau der Lamellen betrug die Oberfläche von RÜB II 433 m^2 , was nach einer Aktualisierung der Größe des Einzugsgebietes einer Bemessungsoberflächenbeschickung von 16,5 m/h entsprach. Mittels der im Anschluss an die erste Phase verbauten Lamellen mit einer Fläche von 2.700 m^2 , konnte die Bemessungsoberflächenbeschickung auf 2,66 m/h verringert werden. Bei den verbauten Lamellen handelt es sich um Lamellenpakete der Firma GEA 2H Water Technologies GmbH mit den in Tabelle 2 aufgeführten Eigenschaften. Das RÜB II nach Einbau der Lamellen ist in Abbildung 2 zu sehen.

Tabelle 2: Eigenschaften der im RÜB II verbauten Lamellenpakete [Hydro-Ingenieure, 2010]

Parameter	Wert
Neigungswinkel	60°
Lamellenabstand	80 mm
Spez. Absetzfläche bei 60°	$11 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Lamellentyp	Tube deck FS 41.50
Aufbauhöhe der Lamellen	1,0 m



Abbildung 2: Lamellenabscheider in RÜB II

2.2 Durchführung und Auswertung der Messkampagne

Für die Durchführung der Messkampagne wurden am RÜB I und am RÜB II je zwei automatische Probenehmerschränke betrieben, die über einen Zeitraum von 3 Stunden im Mischwasserfall jeweils 15-Minuten-Mischproben nehmen. Auf diese Weise ergaben sich bei einem Mischwasserereignis bis zu $4 \times 12 = 48$ Proben. Die Probenehmerschränke waren am Zulauf sowie am Klärüberlauf des jeweiligen Regenüberlaufbeckens angeordnet (siehe auch Abbildung 3).

Bei allen Probenehmern handelte es sich um stationäre Vakuumprobenehmer. Die Probenehmer 1, 2 und 4 stammen von WaterSam, Typ WS 316; Probenehmer 3 ist ein Fabrikat der MAXX Mess- und Probenahmetechnik GmbH, Typ Maxx SP III. Der Leistungsumfang der Probenehmer ist für beide Modelle ähnlich; die Programmierung erfolgte analog. Aufgrund von Problemen mit Probenehmer 1 wurde im Rahmen der zweiten Phase der Messkampagne ein Austausch dieses Probenehmers gegen ein Modell der Firma IBUK vorgenommen. Hiermit wurde das letzte Ereignis beprobt.

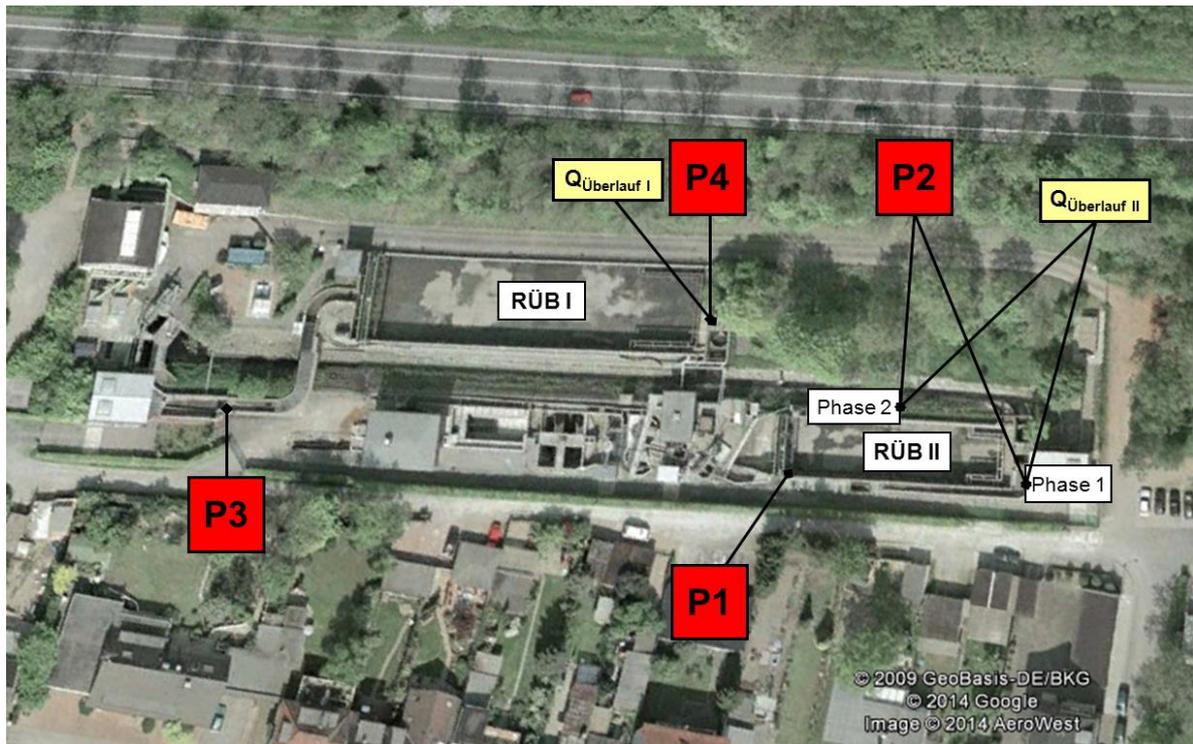


Abbildung 3: Standorte der Probenehmer am Standort Homberg-Hakenfeld [Google Maps, 2014]

Die tägliche Sichtkontrolle der Probenehmerschränke und die Alarmierung des ISA bei Befüllung erfolgten durch Personal der LINEG. Die Abholung der Proben nach einem Ereignis sowie die darauffolgende Analyse der Proben wurden von Mitarbeitern des ISA vorgenommen. Darüber hinaus wurde die Wartung der Probenehmerschränke durch das ISA durchgeführt.

Die Mischwasserproben wurden hinsichtlich der folgenden Parameter analysiert:

- chemischer Sauerstoffbedarf, homogenisiert (CSB_{hom})
- Glühverlust (GV)
- abfiltrierbare Stoffe (AFS)
- absetzbare Stoffe nach 10, 30 und 120 Minuten (AS10, AS30, AS120)

Da das Volumen der Stoffe, die im Augenblick der Probenahme absetzfähig sind, festgestellt werden sollte, musste die Bestimmung der absetzbaren Stoffe kurzfristig (innerhalb von 24 Stunden) nach der Probenahme erfolgen. Es wurden deshalb im Regelfall diejenigen Proben, die zwischen Freitag, 12:00 Uhr und Sonntag, 18:00 Uhr genommen wurden, verworfen.

Um die Probenehmerschränke im Mischwasserfall automatisch zu starten, wurden von den vorhandenen Messungen am Standort Homberg-Hakenfeld (Wasserstandsmessung am Zufluss von RÜB II, Abflussmessung an beiden Einleitungsstellen) jeweils 4...20 mA Stromsignale bereitgestellt. Am Zulauf des RÜB I wurde eine feuchtigkeitsempfindliche

Sonde zum Start der Probenehmer genutzt. Nach Einbau des Lamellenklärers kam eine solche Sonde auch im Zulauf zu RÜB II zum Einsatz. Der Überlauf des RÜB I ist mit einer Durchflussmessung bestückt. Der Probenehmer für den Überlauf von RÜB II wurde durch eine Höhenmessung des Wasserstandes angesteuert.

Die seitens der LINEG am Standort durchgeführten hydraulischen Messungen beinhalten die Ablaufvolumenströme der beiden Regenüberlaufbecken. Darüber hinaus standen Informationen zu dem den Hauptsammler 1 durchfließenden Volumenstrom und dem über die Abwasserpumpanlage zur Kläranlage Moers-Gerdt geförderten Volumenstrom zur Verfügung. Die Zulaufvolumenströme werden nicht gemessen und mussten daher im Rahmen der Messkampagne über die von der LINEG erfassten Füllstandshöhen der Becken berechnet werden.

Durch die Nähe der Becken zum Rhein besteht ein Auftriebsrisiko bei Anstieg des Rheinpegels und dem damit einhergehenden Anstieg des Grundwasserspiegels auf dem Anlagengelände. Da eine Evaluation der Reinigungsleistung während eines Einstaus nicht gewährleistet ist, wurden die dann anfallenden Ablaufproben nicht in die Auswertung mit einbezogen.

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der beiden Phasen der Messkampagne vorgestellt. Dabei erfolgte sowohl eine konzentrations- als auch eine frachtbezogene Auswertung der Daten. Die konzentrationsbezogene Auswertung wurde wiederum mittels zweier Berechnungsarten durchgeführt. Zum einen erfolgte jeweils die Bildung des Medians aller Zu- und Ablaufproben. Dem gegenübergestellt wurde eine Auswertung des aus den Mittelwerten aller Ereignisse gebildeten Medians. Die Auswertung der frachtbezogenen Eliminationsleistung erfolgte anhand einiger geeigneter Ereignisse, bei denen Beginn und Ende der Probennahme weitestgehend mit Beginn und Ende des Überlaufereignisses übereinstimmen und zu denen die hydraulischen Daten vollständig vorliegen.

