

Festbettreaktoren – Versuchsphasen und Datenbeschreibung

Anmerkung: Dies sind die Rohdaten der im Jahr 2024 veröffentlichten Dissertation von Birthe Kristina Stricker mit dem Titel „Mikroschadstoff-Elimination aus kommunalem Abwasser durch biologischen Schadstoffabbau in Festbettreaktoren unter nitrifizierenden und denitrifizierenden Bedingungen nach verbesserter chemischer Kohlenstoffextraktion“

Übersicht Rohdaten-Dateien:

Die Rohdaten, die in den Versuchsphasen mit den Festbettreaktoren im Rahmen der oben genannten Dissertation erzeugt wurden, sind zur Übersichtlichkeit in mehrere Dateien aufgeteilt. Die jeweiligen Inhalte werden nachfolgend kurz erläutert.

In „*FBR_Konzentrate_Rohdaten_Wasserchemie_Diss_B_Stricker_AWW*“ finden sich alle wasserchemischen Daten der eingesetzten Konzentrate. Die Konzentrate wurden aus dem Ablauf der Nachklärung eines kommunalen Klärwerks (in der Dissertation bezeichnet als Klärwerk B) mit einem NF270-2540 Spiralwickelmodul (Dow Filmtec™) hergestellt. Dafür wurden 700 Liter Abwasser auf ca. 30 Liter Konzentrat (Retentat) reduziert bei einer Versuchseinstellung von 450 – 460 l/h und 5 bar. Über drei Versuchsphasen in den Festbettreaktoren wurden drei unterschiedliche Konzentrate eingesetzt.

Die Versuche in den Festbettreaktoren teilen sich auf drei Versuchsphasen auf. Diese werden separat beschrieben (siehe unten) und sind in den Rohdaten gekennzeichnet durch Duplikation (= Versuchsphase 1), Nitri/Denitri (= Versuchsphase 2) und Flockungsüberstand (= Versuchsphase 3). Die wasserchemischen Daten der Versuche sind jeweils zu finden in:

- „*FBR_Rohdaten_Duplikation_Wasserchemie_Diss_B_Stricker_AWW*“
- „*FBR_Rohdaten_NitriDenitri_Wasserchemie_Diss_B_Stricker_AWW*“
- „*FBR_Rohdaten_Flockungsueberstand_Wasserchemie_Diss_B_Stricker_AWW*“

Daten zur Untersuchung des Stickstoffabbaus in Versuchsphase 2 und 3 sind in „*FBR_Rohdaten_Reaktionsgeschwindigkeit_Diss_B_Stricker_AWW*“ aufgeführt. Hierfür wurden weitere Zwischenproben zwischen den Beschickungen in beiden Festbettreaktoren entnommen.

Die wasserchemischen Daten der in der Versuchsphase 3 eingesetzten Flockungsüberstände (Supernatant) sind aufgeführt in „*FBR_Supernatant_Rohdaten_Flockungsueberstand_Wasserchemie_Diss_B_Stricker_AWW*“. Die Überstände wurden aus dem Ablauf der Vorklärung des Klärwerks B durch Zugabe des Polyaluminiumchlorids Sachtofloc 46.12 zur Fällung/Flockung hergestellt. Dabei wurden 10 Liter Abwasser verwendet und eine Chemikaliendosierung von 0,2 mmol_{Al}/l_{Abwasser}. Die Standardparameter des schnellen Einrührens waren 300 rpm (Rapid Mixing Speed – RMS) und 1 min (Rapid Mixing Time – RMT). Danach folgte ein langsames Rühren mit 50 rpm (Slow Mixing Speed – SMS) und 30 min (Slow Mixing Time – SMT). Nach

einer 90 min Sedimentation wurde der Überstand aus dem Versuchsaufbau entnommen. Ein Flockungsüberstand wurde für bis zu zwei Beschickungen eingesetzt.

Die Ergebnisse der im Zentrallabor der Technischen Universität Hamburg durchgeführten Mikroschadstoffmessungen sind für alle eingesetzten Konzentrate und alle Versuchsphasen der Festbettreaktoren in „*FBR_Rohdaten_Mikroschadstoffe_Diss_B_Stricker_AWW*“ zu finden. Hier sind auch die Messungen der Mikroschadstoffe aus den in Versuchsphase 3 eingesetzten Flockungsüberständen (Supernatant) zu finden. Am Ende der dritten Versuchsphase wurden die Festbettreaktoren gestoppt, das Festbett entnommen und auf Mikroschadstoffe im Festbett untersucht. Es wurden jeweils vier Proben je Reaktor gezogen (von unten nach oben: Sumpf, Start, Mitte, Ende). Die Ergebnisse sind in „*FBR_Rohdaten_Mikroschadstoffe_Festbett_Diss_B_Stricker_AWW*“ aufgeführt. Aus den Festbettproben wurden darüber hinaus Gen Sequenzierungen (16S) durch Eurofins durchgeführt. Der Bericht von Eurofins ist unter „*FBR_NG-33317.16S.Microbiome_Profiling_Report*“ gespeichert. Die dazugehörigen Rohdaten sind als Textdateien aufgeführt:

- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L2”*
- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L3”*
- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L4”*
- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L5”*
- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L6”*
- *“FBR_tmp_sorted_otu_table_L7”*

Beschreibung der Versuche in den Festbettreaktoren:

Für alle Versuche wurden zwei Festbettreaktoren (FBR) eingesetzt. Diese wurden im Upstream betrieben (von unten durchströmt). Zwischen den einzelnen Beschickungen wurde das Reaktorfluid kontinuierlich durch eine Kreiselpumpe am Reaktorsumpf und einen oberen Auslass am Ende des Festbetts rezirkuliert.

