



INSTITUT FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT



PRÜF- UND ENTWICKLUNGSINSTITUT FÜR
ABWASSERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN E.V.



Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben

Dezentrale Abwasserbehandlung

unter Verwendung kompakter Keramik-Bioreaktoren

mit Einschluss-Immobilisierten-Mikro-Organismen

- Projektphase II -

AZ IV - 9 - 042 1B7

für das



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

Aachen, im Mai 2006

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

Dr.-Ing. E. Dorgeloh
(PIA)

Projektpartner

Partner		Bearbeiter
	Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 / 80 25207 Fax: 0241 / 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de	Dr.-Ing. Regina Haußmann
	Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 / 75082-0 Fax: 0241 / 75082-29 Email: info@pia.rwth-aachen.de www.pia.rwth-aachen.de	Dr.-Ing. Elmar Dorgeloh Dipl.-Ing. Arndt Kaiser

Projektbeteiligte

	aqua-System AG Schaffhauserstr. 87 CH – 8410 Winterthur Tel.: +41 52 / 214 27 00 Fax: +41 52 / 214 27 59 Email: info@aqua-system.ch www.aquasystem.ch	Geschäftsführer Markus Haller
	VP-Kasag Verfahrens- und Prozesstechnik AG Limmatstr. 2 CH-8957 Spreitenbach Tel.: +41 56 / 418 10 20 Fax: +41 56 / 418 10 29 Email: info@vp-kasag.ch www.vpgmbh.ch	Geschäftsführer Walter Hochstrasser
	Hartmann Wasserrecycling Loorstr. 8 CH-5242 Lupfig Tel.: +41 56 / 444 88 03 Fax: +41 56 / 444 88 02 Email: info@hkw.ch www.hkw.ch	Ingenieur HTL Rolf Hartmann

Inhaltsverzeichnis**Seite**

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Kurzzeichen	V
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	5
3 Projektverlauf	6
4 Eignungstest Pilotanlage – Durchführung und Darstellung der Ergebnisse	7
4.1 Aufbau und Funktionsweise Pilotanlage	7
4.2 Ablauf Eignungstest	11
4.3 Beschreibung der Prüfstandeinrichtung und der Zulaufsituation	13
4.4 Darstellung der Belastungssituation	16
4.5 Auswertung der Untersuchungen	18
4.6 Mikrobiologische Wasseruntersuchungen	25
4.7 Aussagen zum Flux	27
4.8 Ermittlung des Stromverbrauchs der Pilotanlage	29
4.9 Diskussion der Ergebnisse	30
4.10 Aussagen zur Verwendbarkeit der durchgeführten Küvettentests	33
5 Untersuchungen zum biologischen Reinigungsträger EIMO®	35
5.1 Eigenschaften Einschluss-Immobilisierter Mikro-Organismen	35
5.2 Batchversuche zur biologischen Abbaubarkeit von gelösten Abwasserinhaltsstoffen unter Einsatz von EIMO®	38
5.3 Untersuchungen mit halbtechnischer Versuchsanlage	47
6 Empfehlungen für weiteres Vorgehen	51
7 Literatur	53
Anhang	
Übersicht untersuchter Parameter	A1
Übersicht Messergebnisse PIA-Analytik – Eignungstest	A2
Übersicht Messergebnisse ISA-Analytik – Eignungstest	A3
Übersicht Messergebnisse PIA-Analytik – Untersuchungen zu EIMO®	A4
EIMO®-Datenblatt	A5

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verfahrensschema Prozess Nitrifikation / Denitrifikation	8
Abbildung 2:	Aufbau der Pilotanlage	9
Abbildung 3:	Technische Daten Pilotanlage.....	10
Abbildung 4:	Modifizierter Versuchsablauf zum Eignungstest.....	12
Abbildung 5:	Aufbau Prüfstand während des Eignungstests	13
Abbildung 6:	Tägliche und mittlere hydraulische Durchsatzleistung während des Eignungstests.....	16
Abbildung 7:	CSB-Zulauffrachten zur Pilotanlage während des Eignungstests	17
Abbildung 8:	CSB / BSB ₅ -Konzentrationen	18
Abbildung 9:	Stickstoffkonzentrationen	19
Abbildung 10:	Verlauf der Phosphorkonzentrationen	21
Abbildung 11:	Trockensubstanz-Gehalte und Temperatur.....	22
Abbildung 12:	CSB-Schlammbelastung	23
Abbildung 13:	Zusammenhang zwischen CSB-Schlammbelastung und CSB-Eliminationsraten.....	24
Abbildung 14:	Flux-Leistung der Pilotanlage.....	27
Abbildung 15:	Flux-Leistung der Keramikmembranmodule	28
Abbildung 16:	Energieverbrauch Pilotanlage	29
Abbildung 17:	Aufsicht und Raster-Elektronen-Mikroskopie EIMO®-Kugeln	35
Abbildung 18:	Gliederung der Immobilisierungsmethoden [4].....	35
Abbildung 19:	Prozessdarstellung Matrixeinhüllung von Biomasse in Alginate [5]...	36
Abbildung 20:	Versuchsaufbau für Testreihe T3	41
Abbildung 21:	Versuchsaufbau Testreihen T1, T2, T4, T5 und T0.....	42
Abbildung 22:	Zerstörte EIMO®-Kugeln	43
Abbildung 23:	Verlauf der CSB-Konzentrationen, Versuch T1.....	45
Abbildung 24:	Verlauf der NH ₄ -N-Konzentrationen, Versuch T1	45
Abbildung 25:	Verlauf der NO ₃ -N-Konzentrationen, Versuch T1.....	46
Abbildung 26:	Beschickung Versuchsanlage (EIMO®).....	47
Abbildung 27:	Aufbau der halbtechnischen Versuchsanlage (EIMO®).....	47
Abbildung 28:	Mittlere CSB _{filtriert} -Konzentrationen im Zu- und Ablauf der halbtechnischen Versuchsanlage.....	49
Abbildung 29:	Mittlere Stickstoff-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der halbtechnischen Versuchsanlage.....	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ablauf Eignungstest (Planung).....	11
Tabelle 2:	Zusammensetzung des Rohabwassers auf dem Prüffeld des PIA im Zeitraum 04.10 bis 08.12.2005	14
Tabelle 3:	Frachtermittlung (personenspezifisch) aus der mittleren Abwasserzusammensetzung des Rohabwassers im Vorlagebehälter des PIA-Prüffeldes	15
Tabelle 4:	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen	25
Tabelle 5:	Grenzwerte mikrobiologischer Parameter gemäß Badegewässerrichtlinie [2]	26
Tabelle 6:	Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer gemäß DIBT für Kleinkläranlagen	31
Tabelle 7:	Anforderungen gemäß DIBT für die Prüfung von Kleinkläranlagen und ermittelte Ablaufwerte	32
Tabelle 8:	Gegenüberstellung der Analyseergebnisse aus ISA- und PIA-Labor	34
Tabelle 9:	EIMO® -Füllgrade und TS-Gehalt.....	39
Tabelle 10:	Zusammensetzung des künstlichen Abwassers.....	39
Tabelle 12:	Dosierplan der Abwasserzugabe	41
Tabelle 13:	Versuchsbedingungen an Tag 0	43
Tabelle 14:	Versuchsbedingungen an Tag 15	44
Tabelle 15:	Versuchsdurchführung mit halbtechnischer Versuchsanlage.....	48

Kurzzeichen

Kurzform	Dimension	Beschreibung
AFS	mg/l	Abfiltrierbare Stoffe
BSB ₅	mg/l	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB _{hom}	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf homogenisiert
CSB _{fil}	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf filtriert
GV	%	Glühverlust
N _{anorg}	mg/l	Anorganisch gebundener Stickstoff
N _{ges}	mg/l	Gesamt Stickstoff
NH ₄ -N	mg/l	Ammonium-Stickstoff
NO ₃ -N	mg/l	Nitrat- Stickstoff
NO ₂ -N	mg/l	Nitrit-Stickstoff
P _{ges}	mg/l	Gesamt Phosphor
SV ₃₀	mg/l	Schlammabsetzvolumen nach 30 min
TOC	mg/l	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
TS	mg/l	Trockensubstanz
EIMO®		Einschluss-Immobilisierte-Mikro-Organismen
DIBT		Deutsches Institut für Bautechnik
MWCO		Molecular Weight Cut Off
REM		Rasterelektronenmikroskop

1 Zusammenfassung

Inhalte der Projektphase II des Gesamtvorhabens „Dezentrale Abwasserbehandlung unter Verwendung kompakter Keramik-Bioreaktoren mit Einschluss-Immobilisierten-Mikro-Organismen“ waren die Durchführung eines Eignungstests mit der in Phase I konstruierten Pilot-Abwasserbehandlungsanlage sowie Untersuchungen zur Eignung des biologischen Reinigungsträgers EIMO[®] (Einschluss-Immobilisierte-Mikro-Organismen) der Firma Hartmann Wasserrecycling zur Abwasserbehandlung. Bei EIMO[®] handelt es sich um in Kugelform eingeschlossene und immobilisierte Biomasse.

Bei der eingesetzten Pilotanlage handelte es sich um eine Abwasserbehandlungsanlage mit Membrantechnik für den dezentralen Einsatz zur Reinigung saisonal anfallender Abwässer. Als Filtrationsstufe wurden zwei trocken aufgestellte Keramikmembranmodule mit Trenngrenzen von 50 bzw. 150 kD verwendet. Die biologische Reinigung (Kohlenstoff- und Stickstoffelimination) des Abwassers erfolgte nach dem Verfahren der vorgeschalteten Denitrifikation.

Im Rahmen der Projektphase wurde ein Eignungstest in Anlehnung an die Prüfnorm für Kleinkläranlagen DIN EN 12566 Teil 3 durchgeführt. Dazu wurde die Pilotanlage einem neunwöchigen Belastungstest mit unterschiedlichen hydraulischen Belastungen und Schmutzfrachten unterzogen. Die hydraulische Belastung variierte - bezogen auf einen einwohnerwertspezifischen Volumenstrom von 150 l/d - zwischen 10 und 20 Einwohnerwerten. Die Schmutzfrachten im Zulauf zur Biologie, bezogen auf eine einwohnerwertspezifische CSB-Schmutzfracht von 120 g/(E*d), lagen zwischen 4 und 10 Einwohnerwerten.

Folgende Resultate zur biologischen Reinigung wurden während des Tests erzielt:

- Eliminationsleistung CSB > 90 % (Zulauf Biologie – Ablauf Membran)
- Eliminationsleistung N_{ges} bzw. N_{anorg} > 75%
(N_{ges} im Zulauf Anlage – N_{anorg} im Ablauf Membran)
- Mittlerer CSB Ablaufwert: 33 mg/l
- Mittlerer NH_4 -N Ablaufwert: 0,3 mg/l
- Mittlerer N_{anorg} Ablaufwert: 10,1 mg/l

Zusätzlich wurden Abwasserproben auf mikrobiologische Parameter untersucht. Neben den mikrobiologischen Parametern der Badegewässerrichtlinie gesamtcoliforme Keime, fäkalcoliforme Keime, Fäkalstreptokokken und Salmonellen wurden die Abwasserproben auf *Clostridium perfringens* untersucht. Zur Beurteilung der unterschiedlichen Trenngrenzen der verwendeten Keramikmodule (Molecular Weight Cut Off 150 kD bzw. 50 kD) wurden jeweils separate Abwasserproben untersucht.

Mit Ausnahme einer Probenahme lagen die Befunde im Ablauf der Membranmodule unter den Leitwerten bzw. zwingend einzuhaltenden Werten der Badegewässerrichtlinie für die Parameter gesamtcoliforme Keime, fäkalcoliforme Keime und Fäkalstreptokokken. Für den Parameter „Salmonellen“ konnte aufgrund des Messbereichs des Analyseverfahrens keine Aussage getroffen werden.

Eindeutige Ursachen für festgestellte positive Befunde in einigen Ablaufwasserproben des Keramikmembranmoduls mit Trenngrenze 150 kD konnten im Rahmen des Eignungstests nicht gefunden werden. Die Trenngrenze des Membranmoduls schien nicht das ausschlaggebende Kriterium zu sein. Um hier jedoch eindeutige Aussagen treffen zu können, sind längerfristige Untersuchungen erforderlich.

Zur Beurteilung der Reinigungsleistungen wurden die Ablaufanforderungen gemäß den Zulassungsgrundsätzen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen des deutschen Instituts für Bautechnik herangezogen. Demnach erfüllt die Pilotanlage die Anforderungen der „Klasse D + H“ (Denitrifikation und Hygienisierung).

Zur Aufrechterhaltung der Filtrationsleistung wurden die Membranmodule während des Eignungstests dreimal mit 50 °C heißem Wasser in-situ gereinigt. Trotz abnehmender Wirksamkeit dieser Prozedur sank die Leistung nicht unter 40 l / (m²*h). Es musste jedoch festgestellt werden, dass der Energieverbrauch mit im Mittel von knapp 26 kWh je 1m³ Filtrat sehr hoch war. Um zu überprüfen, ob der Energiebedarf der Pilotanlage durch Optimierung der Reinigungsstrategie reduziert werden kann, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Zur Überprüfung der Verwendbarkeit von EIMO® als biologischen Reinigungsträger anstelle von belebtem Schlamm im Prozess der Abwasserbehandlung wurden Abbauversuche zur Kohlenstoff- und Stickstoffelimination im labor- und halbtechnischen Maßstab durchgeführt. Im Rahmen der im labortechnischen Maßstab durchgeführten Untersuchungen sollte die biologische Abbaubarkeit von gelösten Abwasserinhalts-

stoffen unter Einsatz des biologischen Reinigungsträgers EIMO[®] in Batchversuchen ermittelt werden. Zusätzlich sollte ein „optimaler“ EIMO[®]-Füllgrad, der im biologischen Abwasserreinigungsprozess eingesetzt werden kann, herausgefunden werden. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden Versuche mit unterschiedlichen EIMO[®]-Füllgraden durchgeführt. Im Laufe der Batchversuche musste festgestellt werden, dass die EIMO[®]-Kugeln aufgrund falsch eingesetzter Rührer (Magnetrührer) zerstört wurden und für die abschließenden Abbauversuche nur noch bedingt einsetzbar waren. Da der Lufteintrag zur Sauerstoffversorgung für eine vollständige Durchmischung nicht ausreichte, konnte auf die Rührer jedoch nicht verzichtet werden. Im Rahmen der Batchversuche konnte kein deutlicher CSB-Abbau sowie keine Nitrifikation und Denitrifikation erreicht werden.

Neben der Durchführung von Batchversuchen im Labormaßstab wurde seit Mitte November 2005 zur weiteren Beurteilung der Wirkung hinsichtlich der Kohlenstoff- und Stickstoffelimination (Nitrifikation und Denitrifikation) und des Handlings von EIMO[®] eine halbtechnische Versuchsanlage auf dem Prüffeld des PIA betrieben. Die halbtechnische Versuchsanlage bestand aus einem Rundbehälter (Volumen 460 Liter). Insgesamt wurden vier verschiedene Phasen mit der Versuchsanlage gefahren und untersucht. Die Phasen unterschieden sich durch die Höhe der hydraulischen Belastung, den EIMO[®]-Füllgrad und die eingesetzten Aggregate (Verdichter und Rührwerk). Entsprechend dem vermuteten Effekt der Immobilisierung von Biomasse in Kugelform wurde in den ersten drei Phasen auf eine eigene Denitrifikationsphase und auf den Einsatz des Rührwerks verzichtet. Die Durchmischung im Behälter erfolgte durch die eingetragene Luft zur Sauerstoffversorgung. Es sollte überprüft werden, ob sich in den einzelnen Kugeln ein anoxisches Milieu einstellen und eine Denitrifikation simultan zur Nitrifikation erfolgen würde. Die Ergebnisse der Versuchsphasen zeigten eine gute Elimination des gelösten CSB und Ammoniumstickstoff, eine Denitrifikation wurde jedoch nicht festgestellt. Eine Ursache wurde in den sehr hohen Sauerstoffgehalten im Bioreaktor (> 8 mg/l) gesehen, so dass sich ein anoxisches Milieu in den EIMO[®]-Kugeln nicht einstellen konnte.

Anfang Januar 2006 wurde daher in einer weiteren Phase im biologischen Abwasserreinigungsprozess eine eigenständige Denitrifikationsphase vorgesehen und zusätzlich zur Durchmischung ein Rührwerk installiert. Niedrigere Umgebungstemperaturen und die geringere Menge an zugeführter und durch den Verdichter erwärmter Luft

führten jedoch zu einem Absinken der Temperatur im Bioreaktor unter 10 °C, so dass in dieser Phase nur eine verminderte Nitrifikation festgestellt werden konnte. Eine Denitrifikation war zudem nicht festzustellen. Eine weitere Ursache kann ein unzureichendes Kohlenstoff-Nitratstickstoff-Verhältnis während der Denitrifikationsphase gewesen sein. Im Untersuchungszeitraum konnte somit nicht nachgewiesen werden, dass simultan bzw. in einer eigenen Phase eine Denitrifikation des Nitratstickstoffs mit dem biologischen Reinigungsträger EIMO[®] durchführbar war. In weiteren Untersuchungen sollte geklärt werden, ob dies auf die Versuchsgegebenheiten oder auf den biologischen Reinigungsträger EIMO[®] zurückzuführen ist. Mit der vorhandenen halbtechnischen Versuchsanlage war es nicht möglich, den Reinigungsprozess einer vorgeschalteten Denitrifikation zu testen.

Da in Projektphase II nicht abschließend die Frage geklärt werden konnte, ob und wie EIMO[®] als biologischer Reinigungsträger einzusetzen ist, ist die Fortführung der geplanten Vorgehensweise des Gesamtvorhabens nicht empfehlenswert. Für Projektphase III war vorgesehen, die Pilotanlage unter Verwendung von EIMO[®] zu betreiben und einen zu Phase II entsprechenden Leistungstest durchzuführen. Es war vorgesehen, das Reinigungsverfahren der simultanen Denitrifikation anzuwenden. Mit den bisherigen Ergebnissen zu EIMO[®] können jedoch die in Phase II während des Eignungstests festgestellten Ablaufwerte mit belebtem Schlamm wahrscheinlich nicht erreicht werden. Empfohlen wird daher, die Untersuchungen zu EIMO[®] in einer Zwischenphase zu intensivieren. Es sollten weitere Untersuchungen zur vorgeschalteten Denitrifikation mit separaten Nitrifikations- und Denitrifikationsbehältern durchgeführt werden.

Weiterhin sollte auch überprüft werden, ob die vorherige Lagerzeit von EIMO[®] auf dem Prüffeld des PIA mit länger als 6 Monaten einen entscheidenden Einfluss auf die Reinigungsleistung hatte. Mit diesen weiteren Untersuchungen kann sichergestellt werden, ob EIMO[®] als Reinigungsträger zur Nitratstickstoffelimination einsetzbar ist oder nicht. Können diese Untersuchungen erfolgreich abgeschlossen werden, kann im Anschluss daran in Phase III der geplante Eignungstest durchgeführt werden.

2 Einleitung

Inhalte des Vorhabens „Dezentrale Abwasserbehandlung unter Verwendung kompakter Keramikmembran-Bioreaktoren mit Einschluss-Immobilisierten-Mikro-Organismen“ (AZ IV-9-042 1B7) waren Entwicklung und Test einer Pilot-Abwasserbehandlungsanlage für den dezentralen Einsatz zur Reinigung saisonal anfallender Abwässer. Zusätzlich zum Einsatz von Keramikmembranen sollte die Pilotanlage neben belebtem Schlamm auch unter Verwendung des biologischen Reinigungsträgers EIMO® (Einschluss-Immobilisierte Mikro-Organismen) der Firma Hartmann Wasserrecycling aus der Schweiz betrieben und untersucht werden.

Das Vorhaben wurde in mehrere Phasen aufgeteilt. In Phase I (Laufzeit September 2004 bis Juni 2005) wurde in Kooperation mit den Projektpartnern aqua-System AG und VP-Kasag GmbH aus der Schweiz eine Pilot-Abwasserbehandlungsanlage geplant und gebaut sowie ein erster Funktionstest auf dem Prüffeld des PIA erfolgreich durchgeführt. In der nun abgeschlossenen Projektphase II war die Durchführung eines Eignungstests mit der Pilotanlage unter definierten Bedingungen und unter Verwendung von belebtem Schlamm vorgesehen. Zudem wurden Versuche zur biologischen Abbaubarkeit von Abwasserinhaltsstoffen (Kohlenstoff- und Stickstoffparameter) unter Verwendung des biologischen Reinigungsträgers EIMO® durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen zum Einsatz von EIMO® lag bei der Überprüfung erreichbarer Abbauleistungen hinsichtlich der Kohlenstoff- und Stickstoffparameter. Die Versuche erfolgten im Labor (Volumen 2- 10 Liter) und im halbtechnischen Versuchsmaßstab (Volumen 400 Liter).

3 Projektverlauf

Mit Schreiben vom 15.08.2005 des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen wurden das Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen und das Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik (PIA) an der RWTH Aachen beauftragt, Phase II des Vorhabens „Dezentrale Abwasserbehandlung unter Verwendung kompakter Keramik-Bioreaktoren mit Einschluss-Immobilisierten-Mikro-Organismen“ durchzuführen.

Aufgrund eines am 18.08.2005 eingetretenen Bruches einer Keramikmembran in einem der zwei zu untersuchenden Membranmodule mussten die Versuche mit der Pilotanlage kurzfristig eingestellt werden. Nach Lieferung von Ersatzmembranen konnte die Pilotanlage am 27.09.2005 wieder in Betrieb genommen werden. Nach der Anfahrphase wurde mit dem vorgesehenen Eignungstest der Pilotanlage am 04.10.2005 begonnen. Aufgrund des verzögerten Beginns wurde die geplante Dauer des Eignungstests von 12 auf 9 Wochen reduziert, so dass am 05.12.2005 der Eignungstest abgeschlossen werden konnte.

Mit den Untersuchungen zur Abbaubarkeit von Abwasserinhaltsstoffen unter Verwendung des biologischen Reinigungsträgers EIMO® wurde im November begonnen. Dazu wurden Batchversuche im Labormaßstab durchgeführt sowie eine am PIA zur Verfügung stehende Versuchsanlage eingesetzt. Die Batchversuche konnten Mitte Dezember 2005 abgeschlossen werden; die Tests mit der Versuchsanlage wurden Ende Januar 2006 beendet.

4 Eignungstest Pilotanlage – Durchführung und Darstellung der Ergebnisse

4.1 Aufbau und Funktionsweise Pilotanlage

Die Pilotanlage wurde so geplant und aufgebaut, dass entsprechend der Projektziele, neben der Untersuchung von Keramikmembranen auch unterschiedliche biologische Reinigungsträger zu untersuchen sowie mehrere automatisierte Verfahrensweisen zur Reinigung von Abwasser gefahren werden konnten. Es handelte sich dabei um folgende Prozesse:

- Prozess Nitrifikation / Denitrifikation
(verwendeter biologischer Reinigungsträger: belebter Schlamm),
- Prozess EIMO®
(verwendeter biologischer Reinigungsträger: EIMO®),
- Prozess Reinigung Membranfiltration.

Die Funktionsweisen der einzelnen Prozesse sind ausführlich im Abschlussbericht zu Projektphase 1 (AZ IV – 9 – 042 1B7) beschrieben worden. Zur besseren Veranschaulichung werden im Folgenden die für die durchgeführten Untersuchungen wesentlichen Aspekte zum Aufbau und zur Funktion der Pilotanlage wiederholt.