3 Darstellung der Ergebnisse

3.1 Zulaufqualität des zu behandelnden Mischwassers

Die an beiden RÜB des Standortes Homberg-Hakenfeld durchgeführten Probenahmen in der ersten Phase vor Einbau des Lamellenabscheiders dienten insbesondere einer Gegenüberstellung der Mischwasserqualität und -behandlung in den beiden Becken. Für das RÜB I wurden in dieser Phase zwei Ereignisse erfasst; für das RÜB II waren es fünf Ereignisse. Abbildung 4 bis Abbildung 6 stellen den zeitlichen Verlauf von AFS, AS10, AS30 und AS120, GV und CSB_{nom} für alle Probenahmen dieser ersten Phase gegenüber. Zur anschaulicheren Darstellung der zu einem Überlaufereignis gehörenden Proben werden diese in den aufgeführten Abbildungen durch eine Linie verbunden. Diese Linie ermöglicht keine Aussage über die Konzentrationen zwischen den einzelnen Probenahmen. Darüber hinaus erfolgt die zeitliche Darstellung ab dem Beginn der jeweiligen Probenahme. Dieser Zeitpunkt kann auch bei einem bestimmten Ereignis für Zu- und Ablauf beider Becken deutlich voneinander abweichen.

Im Hinblick auf das RÜB II zeigt sich für jeden Parameter eine höhere Differenz zwischen der Minimal- und Maximalkonzentration als bei RÜB I, was sich auf die höhere Anzahl der dargestellten Ereignisse zurückführen lässt. Die Größenordnung der analysierten Parameter ist dennoch für beide Becken ähnlich und entspricht üblichen Werten für Mischwasser.

Die chronologische Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigt keine einheitliche Entwicklung der Zulaufqualität im Vergleich der Ereignisse. Obwohl vereinzelt Konzentrationsspitzen erkennbar sind, können Schmutzfrachtstöße bei einer Gegenüberstellung der kumulierten Frachten mit den kumulierten Volumina – wenn überhaupt – nur in sehr geringer Ausprägung festgestellt werden. Deshalb und auch aufgrund der Tatsache, dass die Probenahme mit Beschickung des RÜB anfang und daher der Beginn der Probenahme nicht unbedingt mit dem Ereignisbeginn übereinstimmte, kann auf Grundlage der vorliegenden Daten keine Aussage über das Vorhandensein von Schmutzfrachtstößen und eine eventuelle Zusammenwirkung mit dem in der zweiten Phase untersuchten Lamellenabscheider vorgenommen werden.

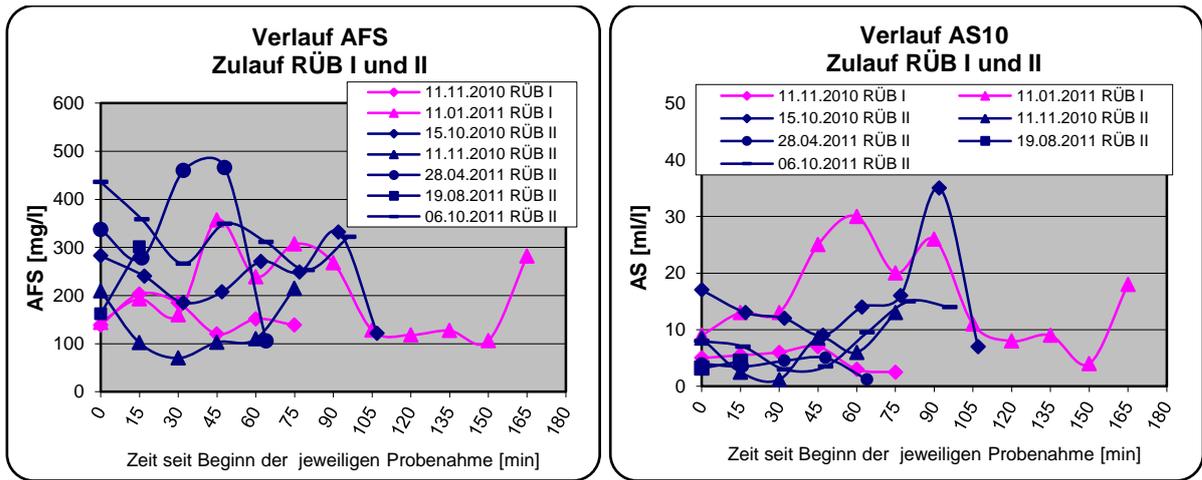


Abbildung 4: Vergleichende Darstellung des Verlaufs der AFS- und AS10-Konzentration im Zulauf in Phase 1

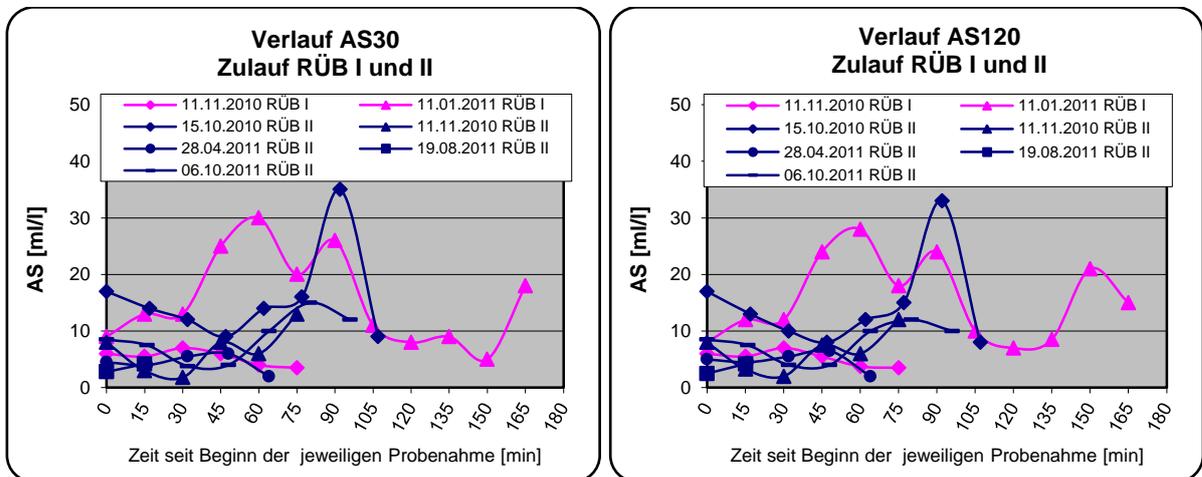


Abbildung 5: Vergleichende Darstellung des Verlaufs der AS30- und AS120-Konzentration im Zulauf in Phase 1

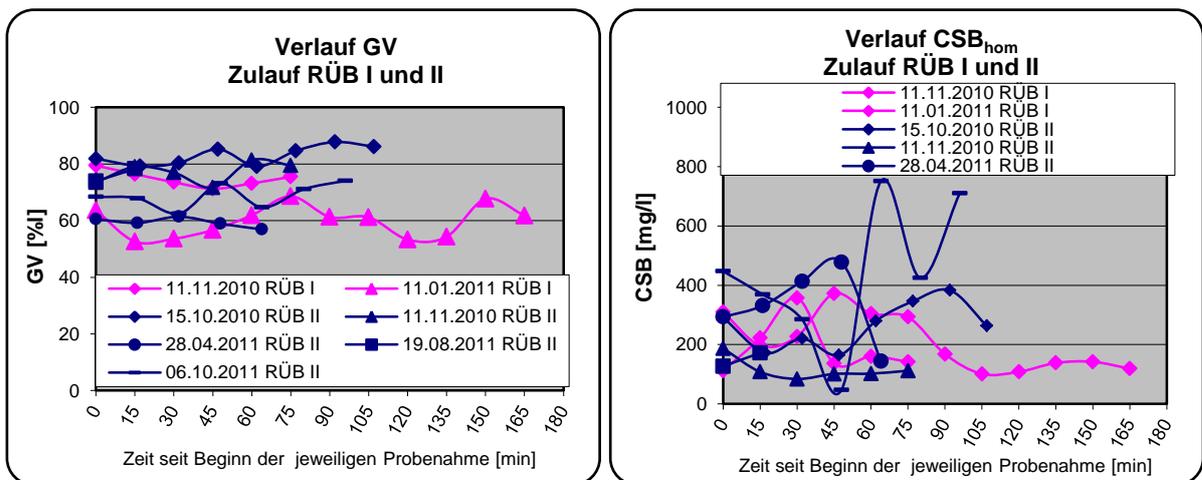


Abbildung 6: Vergleichende Darstellung des Verlaufs des GV und des CSB im Zulauf in Phase 1

Die gemeinsame Auswertung der in beiden Phasen gemessenen Zulaufkonzentrationen des Standortes Homberg-Hakenfeld ist in Abbildung 7 dargestellt.

Im Hinblick auf den Parameter AFS ist in RÜB I im Median eine Konzentration von 174 mg/l festzustellen; in RÜB II sind es 238 mg/l. Die im Datenpool von Brombach und Fuchs [2003] angegebene Bandbreite der mittleren Konzentrationen der dort zusammengeführten Datensätze für Zentraleuropa beträgt 54 bis 986 mg/l. Damit entsprechen die in Homberg-Hakenfeld gemessenen Konzentrationen in etwa dem unteren Quartil (RÜB I) bzw. dem Median (RÜB II) dieser Bandbreite an mittleren Projektkonzentrationen.

Im Median beträgt der CSB im Zulauf zu RÜB I 170 mg/l, wohingegen im Zulauf zu RÜB II 347 mg/l verzeichnet werden können. Der bei Brombach und Fuchs angegebene Wert für den Median in Zentraleuropa ist 274 mg/l und die dort angegebene Bandbreite beträgt 60 bis 857 mg/l. Damit befindet sich RÜB I unterhalb des Medians nach Brombach und Fuchs; RÜB II unterhalb des 75%-Quartils.