Die Pilotanlage besteht aus folgenden Reinigungsstufen:

- Vorfiltration, bestehend aus zwei im Zulauf zur biologischen Behandlungsstufe parallel geschalteten Filtereinheiten.
- Biologischer Behandlungsstufe, bestehend aus vorgeschalteter Denitrifikation bzw. simultaner Denitrifikation abhängig von der Wahl des biologischen Reinigungsträgers *belebter Schlamm* oder *EIMO®*.
- Membranfiltration, bestehend aus zwei trocken und in Reihe aufgestellten Keramikmembranmodulen mit Multikanal-Rohrmembranen (Crossflow Betrieb)
- CIP-Behälter für periodische Reinigungen der Rohrmembranen.

Das Verfahrensschema zum Prozess Nitrifikation und Denitrifikation ist in Abbildung 1 dargestellt.

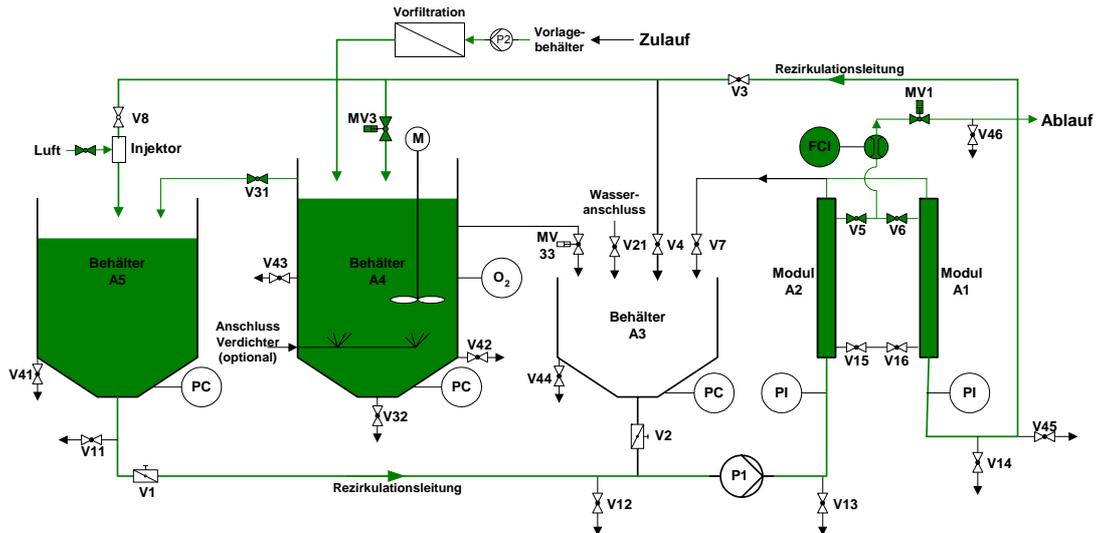


Abbildung 1: Verfahrensschema Prozess Nitrifikation / Denitrifikation

Im Prozess Nitrifikation und Denitrifikation wird das Abwasser anhand des Verfahrens der „vorgeschalteten Denitrifikation“ behandelt. Die Beschickung der Anlage erfolgt durch Pumpe P2 in Abhängigkeit der vorgegebenen Durchsatzleistung über die Vorfiltration in Behälter A4. Zum Ausgleich von Zulaufspitzen und zur Reduzierung der Feststoffbelastung ist ein Vorlagebehälter (Absetztank) installiert. Behälter A4 wird im Prozess als vorgeschaltetes Denitrifikationsbeckens eingesetzt. Der belebte Schlamm fließt von dort im freien Gefälle Behälter A5 zu. Behälter A5 dient im Prozess als Nitrifikationsbecken und gleichzeitig als Vorlagebehälter für den Rezirkulationsstrom zur Beschickung der in Reihe angeordneten Keramikmembranmodule A1 und A2 im Crossflow-Betrieb. Die Rezirkulation des Feedvolumenstroms erfolgt über die regelbare Rezirkulationspumpe P1.

Die Belüftung des belebten Schlammes erfolgt über einen Injektor in Behälters A5, der in die Rezirkulationsleitung integriert ist. Die interne Rezirkulation vom Belebungsbecken zurück in das Denitrifikationsbecken erfolgt auch über die Rezirkulationsleitung und einem Magnetventil MV3 in der Zuleitung zu Behälter A4. Öffnungs- und Schließzeiten des Magnetventils MV3 sind frei programmierbar, so dass je nach Zulaufsituation (Zulaufkonzentrationen und –mengen) und erforderlicher Eliminationsleistung das interne Rezirkulationsverhältnis eingestellt werden kann.

In Abbildung 2 ist die Pilotanlage dargestellt.

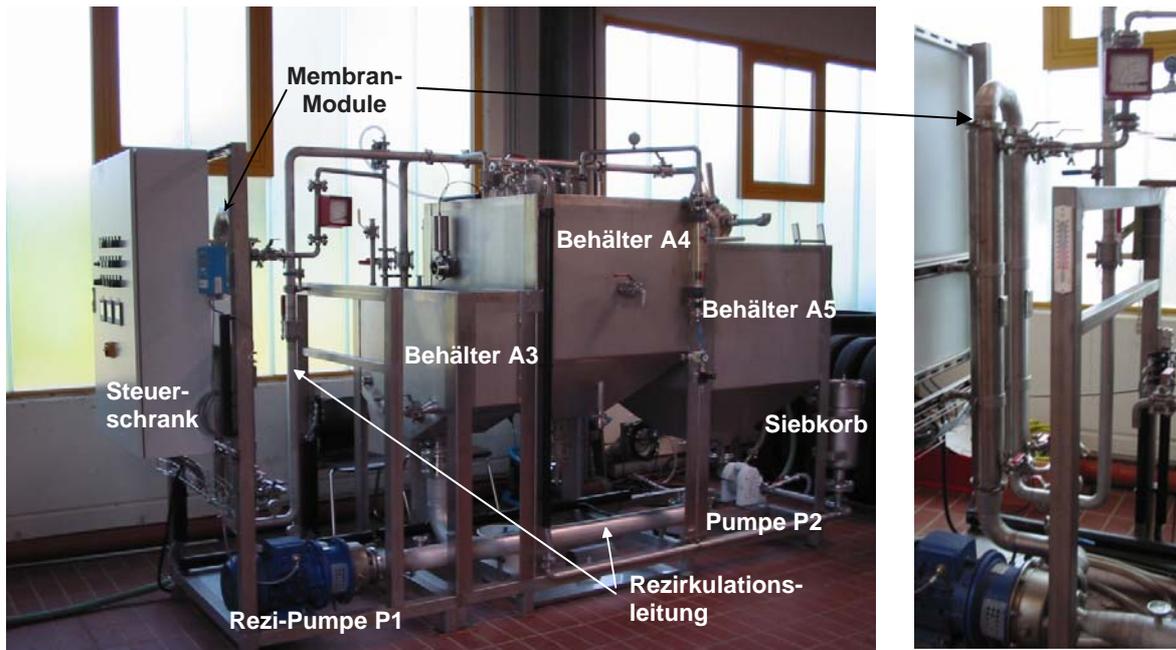


Abbildung 2: Aufbau der Pilotanlage

Die Filtrationsleistung der Pilotanlage wird über die regelbare Rezirkulationspumpe P1 gesteuert. In Abhängigkeit von der Pumpenleistung können der Rezirkulationsstrom und damit auch der Betriebsdruck in der Rezirkulationsleitung bzw. in den Keramikmembranmodulen geregelt werden.

In Abbildung 3 sind die technischen Daten der Pilotanlage zusammengefasst.

Vorreinigung

- | | |
|---|----------------------|
| ➤ 2 parallel geschaltete Filter (Siebkörbe) | |
| ➤ Filterfläche je Siebkorb | 0,25 m ² |
| ➤ max. Durchsatzleistung je Siebkorb | 20 m ³ /h |
| ➤ Gesamtvolumen je Siebkorb | 15 Liter |
| ➤ Maschenweite | ~ 1 mm |

Anmerkung:

Bei den verwendeten Filtern handelt es sich um sogenannte Beutelfilter, die jedoch ohne Filterbeutel betrieben werden. Die Filtration erfolgt durch den Druckaufnahmekorb (Stützgerüst für Filterbeutel), der eine Spaltweite von ca. 1 mm aufweist.

Biologische Behandlungsstufe

Wählbar zwischen 2 Behandlungsverfahren

- Prozess Nitrifikation / Denitrifikation
- Prozess EIMO

Prozess Nitrifikation / Denitrifikation

- Vorgeschaltete Denitrifikation
- Volumen Nitrifikation 750 Liter
- Volumen Denitrifikation 850 Liter

Prozess EIMO

- simultane Denitrifikation
- Volumen Belebung 850 Liter
- max. Austauschvolumen 300 Liter

Membrantrennstufe

- | | |
|---|----------------------|
| ➤ 2 in Reihe geschaltete trocken aufgestellte Keramik-Membranmodule | |
| ➤ Crossflow Betrieb | |
| ➤ CIP-Behälter für periodische Reinigung | |
| ➤ Rezirkulationspumpe | 25 m ³ /h |
| ➤ Filterfläche je Modul | 1,08 m ² |
| ➤ max. TMP | 10 bar |
| ➤ Trenngrenze Modul 1 (MWCO) | 50 kD |
| ➤ Trenngrenze Modul 2 (MWCO) | 150 kD |
| ➤ Werkstoff Trennschicht | ZrO ₂ |

Abbildung 3: Technische Daten Pilotanlage

4.2 Ablauf Eignungstest

Der Ablauf des Eignungstests orientierte sich an dem Prüfverfahren von Kleinkläranlagen nach EN 12566 Teil 3. Ähnlich wie in diesem Prüfverfahren sollten während des Eignungstests unterschiedliche Lastphasen bezüglich der Filtrationsleistung gefahren werden. Die Normallast wurde bei der Auslegung der Pilotanlage auf eine zu behandelnde Abwassermenge von etwa 2 m³/d festgelegt. Davon ausgehend sollte die Durchsatzleistung in Hochlast- bzw. Niedriglastphasen entsprechend eingestellt werden.

In Tabelle 1 ist der Ablauf des Eignungstests dargestellt.

Tabelle 1: Ablauf Eignungstest (Planung)

Betriebsphase	Dauer Wochen (geplant)	Durchsatz bezogen auf Abwassermenge von 2 m ³ /d	PN / Woche	PN gesamt
Normallast	1	100%	2	2
Überlast	2	bis 150%	2	4
Normallast	1	100%	2	2
Belastungsschwankung	2	50% bis 150%	2	4
Normallast	1	100%	2	2
Niedriglast	2	25%	2	4
Stillstand	1	Stand-By Betrieb (0%)	-	-
Normallastbetrieb	2	100%	2	4
Summe	12		Summe	22

Geplant war eine Dauer des Eignungstests von insgesamt 12 Wochen mit 22 Probenahmen zur Beurteilung der Reinigungsleistung hinsichtlich Kohlenstoff- und Stickstoffstoffparameter (C, N) im Zulauf, im Zulauf zur Biologie (Ablauf Feinsiebrechen) und im Ablauf. Vorgesehen war eine Analytik mittels Küvettentests im Labor des PIA. Zum Abgleich und zur Ergänzung sollten 10 weitere Analysen mit zusätzlicher Bestimmung abfiltrierbarer und lipophiler Stoffe durch das zertifizierte Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen im Zu- und Ablauf erfol-

gen. Zur hygienischen Beurteilung der Ablaufqualität des behandelten Wassers sollten mikrobiologische Wasseruntersuchungen durchgeführt werden. Insgesamt waren 18 Untersuchungen (6x Zulauf und 6x Ablauf je Membranmodul) geplant.

Aufgrund eines eingetretenen Membranbruches im Monat August 2005 in einem der zwei zu untersuchenden Membranmodule konnte mit den Versuchen nicht wie geplant begonnen werden. Infolge des verspäteten Beginns musste die Dauer des Eignungstests von 12 auf 9 Wochen reduziert werden, um im geplanten Zeitrahmen bleiben zu können. Um die Streichung einer Betriebslastphase zu vermeiden, wurde die Dauer jeder einzelnen Phase gekürzt; drei Untersuchungen im Labor des PIA wurden weggelassen. In Abbildung 4 ist der modifizierte Versuchsablauf zum Eignungstest dargestellt.

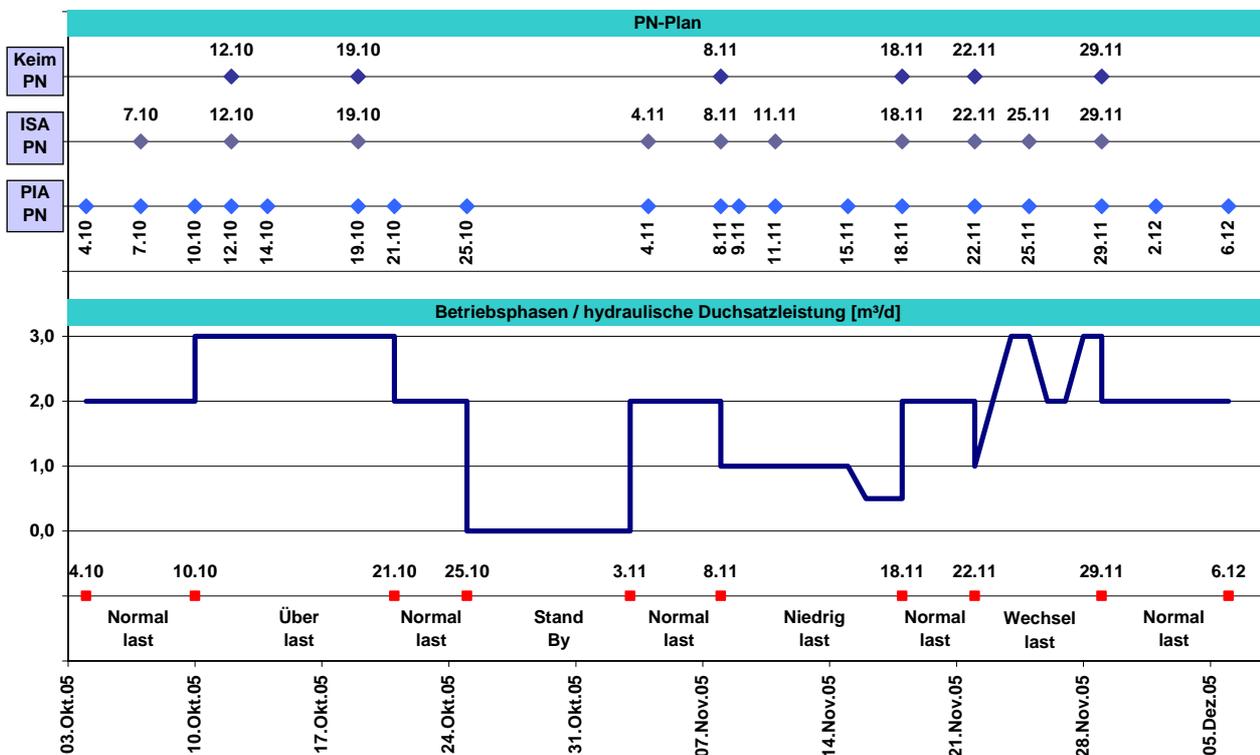


Abbildung 4: Modifizierter Versuchsablauf zum Eignungstest

An den Tagen, an denen ein Betriebslastwechsel vorgenommen wurde, fanden die Probenahmen jeweils vor diesen Wechseln statt.

4.3 Beschreibung der Prüfstandeinrichtung und der Zulaufsituation

Zur Durchführung des Eignungstests wurde das Zulaufabwasser aus dem Vorlagebehälter des Prüffeldes des PIA in einen 2 m³ großen Absetztank gepumpt. Der Absetztank wurde zur Reduzierung der Feststoffbelastung installiert, um die Wartungen der Feinsiebrechen zu reduzieren. Von dort floss das Zulaufabwasser im freien Gefälle einem 1 m³ großen Vorlagetank zu, der als Puffer zwischen der diskontinuierlichen Entnahme des Zulaufabwassers aus dem PIA-Vorlagebehälter und der kontinuierlichen Beschickung der Pilotanlage diente. In Abbildung 5 ist der Aufbau des für den Eignungstest verwendeten Prüfstandes grafisch dargestellt.

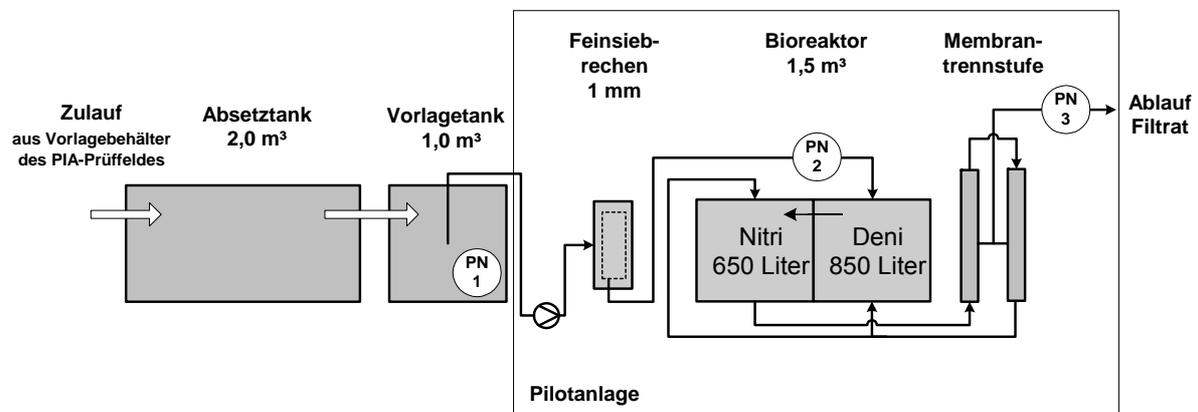


Abbildung 5: Aufbau Prüfstand während des Eignungstests

(Pilotanlage ist schwarz umrandet)

Die Zusammensetzung des Rohabwassers im Vorlagebehälter des PIA-Prüffeldes wird regelmäßig (1x pro Woche) mittels 24h-Mischproben überwacht. In Tabelle 2 sind die statistischen Auswertungen der Messungen für den Zeitraum des Eignungstests dargestellt.

Tabelle 2: Zusammensetzung des Rohabwassers auf dem Prüffeld des PIA im Zeitraum 04.10 bis 08.12.2005

Parameter	Einheit	Mittelwert	Min	Max	Standard-abweichung	Schwankungs-bereich
Temperatur	°C	13,1	8,9	16,2	2,4	7,3
pH	-	7,4	7,3	7,4	0,0	0,1
Leitfähigkeit	µS/cm	838	702	898	54	196
CSB _{hom}	mg/l	595	310	933	180	623
BSB ₅	mg/l	272	182	390	65	208
NH ₄ -N	mg/l	35,7	29,0	41,0	3,9	12,0
N _{ges}	mg/l	50,3	40,0	68,0	8,1	28,0
P _{ges}	mg/l	9,5	6,2	20,0	3,9	13,8
AFS	mg/l	355	190	568	114	378

Anzahl Messungen: 9

Die Werte liegen im Bereich allgemein bekannter Konzentrationen für häusliches Abwasser. Der mittlere CSB-Gehalt wurde zu etwa 600 mg/l, der mittlere BSB₅-Gehalt zu etwa 270 mg/l bestimmt. Daraus resultiert ein mittleres Verhältnis von CSB / BSB₅ von 2,2 / 1. Das mittlere Verhältnis von BSB₅ / N_{ges} / P_{ges} kann zu 100 / 18 / 4 bestimmt werden. Damit weist das Abwasser eine gute biologische Abbaubarkeit auf.

Bezogen auf eine einwohnerspezifische Abwassermenge von 150 l/d ergeben sich personenspezifische Frachten, die im Bereich von 60 bis 80% des Bemessungsansatzes nach Arbeitsblatt DWA-A 131 [1] liegen, wie Tabelle 3 verdeutlicht.

Tabelle 3: Frachtermittlung (personenspezifisch) aus der mittleren Abwasserzusammensetzung des Rohabwassers im Vorlagebehälter des PIA-Prüffeldes

Parameter	Rohabwasser PIA-Vorlage ¹⁾	Bemessungsansatz nach DWA-A 131 [1]
	Personenspezifische Fracht [g/P*d]	
CSB	89	120
BSB₅	41	60
AFS	53	70 (TS)
N_{ges}	8	11,0 (TKN)
P_{ges}	1,4	1,8

¹⁾ einwohnerwertspezifischer Abwasseranfall: 150 l/d

Zur Beurteilung der Reinigungsleistung der Pilotanlage wurden folgende Probenahmestellen eingerichtet (vgl. Abbildung 5):

- 1) Probenahmestelle PN1
Zulauf Feinsiebrechen (FSR) im Vorlagetank der Pilotanlage
- 2) Probenahmestelle PN 2
Zulauf Biologie im Ablauf des Feinsiebrechens
- 3) Probenahmestelle PN 3
Ablauf Membran / Pilotanlage

Probenahmestelle PN1 wurde eingerichtet, um zu gewährleisten, dass die tatsächliche Abwasserzusammensetzung des Rohabwassers im eigentlichen Zulauf zur Pilotanlage erfasst wird. Probenahmestelle PN2 diente zur Erfassung der tatsächlichen Zulaufbelastung zur Biologie der Pilotanlage bzw. zur Ermittlung des Wirkungsgrades der Feinsiebrechen. Zur Ermittlung der biologischen Reinigungsleistung und der Wirksamkeit der Rohrkeramikmembranen diente Probenahmestelle PN3. Darüber hinaus wurden Schlammproben aus den Behältern A4 (Denitrifikation) und A5 (Nitrifikation) zur Beurteilung der Biologie gezogen.

4.4 Darstellung der Belastungssituation

Entsprechend den Projektzielen, unterschiedliche Lastsituationen zu simulieren, wurde die Filtrationsleistung der Pilotanlage über die regelbare Rezirkulationspumpe P1 entsprechend dem modifizierten Versuchsablauf (dargestellt in Abbildung 4) gesteuert. Die tatsächlich gefahrene hydraulische Durchsatzleistung ist in Abbildung 6 dargestellt.

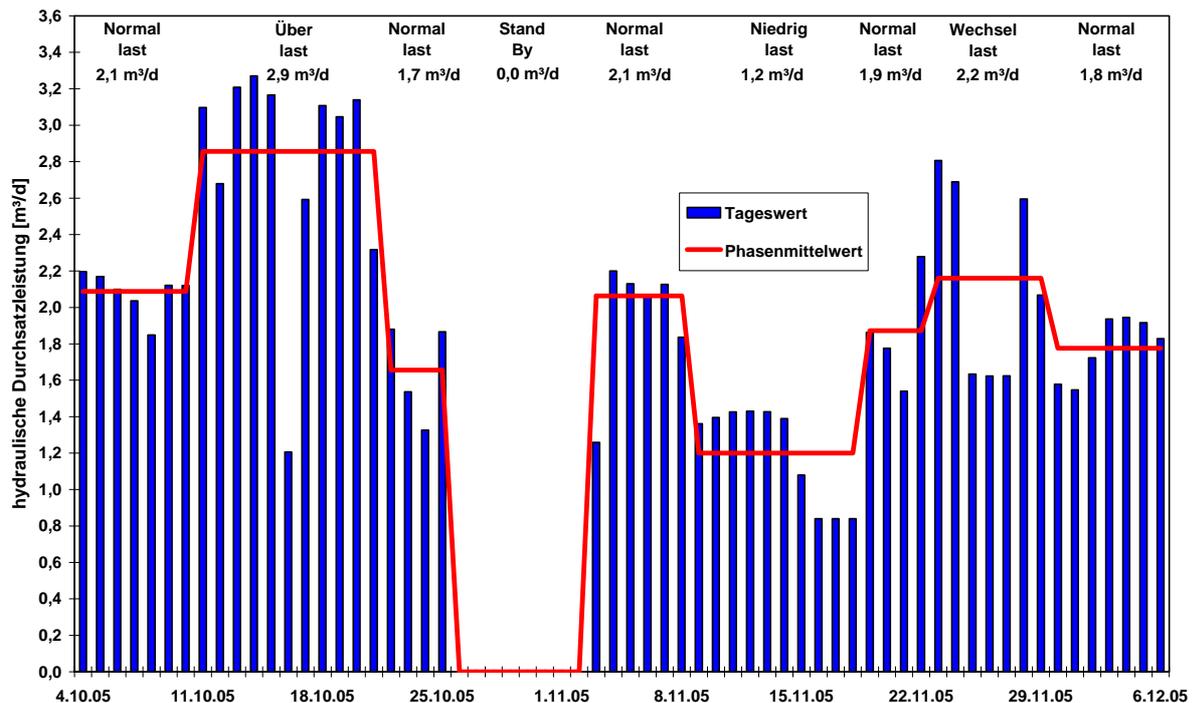
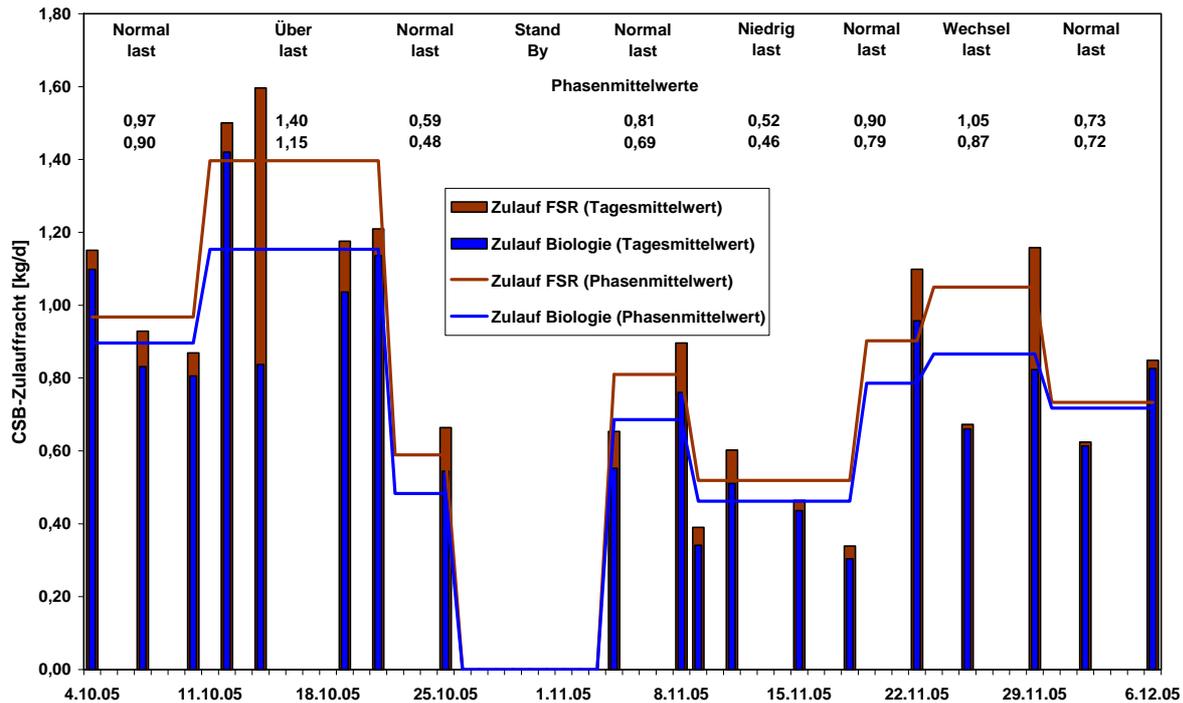


Abbildung 6: Tägliche und mittlere hydraulische Durchsatzleistung während des Eignungstests

Die mittleren hydraulischen Durchsatzleistungen während der Normallastbetriebsphasen lagen zwischen 1,7 bis 2,1 m³/d, in der Überlastphase bei 2,9 m³/d, in der Niedriglastphase bei 1,2 m³/d und in der Wechsellastphase bei im Mittel 2,2 m³/d. Die Wechsellastphase zeichnete sich durch zwei Peaks mit mittleren Durchsatzleistungen von etwa 2,6 m³/d und einer Niedriglastphase mit 1,6 m³/d aus.

Mit den an den Probenahmestellen PN1 (Zulauf Feinsiebrechen) und PN2 (Zulauf Biologie) mittels Küvettentests gemessenen CSB-Konzentrationen ergab sich während des Eignungstests die in Abbildung 7 dargestellte CSB-Belastungssituation.



Tagesmittelwert: Produkt aus gemessener Konzentration und hydraulischem Tagesdurchsatz
 Phasenmittelwert: Produkt aus Mittelwert gemessener Konzentrationen und mittlerem hydraulischem Tagesdurchsatz innerhalb der Phase

Abbildung 7: CSB-Zulaufmengen zur Pilotanlage während des Eignungstests

Die mittleren CSB-Zulaufmengen während der Normallastbetriebsphasen lagen im Zulauf zum Feinsiebrechen zwischen 0,59 bis 0,97 kg/d und im Zulauf zur Biologie zwischen 0,48 bis 0,90 kg/d. In der Überlastphase stieg die Belastung im Mittel auf 1,4 kg/d (Zulauf FSR) bzw. 1,15 kg/d (Zulauf Biologie) und fiel während des Niedriglastbetriebes auf 0,52 bzw. 0,46 kg/d. Damit entsprach die Belastung in etwa der zweiten Normallastbetriebsphase. Die Belastung während der Wechsellastphase lag im Mittel im Bereich der ersten Normallastphase. Eine Auswertung der gemessenen CSB-Konzentrationen erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

4.5 Auswertung der Untersuchungen

Zur Beurteilung der Reinigungsleistungen hinsichtlich der Kohlenstoff- und Nährstoffparameter (C, N + P) wurden die Probenahmestellen gemäß dem modifizierten Versuchsablauf, dargestellt in Abbildung 4, beprobt. Bei den Proben, die allein im Labor des PIA mittels Küvettentests analysiert wurden, handelte es sich um zeitproportionale 2h-Mischproben. Erfolgte die Analytik zusätzlich im ISA-Labor gemäß DIN/EN-Analytik wurden zeitproportionale 24h-Mischproben untersucht. Im Anhang sind die Einzelergebnisse tabellarisch zusammengefasst. Eine grafische Auswertung der Analytikergebnisse aus dem PIA-Labor (Küvettentests) erfolgt im Anschluss für folgende ausgewählte Parameter: CSB, N, P, TS-Gehalt, Temperatur und $B_{TS,CSB}$.

In Abbildung 8 sind die Zu- und Ablaufkonzentrationen der Parameter CSB über den Zeitraum des Eignungstests dargestellt. Zusätzlich sind die im ISA-Labor ermittelten BSB₅-Konzentrationen dargestellt.

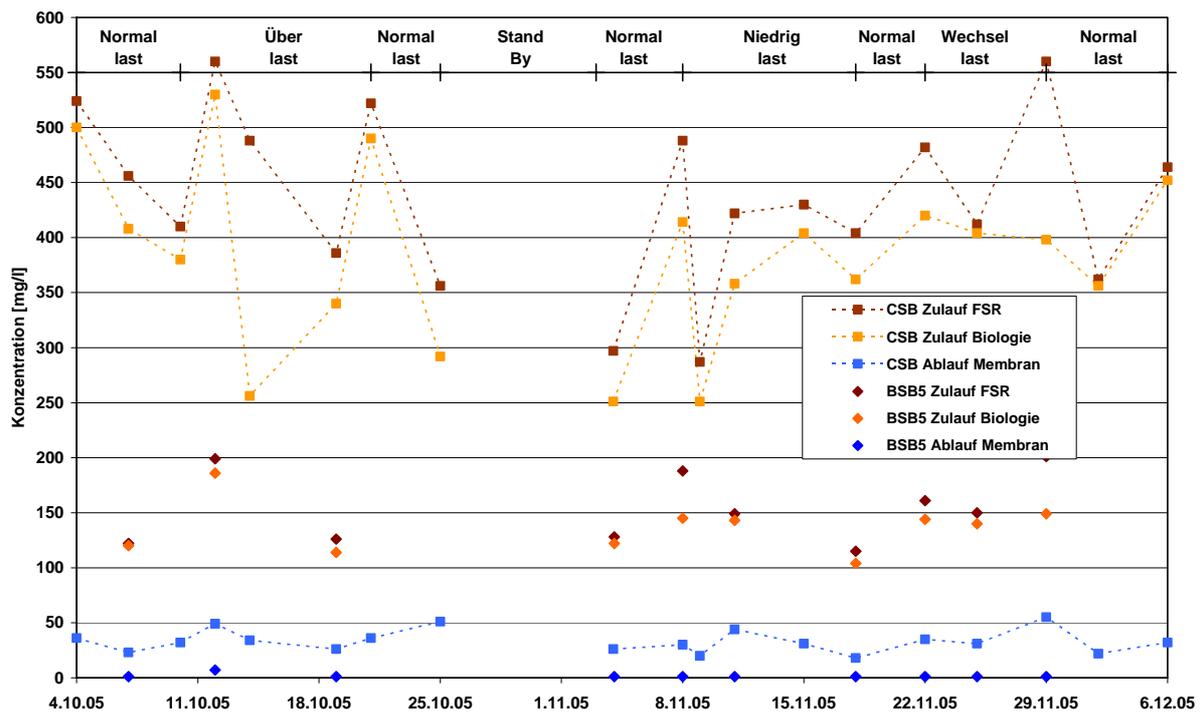


Abbildung 8: CSB / BSB₅-Konzentrationen

Die CSB-Konzentrationen im Zulauf zum Feinsiebrechen wurden im Bereich von 287 und 560 mg/l (Mittelwert 437 mg/l) und im Zulauf zur Biologie im Bereich von 251 und 530 (Mittelwert 382 mg/l) gemessen. Die BSB₅-Konzentrationen wurden im Bereich

von 115 und 201 im Zulauf zum Feinsiebrechen (Mittelwert 154 mg/l) und im Bereich von 104 und 186 mg/l im Zulauf zur Biologie (Mittelwert 137 mg/l) gemessen.

Über den gesamten Zeitraum des Eignungstests lagen die gemessenen CSB-Ablaufkonzentrationen unter 60 mg/l. Die höchste Ablaufkonzentration mit 55 mg/l wurde während der Wechsellastphase gemessen, die Niedrigste mit 18 mg/l während der Niedriglastphase (Mittelwert 33 mg/l). Die BSB₅-Ablaufkonzentration lag bei neun der zehn Probenahmen unterhalb des Messbereichs von 1 mg/l, allein zu Anfang der Überlastphase wurde ein BSB₅-Ablaufwert zu 7 mg/l bestimmt. Die aus den Mittelwerten resultierende CSB-Eliminationsrate für den Parameter CSB lag damit für den Feinsiebrechen bei 12,6%, für die biologische Stufe bei 91,4% und insgesamt bei 92,5%. Unter Berücksichtigung der zahlreichen BSB₅-Ablaufwerte unterhalb des Messbereiches kann die mittlere BSB₅-Eliminationsrate mit 99% angegeben werden.

In Abbildung 9 ist der Verlauf der gemessenen Stickstoffparameter dargestellt.

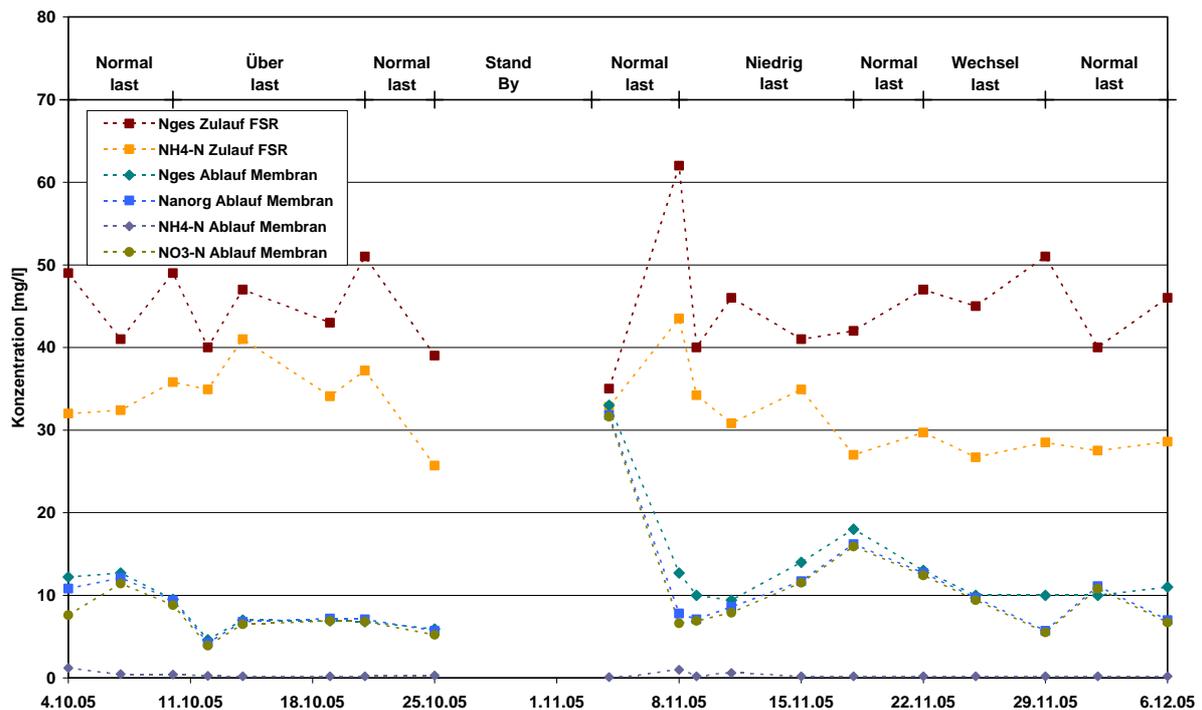


Abbildung 9: Stickstoffkonzentrationen

Die Konzentrationen im Zulauf zum Feinsiebrechen wurden für den Parameter N_{ges} im Bereich von 35 und 62 mg/l (Mittelwert 44,9 mg/l) und für den Parameter NH₄-N im Bereich von 25,7 und 43,5 mg/l (Mittelwert 32,5 mg/l) gemessen.

Zwölf von insgesamt neunzehn Messergebnissen für den Parameter N_{anorg} lagen im Ablaufwasser unter 10 mg/l. Der mittlere Ablaufwert über den Zeitraum des Eignungstests wurde zu 10,1 mg/l bestimmt.

Zu Beginn der dritten Normallastphase mit Ende des neuntägigen Stand-By Betriebs wurden im Ablaufwasser die höchsten Konzentrationen mit N_{anorg} von 31,8 mg/l und N_{ges} von 33,0 mg/l gemessen. Die Betriebslastphase „Stand-By“ führte infolge fehlender Beschickung mit Rohabwasser zu einem Absterben von Mikroorganismen im belebten Schlamm und zu einer Rücklösung von Stickstoff. Während der Ammoniumstickstoff zu Nitratstickstoff weiterhin umgewandelt wurde, konnte aufgrund fehlender Kohlenstoffquellen eine Denitrifikation nicht stattfinden, wie dies auch deutlich am Verlauf der Ammonium- und Nitratstickstoffkonzentrationen zu erkennen ist. Nach erneuter Beschickung mit Rohabwasser zu Beginn der dritten Normallastphase stellten sich die Umwandlungsprozesse wieder ein, so dass bereits nach vier Tagen wieder vollständige Nitrifikation und Denitrifikation zu verzeichnen war. Die mittlere Ablaufkonzentration aus den Messungen ergab für den Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ 0,3 mg/l wobei 12 der 19 Messwerte unterhalb des Messbereichs von 0,2 mg/l lagen. Für den Parameter $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde eine mittlere Ablaufkonzentration von 9,6 mg/l bestimmt. Eine Änderung des internen Rezirkulationsverhältnisses – angepasst an die veränderten hydraulischen Zulaufbedingungen - wurde während des Eignungstests nicht vorgenommen. Der Rezirkulationsstrom betrug etwa 500 l/h.

Die aus den mittleren Zu- und Ablaufwerten resultierenden Eliminationsraten betragen für die betrachteten Parametern $N_{\text{ges,Zulauf}}$ zu $N_{\text{anorg,Ablauf}}$ 79 % bzw. 76,4% für die Parameter $N_{\text{ges,Zulauf}}$ zu $N_{\text{ges,Ablauf}}$.

Die untersuchte Pilotanlage beinhaltete keine Einrichtungen für eine biologische oder chemische Phosphorelimination. Insofern war nur eine geringe bzw. keine P-Elimination feststellbar. In Abbildung 10 ist der Verlauf der gemessenen P_{ges} -Konzentrationen dargestellt.

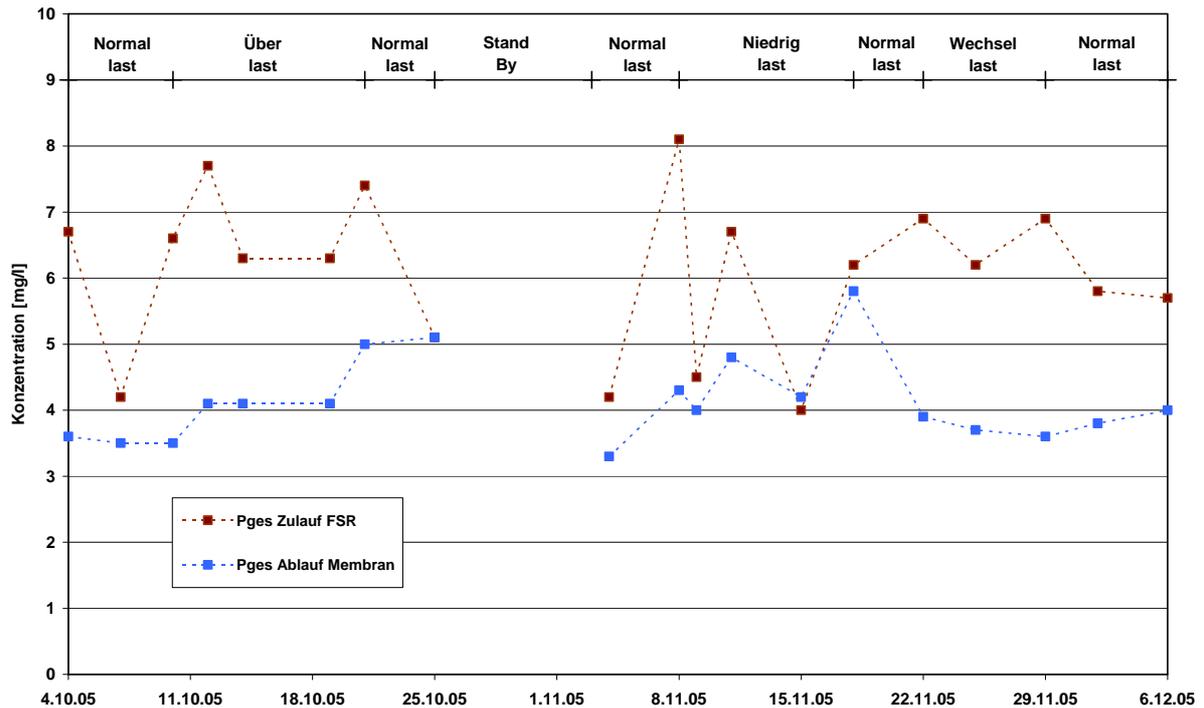


Abbildung 10: Verlauf der Phosphorkonzentrationen

Die Zulaufkonzentrationen wurden zwischen 4,0 und 8,1 mg/l (Mittelwert 6,1 mg/l) und die Ablaufkonzentrationen zwischen 3,3 und 5,8 mg/l (Mittelwert 4,1 mg/l) bestimmt. Aus den Mittelwerten resultiert damit eine rechnerische Eliminationsrate von 32,1%, die auf den Aufbau von Biomasse zurückgeführt werden kann.

In Abbildung 11 sind die Verläufe der Trockensubstanzgehalte und der Temperaturen im Denitrifikationsbehälter A4 und Nitrifikationsbehälter A5 dargestellt.

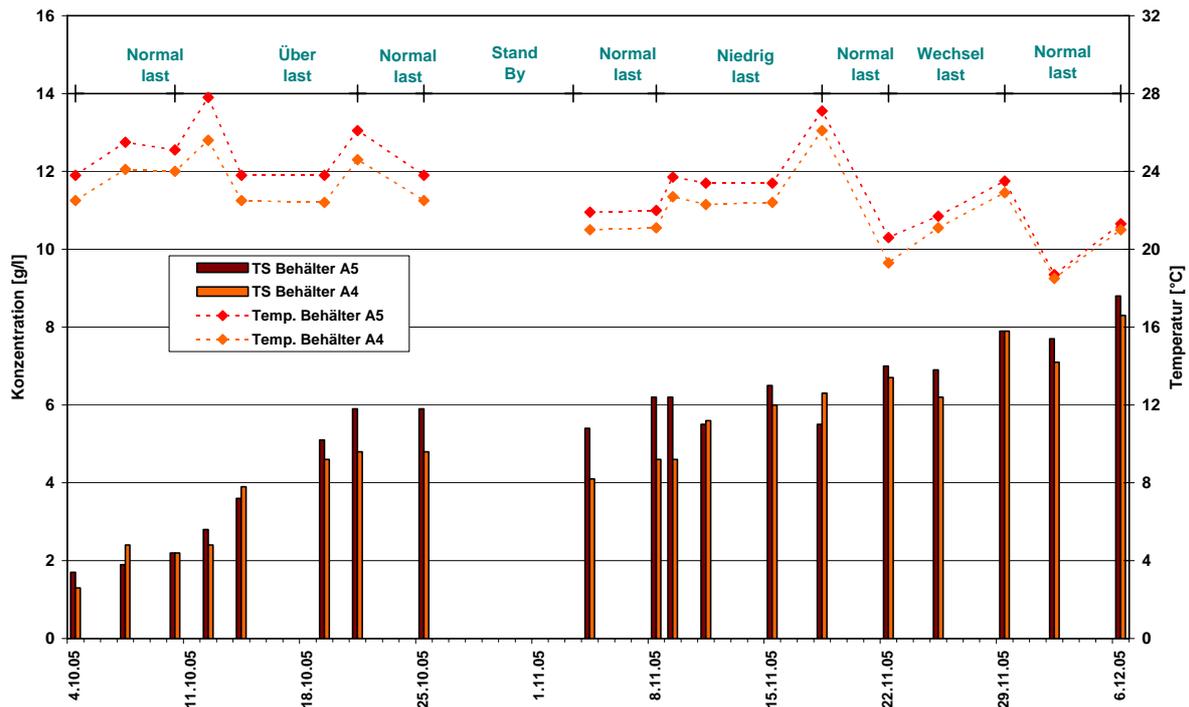


Abbildung 11: Trockensubstanz-Gehalte und Temperatur

Bedingt durch die erneute Inbetriebnahme der Anlage Ende September nach dem zuvor eingetretenen Membranbruch lag der TS-Gehalt zu Beginn des Eignungstests bei knapp 2 g/l. Vor Beginn der Betriebslastphase „Stand By“ stieg der Gehalt durch Biomassezuwachs auf knapp 6 g/l und sank während dieser Phase infolge eines Abbaus von Mikroorganismen um ca. 0,5 g/l. Mit Beginn der dritten Normallastphase stieg der Gehalt bis zum Ende des Eignungstest auf ca. 8 g/l. Der Glühverlust lag zwischen 76 bis 82%. Eine Entnahme von Überschussschlamm erfolgte während des Eignungstests nicht. Der höhere TS-Gehalt im Nitrifikationsbehälter A5 liegt darin begründet, dass Behälter A5 zusätzlich als Vorlagebehälter für die Filtration diente, damit also kontinuierlich ein Aufkonzentrierungsprozess von Biomasse stattfand. Der Prozess der Konzentrationsvergleichmäßigung infolge interner Rezirkulation mit Behälter A4 fand dagegen verlangsamt statt. Ein entsprechender Effekt war zudem für die Temperaturverläufe in den Behältern feststellbar. Der kontinuierliche Betrieb der Rezirkulationspumpe führte zu einem Anstieg der Temperaturen bis knapp 28°C. Die niedrigsten Temperaturen wurden zu ca. 18,5 °C gemessen.