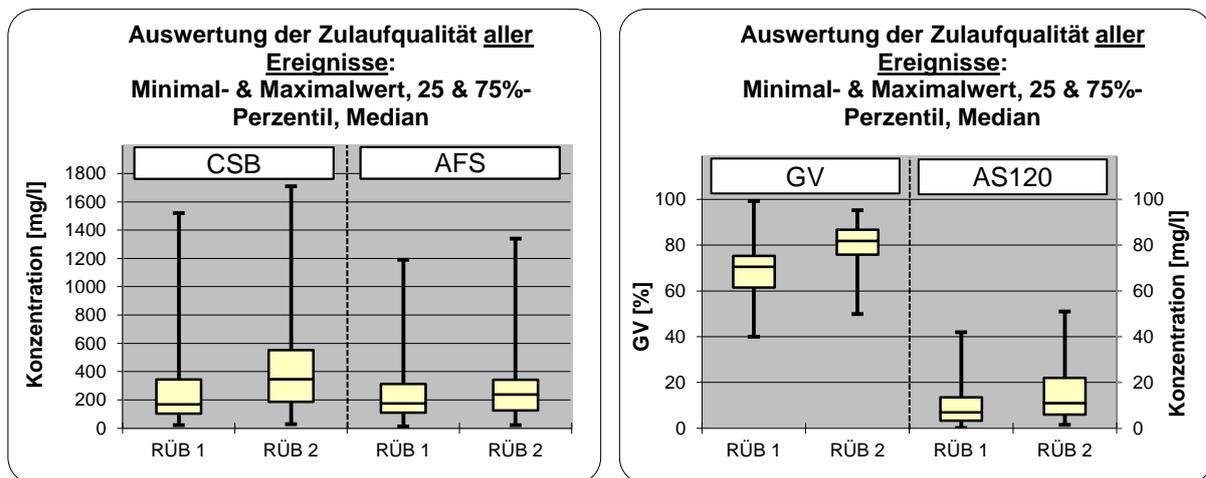


Abbildung 7: Zulaufqualität über den gesamten Messzeitraum

Das Verhältnis CSB : AFS weist keine Korrelation auf. Wie Abbildung 8 entnommen werden kann, ist die Streuung bei RÜB II jedoch deutlich ausgeprägter als bei RÜB I.

Die zusammenfassende Darstellung der Zulaufkonzentrationen zeigt, dass beide Becken eine im Vergleich zu den Werten von Brombach und Fuchs typische Mischwasserqualität aufweisen. Darüber hinaus zeigt sich eine ähnliche Bandbreite der Konzentrationen der gemessenen Parameter mit etwas geringeren Zulaufkonzentrationen für das RÜB I als für das RÜB II.

Die vor Beginn der ersten Phase getroffene Annahme einer Vergleichbarkeit der Mischwasserzusammensetzung in beiden Becken kann damit eingeschränkt bestätigt werden. Die Möglichkeit des Heranziehens von RÜB I als Referenz ist bei Beachtung der Unterschiede gegeben.

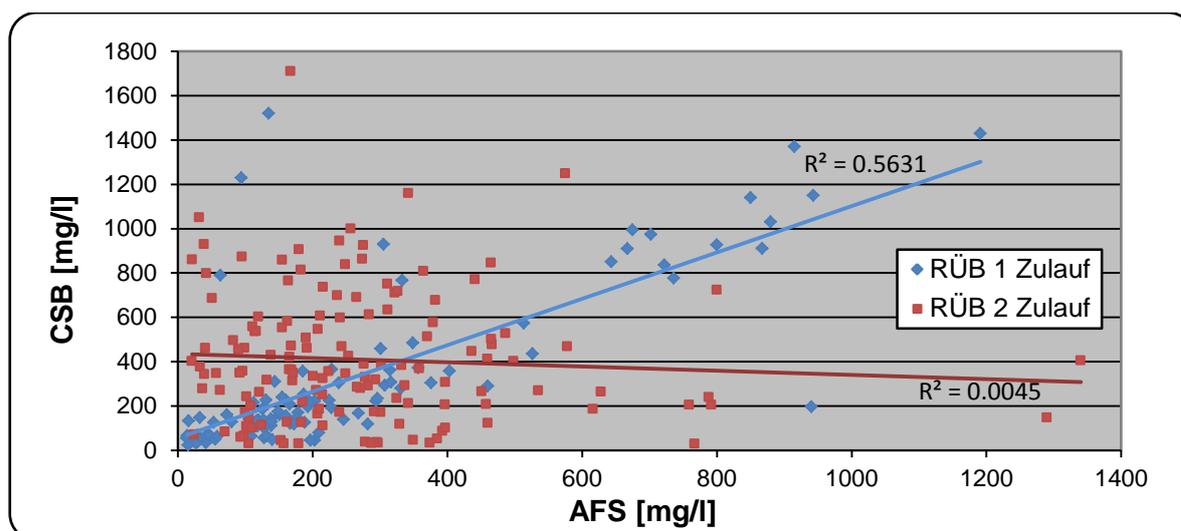


Abbildung 8: CSB in Abhängigkeit des AFS im Zulauf über den gesamten Messzeitraum

3.2 Ereignisübersicht

3.2.1 Niederschlagsereignisse in der 1. Phase (09/2010-06/2012)

Im Rahmen der ersten Phase vor Einbau des Lamellenabscheiders wurden Proben von sechs Überlaufereignissen analysiert. Eine übersichtliche Darstellung aller Proben bietet Tabelle 3.

Die bei einem Ereignis erfassten Proben sind in Anzahl und im Hinblick auf die Anfallstellen unterschiedlich. Die drei Ereignisse am 28.04.2011, 19.08.2011 und 06.10.2011 weisen Proben von drei verschiedenen Probenehmern auf. Sie bieten daher die Möglichkeit, eine Gegenüberstellung von Zu- und Ablaufwerten eines der beiden RÜB durchzuführen und diese Werte mit denen des anderen RÜB zu vergleichen. Das Ereignis am 11.11.2010 lieferte einen kompletten Probensatz, welcher einen Vergleich der Zu- und Ablaufwerte beider RÜB ermöglicht. Zwei Ereignisse dienen aufgrund des Beckeneinstaus zur Auftriebssicherung ausschließlich zur Aufzeichnung der Zulaufqualität von RÜB I oder RÜB II.

Tabelle 3: Probenübersicht der ersten Phase

Datum	Zulauf RÜB I	Ablauf RÜB I	Bemerkung RÜB I	Zulauf RÜB II Lamelle	Ablauf RÜB II Lamelle	Bemerkung RÜB II
15.10.2010*	-	-		8	-	
11.11.2010	6	12		6	12	
12.01.2011*	12	-		-	-	
28.04.2011	-	7		5	12	Messung Höhenstand defekt

Datum	Zulauf RÜB I	Ablauf RÜB I	Bemerkung RÜB I	Zulauf RÜB II Lamelle	Ablauf RÜB II Lamelle	Bemerkung RÜB II
19.08.2011	-	12	Keine Uhrzeiten	2	10	Keine Uhrzeiten
06.10.2011	-	7		7	7	
Summe	18	38		28	41	

* Einstau, Aufzeichnung der Zulaufqualität

Insgesamt erfolgten im Rahmen der ersten Phase sechs vom ISA analysierte Beprobungen. Vier dieser Probenahmen wurden in die Auswertungen einbezogen. Die anderen beiden Ereignisse lieferten jeweils nur Proben des Zulaufs eines der Becken und sind daher für die Auswertung ungeeignet.

3.2.2 Niederschlagsereignisse in der 2. Phase (07/2012-01/2015)

Nach dem Einbau der Lamellen in RÜB II wurden die Probenehmer am 13.07.2012 erneut in Betrieb genommen. Im Anschluss an weitere Umbauten seitens des Auftraggebers (Überdachung Räumler) musste am 30.08.2012 der Standort der Probenehmer verändert werden.

Das erste beprobte Regenereignis fand am 24.09.2012 statt. Im Anschluss daran konnte mehrfach nur eine Probe erzielt werden. Es erfolgte daher unter anderem eine Überprüfung und Wartung der Kühlaggregate der Probenehmer. Der Fehler wiederholte sich dennoch im Januar und Februar des Jahres 2013. Die Ursache für das fehlerhafte Verhalten der Probenehmer blieb trotz intensiver Bemühungen unklar.

Neben den in Tabelle 4 aufgeführten analysierten Proben sind weitere Probenahmen erfolgt. Die dabei angefallenen Proben wurden jedoch dann nicht weiter berücksichtigt, wenn es keine gemeinsamen Zu- und Ablaufproben für ein Becken gab. Bei der Auswertung keine Berücksichtigung fanden zudem die Ablaufproben vom 29.01.2013 und 05.02.2013, da diese während eines Einstaus der Becken bei erhöhtem Grundwasserspiegel anfielen und daher nicht repräsentativ sind.