Die Zulauftemperatur lag im Mittel bei 15,9 °C (Schwankungsbreite von 11,3 bis 19,9 °C). Die gemessenen pH- und Leitfähigkeit-Werte im Zulauf lagen mit 7,1 und

7,5 bzw. 674 und 992 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im bekannten Rahmen von häuslichem Abwasser. Entsprechend lagen die gemessenen Ablaufwerte für den Parameter pH-Wert im Bereich von 6,9 und 7,8 und für den Parameter Leitfähigkeit im Bereich von 534 und 738 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Abschließend ist aus den ermittelten CSB-Zulaufmengen zur Biologie und den gemessenen Trockensubstanzgehalten in den Behältern A4 und A5 der Verlauf der CSB-Schlammbelastung in Abbildung 12 dargestellt.

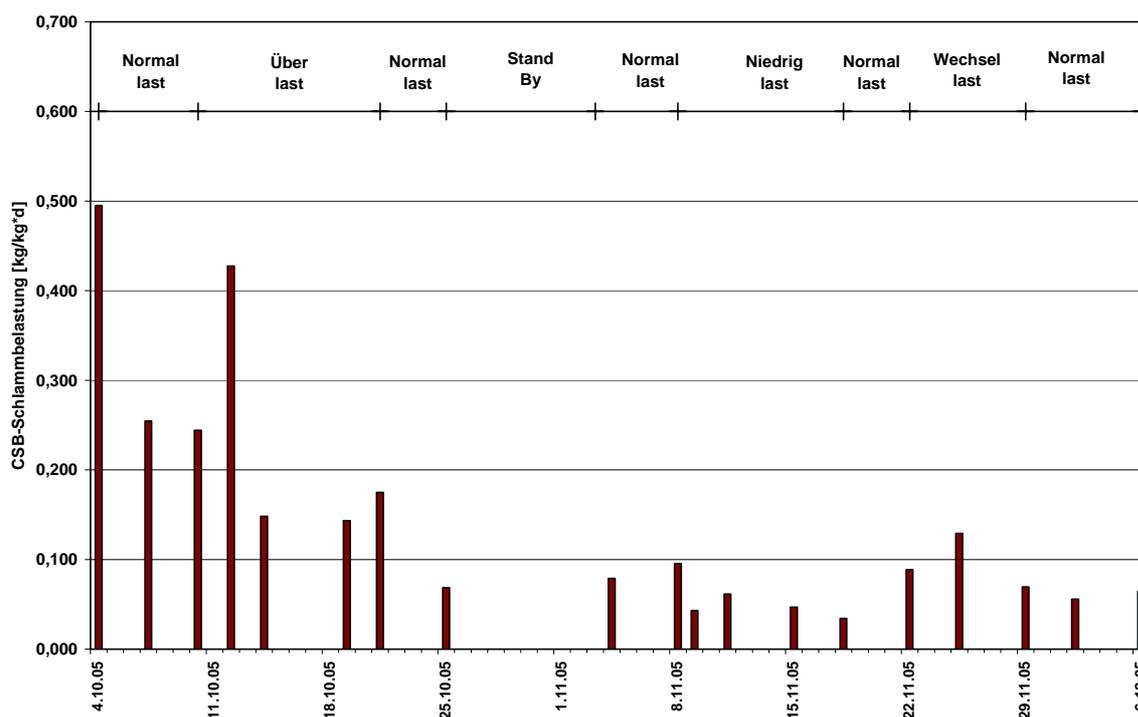


Abbildung 12: CSB-Schlammbelastung

Aufgrund der sehr geringen Trockensubstanzgehalte zu Beginn des Eignungstests lag die Schlammbelastung deutlich über 0,2 $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, infolge erhöhter Zulaufmengen stieg die Schlammbelastung bis auf knapp 0,5 $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ an. Mit Beginn der zweiten Normallastbetriebsphase und Erreichen eines TS-Gehaltes von ca. 6 g/l sank die CSB-Schlammbelastung auf unter 0,1 $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$. Einen ermittelbaren Einfluss der unterschiedlichen CSB-Schlammbelastungen auf die CSB-Reinigungsleistungen war jedoch nicht erkennbar, wie Abbildung 13 verdeutlicht.

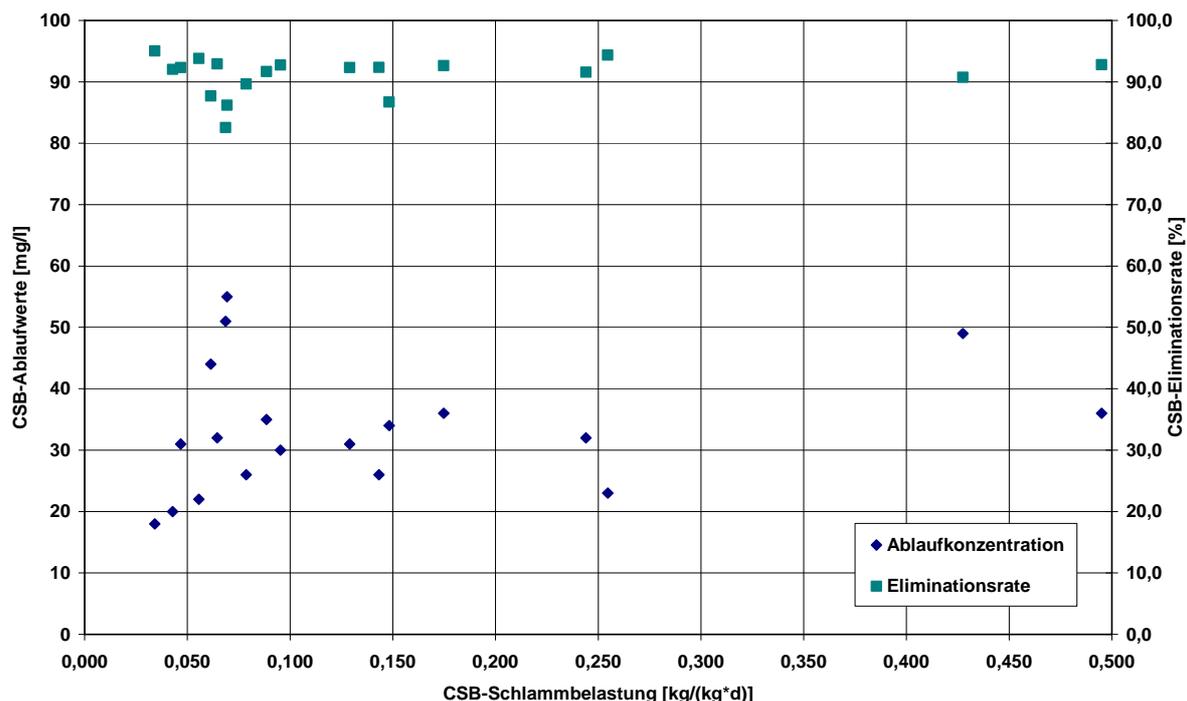


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen CSB-Schlammbelastung und CSB-Eliminationsraten

Aufgrund der großen Streubreite konnte eine direkte Abhängigkeit zwischen Höhe der Schlammbelastung und Höhe des Ablaufwertes bzw. der Reinigungsleistung nicht festgestellt werden.

Die im ISA-Labor analysierten Abwasserproben wurden zusätzlich auf abfiltrierbare und lipophile Stoffe untersucht. Im Zulauf zur Biologie wurden Konzentrationen für den Parameter AFS von 71 bis 141 mg/l (Mittelwert 99 mg/l) und für die lipophilen Stoffe 12 bis 45 mg/l (Mittelwert 26 mg/l) während des Eignungstests gemessen.

Entsprechend der Verwendung von Keramikmembranmodulen zur Abtrennung des Ablaufwassers vom belebten Schlamm wurden Ablaufkonzentrationen für AFS um 1 mg/l gemessen. Bei sieben der insgesamt 10 Proben lag die gemessene Ablaufkonzentration der lipophilen Stoffe unter der Messwertgrenze von 4 mg/l, die höchste gemessene Konzentration lag bei 7 mg/l. Ein deutlich negativer Einfluss der Fettgehalte auf den Flux war nicht festzustellen.

4.6 Mikrobiologische Wasseruntersuchungen

Neben der Ermittlung erreichbarer Ablaufwerte hinsichtlich Kohlenstoff- und Stickstoffelimination wurden Abwasserproben auf mikrobiologische Parameter untersucht. Zusätzlich zu den mikrobiologischen Parametern der Badegewässerrichtlinie [2], wie gesamtcoliforme Keime, fäkalcoliforme Keime, Fäkalstreptokokken und Salmonellen, wurden die Abwasserproben auf *Clostridium perfringens* untersucht. Zur Beurteilung der verwendeten Keramikmodule mit unterschiedlichen Trenngrenzen (MWCO 150 kD bzw. 50 kD) wurden jeweils separate Abwasserproben untersucht.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen

Parameter	Verfahren	12.10.05	18.10.05	8.11.05	17.11.05	22.11.05	29.11.05
		PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	PN 5	PN 6
Zulauf Biologie							
Gesamtcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000
Fäkalcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000
Fäkalstreptokokken	/ 100 ml	EN ISO 7899-2	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000	> 11.000
Salmonellen	/ 1.000 ml	MPN ISO 6340	< 30	200	< 30	< 30	70
Clostridium perfringens	/ 100 ml	DIN EN ISO 7937	976	1.240	23.900	439.000	124
Ablauf Membranmodul Trenngrenze 150 kD							
Gesamtcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	> 11.000	< 30	< 30	< 30	< 30
Fäkalcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	> 11.000	< 30	< 30	< 30	< 30
Fäkalstreptokokken	/ 100 ml	EN ISO 7899-2	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Salmonellen	/ 1.000 ml	MPN ISO 6340	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Clostridium perfringens	/ 100 ml	DIN EN ISO 7937	1	0	0	0	24
Ablauf Membranmodul Trenngrenze 50 kD							
Gesamtcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	430	< 30	< 30	< 30	< 30
Fäkalcoliforme Keime	/ 100 ml	MPN Bgbl. 10/95	430	< 30	< 30	< 30	< 30
Fäkalstreptokokken	/ 100 ml	EN ISO 7899-2	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Salmonellen	/ 1.000 ml	MPN ISO 6340	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Clostridium perfringens	/ 100 ml	DIN EN ISO 7937	1	0	0	0	0

Die sehr hohen Befunde zu Beginn (1. Probenahme) der Untersuchungen mussten auf eine fehlerhaft durchgeführte Probenahme zurückgeführt werden. Es konnte nicht ausgeschlossen werden, dass bei der Einweisung des Personals in die Probenahme eine Sekundärverschmutzung der Probenahmegefäße durch unsachgemäßes Handling erfolgte bzw. eine ausreichende Desinfizierung der Probenahmestelle vorab durchgeführt wurde.

Anschließend (Probenahme 2 bis 4) lagen die Befunde unter dem Messbereich der angewandten Prüfverfahren. Ein Unterschied zwischen den beiden verwendeten

Modulen war nicht festzustellen. Für die Probenahmen 5 und 6 wurden keine positiven Befunde im Ablauf des Keramikmembranmoduls mit Trenngrenze 50 kD festgestellt. Eine eindeutige Ursache für die positiven Befunde im Ablauf des Keramikmembranmoduls mit der Trenngrenze 150 kD konnte während des Eignungstests nicht mehr gefunden werden. Um hier genauere Aussagen treffen zu können, sind längerfristige Untersuchungen erforderlich. Mit Ausnahme von Probenahme 1 lagen die Befunde im Ablauf der Membranmodule unter den Leitwerten bzw. zwingend einzuhaltenden Werten der Badegewässerrichtlinie [2] für die Parameter gesamtcoliforme Keime, fäkalcoliforme Keime und Fäkalstreptokokken. Für den Parameter „Salmonellen“ kann aufgrund des Messbereichs des angewandten Analyseverfahrens keine Aussage getroffen werden.

Tabelle 5: Grenzwerte mikrobiologischer Parameter gemäß Badegewässerrichtlinie [2]

Parameter	Einheit	Leitwert	Zwingender Wert
Gesamtcoliforme Keime	/ 100 ml	500	10.000
Fäkalcoliforme Keime	/ 100 ml	100	2.000
Fäkalstreptokokken	/ 100 ml	100	-
Salmonellen	/ 1.000 ml	-	0

Generell ist zu beachten, dass ein negativer Befund nicht automatisch zu der Aussage führen kann, dass das Ablaufwasser frei von mikrobiologischen Verunreinigungen ist. Da die genommenen Abwasserproben zwecks Analyse geteilt werden müssen, besteht die Möglichkeit, dass die untersuchte Teilprobe frei von Verunreinigungen ist, die nicht untersuchte Teilprobe jedoch verunreinigt sein kann.

4.7 Aussagen zum Flux

Mit Beginn der Wiederinbetriebnahme der Pilotanlage wurde die Durchsatzleistung unter definierten Bedingungen erfasst. Dazu wurde die Leistung der Rezirkulationspumpe P1 auf 70% eingestellt und die Durchsatzleistung aufgenommen und auf die insgesamt eingesetzte Membranfilterfläche bezogen. In Abbildung 14 ist der Verlauf des Flux über den Zeitraum Wiederinbetriebnahme Pilotanlage (28.09.05) bis Ende Eignungstest (06.12.05) dargestellt.

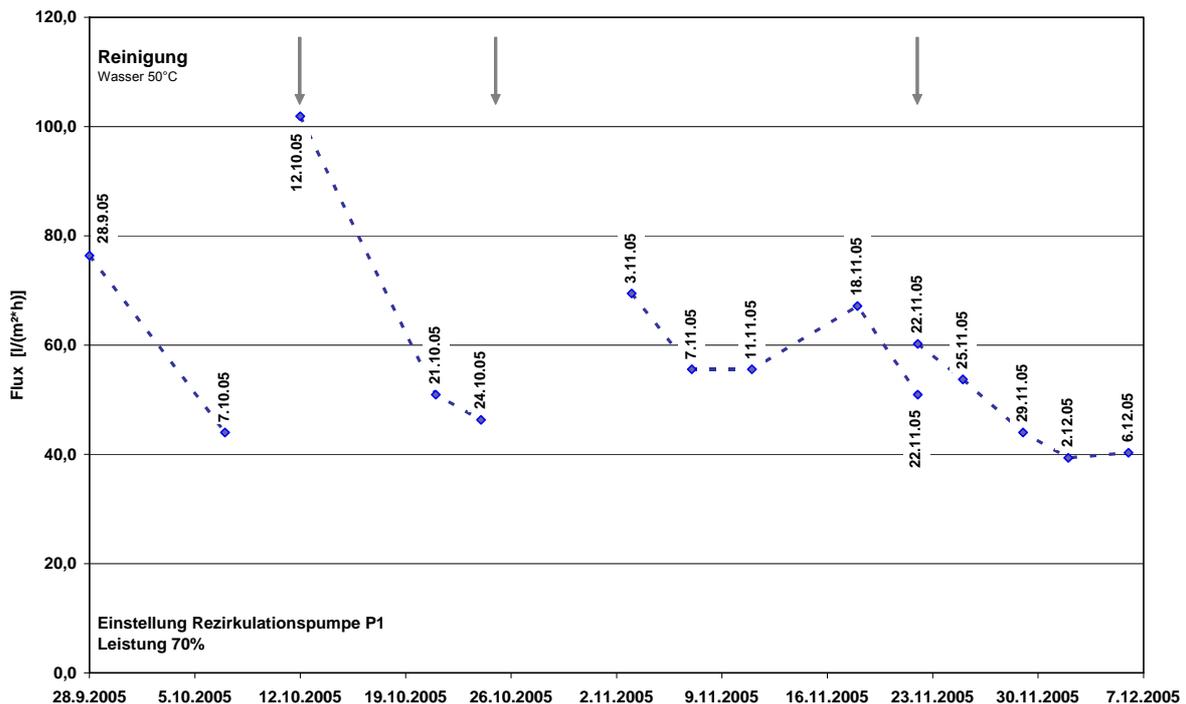


Abbildung 14: Flux-Leistung der Pilotanlage

Zur Aufrechterhaltung eines minimalen Flux von 40 l/(m²·h) wurden drei Membranreinigungen an den Tagen 12.10.05, 25.10.05 und 22.11.05 durchgeführt. Bei den Reinigungen handelte es sich um in-situ Reinigungen, die mit Hilfe des in der Anlagensteuerung vorgesehenen Reinigungsprogramms und unter Verwendung von 50°C heißem Wasser erfolgte. Es ist zu erkennen, dass die Wirksamkeit dieser Reinigungspraxis im Laufe des Eignungstests deutlich nachließ.

Eine kurzzeitige Erhöhung des Flux nach Ende der Niedriglastphase (18.11.05) war feststellbar. Zurückzuführen war dies auf die besonderen Einstellungen der Pilotanlage, die notwendig waren, um die hydraulische Belastung auf die vorgegebene

Durchsatzleistung zu reduzieren. Eine deutliche Abnahme des Flux war daher auch nach Ende der anschließenden Normallastphase zu verzeichnen.

Zur Bestimmung des Flux der einzelnen Keramikmembranmodule wurde nach der dritten Reinigung zusätzlich jedes Modul einzeln betrachtet. In Abbildung 15 sind die Ergebnisse für den Zeitraum 22.11. (Reinigung Membranmodule) bis 06.12.05 (Ende Eignungstest) dargestellt.

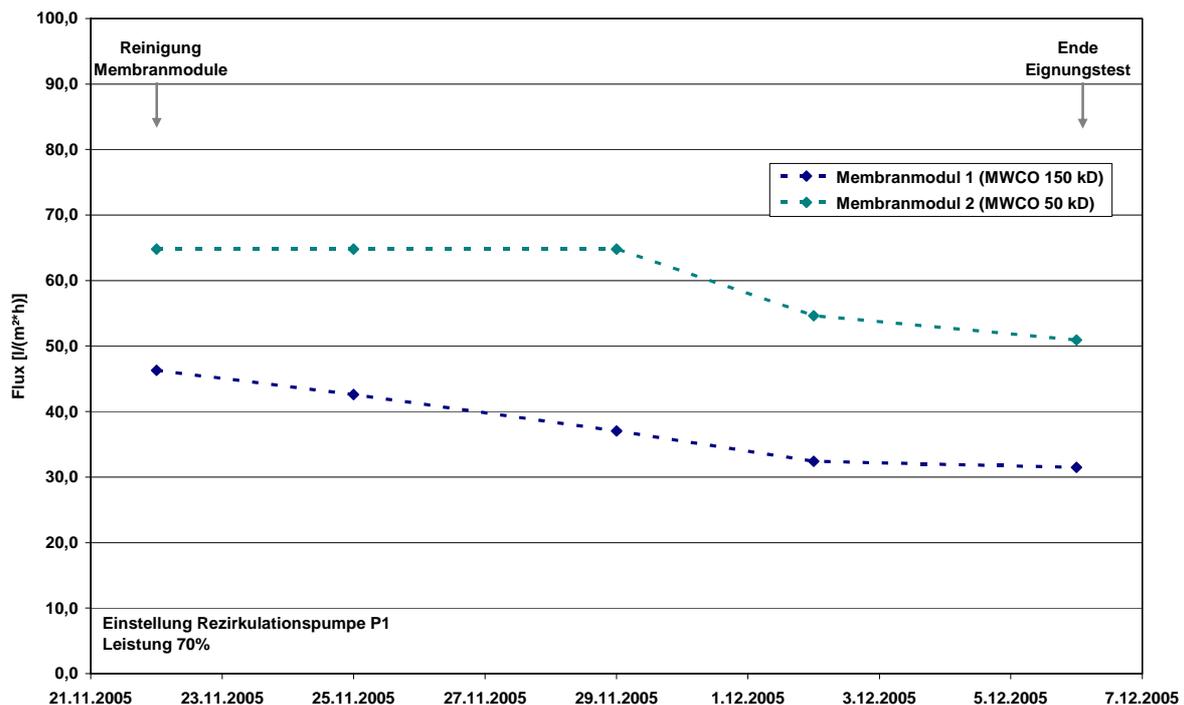


Abbildung 15: Flux-Leistung der Keramikmembranmodule

Nach der Reinigung wurde im Membranmodul 1 (MWCO 150 kD) ein Flux von 46 l/(m²·h) und im Membranmodul 2 (MWCO 50 kD) ein Flux von 65 l/(m²·h) bestimmt. Bis zum Ende des Eignungstests sank in beiden Modulen die Leistung um 14 l/(m²·h). Bei einer Leistungseinstellung der Rezirkulationspumpe von 70% wurde der Betriebsdruck in der Rezirkulationsleitung vor der Membrantrennstufe zu 2,2 bar und aufgrund von Druckverlusten nach der Trennstufe zu 0,8 bar anhand der installierten Druckmesssonden ermittelt.

4.8 Ermittlung des Stromverbrauchs der Pilotanlage

Neben der Überprüfung der Reinigungsleistung der Pilotanlage und den Eigenschaften der eingesetzten Keramikmembranmodule wurde der Energieverbrauch der Anlage arbeitstäglich erfasst. Der Energieverbrauch der Pilotanlage hing in erster Linie von den Einstellungen der steuerbaren Rezirkulationspumpe P1 statt. Diese wiederum musste entsprechend den Eigenschaften der Keramikmembranmodule wie dem Flux angepasst werden, um die vorgegebene Durchsatzleistung zu erreichen. In Abbildung 16 ist der mittlere Energieverbrauch der Pilotanlage pro Betriebslastphase, umgerechnet auf 1 m³ behandeltes Filtrat, dargestellt. Der Energieverbrauch wurde aus dem hydraulischen Phasenmittelwert (vgl. Abbildung 6) und der während der jeweiligen Betriebsphase verbrauchten Energie ermittelt.