Tabelle 4: Probenübersicht der zweiten Phase

Datum	Zulauf RÜB I	Ablauf RÜB I	Bemerkung RÜB I	Zulauf RÜB II Lamelle	Ablauf RÜB II Lamelle	Bemerkung RÜB II
24.09.2012	12	NÜ	Keine Uhrzeiten	7	1	Keine Uhrzeiten
29.01.2013	1	10	Einstau, Aufzeichnung der Zulaufqualität	1	1	Einstau, Berücksichtigung der Zulaufqualität

Datum	Zulauf RÜB I	Ablauf RÜB I	Bemerkung RÜB I	Zulauf RÜB II Lamelle	Ablauf RÜB II Lamelle	Bemerkung RÜB II
05.02.2013	1	12	Einstau, Aufzeichnung der Zulaufqualität	1	2	Einstau, Aufzeichnung der Zulaufqualität
22.07.2013	0	4	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig	12	-	Höhenstand lt. hydraul. Daten unverändert
27.07.2013	12	5	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig	1	7	Höhenmessung fehlerhaft
12.08.2013	PV	NÜ	-	11	3	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig
08.09.2013	12	8	Keine Uhrzeiten	11	3	Gleichzeitiger Beginn der Probenahme im Zu- und Ablauf
10.09.2013	12	3	Keine Uhrzeiten	12	3	Zulauf nach Ablauf beprobt
11.09.2013	NÜ	NÜ	-	7	3	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig
16.09.2013	PV	NÜ	-	12	3	Probenahme und hydraul. Daten unstimig
24.10.2013	PV	NÜ	-	12	3	Keine Uhrzeiten
21.07.2014	6	-	-	12	9	Zulauf nach Ablauf beprobt, Proben z.T. von vorherigem Ereignis
29.07.2014	-	-	-	10	10	Zulauf nach Ablauf beprobt
20.08.2014	8	-	-	2	11	Keine Uhrzeiten im Ablauf
25.08.2014	-	-	-	2	12	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig
26.08.2014	-	-	-	2	12	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig
18.09.2014	12	10	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig	12	12	Zeitliche Zuordnung unklar, evtl. Mischproben
08/09.01.2015	13	12	Uhrzeiten und hydraul. Daten stimmig	12	12	Ablauf RÜB II sind Mischproben
Summe	99	45		137	104	

NÜ: Nicht übergelaufen, PV: Probenvolumen zu gering

3.3 Auswertung der Zu- und Ablaufqualität

3.3.1 Zu- und Ablaufqualität während der 1. Phase

Die in Abbildung 9 bis Abbildung 11 zusammenfassend dargestellten Ergebnisse zeigen die konzentrationsorientierte Auswertung der Probenahmen in der ersten Phase. Für die Parameter AFS, CSB und AS120 wurde dabei jeweils die gleichgewichtete Auswertung aller Proben einer Auswertung den Mittelwerten aller Ereignisse gegenübergestellt.

Unterschiede ergeben sich dabei aufgrund der Tatsache, dass bei den einzelnen Ereignissen verschieden viele Proben genommen werden konnten. Auf diese Weise haben Ereignisse mit langen Probenahmezeiträumen bei einer Auswertung aller Proben einen höheren Einfluss auf das Ergebnis als Ereignisse mit nur wenigen Proben. Bei der Auswertung der Mittelwerte der Einzelereignisse wird diese Fehlerquelle umgangen. Hier besteht jedoch das Problem, dass einzelne besonders hohe oder niedrige Werte einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Im Hinblick auf den Parameter AFS zeigen sich bei den beiden konzentrationsbezogenen Methoden große Unterschiede, welche besonders bei RÜB I auffällig sind. Einem Median aller Zulaufproben von RÜB I von 156 mg/l steht ein Median im Ablauf von 66 mg/l gegenüber, was einer Veränderung von 57 % entspricht. Von den ausgewerteten vier Ereignissen des RÜB I haben drei eine besonders hohe AFS-Konzentration in der ersten Ablaufprobe, welche bei Bildung des Medians der Mittelwerte aller Ereignisse zu einem Wert von 149 mg/l und somit nur zu einer Veränderung von 17 % führt. Währenddessen weist RÜB II bei beiden Auswertemethoden geringere Unterschiede und eine bessere Leistung für die AFS auf als RÜB I.

Im Gegensatz dazu zeigen sich beim CSB unabhängig von der betrachteten Auswertemethode ähnliche Konzentrationsänderungen des Medians. Diese betragen bei RÜB I 65 bzw. 66%. RÜB II weist eine geringere konzentrationsbezogene Eliminationsleistung von 61 und 54 % auf.

Die AS120 zeigen erneut eine etwas bessere Leistung von RÜB I im Vergleich zu RÜB II. RÜB I weist bei beiden Auswertemethoden ca. 90% oder mehr Konzentrationsveränderung auf. Bei RÜB II sind es bei Auswertung der Mittelwerte aller Ereignisse nur 75%.

Insgesamt zeigen die konzentrationsbezogenen Auswertungen der ersten Phase somit eine etwas bessere Eliminationsleistung des RÜB I im Vergleich zu RÜB II. Davon unabhängig liegen die Mediane aller Ablaufproben der beiden Becken unter oder gleich den von Brombach und Fuchs (2003) angegebenen Medianen für Überlaufwasser aus der Mischkanalisation.

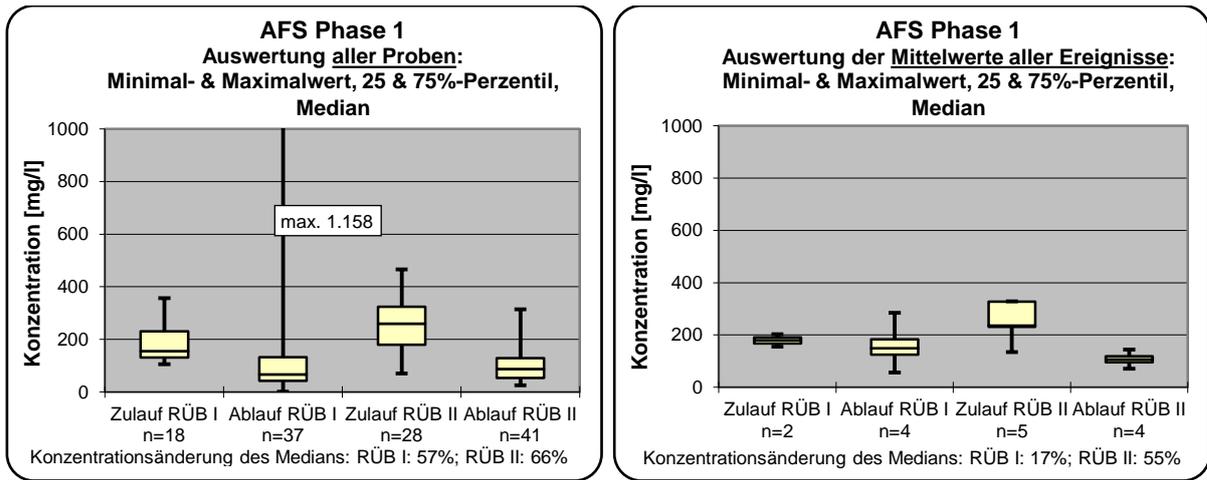


Abbildung 9: Auswertung aller Analysen der AFS in Phase 1

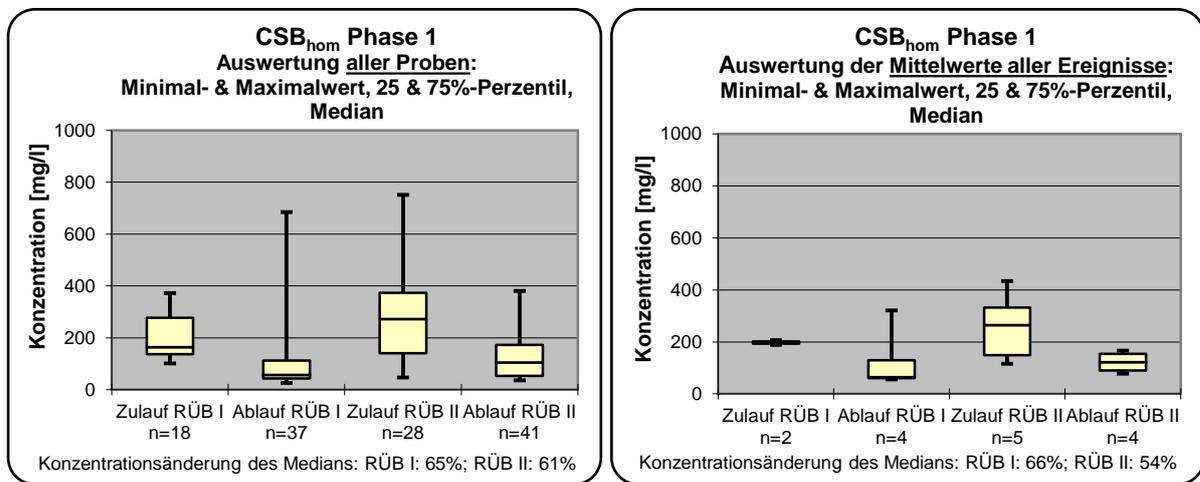


Abbildung 10: Auswertung aller Analysen des CSB in Phase 1

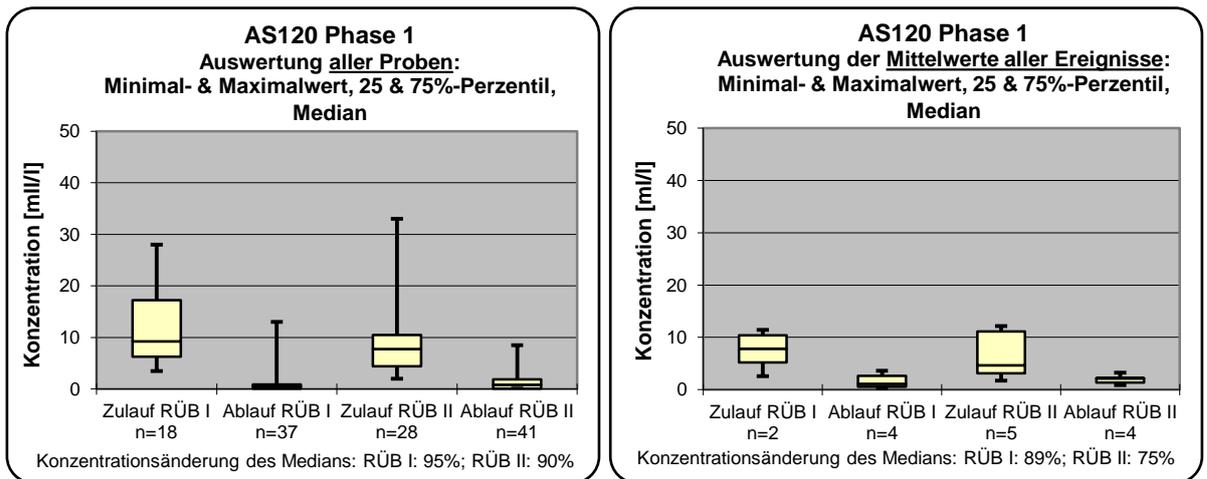


Abbildung 11: Auswertung aller Analysen der AS120 in Phase 1

3.3.2 Zu- und Ablaufqualität während der der 2. Phase

Eine zusammenfassende Darstellung der in der zweiten Phase erzielten Konzentrationen ist in Abbildung 12 bis Abbildung 14 dargestellt. Für die Parameter AFS, CSB und AS120 wurde dabei wie in Kapitel 3.2.1 jeweils die gleichgewichtete Auswertung aller Proben einer Auswertung den Mittelwerten aller Ereignisse gegenübergestellt.

Ein Vergleich der gemessenen Zulaufkonzentrationen mit Phase 1 zeigt eine Verschlechterung der Zulaufqualität in Phase 2. Während für den Median von AFS und CSB eine Erhöhung von maximal 82 mg/l bzw. 181 mg/l zu verzeichnen ist, so sind die maximalen Zulaufkonzentrationen von 1340 mg/l und 1710 mg/l der AFS und des CSB um mehr als den Faktor 2 höher als in Phase 1. Der AS120 zeigt hingegen nur bei RÜB II eine Verschlechterung.

Im Hinblick auf die Ablaufkonzentrationen des Parameters AFS zeigen sich bei beiden konzentrationsbezogenen Methoden geringere Unterschiede als in Phase 1. Beide Becken erzielten stabilere und niedrigere Ablaufkonzentrationen als in der ersten Phase sowie eine höhere Konzentrationsveränderung des Medians von 66% bei RÜB I und 79% bei RÜB II.

Der CSB war insbesondere im Zulauf zu RÜB II in der zweiten Phase höher als in der ersten Phase vor Einbau des Lamellenabscheiders. Dennoch kann im Median eine niedrigere bzw. vergleichbare Ablaufkonzentration zu Phase 1 eingehalten werden, abhängig von der Art der Auswertung. Die Veränderung des Medians steigt damit für RÜB II. RÜB I erreicht zwar eine stabilere Ablaufqualität; diese ist bei Betrachtung des Medians jedoch schlechter als in der ersten Phase.

Bei den AS120 zeigt sich keine Veränderung der Leistung von RÜB I im Vergleich zu Phase 1. Eine deutliche Verbesserung konnte bei RÜB II erzielt werden. Trotz höherer Zulaufkonzentrationen beträgt die Veränderung des Medians der Zu- und Ablaufkonzentrationen bei beiden Auswertemethoden über 97%.

Insgesamt zeigen die konzentrationsbezogenen Auswertungen der zweiten Phase somit eine inhomogene Veränderung der Eliminationsleistung von RÜB I sowie eine Steigerung der Eliminationsleistung von RÜB II sowohl im Vergleich zur ersten Phase als auch im direkten Vergleich mit RÜB I. Eine detaillierte Gegenüberstellung der Leistung von RÜB II vor und nach dem Einbau des Lamellenabscheiders erfolgt im folgenden Abschnitt.

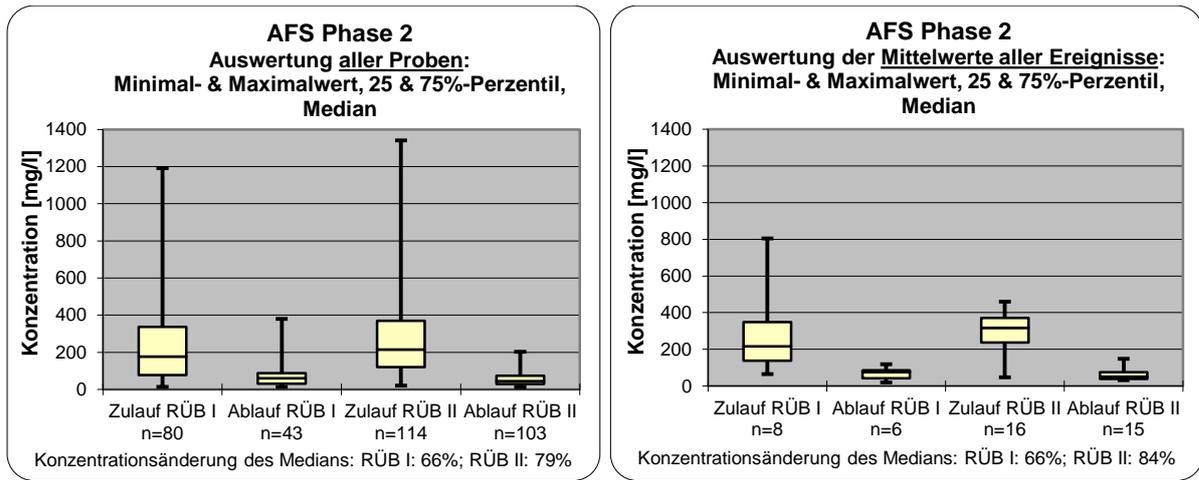


Abbildung 12: Auswertung aller Analysen der AFS in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II

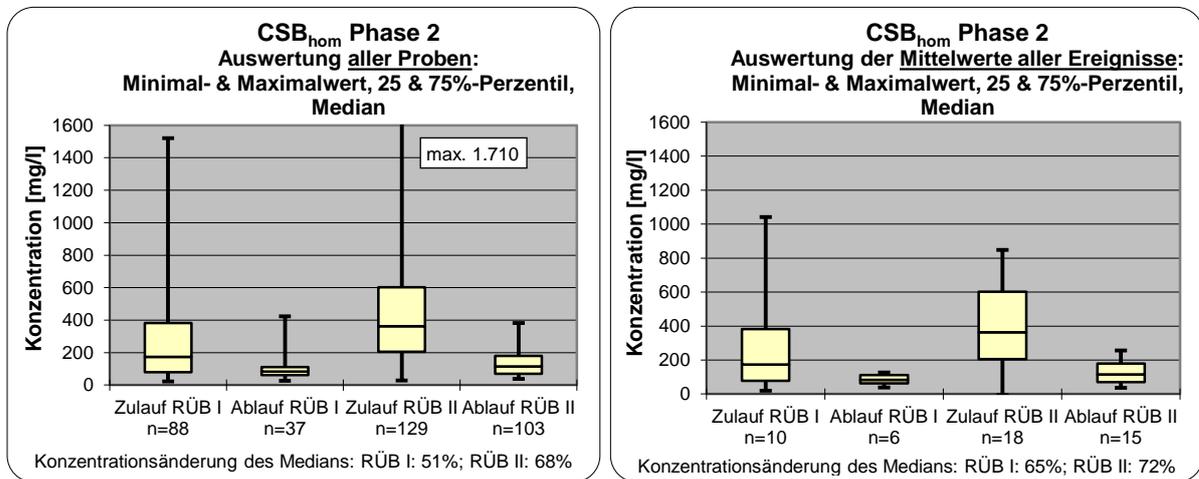


Abbildung 13: Auswertung aller Analysen des CSB in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II

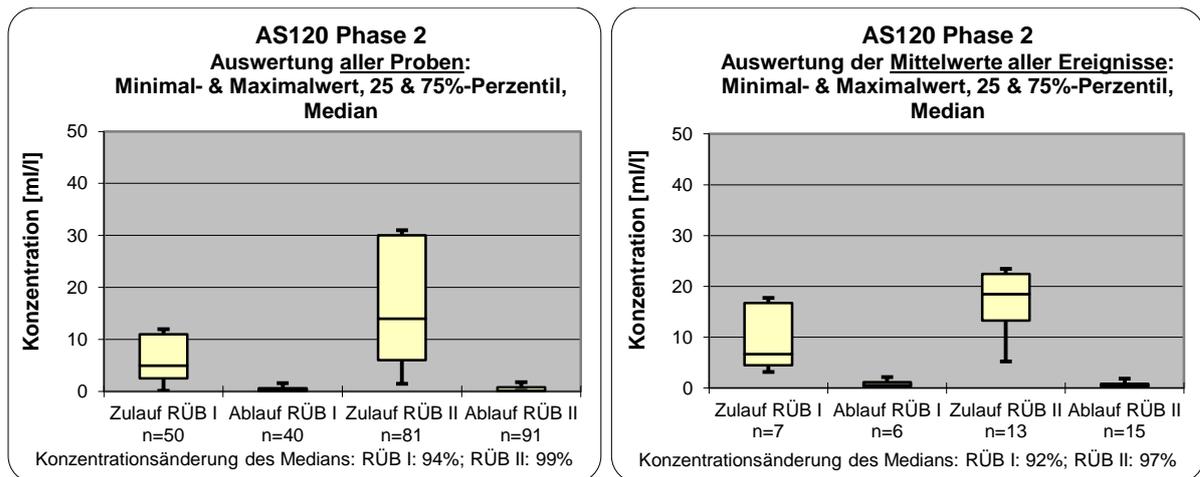


Abbildung 14: Auswertung aller Analysen der AS120 in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II

3.3.3 Gesamtbetrachtung der Leistung von RÜB II

Eine gegenüberstellende Darstellung der gemessenen Konzentrationen in Zu- und Ablauf von RÜB II für die Phase 1 ohne Lamellenabscheider und Phase 2 nach dem Einbau des Lamellenabscheiders ist in Abbildung 15 bis Abbildung 17 zu sehen.