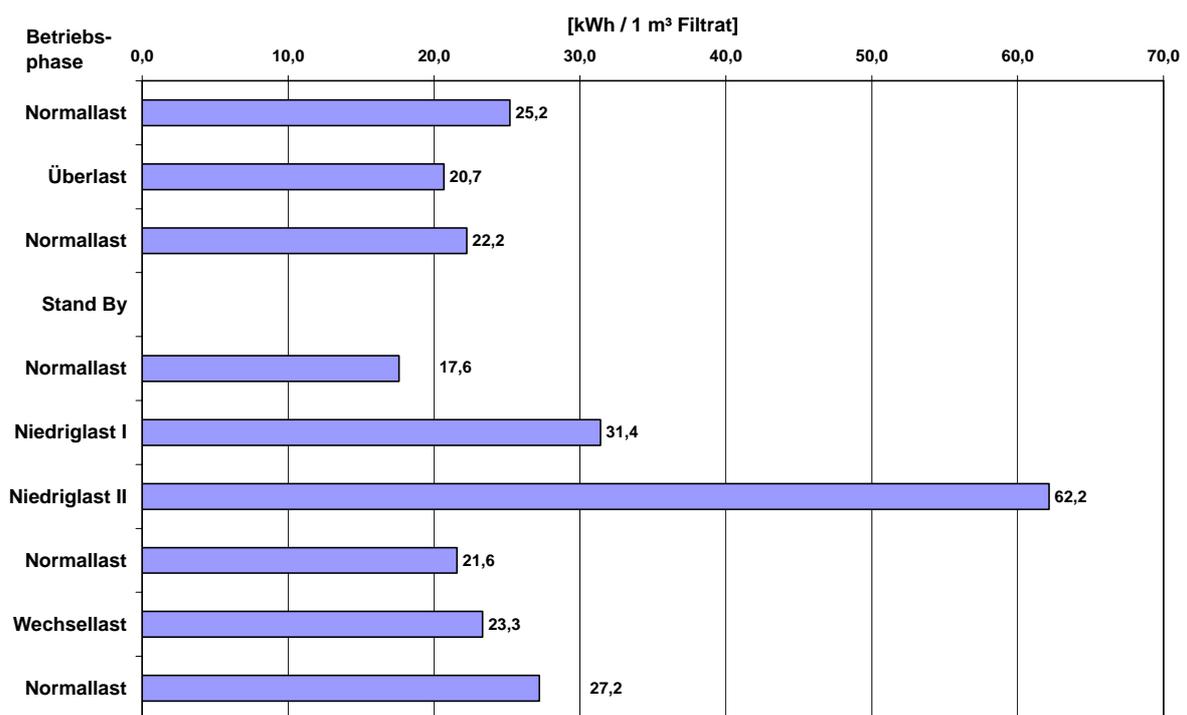


Abbildung 16: Energieverbrauch Pilotanlage

Es ergab sich für den gesamten Zeitraum des Eignungstests ein mittlerer Energieverbrauch von 25,8 kWh je 1 m³ Filtrat und für die Normallastphasen ein mittlerer Energieverbrauch von 23,2 kWh je 1 m³ Filtrat (jeweils normiert auf Dauer der Betriebslastphasen). Die Betriebslastphase „Stand By“ wurde nicht mitberücksichtigt.

Die sehr hohen Energieverbräuche während der Niedriglastphasen sind darauf zurückzuführen, dass die Filtration während Niedriglastphase I allein über das Keramikmodul mit der Trenngrenze von 150 kD und während Niedriglastphase II allein über das Keramikmodul mit der Trenngrenze von 50 kD erfolgte. Während der übrigen Betriebslastphasen erfolgte die Filtration jeweils über beide Keramikmodule.

4.9 Diskussion der Ergebnisse

Ziel des Untersuchungsvorhabens war die Entwicklung einer leistungsfähigen Pilot-Abwasserbehandlungsanlage für den dezentralen Einsatz in der Größenordnung von Kleinkläranlagen (Größenordnung bis 50 EW). Neben der Erreichung guter Ablaufwerte zählt hierzu die Betriebsstabilität bei schwankenden hydraulischen Belastungen zu den wesentlichen Kriterien.

Dementsprechend wurde in Anlehnung an die Norm DIN EN 12566-Teil 3 ein modifizierter Leistungstest durchgeführt. Zur Beurteilung der Reinigungsleistung sollen entsprechend die Ablaufanforderungen gemäß den Zulassungsgrundsätzen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen des deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT) herangezogen werden. Die Zulassungsgrundsätze sehen fünf Klassen mit unterschiedlichen Anforderungen vor [3]:

<u>Klasse</u>	<u>Beschreibung</u>
C	Anlagen mit Kohlenstoffelimination
N	Anlagen mit Kohlenstoffabbau und zusätzlicher Nitrifikation
D	Anlagen mit Kohlenstoffabbau, Nitrifikation und zusätzlicher Denitrifikation
C / N / D / +P	Anlagen mit zusätzlicher Phosphorelimination
C / N / D / + H	Anlagen mit zusätzlicher Hygienisierung

Folgende Mindestanforderungen sind dabei einzuhalten:

Tabelle 6: Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer gemäß DIBT für Kleinkläranlagen

Klasse	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	N _{anorg}	P _{ges}	Fäkal-coliforme Keime	AFS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	/ 100 ml	mg/l
C	150*/100**	40*/25**					75*
N	90*/75**	20*/15**	10**				50*
D	90*/75**	20*/15**	10**	25**			50*
+ P					2**		
+ H						100*	

* ermittelt aus der qualifizierten Stichprobe, bei fäkalcoliformen Keimen einfache Stichprobe

** ermittelt aus der 24h-Mischprobe; NH₄-N und N_{anorg} bei Abwassertemperaturen T ≥ 12°C

In Bezug auf Tabelle 6 kann die Pilotanlage in die Klasse D + H eingeordnet werden. Die ermittelten Ablaufwerte verdeutlichen, dass die Mindestanforderungen eingehalten werden.

Tabelle 7: Anforderungen gemäß DIBT für die Prüfung von Kleinkläranlagen und ermittelte Ablaufwerte

Parameter	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	N _{anorg}	Fäkal-coliforme Keime	AFS
	24h-MP	24h-MP	24h-MP	24h-MP	Stichprobe	24h-MP
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	/ 100 ml	mg/l
Anforderungen gemäß Klasse D + H	75	15	10	25	100	50
	ermittelte Ablaufwerte (2h- und 24h-Mischproben)					
Mittelwert	33	2	0,3	10,1	-	1
MIN	18	< 1	< 0,2	3,9	< 30	< 1
MAX	55	7	1,2	31,6	40	2

CSB / NH₄-N / N_{anorg}: Analyseergebnisse gemäß Küvettentests aus PIA-Labor

BSB₅ / AFS: Analyseergebnisse gemäß DIN EN – Analytik aus ISA Labor

Zu beachten ist, dass die Mindestanforderungen nur für Normallastphasen (Belastung 100%) gelten und die aufgeführten Ablaufwerte Ergebnisse über die gesamten Betriebslastphasen darstellen. Somit bewegt sich die einmalige Überschreitung des Ablaufwertes für den Parameter N_{anorg} nach Ende der Stand-By Betriebsphase im zulässigen Rahmen der Anforderungen des DIBT.

Neben der Einhaltung der Anforderungen bzgl. fäkalcoliformer Keime wurde auch ein Rückhalt bzgl. weiterer mikrobiologischer Parameter (Enterokokken, Salmonellen, Clostridium perfringens) festgestellt. Wird die erste Probenahme unter dem Aspekt einer fehlerhaft durchgeführten Probenahme nicht mit berücksichtigt, zeigte sich bei der Verwendung des Keramikmembranmoduls mit Trenngrenze 50 kD, dass alle weiteren Untersuchungen negative Befunde aufwiesen, d.h. die Ergebnisse entweder „0“ oder unterhalb der Messgrenze des angewandten Verfahrens lagen.

Eine eindeutige Ursache für die positiven Befunde im Ablaufwasser des Keramikmembranmoduls mit Trenngrenze 150 kD konnte im Rahmen des Eignungstests

nicht gefunden werden. Die Trenngrenze des Membranmoduls schien jedoch nicht das ausschlaggebende Kriterium zu sein. Um genauere Aussagen dazu treffen zu können, sind längerfristige Untersuchungen erforderlich.

Die vorab vorgegebenen Durchsatzleistungen konnten mit der Pilotanlage erreicht werden, die Fluxleistungen mit minimal $40 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ lagen deutlich über den Fluxleistungen zurzeit verwendeter Membransysteme im dezentralen Bereich (Fluxleistungen zumeist kleiner $25 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$).

Es musste jedoch festgestellt werden, dass der Energieverbrauch mit im Mittel von knapp 26 kWh je 1 m^3 Filtrat sehr hoch war. Um zu überprüfen, ob der Energiebedarf der Pilotanlage durch Optimierung der Reinigungsstrategie reduziert werden kann, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

4.10 Aussagen zur Verwendbarkeit der durchgeführten Küvettentests

Die Analytik der Abwasserproben erfolgte vorwiegend mittels Küvettentests im Labor des PIA. Zum Abgleich wurden 10 weitere Analysen durch das zertifizierte Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen im Zu- und Ablauf durchgeführt. Zur Beurteilung der Verwendbarkeit der Küvettentests sind in untenstehender Tabelle die aus den Einzelmessungen resultierenden mittleren Ablaufwerte und die daraus wiederum resultierenden mittleren Reinigungsleistungen dargestellt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Analyseergebnisse aus ISA- und PIA-Labor

		Mittelwerte Zulauf Biologie		
		ISA 10 PN	PIA 10 PN	PIA 20 PN
CSB_{hom}	mg/l	318	389	382
N_{ges}	mg/l	44,5	45,2	44,9
NH₄-N	mg/l	34,5	32,0	32,5
P_{ges}	mg/l	6,3	6,0	6,1

		Mittelwerte Ablauf Membran		
		ISA 10 PN	PIA 10 PN	PIA 20 PN
CSB_{hom}	mg/l	15	28	33
N_{ges}	mg/l	13,3	16,6	11,4
N_{anorg}	mg/l	11,4	11,6	10,1
P_{ges}	mg/l	4,0	4,1	4,1

		Reinigungsleistungen		
		ISA 10 PN	PIA 10 PN	PIA 20 PN
CSB_{hom}	%	95,3	92,8	91,4
N_{ges}	%	69,8	63,2	74,6
N_{ges}/ N_{anorg}	%	74,2	74,3	77,5
P_{ges}	%	37,2	31,4	32,8

Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den 10 Messungen (10 PN) mit identischen Abwasserproben aus dem ISA-Labor und PIA-Labor, sowie den durchgeführten 20 Messungen (20 PN) im PIA-Labor.

Wie Tabelle 8 verdeutlicht, müssen Abweichungen festgestellt werden. Insgesamt jedoch ergibt sich ein einheitliches Bild bei Betrachtung der ermittelten Reinigungsleistungen. Insofern konnten die Analyseergebnisse aus den Küvettentests für die Beurteilung herangezogen werden.

5 Untersuchungen zum biologischen Reinigungsträger EIMO®

5.1 Eigenschaften Einschluss-Immobilisierter Mikro-Organismen

Bei den so genannten Einschluss-Immobilisierten-Mikro-Organismen (EIMO®) handelt es sich um Biomasse, die konzentriert in eine langzeitstabile Polymermatrix eingeschlossen wird.

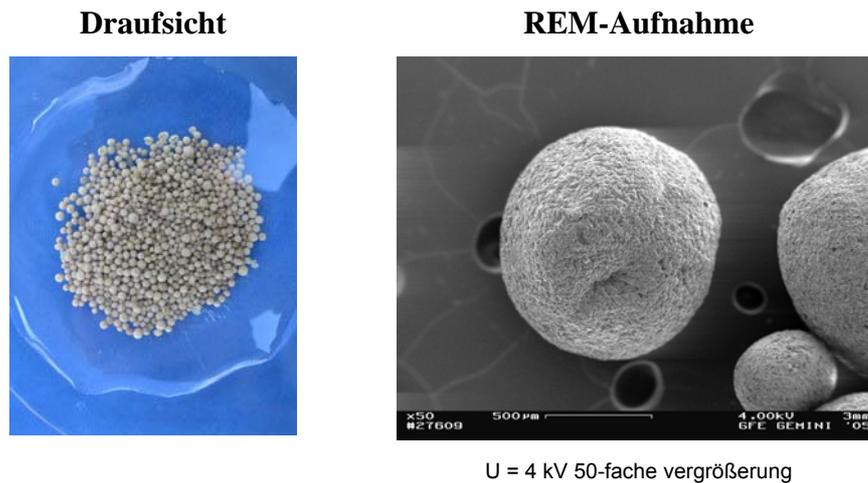


Abbildung 17: Aufsicht und Raster-Elektronen-Mikroskopie EIMO®-Kugeln

Die Herstellung von EIMO® basiert auf den Verfahren der Immobilisierungstechnik und wird in die Methode „Immobilisierung durch Matrixeinschluss in Kugelform“ eingeordnet, wie in nachstehender Abbildung verdeutlicht wird.

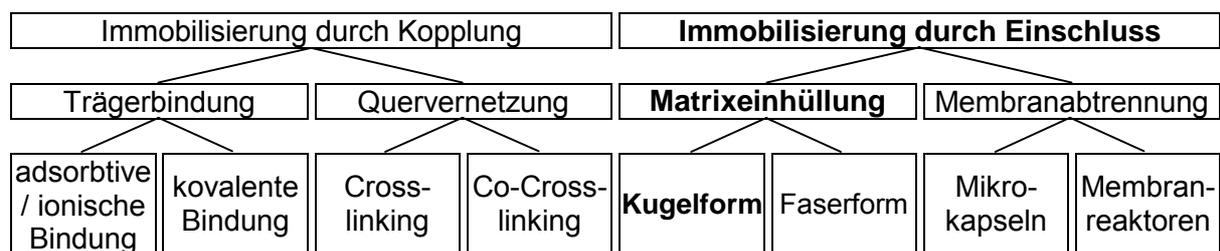


Abbildung 18: Gliederung der Immobilisierungsmethoden [4]

Bei diesem Verfahren werden die Biokatalysatoren in natürliche oder künstliche Polymere eingebettet. Die Maschenweite der Matrix muss dabei so gewählt sein, dass einerseits die abzubauenen Substrate passieren können, andererseits aber die Biokatalysatoren sicher zurückgehalten (eingeschlossen) werden.

Zu Beginn der Entwicklung von EIMO[®] im Jahr 1997 wurde Biomasse durch ionotrope Gelbildung in Alginatkugeln immobilisiert. Dabei wurde das wasserlösliche Natriumsalz des Alginats, welches aus den Zellwänden von Algen gewonnen wird, in Wasser aufgelöst. In die mittelviskose Lösung wurde die durch Zentrifugation aufkonzentrierte Biomasse eingerührt. Diese Biomasse-/Alginatsuspension wurde anschließend in ein Calciumchloridbad eingetropft. Dabei entstand aus dem wasserlöslichen Natriumalginat innerhalb kürzester Zeit die gewünschte Matrix aus wasserunlöslichem Calciumalginat, wobei sich die Tropfen zu Kugeln verfestigten [5].

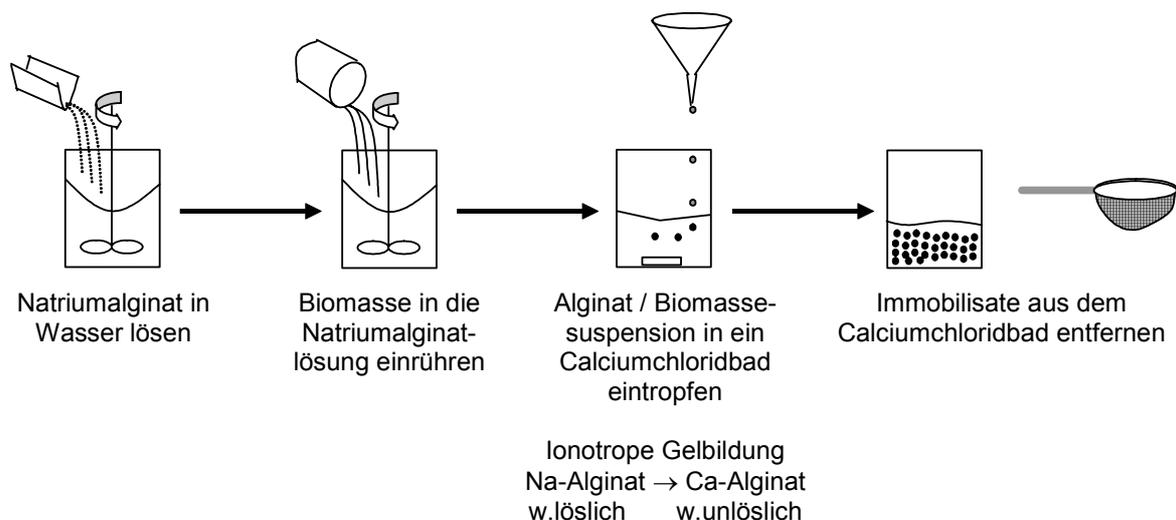


Abbildung 19: Prozessdarstellung Matrixeinhüllung von Biomasse in Alginat [5]

Die so hergestellten Immobilisate wurden in parallelen, batchweise durchgeführten Abbaubersuchen mit frei suspendierter, nicht immobilisierter Biomasse verglichen. Die erreichten Abbauraten waren sehr groß, jedoch wurde die natürliche Matrixsubstanz Calciumalginat nach nur knapp zwei Wochen selbst abgebaut, was zum Zerfall der Immobilisate führte. Daraufhin wurden in der Folge in mehrjähriger Entwicklungsarbeit synthetische Polymere und Polymergemische evaluiert, welche für die Biomasse verträglich sind, sich in wässrigem Milieu bei Raumtemperatur verfestigen lassen, eine geeignete Porengröße aufweisen und überdies noch langzeitstabil sind [5].

Ziel der Immobilisierung ist es, die Beweglichkeit der Biokatalysatoren (Enzyme, Zellen oder Zellorganellen) durch die Immobilisierung auf das gewünschte Maß einzu-

schränken. Dadurch sollen folgende positive Effekte für die Reaktionsführung erzielt werden:

- Eine größere Biokatalysatordichte verglichen mit frei suspendierten Systemen und dadurch kurze hydraulische Verweilzeiten bei kontinuierlichen Prozessen
- Ein einfacheres Handling der Biokatalysatoren
- Die Rückgewinnung und Wiederverwendung von teuren Biokatalysatoren
- Die langen Kontaktzeiten der Biokatalysatoren zueinander ermöglichen die Entstehung von synergistischen Mikroorganismengemeinschaften, sog. „Mikrokonsortien“, welche komplexe Stoffwechselprozesse z.T. erst zugänglich machen und in der Folge dank der „Fließbandarbeit“ mit großer Geschwindigkeit abwickeln können. [6]
- Die simultane Durchführung von Stoffwechselprozessen, an denen Biokatalysatoren mit unterschiedlichen Umweltansprüchen beteiligt sind [6]
- Der Schutz der Biokatalysatoren vor negativen mechanischen und chemischen Einflüssen [7]

Bei EIMO® handelt es sich nicht um eine Umhüllung von Biomasse, sondern um eine durchgehende Matrix, welche die Form einer Kugel aufweist. Die Kugeln/ Kapseln weisen eine gewisse Elastizität auf. Gut „genährte“ EIMO® weisen einen Durchmesser von ca. 2-3 mm auf, nach einer längeren „Hungerphase“ kann sich der Durchmesser vorübergehend auf ca. 1.5 mm verringern. Bei Überschreitung des Elastizitätsbereichs durch übermäßigen Druck wird die Form bleibend verändert. Grundsätzlich wird der Raum für die Biomasse durch die Kapsel in engen Grenzen gehalten. Wenn der zur Verfügung stehende Raum ausgefüllt ist, finden neue Bakterien nur noch auf Kosten abgestorbener Bakterien Platz. Durch eine Durchströmung der Kapseln mit Abwasser erfolgt ein Stofftransport für alle gelösten Stoffe (DOC, Ammonium und Nitrat). Neben der Kohlenstoffelimination ist auch eine Stickstoffelimination mit Nitrifikation und simultan dazu Denitrifikation möglich. Da in der Kapsel ein Sauerstoffgradient vorherrscht, soll in den äußeren, aeroben Schichten Nitrifikation und simultan dazu im anoxischen Kernbereich Denitrifikation erfolgen. Durch die Immobilisierung (Matrixeinschluss) der Mikroorganismen wird ein Auswaschen verhindert. Dies ermöglicht es auch langsam wachsenden, auf bestimmte, nur in gerin-

gen Mengen vorkommende Substrate „spezialisierte“ Mikroorganismen sich im System zu halten. Im Gegensatz dazu würden in einem System mit frei suspendierter Biomasse diese „Spezialisten“ aufgrund ihres langsamen Wachstums, resp. ihrer langen Generationszeiten aus dem System verdrängt. Eine weitere Möglichkeit der Spezialisierung von Mikroorganismen ist die Ausbildung von „Verarbeitungsketten“. Aufgrund der räumlichen Fixierung und Nähe können solche Gemeinschaften sich bilden und bestehen, was bei frei suspendierter Biomasse nicht möglich wäre [5].

Durch entsprechende Aufkonzentrierung der Biomasse vor der Immobilisierung kann ein TS-Gehalt von bis zu 60 kg/m³ erreicht werden. Der TS-Gehalt der Biomasse wird dazu vor der Immobilisierung analog zur Bestimmung des TS-Gehaltes von belebtem Schlamm bestimmt. Durch Einsatz der Biomassenmenge und Erhalt einer bestimmten EIMO[®]-Menge kann der TS-Gehalt ermittelt werden. Das spezifische Gewicht liegt im Mittel bei 1,1 kg/l [5].

5.2 Batchversuche zur biologischen Abbaubarkeit von gelösten Abwasserinhaltsstoffen unter Einsatz von EIMO[®]

Die Batchversuche zur biologischen Abbaubarkeit von gelösten Abwasserinhaltsstoffen unter Einsatz von EIMO[®] wurden im labortechnischen Maßstab durchgeführt. Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden:

1. Untersuchungen zum Wirkungsgrad von EIMO[®] bzgl. der Kohlenstoff- und Stickstoff-Elimination
2. Untersuchungen zum „optimalen“ EIMO[®]-Füllgrad
3. Untersuchungen zur Adaptionszeit

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden Versuche mit künstlichem Abwasser und unterschiedlichen EIMO[®]-Füllgraden (T1-T5) sowie ein vergleichender Versuch mit konventionellem belebtem Schlamm (T0) im labortechnischen Maßstab durchgeführt. Die gewählten EIMO[®]-Füllgrade sowie die daraus rechnerisch resultierenden Trockensubstanz-Gehalte (TS-Gehalt) bei einem spezifischen TS-Gehalt von EIMO[®] von 60kg/m³ sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: EIMO[®] -Füllgrade und TS-Gehalt

Testreihe	T1	T2	T3	T4	T5	T0
EIMO-Füllgrad [Vol.-%]	10	20	30	40	50	-
TS-Gehalt [g/l] ¹⁾	6	12	18	24	30	6,3

¹⁾ spezifischer TS-Gehalt von EIMO[®] : 60 kg/m³

Die Abwasserzusammensetzung ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Zusammensetzung des künstlichen Abwassers

Pepton aus Casein	0,26 g/L
Fleischextrakt	0,173 g/L
Harnstoff	0,04 g/L
Kaliumdihydrogenphosphat:	0,03 g/L
Calciumchlorid-dihydrat	0,004 g/L
Magnesiumsulfat-heptahydrat	0,002 g/L.