Abbildung 15 zeigt, dass bei den AFS in Phase 2 ähnliche Zulaufkonzentrationen gemessen worden sind wie in Phase 1, wobei die maximale Zulaufkonzentration mit 1.340 mg/l in Phase 2 deutlich höher ist als in Phase 1 (466 mg/l). Die Konzentrationsänderung des Medians der Zulauf- und Ablaufproben in Phase 1 ergibt bei Auswertung aller Proben eine Verringerung von 66,1 %. In Phase 2 erhöht sich dieser Wert auf 79,3 %. Die Betrachtung der Mittelwerte aller Ereignisse zeigt sogar eine Erhöhung der so berechneten Reinigungsleistung von 54,6 % auf 84,0 %.

Auch im Hinblick auf den CSB ist eine Verbesserung der Leistung festzustellen. Erneut ist die Zulaufqualität etwas schlechter als in Phase 1. Die Konzentrationsänderung bei Auswertung des Medians aller Proben beträgt 61,3 % in Phase 1 auf 68,3 % in Phase 2. Die Betrachtung der Mittelwerte aller Ereignisse zeigt eine Erhöhung der Konzentrationsänderung von 53,9 % auf 72,2 %.

Die Zulaufkonzentrationen der AS120 zeigen in Phase 2 insbesondere im Hinblick auf die Bandbreite des mittleren 50%-Quantils eine Erhöhung gegenüber Phase 1. Dennoch kann eine Verbesserung der Leistung hin zu fast durchgehend unter der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l liegenden Ablaufkonzentrationen festgestellt werden.

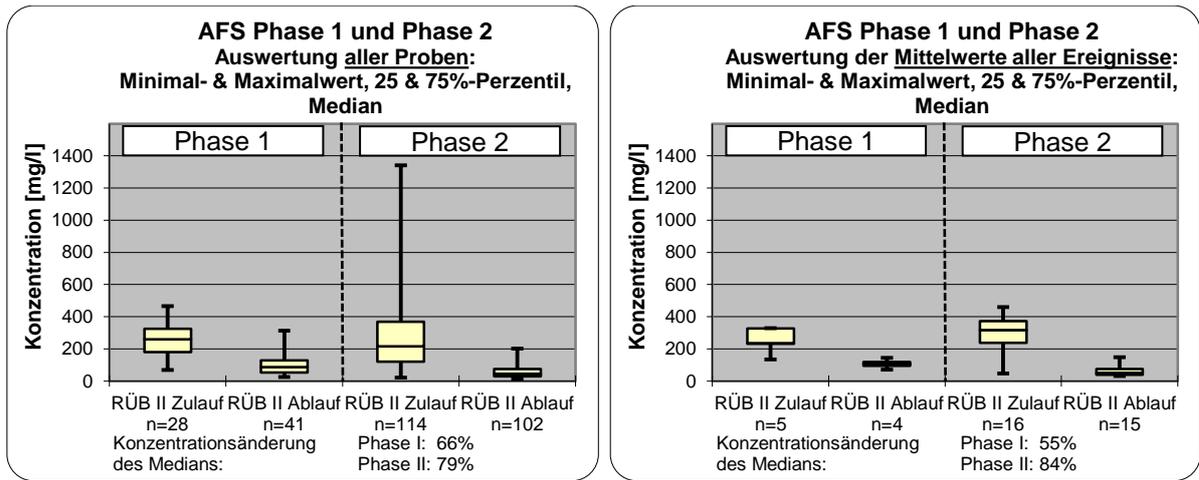


Abbildung 15: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – AFS

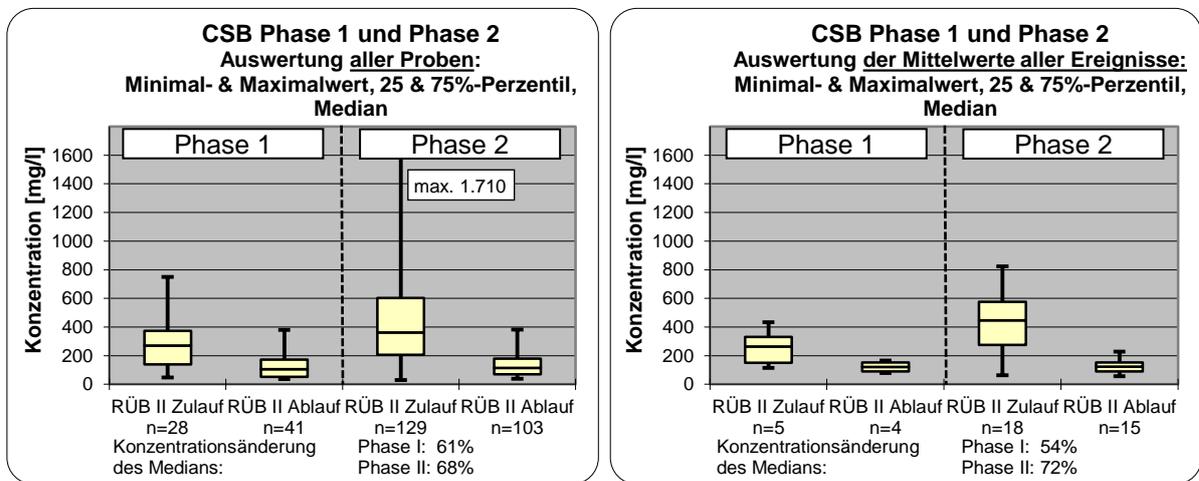


Abbildung 16: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – CSB

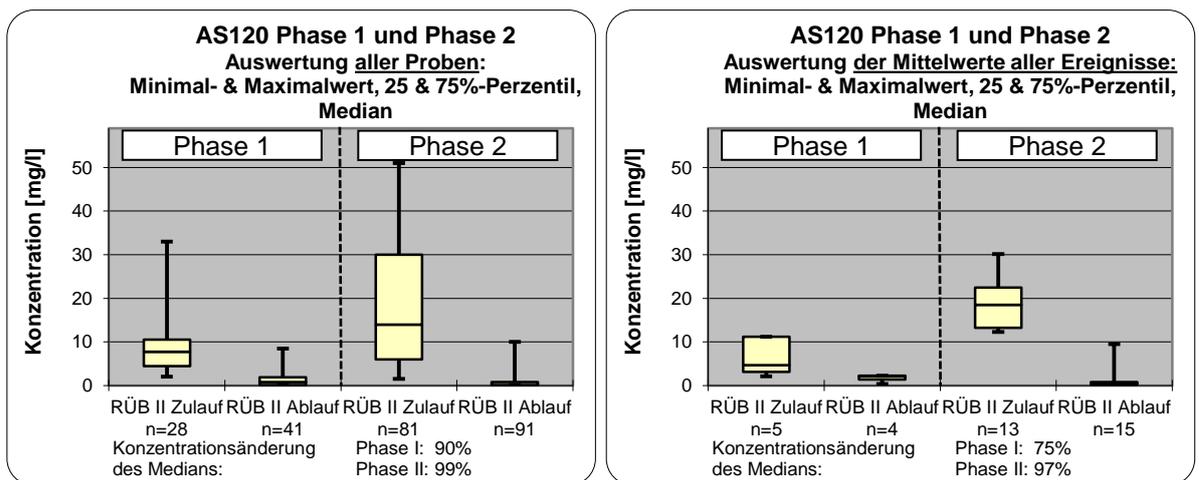


Abbildung 17: Vergleich der Leistung von RÜB II in Phase 1 und 2 – AS120

Die in Abbildung 19 dargestellte Gegenüberstellung der Ablaufwerte des RÜB II in den Phasen 1 und 2 zeigt die Verbesserung der Ablaufqualität mit Lamellenabscheider gegenüber den ohne Lamellenabscheider erreichten Werten. Abbildung 18 zeigt den

chronologischen Verlauf aller Zu- und Ablaufkonzentrationen für die Parameter AFS und CSB. Es wird deutlich, dass trotz starker Schwankungen in der Zulaufqualität eine relativ konstante Ablaufqualität erreicht wird. 90 % aller Proben haben einen AFS, welcher unter 0,117 g/l und einen CSB, der unter 171 mg/l liegt. Im Vergleich mit konventionellen RÜB ist ein AFS von 0,117 g/l eine sehr gute Leistung. Laut Brombach und Fuchs (2003) beträgt die Bandbreite für Überlaufwasser aus der Mischkanalisation in Zentraleuropa 0,035 g/l bis 0,665 g/l, sodass der in Homberg-Hakenfeld in 90% der Fälle unterschrittene Wert ungefähr dem unteren Quartil der von Brombach und Fuchs angegebenen mittleren Projektkonzentrationen entspricht. Der in 90 % der Fälle in Homberg-Hakenfeld unterschrittene CSB entspricht dem Datenpool nach fast genau dem Mittelwert der Datensätze von 172 mg/l; und liegt unterhalb des 75%-Quantils.

Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass die für Homberg-Hakenfeld herangezogenen Werte dem 90%-Perzentil der gemessenen Werte entsprechen; die Werte des Datenpools jedoch mittlere Projektkonzentrationen sind. Wird für Homberg-Hakenfeld der Median der AFS von 0,045 mg/l und der Median des CSB von 115 mg/l herangezogen, dann wird noch deutlicher, wie gut die Leistung von RÜB II mit Lamellenabscheider im Vergleich zu anderen, konventionellen RÜB zu beurteilen ist.