Für die einfachere Handhabung wurde eine 30fach bzw. 40fach konzentrierte Lösung angesetzt und anschließend entsprechend verdünnt. Die Versuchsdauer wurde auf 15 Tage festgelegt, um Aussagen zu einer möglichen notwendigen Adaptionszeit treffen zu können. Zu Beginn und am Ende der Versuchsreihen (Tag 0 und Tag 15) wurde bei jeder Testreihe ein sechsständiger Batchversuch zur Überprüfung der biologischen Abbaubarkeit von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen durchgeführt. Dazu wurden zu vorher festgelegten Zeiten Einzelproben entnommen. Diese Proben wurden auf die Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB_{filtriert}), Ammonium (NH₄-N), Nitrat (NO₃-N), Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert untersucht.

Tabelle 11: Probenahmeplan

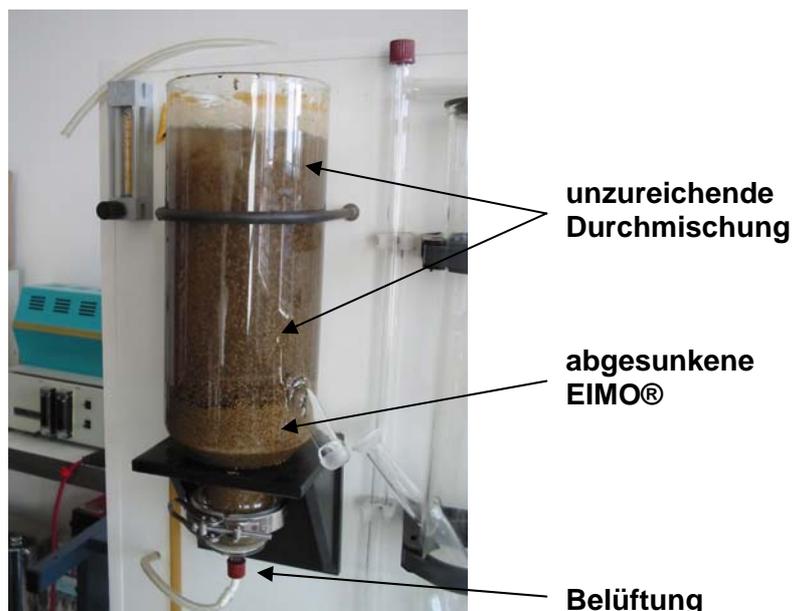
Probe	Zeit	CSB _{filt}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Temp	O ₂	pH
	[min]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[-]
1	0				x	x	x
2	15	x	x				
3	30	x	x	x		x	
4	45	x	x				
5	90	x	x				
6	120	x	x	x		x	
7	180	x	x			x	
8	240	x	x				
9	300	x	x				
10	360	x	x	x	x	x	x

Am ersten Tag (Tag 0) wurden mit Beginn des Batchversuchs die EIMO[®]-Kugeln und das künstliche Abwasser im Versuchsbehälter zusammengeführt. Während der 15 Tage Adaptionphase sollte sich der Reinigungsträger EIMO[®] den eingestellten Bedingungen anpassen. Um während der Adaptionphase möglichst gleich bleibende Bedingungen zu gewährleisten, wurde Abwasser aus den Versuchsbehältern regelmäßig entnommen und durch frisches Abwasser ausgetauscht. Das ausgetauschte Volumen Abwasser war abhängig vom EIMO[®]-Füllgrad und wurde so gewählt, dass die CSB-Tagesbelastungen über die 15 Tage in jeder Testreihe nahezu gleich waren. Die zugeführten Abwassermengen können Tabelle 12 entnommen werden. Das Abwasser wurde arbeitstäglich stündlich, zudem am Abend und vor den Wochenenden ausgetauscht.

Tabelle 12: Dosierplan der Abwasserzugabe

Testreihe	T1	T2	T3	T4	T5	T0
stündliche Zugabe [ml/h]	100	200	400	500	650	100
abendliche Zugabe [l]	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0
Zugabe pro Tag [l/d]	1,9	3,75	4,7	7,5	9,4	1,9
TS-Gehalt [g/l]	6	12	18	24	30	3,8
CSB-Konzentration [mg/l]	400	400	800	400	400	400
Versuchsvolumen [l]	2,5	2,5	5,0	2,5	2,5	2,5
Tagesbelastung CSB [gCSB / (gTS*d)]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08

Mit Testreihe T3 wurde ein orientierender Vorversuch über die geplante 15-tägige Laufzeit vorgenommen. Dieser Versuch wurde in einer Versuchskläranlage im labor-technischen Maßstab ($V = 5,0 \text{ L}$) durchgeführt. Die Anlage verfügte über eine regelbare Belüftung, die der Sauerstoffversorgung und der Durchmischung diente (siehe Abbildung 20).

**Abbildung 20: Versuchsaufbau für Testreihe T3**

Im Laufe der Versuchsdurchführung stellte sich heraus, dass die eingetragene Luft nicht für eine ausreichende Durchmischung genügte, so dass sich die EIMO®-Kugeln absetzten. Aus diesem Grund wurde überlegt, bei den weiteren Testreihen Magnetprüher zusätzlich einzusetzen, um eine vollständige Durchmischung zu erreichen.

Dazu wurde ein 5-tägiger Stabilitätstest zur Ermittlung des Einflusses der Scherkräfte durch den Magnetprüher auf die EIMO®-Kugeln durchgeführt. Da hierbei die EIMO®-Kugeln nur zu einem geringen Teil zerstört wurden, wurde entschieden, bei den weiteren Testreihen Magnetprüher einzusetzen. Durch den Einsatz der Magnetprüher wurde aufgrund der geringeren Kapazität der verwendbaren Versuchseinrichtungen das Versuchsvolumen von 5 auf 2,5 Liter reduziert. Die Testreihen T0, T1, T2, T4 und T5 wurden zeitlich parallel in Glasflaschen durchgeführt. Die Luftzufuhr erfolgte über Aquarienbelüfter. Bei der Testreihe T0, (Vergleichsansatz mit belebtem Schlamm) fand die Durchmischung nur mittels Belüftung statt.



Abbildung 21: Versuchsaufbau Testreihen T1, T2, T4, T5 und T0

Entgegen den Erfahrungen aus dem Stabilitätstest wurden während der 15-tägigen Adaptionsphase die EIMO®-Kugeln der Testreihen T1, T2, T4 und T5 innerhalb weniger Tage durch die Magnetrührer zerstört (siehe Abbildung 22), so dass sie sich bis Tag 15 zu einem Schlamm auflösten. Die Batchversuche an Tag 15 wurden den-

noch aus Gründen der Vollständigkeit durchgeführt, um unabhängig vom Zustand der EIMO®-Kugeln Aussagen über den Wirkungsgrad hinsichtlich einer Kohlenstoff- und Stickstoff-Elimination bzw. Aussagen über den Füllgrad treffen zu können.

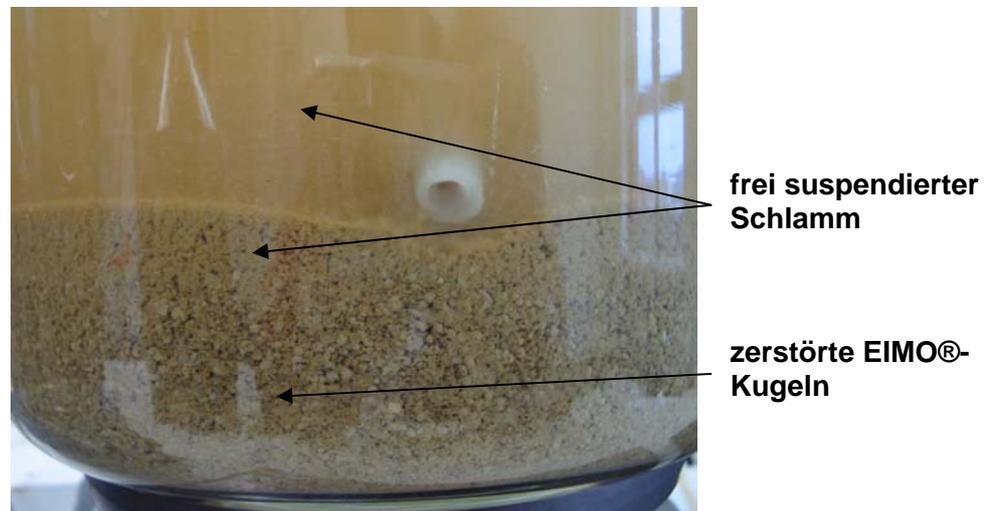


Abbildung 22: Zerstörte EIMO®-Kugeln

Tabelle 13 und Tabelle 14 geben die Versuchsbedingungen für die Testreihen an Tag 0 und Tag 15 wieder.

Tabelle 13: Versuchsbedingungen an Tag 0

Testreihe	Einheit	T1	T2	T4	T5	T0
Gesamtvolumen	L	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
EIMO-Füllgrad	[Vol-%]	10	20	40	50	-
Volumen EIMO	L	0,25	0,5	1	1,25	-
TS-Gehalt	g	15	30	60	75	9,5
TS-Gehalt	g/l	6	12	24	30	3,8
künstl. Abwasser	[Vol-%]	90	80	60	50	40
künstl. Abwasser	L	2,25	2	1,5	1,25	1
künstl. Abwasser CSB _{filtriert}	mg/l	405	405	405	405	405
CSB Ausgangslast	g	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
Schlammbelastung	g CSB/g TS	0,06	0,03	0,01	0,01	0,04

Tabelle 14: Versuchsbedingungen an Tag 15

Testreihe	Einheit	T1	T2	T4	T5	T0
Gesamtvolumen	L	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
entnommene alte Nährstofflösung	L	2	1,5	1,15	1,3	1,95
Restvolumen	L	0,5	1	1,35	1,2	0,55
Leitungswasser	L	1	1	1	1	1
aufgefülltes Volumen	L	1,5	2	2,35	2,2	1,55
neu zugefügtes künstl. Abwasser	L	2,25	2	1,5	1,25	2
Neues Volumen	L	3,75	4	3,85	3,45	3,55
künstl. Abwasser CSB _{filtriert}	mg/l	225	225	225	225	225
CSB Ausgangslast	g	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5
Schlammbelastung	g CSB/g TS	0,03	0,02	0,01	0,004	0,05

Um Aussagen über den Einfluss des EIMO[®]-Füllgrades treffen zu können, sollten die CSB-Ausgangsbelastungen für jede der Testreihen identisch sein. Dies konnte jedoch nur bedingt erreicht werden. Ursachen waren an Tag 0 ein falsch gewählter Ansatz der Mischungsverhältnisse „künstliches Abwasser – EIMO[®]-Füllgrad“ und an Tag 15 die Tatsache, dass die EIMO[®]-Kugeln sich zu Schlamm aufgelöst hatten.

Wie im Folgenden dargestellt wird, lassen sich insgesamt aus den erzielten Ergebnissen die zu Beginn aufgeführten Fragestellungen nur unzureichend bzw. nicht beantworten. In Abbildung 23 bis Abbildung 25 sind als Beispiel die Ablaufergebnisse für die Parameter CSB_{filtriert}, NH₄-N und NO₃-N der Testreihe T1 dargestellt. Im Anhang sind die Ergebnisse zu den weiteren Versuchsreihen aufgeführt. Bezüglich des CSB zeigte sich ein uneinheitlicher Verlauf der Konzentrationen mit einem leichten Anstieg nach 120 Minuten. Die Ursachen dieses Anstieges, der sich bei allen Versuchsdurchführungen erkennen ließ, konnten während der Untersuchungen nicht ausgemacht werden. Eine mögliche Ursache kann in Rücklösungsprozessen aus der eingesetzten Biomasse liegen. Ein nennenswerter Stickstoffabbau fand während der Testreihe T1 auch nicht statt.

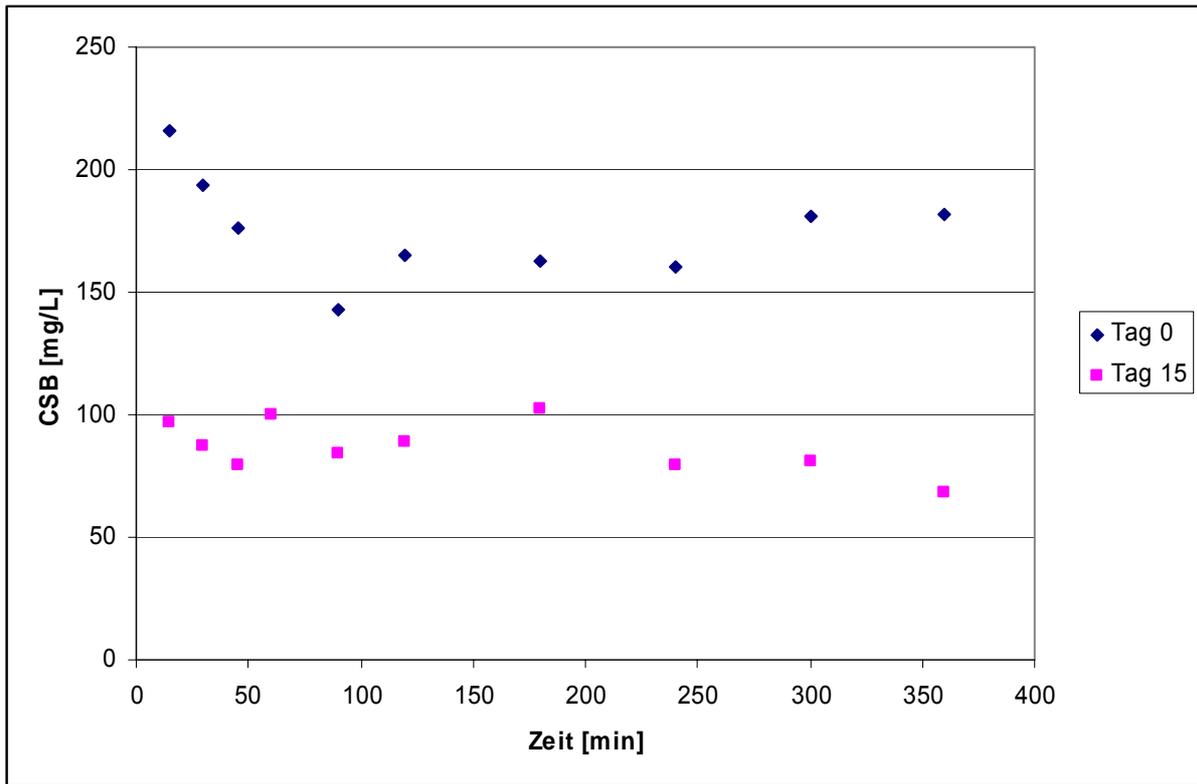


Abbildung 23: Verlauf der CSB-Konzentrationen, Versuch T1

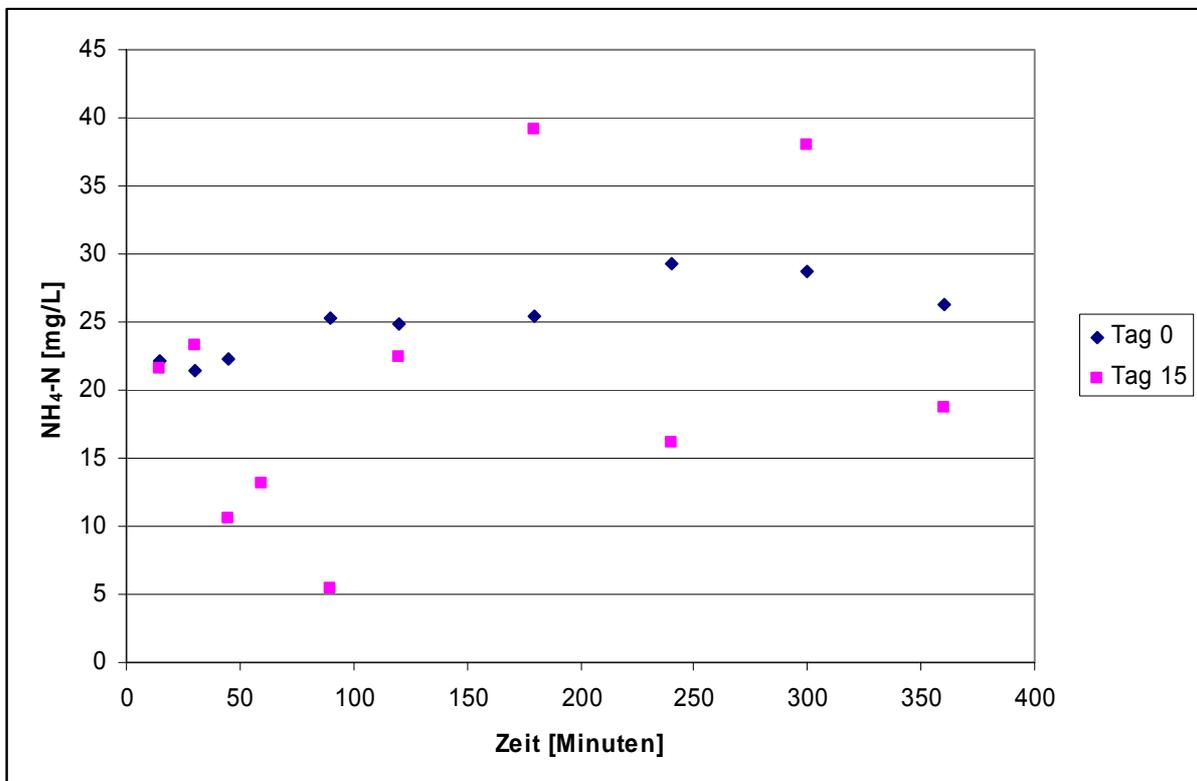


Abbildung 24: Verlauf der NH₄-N-Konzentrationen, Versuch T1

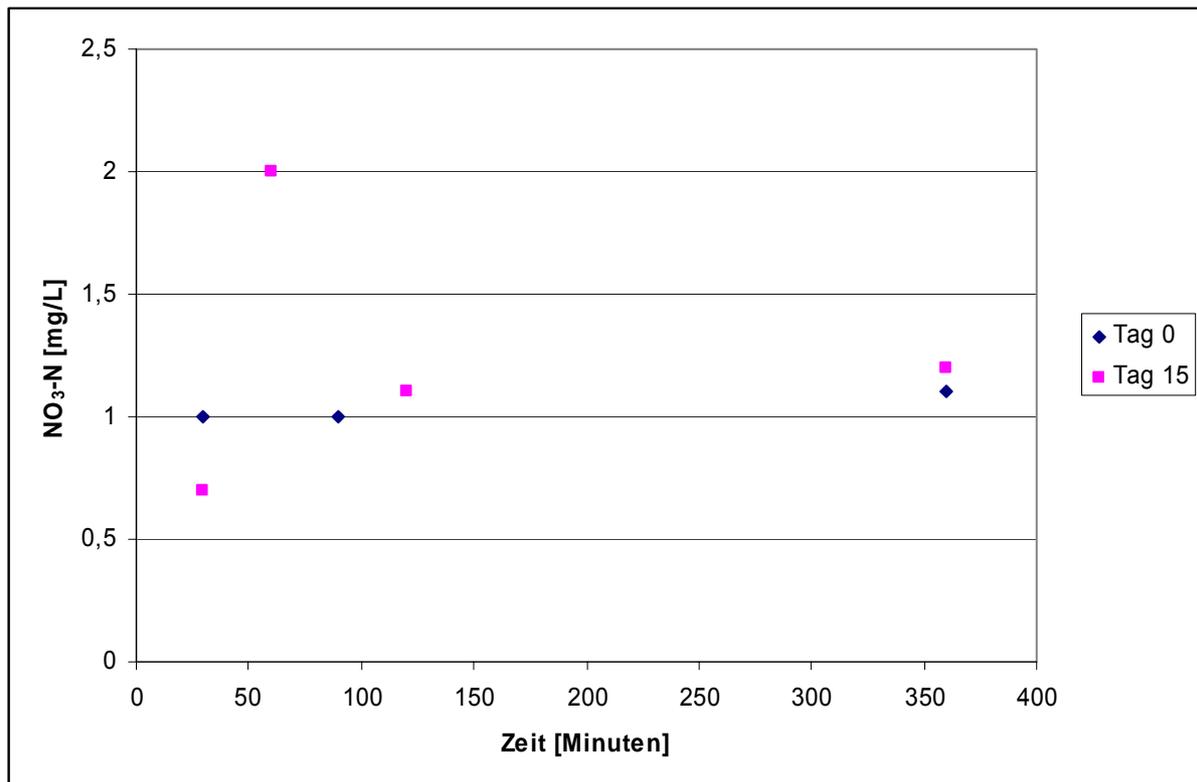


Abbildung 25: Verlauf der NO₃-N-Konzentrationen, Versuch T1

Diese Ergebnisse ließen sich für jede der 5 durchgeführten Testreihen feststellen. Lediglich bei der Vergleichsversuchsreihe T0 mit konventionellem belebten Schlamm ließ sich an Tag 15 ein deutlicher Ammonium-Abbau und ein damit verbundener Anstieg der Nitratkonzentrationen beobachten. Jedoch war auch in dieser Versuchsreihe ein Anstieg der CSB-Konzentrationen im Verlauf des Batchversuches erkennbar.

Abschließend musste daher festgestellt werden, dass anhand der erzielten Ergebnisse kein deutlicher CSB-Abbau bzw. eine Nitrifikation und Denitrifikation des gelösten anorganischen Stickstoffs bei Verwendung des Reinigungsträgers EIMO® im Rahmen dieser Untersuchungen erreicht werden konnte. Die Hauptursache wird jedoch in den verwendeten Versuchsaufbauten gesehen, die sich als ungeeignet erwiesen haben.

5.3 Untersuchungen mit halbtechnischer Versuchsanlage

Neben der Durchführung von Batchversuchen im Labormaßstab wurde seit Mitte November zur Beurteilung der Wirkung hinsichtlich der Kohlenstoff- und Stickstoffelimination (Nitrifikation und Denitrifikation) und des Handlings von EIMO[®] eine halbtechnische Versuchsanlage auf dem Prüffeld des PIA betrieben.

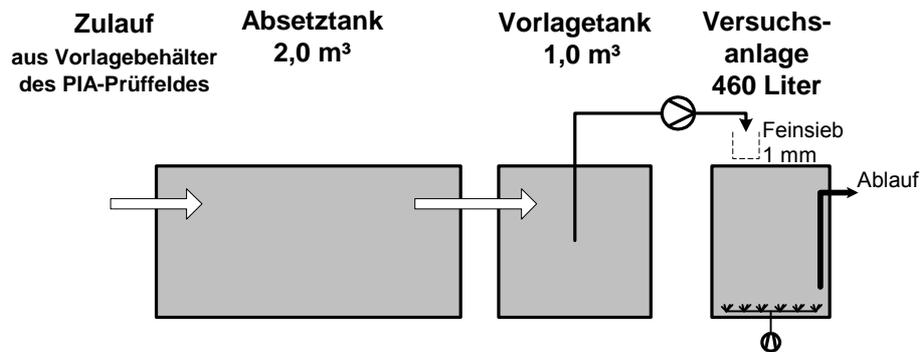


Abbildung 26: Beschickung Versuchsanlage (EIMO[®])

Die Beschickung der Anlage erfolgte aus demselben System, aus dem die Pilotanlage während des Eignungstests beschickt wurde. Das Rohabwasser, das dem Vorlagetank entnommen wurde, wurde vor Einleitung in die Versuchsanlage über ein Feinsieb (Maschenweite 1 mm) geleitet. Die Beschickung mit Rohabwasser erfolgte stündlich.

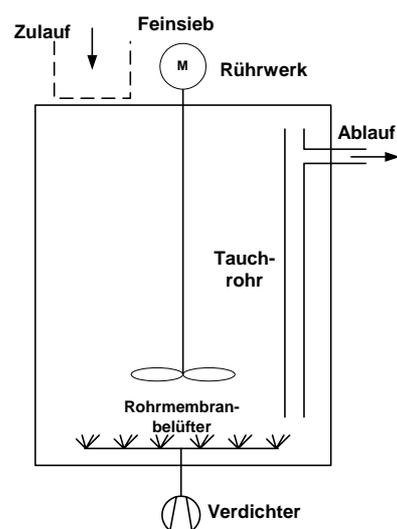


Abbildung 27: Aufbau der halbtechnischen Versuchsanlage (EIMO[®])

Die halbtechnische Versuchsanlage bestand aus einem Rundbehälter (Volumen 460 Liter), ausgestattet mit einem Verdichter und Rohrmembranbelüfter und einem nachträglich installierten Rührwerk. Der Ablauf aus der Versuchsanlage erfolgte über ein getauchtes Rohr. Die Funktion des Tauchrohres war es, eine „Beruhigungsstrecke“ im durchmischten Versuchsbehälter zu schaffen, um so ein Absinken der EIMO[®] im Tauchrohr zu ermöglichen und ein Ausschwemmen zu verhindern.

Insgesamt wurden vier verschiedene Phasen mit der Versuchsanlage gefahren und untersucht. Die Phasen unterschieden sich durch die Höhe der hydraulischen Belastung, den EIMO[®]-Füllgrad und die eingesetzten Aggregate (Verdichter und Rührwerk).

Tabelle 15: Versuchsdurchführung mit halbtechnischer Versuchsanlage

Phase	Dauer		eingesetzte Geräte	Durchsatzleistung Q		Durchflusszeit [h]	EIMO-Füllgrad		TS g/l
		d		[l/h]	[m ³ /d]		Liter	V-%	
1	21.11.2005	23	Verdichter	8	0,192	57,5	30	6,5	3,9
	14.12.2005								
2	14.12.2005	6	Verdichter	16	0,384	28,8	30	6,5	3,9
	20.12.2005								
3	20.12.2005	14	Verdichter	16	0,384	28,8	40	8,7	5,2
	3.1.2006								
4	3.1.2006	27	Verdichter	16	0,384	28,8	39,5	8,6	5,2
	30.1.2006		Rührwerk						

Entsprechend den beschriebenen positiven Effekten der Immobilisierung von Biomasse (vgl. Kapitel 5.1) wurde in den Phasen 1 bis 3 auf eine eigene Denitrifikationsphase verzichtet, um zu überprüfen ob sich in den einzelnen Kugeln ein anoxisches Milieu einstellen und eine Denitrifikation simultan zur Nitrifikation erfolgen würde. Infolgedessen wurde, um den Einsatz von Aggregaten möglichst gering zu halten, während dieser Phasen nur ein Verdichter zur Belüftung und Umwälzung des EIMO[®]-Wasser-Gemisches eingesetzt. Mit Beginn der Phase 2 wurde die hydraulische Belastung verdoppelt, mit Beginn der Phase 3 der EIMO[®]-Füllgrad erhöht.

Die Ergebnisse zeigten eine gute Elimination des gelösten CSB und des Ammoniumstickstoffs, eine Denitrifikation wurde nicht festgestellt. Eine Ursache wird in den

sehr hohen Sauerstoffgehalten im Bioreaktor ($> 8 \text{ mg/l}$) gesehen, so dass sich im Kugellinneren kein anoxisches Milieu einstellen konnte. Anfang Januar 2006 wurde daraufhin in Phase 4 eine eigenständige Denitrifikationsphase im Reinigungsprozess vorgesehen und zusätzlich zur Durchmischung ein Rührwerk installiert.

Niedrigere Umgebungstemperaturen und die geringere Menge an zugeführter und durch den Verdichter erwärmter Luft führten zu einem Absinken der Temperatur im Bioreaktor unter 10 °C , so dass in Phase 4 nur eine verminderte Nitrifikation festgestellt werden konnte. Eine Denitrifikation war auch nicht feststellbar. Eine Ursache kann ein unzureichendes Kohlenstoff-Nitratstickstoffverhältnis während der Denitrifikationsphase gewesen sein. Die Ergebnisse der Untersuchungen (Mittelwerte) sind in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt.

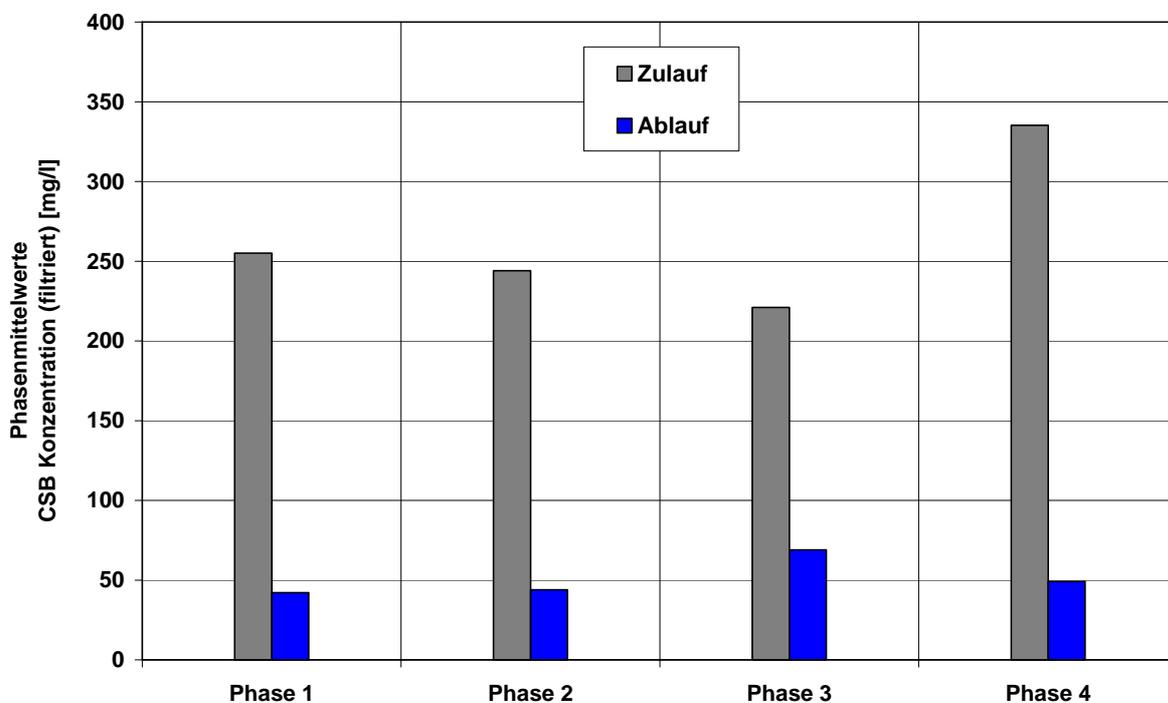


Abbildung 28: Mittlere $\text{CSB}_{\text{filtriert}}$ -Konzentrationen im Zu- und Ablauf der halbtechnischen Versuchsanlage

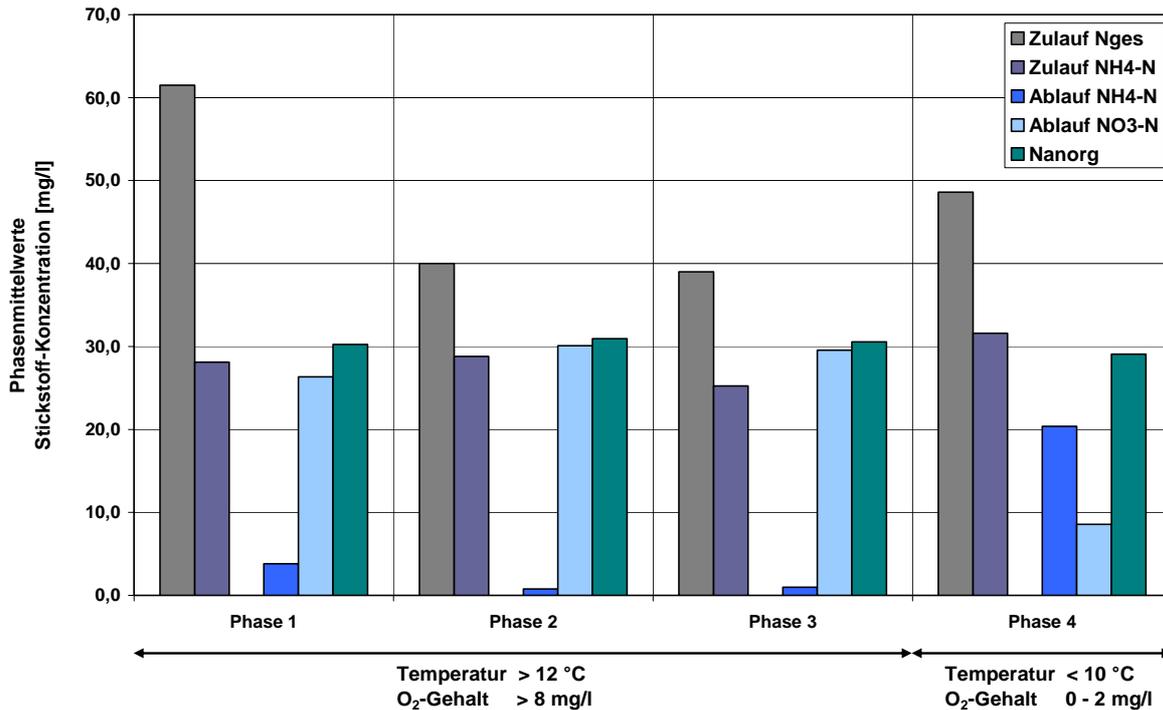


Abbildung 29: Mittlere Stickstoff-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der halbtechnischen Versuchsanlage

Im angesetzten Untersuchungszeitraum konnte daher nicht nachgewiesen werden, dass simultan zur Nitrifikation bzw. in einer eigenen Phase eine Denitrifikation des Nitratstickstoffs mit dem biologischen Reinigungsträger EIMO® durchführbar war. Inwieweit dies auf den Reinigungsträger oder auf die Versuchsgegebenheiten zurückzuführen ist, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Mit der vorhandenen halbtechnischen Versuchsanlage war es z.B. nicht möglich, den Reinigungsprozess einer vorgeschalteten Denitrifikation zu testen.

6 Empfehlungen für weiteres Vorgehen

Ziel des Vorhabens war es, unter Verwendung von Keramikmembranmodulen als Filtrationsstufe und unter Einsatz von EIMO® als biologischen Reinigungsträger eine Abwasserbehandlungsanlage mit Membrantechnologie für den dezentralen Einsatz in „schwierigen“ Einsatzbereichen zu entwickeln. Im aktuellen Vorhaben sollte diese Art der Abwasserreinigung zur Reinigung von saisonal anfallenden Abwässern eingesetzt werden. Zur Erreichung der Projektziele wurde das Gesamtvorhaben in drei Phasen aufgeteilt.

Phase I	<ul style="list-style-type: none"> • Planung, Bau und Funktionstest einer Pilotanlage mit Keramikmembrantechnologie für den dezentralen Einsatz
Phase II	<ul style="list-style-type: none"> • Eignungstest Pilotanlage in Anlehnung an Prüfnorm EN 12566 für Kleinkläranlagen unter Verwendung von konventionellem belebten Schlamm als biologischen Reinigungsträger • Untersuchungen zum biologischen Reinigungsträger EIMO®
Phase III	<ul style="list-style-type: none"> • Eignungstest Pilotanlage in Anlehnung an Prüfnorm EN 12566 für Kleinkläranlagen unter Verwendung von EIMO® als biologischen Reinigungsträger

Phase I konnte im Juni 2005 mit der Fertigstellung der Pilotanlage und mit Beendigung der ersten Funktionstests erfolgreich abgeschlossen werden. In Phase II wurde die Pilotanlage sowie der biologische Reinigungsträger EIMO® auf ihre Verwendbarkeiten hin separat untersucht. Für Phase III war geplant, beide Verfahrenstechniken in Kombination zu testen und unter Verwendung von EIMO® mit der Pilotanlage einen zu Phase II entsprechenden Eignungstest durchzuführen.

In Phase II konnte der geplante Eignungstest mit der Pilotanlage hinsichtlich der zu erreichenden Reinigungsleistung erfolgreich abgeschlossen werden. Die Ergebnisse ergaben, dass die Ablaufanforderungen der „Klasse D + H“ (Denitrifikation und Hygienisierung) gemäß den Zulassungsgrundsätzen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen des deutschen Instituts für Bautechnik im Rahmen des Tests erfüllt wurden.

In Phase II konnte die Frage, ob und wie EIMO[®] als biologischer Reinigungsträger einzusetzen ist, nicht abschließend geklärt werden. Die Ergebnisse der Versuche im halbtechnischen Maßstab ergaben eine gute Elimination des gelösten CSB und Ammoniumstickstoffs. Eine Denitrifikation wurde jedoch noch nicht erreicht.

Vor diesem Hintergrund ist die Durchführung der geplanten Phase III im direkten Anschluss an Phase II nicht empfehlenswert. Mit den bisherigen Ergebnissen zu EIMO[®] können die Ablaufanforderungen der „Klasse D + H“ (Denitrifikation und Hygienisierung) gemäß den Zulassungsgrundsätzen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen des deutschen Instituts für Bautechnik wahrscheinlich nicht eingehalten werden. Empfohlen wird daher, dass die Untersuchungen zu EIMO[®] in einer Zwischenphase intensiviert werden. Es gilt sicherzustellen, dass EIMO[®] als Reinigungsträger auch zur Nitratstickstoffelimination einsetzbar ist. Folgende Möglichkeiten zur weiteren Vorgehensweise werden vorgeschlagen:

- Untersuchungen mit separaten Nitrifikations- und Denitrifikationsbehältern. In Phase II erfolgte bisher nur eine zeitliche Trennung der Nitrifikations- und Denitrifikationsphasen. Getestet werden sollte die Wirksamkeit einer räumlichen Trennung der Reinigungsschritte.
- Untersuchungen mit neu hergestellten EIMO[®]. Es gilt zu überprüfen, ob die vorherige Lagerzeit von EIMO[®] auf dem Prüffeld des PIA mit länger als 6 Monaten einen entscheidenden Einfluss auf die Reinigungsleistung hatte.
- Untersuchungen zur Verbesserung der Eliminationsleistung durch Erhöhung des EIMO[®]-Füllgrades.

Mit diesen weiteren Untersuchungen kann geprüft werden, ob EIMO[®] als Reinigungsträger zur Nitratstickstoffelimination einsetzbar ist oder nicht. Können diese Untersuchungen erfolgreich abgeschlossen werden, kann im Anschluss daran in Phase III der geplante Eignungstest durchgeführt werden.

7 Literatur

- [1] Arbeitsblatt DWA-A 131; Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Ausgabe Mai 2000; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, 2000
- [2] Richtlinie 76/160/EWG über die Qualität der Badegewässer; des Rates vom 8. Dezember 1975
- [3] Zulassungsgrundsätze für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Kleinkläranlagen; Deutsches Institut für Bautechnik, Februar 2006
- [4] Hartmeier, W.; Immobilisierte Biokatalysatoren; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1986
- [5] Persönliche Mitteilungen des Unternehmens Hartmann Wasserrecycling
- [6] Ottow, J. C. G., Bindlingmaier, W.; Umweltbiotechnologie; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart Jena Lübeck Ulm, 1997
- [7] Obst, U., Alexander, I., Mevius, W.; Biotechnologie in der Wasseraufbereitung; R. Oldenbourg Verlag, München Wien, 1990

Anhang

Übersicht der untersuchten Parameter

Untersuchte Probenart			ISA-Labor	PIA-Labor
			DIN/EN-Analytik	Küvettentests
			24h- MP	2h / 24h-MP
Zulauf Pilotanlage / Feinsiebrechen	pH-Wert	-	-	X
	Leitfähigkeit	μS/cm	-	X
	Temperatur	°C	-	X
	CSB _{hom}	mg/l	X	X
	CSB _{fil}	mg/l	X	X
	BSB ₅	mg/l	X	-
	TOC	mg/l	X	-
	NH ₄ -N	mg/l	X	X
	N _{ges}	mg/l	X	X
	P _{ges}	mg/l	X	X
	AFS	mg/l	X	-
	Lipophile Stoffe	mg/l	X	-
Zulauf Biologie / Ablauf Feinsiebrechen	CSB _{hom}	mg/l	X	X
	CSB _{fil}	mg/l	X	X
	BSB ₅	mg/l	X	-
	TOC	mg/l	X	-
Ablauf Pilotanlage	pH-Wert	-	-	X
	Leitfähigkeit	μS/cm	-	X
	Temperatur	°C	-	X
	CSB _{hom}	mg/l	X	X
	CSB _{fil}	mg/l	X	X
	BSB ₅	mg/l	X	-
	TOC	mg/l	X	-
	NH ₄ -N	mg/l	X	X
	NO ₃ -N	mg/l	X	X
	NO ₂ -N	mg/l	X	X
	N _{anorg}	mg/l	X	X
	N _{ges}	mg/l	X	X
	P _{ges}	mg/l	X	X
	AFS	mg/l	X	-
	Lipophile Stoffe	mg/l	X	-
Biologie Pilotanlage	SV ₃₀ Behälter A4	ml/l	-	X
	TS Behälter A4	g/l	X	X
	GV Behälter A4	%	X	-
	SV ₃₀ Behälter A5	ml/l	-	X
	TS Behälter A5	g/l	X	X
	GV Behälter A5	%	X	-
	Lipophile Stoffe	mg/l	X	-

Messergebnisse PIA-Analytik**Eignungstest**

Analytik-Nr.		PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	PN 5
Datum PN		4.10.2005	7.10.2005	10.10.2005	12.10.2005	14.10.2005
Prüfphase		NLB	NLB	NLB	HLB	HLB
Probenart		2h-MP	24h-MP	2h-MP	24h-MP	2h-MP
Zulauf Feinsiebrennen						
pH-Wert	-	7,3	7,4	7,3	7,2	7,5
Leitfähigkeit	μS/cm	829	829	872	860	839
Temperatur	°C	16,2	18,7	19,9	18,7	15,1
CSB _{hom}	mg/l	524	456	410	560	488
CSB _{fil}	mg/l	282	322	322	392	314
NH ₄ -N	mg/l	32	32,4	35,8	34,9	41
N _{ges}	mg/l	49	41	49	40	47
P _{ges}	mg/l	6,7	4,2	6,6	7,7	6,3
Ablauf Feinsiebrennen / Zulauf Biologie						
CSB _{hom}	mg/l	500	408	380	530	256
CSB _{fil}	mg/l	278	292	304	384	160
Ablauf Membranfilter						
pH-Wert	-	7,5	7,5	7,7	7,7	-
Leitfähigkeit	μS/cm	586	596	534	613	-
Temperatur	°C	16,5	18,7	19,4	19,2	-
CSB _{hom}	mg/l	36	23	32	49	34
CSB _{fil}	mg/l	29	21	33	40	27
NH ₄ -N	mg/l	1,2	0,5	0,4	0,2	0,2
NO ₃ -N	mg/l	7,6	11,4	8,8	3,9	6,5
NO ₂ -N	mg/l	-	0,26	0,18	0,08	0,06
N _{anorg}	mg/l	10,8	12,1	9,4	4,2	6,8
N _{ges}	mg/l	12,2	12,7	9,5	4,6	7
P _{ges}	mg/l	3,6	3,5	3,5	4,1	4,1
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)						
SV ₃₀ A4	ml/l	180	300	310	390	300
TS A4	g/l	1,3	2,4	2,2	2,4	3,9
Temp. A4	°C	22,5	24,1	24	25,6	22,5
SV ₃₀ A5	ml/l	240	280	300	470	300
TS A5	g/l	1,7	1,9	2,2	2,8	3,6
Temp. A5	°C	23,8	25,5	25,1	27,8	23,8
O ₂ Nitri	mg/l	4,0	4,0	4,2	3,1	3,6

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse PIA-Analytik**Eignungstest**

Analytik-Nr.		PN 6	PN 7	PN 8	PN 9	PN 10
Datum PN		19.10.2005	21.10.2005	25.10.2005	4.11.2005	8.11.2005
Prüfphase		HLB	HLB	NLB	NLB	NLB
Probenart		24h-MP	2h-MP	2h-MP	24h-MP	24h-MP
Zulauf Feinsiebbrechen						
pH-Wert	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,5
Leitfähigkeit	μS/cm	846	880	674	819	947
Temperatur	°C	17,5	18,1	17,2	16,4	16
CSB _{hom}	mg/l	386	522	356	297	488
CSB _{fil}	mg/l	238	300	258	188	312
NH ₄ -N	mg/l	34,1	37,2	25,7	32,8	43,5
N _{ges}	mg/l	43	51	39	35	62
P _{ges}	mg/l	6,3	7,4	5,1	4,2	8,1
Ablauf Feinsiebbrechen / Zulauf Biologie						
CSB _{hom}	mg/l	340	490	292	251	414
CSB _{fil}	mg/l	226	300	266	188	312
Ablauf Membranfilter						
pH-Wert	-	7,5	7,3	7,2	6,9	7,6
Leitfähigkeit	μS/cm	593	590	673	639	656
Temperatur	°C	17,8	17,9	16,2	16,8	15,6
CSB _{hom}	mg/l	26	36	51	26	30
CSB _{fil}	mg/l	< 15	31	42	24	30
NH ₄ -N	mg/l	< 0,2	< 0,2	0,3	< 0,2	1,0
NO ₃ -N	mg/l	6,9	6,8	5,2	31,6	6,6
NO ₂ -N	mg/l	0,06	0,07	0,16	0,06	0,2
N _{anorg}	mg/l	7,2	7,1	5,7	31,8	7,8
N _{ges}	mg/l	6,9	6,8	5,9	33	12,7
P _{ges}	mg/l	4,1	5	5,1	3,3	4,3
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)						
SV ₃₀ A4	ml/l	520	400	-	660	800
TS A4	g/l	4,6	4,8	4,8	4,1	4,6
Temp. A4	°C	22,4	24,6	22,5	21	21,1
SV ₃₀ A5	ml/l	540	680	-	660	720
TS A5	g/l	5,1	5,9	5,9	5,4	6,2
Temp. A5	°C	23,8	26,1	23,8	21,9	22
O ₂ Nitri	mg/l	4,1	3,9	3,8	3,4	2,3

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse PIA-Analytik**Eignungstest**