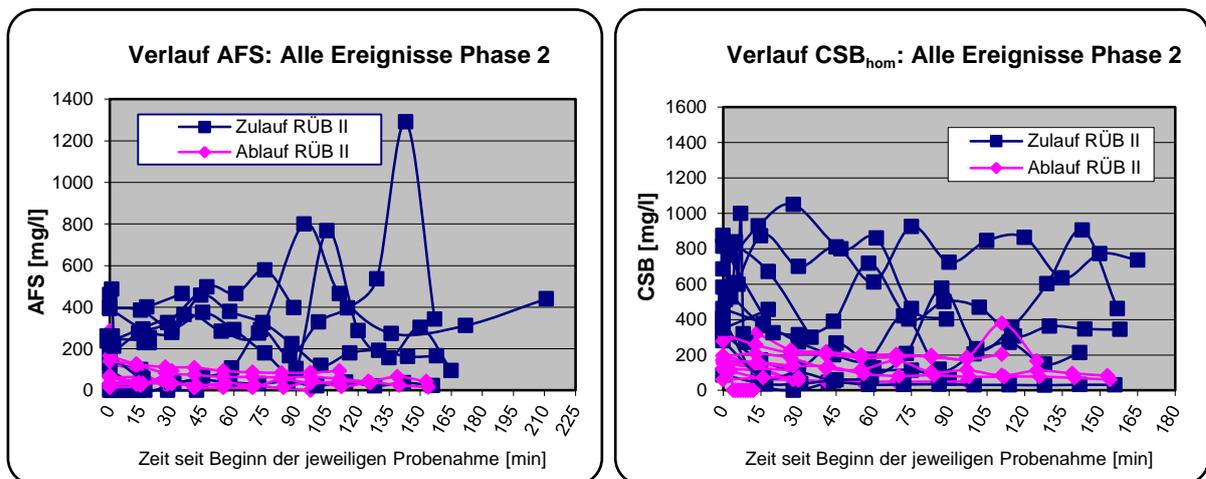


Abbildung 18: Verlauf aller Zu- und Ablaufwerte des RÜB II in Phase 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders

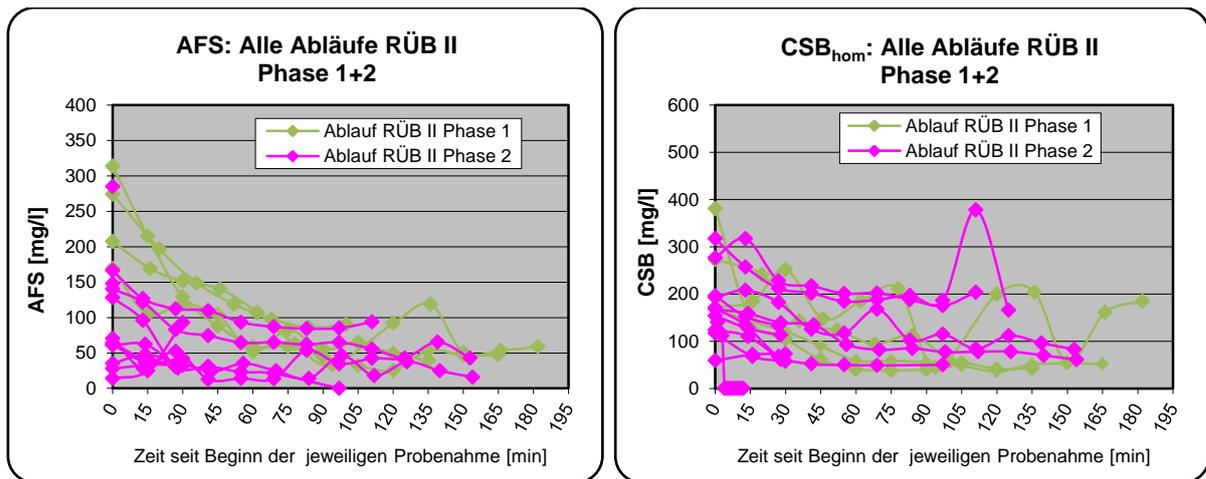


Abbildung 19: Vergleich der Ablaufwerte von RÜB II in Phase 1 und 2 nach Einbau des Lamellenabscheiders

Ein Vergleich der Leistung von RÜB II für die Phase 1 ohne Lamellenabscheider und Phase 2 nach dem Einbau des Lamellenabscheiders zeigt eine deutliche Steigerung der Eliminationsleistung in Phase 2 gegenüber Phase 1. Dabei ist festzuhalten, dass RÜB II in Phase 2 sowohl bei der Betrachtung des Medians aller Ereignisse, als auch bei Betrachtung des Medians der Mittelwerte aller Ereignisse eine bessere Leistung als in Phase 1 erreicht. Insbesondere die Ablaufkonzentrationen der AS120 sind gegenüber Phase 1 deutlich verringert, stabilisiert und befinden sich häufig unter der Bestimmungsgrenze.

3.4 Auswertung von Oberflächenbeschickung und Frachten

Für eine Auswertung der Oberflächenbeschickung und der Frachten wurden einige der erfassten Ereignisse ausgewählt. Bei der Auswahl nicht berücksichtigt wurden dabei diejenigen Ereignisse, bei denen die gleichzeitig vorliegenden hydraulischen Daten unvollständig waren, sowie Ereignisse, bei denen Beginn und Ende der Probenahme nicht weitestgehend mit Beginn und Ende des Überlaufereignisses übereinstimmen. Für das RÜB I konnte auf diese Weise nur ein Ereignis in Phase 2 ausgewertet werden; für das RÜB II sind es jeweils zwei Ereignisse in Phase 1 und Phase 2.

Zur Berechnung der Frachten wurde in einem ersten Schritt der Zulaufvolumenstrom anhand des minutengenau bekannten Höhenstandes im Becken berechnet. Ab Beginn des Überlaufs wurde als Zulaufvolumenstrom der gemessene Entlastungsvolumenstrom genutzt.

Die Konzentration der gemessenen Schmutzstoffe wurde für die Dauer der Entnahme jeweils einer Probe als gleichbleibend angenommen. Auf diese Weise konnten Frachten für Zeiträume von ungefähr 15 Minuten berechnet werden. Zur Berechnung der Gesamtfracht eines Ereignisses war es notwendig, dass der verbleibende Zeitraum nach Ende der Probenahme bzw. das weitere Entlastungsvolumen anteilig sehr gering ist.

Der Quotient aus Gesamtfracht und Gesamtvolumen eines Ereignisses ergibt die abflussgewichtete Konzentration dieses Ereignisses. Die maximale und mittlere Oberflächenbeschickung konnte unter Nutzung des zuvor bestimmten Zulaufvolumenstroms berechnet werden.

Tabellen 5 und 6 zeigen die Auswertung der Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichteten Konzentration und Eliminationsleistung für ein Ereignis am RÜB I. Die maximale Oberflächenbeschickung wurde für den Zeitraum des Ereignisses mit 12,6 m/h errechnet und liegt damit über der Empfehlung einer maximalen Oberflächenbeschickung von 10 m/h laut ATV-A128. Im Mittel lag die Oberflächenbeschickung mit 3,3 m/h jedoch deutlich unter der Empfehlung der DWA. Im Hinblick auf die frachtbezogene Eliminationsleistung konnten für die Parameter AFS und CSB ähnliche Ergebnisse von 75 % und 77 % erzielt werden.

Tabelle 5: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des AFS in RÜB I

RÜB I: AFS							
Ereignis	q_{A_max} [m/h]	q_{A_mittel} [m/h]	$B_{AFS,Zu}$ [kg]	$C_{AFS,Zu}$ [mg/l]	$B_{AFS,Ab}$ [kg]	$C_{AFS,Ab}$ [mg/l]	$\eta_{ges.}$ [%]
27.07.2013	12,6	3,3	852	206	215	127	75%

Tabelle 6: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des CSB in RÜB I

RÜB I: CSB							
Ereignis	q_{A_max} [m/h]	q_{A_mittel} [m/h]	$B_{CSB,Zu}$ [kg]	$C_{CSB,Zu}$ [mg/l]	$B_{CSB,Ab}$ [kg]	$C_{CSB,Ab}$ [mg/l]	$\eta_{ges.}$ [%]
27.07.2013	12,6	3,3	1745	423	410	242	77%

Die in Tabellen 7 und 8 dargestellte Auswertung der ausgewählten Ereignisse am RÜB II in Phase 1 zeigt, dass die Oberflächenbeschickung in einem Fall den Anforderungen des ATV-A128 gerecht werden konnte. Im Rahmen des zweiten Ereignisses wurde mit 29,4 m/h jedoch ein zu hoher Wert erreicht. Die frachtbezogene Eliminationsleistung der AFS und des CSB beträgt für das erste Ereignis dennoch weniger als für das zweite Ereignis, was auf eine bessere Zulaufqualität zurückzuführen ist. Bezogen auf beide Ereignisse kann eine Elimination der AFS-Fracht um 56 % und der CSB-Fracht um 55 % verzeichnet werden.

Nach Einbau des Lamellenabscheiders in RÜB II ergeben sich bei den beiden hier ausgewerteten Ereignissen der Phase 2 deutlich verringerte Oberflächenbeschickungen gegenüber Phase 1. Bei beiden Ereignissen betrug die mittlere Oberflächenbeschickung

0,7 m/h und damit weniger als die bei der Bemessung vorgesehenen 2,66 m/h für eine kritische Regenspender von 15 l/(s x ha). Die erzielte Eliminationsleistung konnte auf diese Weise sowohl bei den AFS als auch beim CSB um den Faktor 1,7 gesteigert werden. Konkret konnte für die AFS eine frachtbezogene Elimination von 94 % erzielt werden. Im Hinblick auf den CSB waren es 89 %.

Tabelle 7: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des AFS in RÜB II

RÜB II: AFS								
	Ereignis	q _{A,max} [m/h]	q _{A,mittel} [m/h]	B _{AFS,Zu} [kg]	C _{AFS,Zu} [mg/l]	B _{AFS,Ab} [kg]	C _{AFS,Ab} [mg/l]	η _{ges.} [%]
Phase I	11.11.2010	7,4	3,2	543	123	290	93	47%
	06.10.2011	29,4	4,6	1202	371	484	200	60%
	η _{gew.}			1745		773		56%
Phase II	12.08.2013	1,3	0,7	818	385	80	92	90%
	11.09.2013	0,8	0,7	541	256	4	61	99%
	η _{gew.}			1359		84		94%

Tabelle 8: Maximale und mittlere Oberflächenbeschickung, Frachten, abflussgewichtete Konzentration und abflussgewichtete Eliminationsleistung des CSB in RÜB II

RÜB II: CSB								
	Ereignis	q _{A,max} [m/h]	q _{A,mittel} [m/h]	B _{CSB,Zu} [kg]	C _{CSB,Zu} [mg/l]	B _{CSB,Ab} [kg]	C _{CSB,Ab} [mg/l]	η _{ges.} [%]
Phase I	11.11.2010	7,4	3,2	475	108	320	103	33%
	06.10.2011	29,4	4,6	1250	385	524	217	58%
	η _{gew.}			1725		844		51%
Phase II	12.08.2013	1,3	0,7	713	336	144	166	80%
	11.09.2013	0,8	0,7	654	310	10	154	99%
	η _{gew.}			1367		153		89%

4 Zusammenfassung und Fazit

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen führte im Auftrag der LINEG eine in zwei Phasen gegliederte Messkampagne zur Überprüfung der Leistung des im Jahr 2012 eingebauten Lamellenabscheiders durch.

Die 1. Phase wurde mit Einbau des Lamellenabscheiders abgeschlossen und diente insbesondere dem Vergleich der Abwasserzusammensetzung der beiden am Standort Homberg-Hakenfeld betriebenen RÜB. In dieser Phase gelangen vier verwertbare Probenahmen. Die Auswertung der Zulaufqualitäten zeigte, dass die Abwasserzusammensetzung insgesamt als eingeschränkt vergleichbar zu beurteilen ist. Dabei wies RÜB II etwas höhere Zulaufkonzentrationen auf als RÜB I.

Die 2. Phase lieferte vornehmlich Ergebnisse zur Leistung des RÜB II nach Einbau der Lamellen. Es erfolgte dabei sowohl eine Konzentrations- als auch eine frachtbezogene Auswertung der Daten. Die Konzentrationsbezogene Auswertung wurde wiederum mittels zweier Berechnungsarten durchgeführt. Zum einen erfolgte jeweils die Bildung des Medians aller Zu- und Ablaufproben. Zum anderen wurde eine Auswertung des aus den Mittelwerten aller Ereignisse gebildeten Medians durchgeführt.

Im Rahmen der ersten Auswertungsart zeigt der Anstieg der auf den Median bezogenen Konzentrationsminderung aller AFS von 66 % in Phase 1 auf 79 % in Phase 2 eine deutliche Verbesserung der Leistung von RÜB II. Für den CSB sind es 61 % in Phase 1 und 68 % in Phase 2 und für die AS120 90 % in Phase 1 und 99 % in Phase 2.

Dem gegenübergestellt wurde die Auswertung des aus den Mittelwerten aller Ereignisse gebildeten Medians, was die jeweiligen Analyseergebnisse in den Kontext des zugehörigen Ereignisses stellt. Die zweite Auswertungsmethodik führt zu ähnlichen Ergebnissen, mit einer auf den Median bezogenen Konzentrationsminderung aller AFS von 55 % in Phase 1 auf 84 % in Phase 2 (CSB: 54 % in Phase 1 bzw. 72 % in Phase 2; AS120: 75 % in Phase 1 und 97 % in Phase 2).

Die Auswertung der frachtbezogenen Eliminationsleistung erfolgte anhand einiger geeigneter Ereignisse, bei denen der Zeitraum der Probenahme den Befüllvorgang des Beckens und das Überlaufereignis weitestgehend abdeckt. Im Hinblick auf das RÜB I wurde eine frachtbezogene Elimination der AFS von 75 % und des CSB von 77 % ermittelt. Durch den Einbau des Lamellenabscheiders konnte bei RÜB II die erzielte Eliminationsleistung sowohl bei den AFS als auch beim CSB um den Faktor 1,7 gesteigert werden. Konkret bedeutet dies einen Anstieg der Elimination der AFS von 56 % in Phase 1 auf 94 % in Phase 2. Im Hinblick auf den CSB wurden in der ersten Phase 51 % der Fracht der ausgewählten Ereignisse eliminiert; in Phase 2 stieg die Elimination auf 89 %. Damit hat die frachtbezogene Eliminationsleistung von RÜB II nach Einbau der Lamellen die von RÜB I übertroffen, obwohl

das RÜB I im Hinblick auf Oberflächenbeschickung und horizontale Fließgeschwindigkeit mit großen Reserven ausgestattet ist.

Die zugehörige Oberflächenbeschickung in Phase 2 war mit 0,7 m/h im Mittel sehr niedrig. Tatsächlich wurde die bei der Bemessung gewählte Oberflächenbeschickung von 2,66 m/h bei einer kritischen Regenspende von 15 l/(s x ha) nur bei zwei Ereignissen überschritten. In beiden Fällen wurde jedoch nicht die maximale Oberflächenbeschickung von 10 m/h nach ATV-A 128 überschritten.

Die Bemessung der Lamellen auf eine Oberflächenbeschickung von 2,66 m/h beträgt weniger als die in der Literaturstudie des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft zusammengestellten Empfehlungen von maximal 3-5 m/h [Pinnekamp, 2010]. Zu beachten ist jedoch, dass die von Pinnekamp zitierten Werte unter anderem auf halbertechnischen Untersuchungen von Dohmann [2003] beruhen, laut denen bei einer Oberflächenbeschickung von 5 m/h ein Reinigungsergebnis ähnlich dem eines konventionellen RÜB bei einer Oberflächenbeschickung von 10 m/h erzielbar sei. Der Schwellenwert zur Erreichbarkeit von besseren Ergebnissen beträgt demnach 4 m/h. Die Auslegung der Lamellen in RÜB II auf 2,66 m/h hat sich angesichts der erzielten Ergebnisse als sinnvoll erwiesen und bestätigt die Ergebnisse von Dohmann. In welchem Maß die Verbesserung der Reinigungsleistung bei einer höheren Oberflächenbeschickung verringert würde, kann auf Basis der hier durchgeführten Untersuchungen nicht beurteilt werden.

Darüber hinaus ist im Hinblick auf die Bemessung der Lamellen erwähnenswert, dass die horizontale Fließgeschwindigkeit von RÜB II bei $Q_{r,krit}$ vor Einbau der Lamellen $v=0,066$ m/s betrug und damit etwas über dem als Grenzwert zur sicheren Vermeidung von Schlammwirbelungen genannten $v=0,05$ m/s lag. Bei einer geringeren horizontalen Fließgeschwindigkeit ist daher möglicherweise auch die Auslegung auf eine höhere Oberflächenbeschickung zweckmäßig.

Insgesamt kann nach Einbau des Lamellenabscheiders ein deutlicher Leistungszuwachs des RÜB II verzeichnet werden. Zudem wurden ein stabiler Betrieb und eine gleichbleibend gute Ablaufqualität auch bei großen Schwankungen der Zulaufqualität festgestellt. Der Effekt des Einbaus der Lamellen in RÜB II ist daher abschließend als positiv zu bewerten.

Bei einer herkömmlichen Erweiterung des RÜB II wäre nach Angaben der LINEG zur Einhaltung der maximalen Oberflächenbeschickung von 10 m/h eine Vergrößerung der Oberfläche von 433 m² auf ca. 700 m² notwendig gewesen. Aufgrund der Rahmenbedingungen am Standort Homberg-Hakenfeld hätte dafür ein weiteres Becken errichtet werden müssen. Zur Erfüllung der Anforderungen aus ATV-A 128 und ATV-A 166 wäre damit auch eine erhebliche Vergrößerung des vorhandenen Volumens mit den entsprechenden Kosten einhergegangen. Insbesondere deshalb stellt der

Lamellenabscheider die sinnvollste Lösung im vorliegenden Fall dar. Davon unabhängig lässt sich feststellen, dass die Nachrüstung bestehender Becken mit Lamellen grundsätzlich eine sinnvolle und kostengünstige Alternative zu Beckenneubau oder -vergrößerung ist.

5 Literatur

Abwassertechnische Vereinigung (1992): ATV-A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Hennef.

Brombach, H.; Fuchs, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen. KA Korrespondenz Abwasser, 4/2003. Hennef.

Dohmann, M. (2003): Einsatz von Lamellenabscheidern in Mischwasserbehandlungsanlagen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. Aachen.

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft (2010): Erweiterung der Mischwasserbehandlungsanlage Homberg-Hakenfeld – Entwurfsplanung – Erläuterungsbericht. Düsseldorf.

Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) (2010): Lageplan Homberg-Hakenfeld.

Pinnekamp, J. (2010): Lamellenabscheider in der Mischwasserbehandlung – Literaturrecherche im Rahmen des Projektes „Messkampagne RÜB Homberg-Hakenfeld“. Aachen.