Analytik-Nr.		PN 11	PN 12	PN 13	PN 14	PN 15
Datum PN		9.11.2005	11.11.2005	15.11.2005	18.11.2005	22.11.2005
Prüfphase		Ni LB	Ni LB	Ni LB	Ni LB	NLB
Probenart		SP	24h-MP	2h-MP	24h-MP	24h-MP
Zulauf Feinsiebbrechen						
pH-Wert	-	7,3	7,3	7,4	7,3	7,1
Leitfähigkeit	μS/cm	823	861	873	767	825
Temperatur	°C	15,2	16,7	12,7	16	15,1
CSB _{hom}	mg/l	287	422	430	404	482
CSB _{fil}	mg/l	135	278	322	232	228
NH ₄ -N	mg/l	34,2	30,8	34,9	27	29,7
N _{ges}	mg/l	40	46	41	42	47
P _{ges}	mg/l	4,5	6,7	4	6,2	6,9
Ablauf Feinsiebbrechen / Zulauf Biologie						
CSB _{hom}	mg/l	251	358	404	362	420
CSB _{fil}	mg/l	157	308	320	230	244
Ablauf Membranfilter						
pH-Wert	-	7,3	7,7	7,7	7,5	7,6
Leitfähigkeit	μS/cm	585	597	607	593	594
Temperatur	°C	19,3	17,3	11,5	15,2	14,7
CSB _{hom}	mg/l	20	44	31	18	35
CSB _{fil}	mg/l	20	44	31	18	20
NH ₄ -N	mg/l	< 0,2	0,6	0,2	< 0,2	< 0,2
NO ₃ -N	mg/l	6,9	7,9	11,5	15,9	12,4
NO ₂ -N	mg/l	0,02	0,11	0,04	0,09	0,07
N _{anorg}	mg/l	7,1	8,6	11,7	16,2	12,7
N _{ges}	mg/l	< 10	9,4	14	18	13
P _{ges}	mg/l	4	4,8	4,2	5,8	3,9
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)						
SV ₃₀ A4	ml/l	800	820	800	950	975
TS A4	g/l	4,6	5,6	6	6,3	6,7
Temp. A4	°C	22,7	22,3	22,4	26,1	19,3
SV ₃₀ A5	ml/l	720	720	720	750	950
TS A5	g/l	6,2	5,5	6,5	5,5	7
Temp. A5	°C	23,7	23,4	23,4	27,1	20,6
O ₂ Nitri	mg/l	3,4	3,4	5,2	5,5	4,9

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse PIA-Analytik**Eignungstest**

Analytik-Nr.		PN 16	PN 17	PN 18	PN 19
Datum PN		25.11.2005	29.11.2005	2.12.2005	6.12.2005
Prüfphase		WLB	WLB	NLB	NLB
Probenart		24h-MP	24h-MP	2h-MP	2h-MP
Zulauf Feinsiebrennen					
pH-Wert	-	7,3	7,3	7,4	7,5
Leitfähigkeit	μS/cm	819	992	869	841
Temperatur	°C	15	11,7	13,7	11,3
CSB _{hom}	mg/l	412	560	362	464
CSB _{fil}	mg/l	284	286	254	288
NH ₄ -N	mg/l	26,7	28,5	27,5	28,6
N _{ges}	mg/l	45	51	40	46
P _{ges}	mg/l	6,2	6,9	5,8	5,7
Ablauf Feinsiebrennen / Zulauf Biologie					
CSB _{hom}	mg/l	404	398	356	452
CSB _{fil}	mg/l	252	276	192	264
Ablauf Membranfilter					
pH-Wert	-	7,4	7,3	7,7	7,8
Leitfähigkeit	μS/cm	585	738	653	625
Temperatur	°C	15,9	12,5	14,5	11,3
CSB _{hom}	mg/l	31	55	22	32
CSB _{fil}	mg/l	20	22	28	15
NH ₄ -N	mg/l	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
NO ₃ -N	mg/l	9,4	5,5	10,8	6,7
NO ₂ -N	mg/l	0,053	< 0,2	0,06	0,04
N _{anorg}	mg/l	9,7	5,7	11,1	7,0
N _{ges}	mg/l	10	10	10	11
P _{ges}	mg/l	3,7	3,6	3,8	4
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)					
SV ₃₀ A4	ml/l	1000	1050	850	1300
TS A4	g/l	6,2	7,9	7,1	8,3
Temp. A4	°C	21,1	22,9	18,5	21
SV ₃₀ A5	ml/l	1200	1075	950	1750
TS A5	g/l	6,9	7,9	7,7	8,8
Temp. A5	°C	21,7	23,5	18,7	21,3
O ₂ Nitri	mg/l	4,5	6,1	4,1	4,0

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse ISA-Analytik

Analytik-Nr.		PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	PN 5
Datum PN		7.10.2005	12.10.2005	19.10.2005	4.11.2005	8.11.2005
Prüfphase		NLB	HLB	HLB	NLB	NLB
Probenart		24h-MP	24h-MP	24h-MP	24h-MP	24h-MP
Zulauf Feinsiebrennen						
CSB _{hom}	mg/l	253	520	345	298	451
CSB _{fil}	mg/l	204	298	246	172	212
BSB ₅	mg/l	122	199	126	128	188
TOC	mg/l	78	128	120	93	160
NH ₄ -N	mg/l	37,0	41	35	31	44
N _{ges}	mg/l	40	43	44	39	62
P _{ges}	mg/l	5,1	7,5	6,3	5,6	8,2
AFS	mg/l	58	178	141	96	200
Öle/Fette	mg/l	14	31	43	22	38
Ablauf Feinsiebrennen / Zulauf Biologie						
CSB _{hom}	mg/l	243	453	296	271	335
CSB _{fil}	mg/l	170	296	195	189	227
BSB ₅	mg/l	120	186	114	122	145
AFS	mg/l	78	141	103	71	107
Ablauf Membranfilter						
CSB _{hom}	mg/l	25	17	21	21	15
CSB _{fil}	mg/l	21	12	25	11	12
BSB ₅	mg/l	< 1	7	< 1	< 1	< 1
TOC	mg/l	7,0	6,9	5,9	9,2	8,1
NH ₄ -N	mg/l	0,25	< 0,1	0,12	0,19	0,63
NO ₃ -N	mg/l	11,0	4,2	6,4	27	13
NO ₂ -N	mg/l	0,25	0,1	< 0,05	0,05	0,24
N _{anorg}	mg/l	11,5	4,4	6,6	27,2	13,8
N _{ges}	mg/l	12,0	5	6,8	33	16
P _{ges}	mg/l	4	3,3	3,6	4,0	4,5
AFS	mg/l	5	1	2	1	1
Öle/Fette	mg/l	< 4	< 4	7	6	< 4
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)						
TS A4	g/l	1,56	2,6	4,3	4,1	4,7
GV A4	%	77,0	80,0	82,2	79,4	80,3
TS A5	g/l	1,8	3,1	5,1	4,6	5,5
GV A5	%	76,6	80,7	82,6	79,1	80
lipophile St.	mg/l	12	18	18	22	20

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse ISA-Analytik

Analytik-Nr.		PN 6	PN 7	PN 8	PN 9	PN 10
Datum PN		11.11.2005	18.11.2005	22.11.2005	25.11.2005	29.11.2005
Prüfphase		Ni LB	Ni LB	NLB	VLB	VLB
Probenart		24h-MP	24h-MP	24h-MP	24h-MP	24h-MP
Zulauf Feinsiebrennen						
CSB _{hom}	mg/l	348	289	413	278	456
CSB _{fil}	mg/l	157	163	188	191	167
BSB ₅	mg/l	149	115	161	150	201
TOC	mg/l	120	96	150	97	170
NH ₄ -N	mg/l	32	30	33	33	29
N _{ges}	mg/l	46	38	47	43	47
P _{ges}	mg/l	6,7	5,4	6,0	5,7	6,6
AFS	mg/l	129	108	155	73	229
Öle/Fette	mg/l	16	12	16	20	45
Ablauf Feinsiebrennen / Zulauf Biologie						
CSB _{hom}	mg/l	301	268	357	328	326
CSB _{fil}	mg/l	163	191	260	200	210
BSB ₅	mg/l	143	104	144	140	149
AFS	mg/l	80	81	103	119	106
Ablauf Membranfilter						
CSB _{hom}	mg/l	11	9	9	9	11
CSB _{fil}	mg/l	11	8	9	8	10
BSB ₅	mg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
TOC	mg/l	7,2	9,5	28	8,3	9,2
NH ₄ -N	mg/l	0,24	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO ₃ -N	mg/l	8,6	15	11	8,4	5,9
NO ₂ -N	mg/l	0,095	0,08	0,07	< 0,05	< 0,05
N _{anorg}	mg/l	8,9	15,2	11,2	8,6	6,1
N _{ges}	mg/l	10	18	15	10	7,5
P _{ges}	mg/l	4,4	5,5	3,6	3,0	3,7
AFS	mg/l	< 1	< 1	1	2	1
Öle/Fette	mg/l	< 4	< 4	< 4	< 4	5
Probenahmestelle Biologie (Bioreaktoren A4 und A5)						
TS A4	g/l	4,4	5,8	6,1	5,8	5,9
GV A4	%	76,1	80,0	80,2	78,5	76,8
TS A5	g/l	4,9	6,2	6,8	6,6	7
GV A5	%	76,8	79,8	80,2	78,3	78,3
lipophile St.	mg/l	11	12	8	9	10

NLB Normallastbetrieb
 HLN Hochlastbetrieb
 Ni LB Niedriglastbetrieb
 WLB Wechsellastbetrieb

Messergebnisse PIA-Analytik
EIMO®-Untersuchungen / Batchversuche

Versuchsreihe T3

Untersuchungen an Tag 0

Proben	Zeit	CSB _{filtr}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DOC	pH	Temp.	O ₂
Nr.	[min]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[-]	[°C]	[mg/l]
1	0	279	35,1	<1	91	6,37	21,9	8,0
2	15	270	33,1	<1	87	-	-	-
3	30	270	33,2	<1	82	-	-	-
4	45	250	32,1	<1	80	-	-	-
5	60	322	31,9	<1	74	6,24	21,8	7,1
6	90	269	29,6	<1	88	-	-	-
7	120	270	31,6	<1	76	-	-	7,1
8	150	262	32,8	<1	75	-	-	-
9	180	233	33,4	<1	75	6,23	21,3	6,6
10	240	231	32,0	<1	53	-	-	5,8
11	300	231	32,1	<1	61	-	-	5,3
12	360	207	33,2	<1	60	6,30	22,0	4,6

Untersuchungen an Tag 15

Proben	Zeit	CSB _{filtr}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DOC	PH	Temp.	O ₂
Nr.	[min]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[-]	[°C]	[mg/l]
1	0	66	59,3	<1	10	7,58	22,2	2,0
2	15	60	54,7	<1	15	-	-	-
3	30	59	51,7	<1	10	-	-	-
4	45	54	59,9	<1	10	-	-	-
5	60	141	28,5	1,0	30	7,63	21,9	2,9
6	90	120	52,1	1,0	15	-	-	-
7	120	105	43,4	1,5	140	-	-	3,4
8	150	120	57,0	1,5	30	-	-	-
9	180	185	24,4	1,0	40	7,63	21,8	3,6
10	240	110	53,7	1,4	35	-	-	3,6
11	300	140	46,3	2,3	55	-	-	3,6
12	360	176	37,9	1,9	15	7,65	21,7	3,6

Messergebnisse PIA-Analytik

EIMO®-Untersuchungen / Batchversuche

Versuchsreihen T0, T1, T2, T4, T5

Untersuchungen an Tag 0

Versuch	Probenahme Zeit [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Parameter												
T0	CSB _{ni} [mg/l]	-	280	132	127	128	120	118	123	127	152	223	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	12,9	17,6	23,0	24,5	29,5	34,2	56,9	58,7	59,6	67,8	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	< 1	-	< 1	-	< 1	-	-	-	-	1,0
	T [°C]	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,3
	O ₂ [mg/l]	0,5	-	1,0	-	1,0	-	0,5	0,5	-	-	-	0,5
	pH [-]	6,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,70
T1	CSB _{ni} [mg/l]	-	216	194	176	-	143	165	163	160	181	182	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	22,2	21,5	22,3	-	25,3	24,9	25,4	29,3	28,7	26,3	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,0	-	-	1,0	< 1	-	-	-	-	1,1
	T [°C]	20,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,4
	O ₂ [mg/l]	4,5	-	2,5	-	2,0	-	3,5	3,7	-	-	-	5,8
	pH [-]	6,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,90
T2	CSB _{ni} [mg/l]	-	170	167	173	-	190	177	221	216	214	226	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	26,1	24,9	23,7	-	25,6	25,9	25,7	27,7	28,0	29,0	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,1	-	-	1,1	1,1	-	-	-	-	1,3
	T [°C]	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7
	O ₂ [mg/l]	3,0	-	2,0	-	2,0	-	2,5	2,6	-	-	-	3,1
	pH [-]	6,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,56
T4	CSB _{ni} [mg/l]	-	191	145	152	-	184	179	235	203	213	219	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	23,1	24,4	24,6	-	25,1	24,9	27,1	28,2	29,9	29,6	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,1	-	-	1,3	1,3	-	-	-	-	1,6
	T [°C]	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,9
	O ₂ [mg/l]	2,5	-	3,0	-	5,0	-	4,2	3,2	-	-	-	5,9
	pH [-]	6,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,51
T5	CSB _{ni} [mg/l]	-	196	135	136	-	186	145	152	153	176	178	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	27,5	30,4	28,7	-	32,6	31,5	32,3	33,2	32,2	33,3	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,1	-	-	1,2	1,2	-	-	-	-	1,3
	T [°C]	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,6
	O ₂ [mg/l]	2,0	-	3,0	-	2,0	-	2,1	1,5	-	-	-	2,5
	pH [-]	6,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,69

Untersuchungen an Tag 15

Versuch	Probenahme Zeit [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Parameter												
T0	CSB _{ni} [mg/l]	-	61	49	38	72	64	71	67	74	83	116	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	23,7	24,0	34,0	11,7	29,5	10,5	19,8	23,7	2,6	6,3	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	4,9	-	10,6	-	12,3	-	-	-	-	>22
	T [°C]	19,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,9
	O ₂ [mg/l]	1,8	-	0,9	-	1,3	-	0,9	1,7	-	-	-	3,5
	pH [-]	7,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,34
T1	CSB _{ni} [mg/l]	-	97	87	79	100	84	89	102	79	81	68	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	21,6	23,3	10,6	13,2	5,4	22,4	39,2	16,2	38,0	18,7	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	0,7	-	2,0	-	1,1	-	-	-	-	1,2
	T [°C]	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
	O ₂ [mg/l]	0,6	-	0,8	-	0,6	-	0,7	0,7	-	-	-	0,6
	pH [-]	7,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,62
T2	CSB _{ni} [mg/l]	-	101	90	96	104	156	119	118	119	66	81	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	45,1	17,5	42,6	41,6	26,2	44,0	36,3	41,4	41,0	41,0	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	0,6	-	0,7	-	1,0	-	-	-	-	0,9
	T [°C]	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,2
	O ₂ [mg/l]	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,7	0,6	-	-	-	0,6
	pH [-]	7,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,64
T4	CSB _{ni} [mg/l]	-	104	94	90	71	82	38	59	55	67	78	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	47,5	51,9	54,3	44,9	46,1	42,2	39,7	39,5	43,1	46,6	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,1	-	1,1	-	1,1	-	-	-	-	1,9
	T [°C]	19,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,1
	O ₂ [mg/l]	0,8	-	0,6	-	0,6	-	0,6	0,4	-	-	-	4,3
	pH [-]	7,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,70
T5	CSB _{ni} [mg/l]	-	44	65	62	100	67	77	61	68	65	77	
	NH ₄ -N [mg/l]	-	54,1	54,6	41,8	51,2	32,9	49,1	48,9	38,7	39,7	53,3	
	NO ₃ -N [mg/l]	-	-	1,0	-	2,3	-	1,7	-	-	-	-	1,6
	T [°C]	19,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,5
	O ₂ [mg/l]	0,5	-	0,6	-	0,6	-	0,4	0,4	-	-	-	0,6
	pH [-]	7,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,63

Messergebnisse PIA-Analytik

EIMO®-Untersuchungen mit halbtechnischer Versuchsanlage

Phase Analytik-Nr. Datum PN	Phase 1					Phase 2			Phase 3			Phase 4						
	PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	PN 5	PN 6	PN 7	PN 8	PN 9	PN 10	PN 11	PN 12	PN 13	PN 14	PN 15	PN 16	PN 17	PN 18
	22.11.2005	23.11.2005	24.11.2005	25.11.2005	30.11.2005	2.12.2005	7.12.2005	14.12.2005	16.12.2005	20.12.2005	23.12.2005	30.12.2005	2.1.2006	10.1.2006	13.1.2006	17.1.2006	20.1.2006	27.1.2006

Zulauf																			
Zulauf																			
pH-Wert	7,1	-	-	7,3	7,3	7,4	-	-	-	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	825	-	-	819	992	869	-	-	-	918	-	-	-	-	-	-	-	-	850
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	15,1	-	-	15	11,7	13,7	-	-	-	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3
CSB _{hom} mg/l	482	-	-	404	560	362	-	-	-	346	556	-	290	480	532	494	438	366	
CSB _{III} mg/l	228	-	-	252	286	254	-	-	-	244	286	-	156	352	378	386	292	288	
NH ₄ -N mg/l	29,7	-	-	26,7	28,5	27,5	-	-	-	28,8	27,1	-	23,4	29,9	31,7	38	27	31,4	
N _{gas} mg/l	47	-	-	108	51	40	-	-	-	40	39	-	39	49	50	55	44	45	
PO4-P mg/l	2,2	-	-	2,5	2,1	2,8	-	-	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	2,7	

Ablauf																		
Ablauf																		
pH-Wert	6,7	6,8	6,9	6,8	7,1	7,4	6,7	6,6	6,8	6,9	7,1	6,9	7,1	7,1	7,3	7,6	7,4	7,5
Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	609	625	623	619	753	705	774	750	681	714	697	838	921	714	757	889	778	822
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	14,3	14,8	13,5	15,7	15,3	14,3	12,5	13	15,3	14,2	13	11,7	10,7	11,6	15,6	12	13,8	12,7
CSB _{III} mg/l	37	54	40	36	48	38	40	50	42	40	110	56	41	44	45	89	33	35
NH ₄ -N mg/l	2	1,6	4,5	4,7	7,7	2,3	0,4	0,2	1,39	0,71	0,74	1,6	0,6	10,7	24,6	35,6	15,8	15,1
NO ₂ -N mg/l	27,3	32,1	26,6	24,4	22,3	25,4	30,2	33,6	30,1	26,6	26,4	32,4	29,8	17,8	0,9	0,6	9,9	13,5
NO ₂ -N mg/l	0,09	0,07	0,07	0,06	0,15	0,1	0,06	-	0,11	0,07	0,03	-	0,06	0,35	0,37	0,04	0,06	0,06
N _{amorg} mg/l	29,4	33,8	31,2	29,2	30,1	27,8	30,7	33,8	31,6	27,4	27,2	34,0	30,5	28,8	25,9	36,2	25,8	28,7
PO4-P mg/l	2,3	1,7	1,2	0,5	1,8	1,7	1,3	1,9	1,4	2,5	1,9	-	2,7	2,7	3	4	1,1	1,8

Biologie		
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	> 12 $^{\circ}\text{C}$	> 12 $^{\circ}\text{C}$
O ₂ -Gehalt mg/l	> 8 mg/l	> 8 mg/l
	> 12 $^{\circ}\text{C}$	< 10 $^{\circ}\text{C}$
	> 8 mg/l	0 - 2 mg/l

Sicherheitsdatenblatt EIMO®

Hartmann Wasserrecycling

Loorstrasse 8
CH - 5242 Lupfig

Telefon: ++41 (0) 56 444 88 03
Telefax: ++41 (0) 56 444 88 02
E - Mail: info@hkw.ch

Sicherheitsdatenblatt

Datum / überarbeitet am: 16.06.2005
Produkt: EIMO®

1. Produkt- und Firmenbezeichnung

Produkt: **EIMO®**
Firma: Hartmann Wasserrecycling
CH - 5242 Lupfig
Telefon: ++41 (0) 56 444 88 03
Telefax: ++41 (0) 56 444 88 02
E-Mail: info@hkw.ch

2. Zusammensetzung

Aktive Mischbiomasse einschliesslich immobilisiert in einer Mehrkomponenten-Polymer-Matrix

3. Mögliche Gefahren

Kann nach erfolgtem Verschlucken zu Durchfall oder Erbrechen führen, ansonsten bestehen für Mensch und Umwelt keine Gefahren.

4. Hygiene – Massnahmen

Nach Hautkontakt: Kontaminierte Hautpartie mit Wasser und Seife gründlich waschen.

Nach Augenkontakt: Sofort gründlich mit Wasser auswaschen.

Nach Verschlucken: Verschlucktes Material möglichst aus Mund und Rachen entfernen (Ausspucken), anschliessend mehrfach mit Wasser nachspülen und ausspucken. Bei nachfolgendem starken Durchfall oder Erbrechen Arzt aufsuchen.

Sicherheitsdatenblatt EIMO®

Hartmann Wasserrecycling

Sicherheitsdatenblatt
Datum / überarbeitet am: 16.06.2005
Produkt: EIMO®

5. Handhabung und Lagerung

- Handhabung:** Auf genügende Be- und Entlüftung beim umfüllen achten. Nach längerer Zeit (mehrere Tage) ohne Zufuhr von Sauerstoff kann die Biomasse geruchsintensive Faulgase bilden.
- Lagerung:** Um Faulprozesse zu verhindern muss die Biomasse mit Sauerstoff (Luft od. Nitrat) versorgt werden. Wenn während mehr als 5 Tagen kein Sauerstoff zugeführt wird, ist mit einer längeren Anlaufphase beim nachfolgenden Einsatz zu rechnen.
- Die Biomasse darf nicht bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (0°C) und über 35 °C gelagert werden.
- Die Lagerung findet unter Wasser statt. Das Material darf nicht austrocknen. Der pH Wert muss zwischen 6 und 9 sein. Die Leitfähigkeit muss kleiner 25 mS / cm betragen.

6. Persönliche Schutzausrüstung

- Atemschutz:** Bei ungenügender Be- und Entlüftung
- Körperschutz:** Arbeitskleidung und eventuell Handschuhe und Schutzbrille tragen
- Allgemeine Schutz- und Hygienemaßnahmen:**
Kontakt mit Haut, Augen und persönlicher Kleidung vermeiden

7. Physikalische und chemische Eigenschaften

- Form:** leicht elastische Kapseln
- Farbe:** braun
- Durchmesser:** 1 bis 3 mm
- Geruch:** geruchlos bis faulig

8. Stabilität

- Die unter Ziff. 5 Abschnitt „Lagerung“ genannten Bedingungen müssen eingehalten werden.
- Das Produkt darf nicht mit Abwasser beschickt werden, welches bakterientoxische Wirkung aufweist.
- Scherkraftintensive Aggregate (z.B. Kreiselpumpen, hochtourige Rührwerke) führen zur mechanischen Zerstörung der Kapseln und dürfen deshalb nicht eingesetzt werden.

Sicherheitsdatenblatt EIMO®

Hartmann Wasserrecycling

Sicherheitsdatenblatt
Datum / überarbeitet am: 16.06.2005
Produkt: EIMO®

9. Hinweise zur Entsorgung

Das Produkt kann nach der Abtrennung des Wassers und eventueller nachfolgender Trocknung, unter Beachtung der örtlichen, behördlichen Vorgaben in einer Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt werden.

Die Entsorgung erfolgt analog der Überschussschlamm Entsorgung einer industriellen Abwasserreinigungsanlage.

10. Angaben zum Transport

Das Produkt wird unter Wasser entweder abgefüllt in Kunststoffgebinde oder lose mittels Saug- / Pumpwagen transportiert.

Für den Transport gilt weiter alles unter Ziff. 5 gesagte.