In der **ersten Versuchsphase (Duplikation)** wurden beide separat, parallel betrieben und auf Vergleichbarkeit untersucht. Die Betriebsparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Beschickung mit dem Konzentrat (Retentat der Nanofiltration, siehe oben) erfolgte über einen Rezirkulationskolben am Reaktorsumpf. Die Probenahme erfolgte ebenfalls im Rezirkulationskolben. Sonden-Messungen (z.B. pH-Wert) wurden am Ende des Festbetts im Überstand durchgeführt.

In der Startphase der Duplikation wurden beide Reaktoren einmal pro Woche mit 500 ml Konzentrat (und ggf. ergänzendem Volumen) beschickt. Anschließend wurde auf das Beschickungsschema 500 ml (1 Woche) – 500 ml (1 Woche) – 1000 ml (2 Wochen, mit einer Beschickungspause) umgestellt. Mikroschadstoffuntersuchungen wurden in den zweiwöchigen Versuchen durchgeführt. Die Dauer der Versuchsphase 1 betrug 140 Tage.

Tabelle 1: Betriebsparameter der Festbettreaktoren (R1 & R2) unter Versuchsphase 1 (Duplikation)

Betriebsparameter	R1 und R2	
Upstream-Geschwindigkeit	15 m/h	
Gelöster Sauerstoff	> 6 mg/l	
Luftgeschwindigkeit (Belüftung)	1,3 – 2,6 m/h	
Reaktormaße	R1	R2
Gesamtreaktorhöhe	1,34 m	1,36 m
Höhe Festbett	1,17 m	1,16 m
Innerer Durchmesser	0,1 m	0,1 m
Reaktorvolumen (Flüssigphase)	3,3 l	3,45 l
Volumen Rezirkulationskolben	2,1 – 2,2 l	2,1 – 2,2 l
Überlaufbehälter	10 l	4,4 l
Technische Daten	R1 und R2	
Pumpe	Totton NDP 14/2 Kreisel-Pumpe	
Füllmaterialien	Blähton (Liapor GmbH & Co.KG; 8 4/8)	
Partikelform/-größe	Kugelförmig, 4-8 mm	

Für die **Versuchsphase 2 (Nitri/Denitri)** wurde R1 auf Nitrifikation und R2 auf Denitrifikation umgestellt. Dafür erfolgte ein Umbau der Reaktoren. Der Rezirkulationskolben wurde entfernt und ein Überstaubereich am Ende des Festbetts eingerichtet. Dieser Aufbau wurde ebenso in **Versuchsphase 3 (Flockungsüberstand)** beibehalten. Die angepassten Betriebsparameter beider Versuchsphasen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Angepasste Betriebsparameter für R1 und R2 in Versuchsphase 2 (Nitri/Denitri) und Versuchsphase 3 (Flockungsüberstand)

Betriebsparameter/Reaktormaße	R1	R2
Upstream-Geschwindigkeit	15 m/h	15 m/h
Gelöster Sauerstoff	> 6 mg/l	< 1 mg/l
Luftgeschwindigkeit (Belüftung)	0,08 – 0,25 m/h	-
Gesamtreaktorhöhe	1,60 m	1,60 m
Höhe Festbett	1,17 m	1,16 m
Innerer Durchmesser	0,1 m	0,1 m
Volumen Reaktorfluid	5,95 l	5,75 l

In beiden Versuchsphasen 2 und 3 bestand ein Versuch aus der Aufenthaltszeit des Reaktorfluids erst in R1 (Nitrifikation) und danach in R2 (Denitrifikation). Die Beschickung und der Wechsel zwischen den Reaktoren erfolgten manuell. Dafür wurde jeweils das Fluid zu den Beschickungen aus den Reaktoren entnommen.

In **Versuchsphase 2** wurde das Feed für R1 (Nitrifikation) aus R2-Fluid, Konzentrat und Ammoniumsalzen gemischt und in den Reaktor gepumpt. Für die Beschickung von R2 wurde dem entnommenen R1-Fluid Essigsäure als Kohlenstoffquelle hinzugegeben und je nach Bedarf Natronlauge zur pH-Wert-Angleichung. Die Versuchsphase wurde in zwei Phase 2a und 2b aufgeteilt mit jeweils einer Gesamtversuchszeit von 7 bzw. 14 Tagen. Die Probenahmen erfolgten direkt aus den Feed-Mischungen oder aus dem Überstand am Festbettende. Die gesamte Versuchsphase 2 verlief für 216 Tage. An Tag 102 erfolgte die Umstellung von 2a auf 2b.

In **Versuchsphase 3** wurde dem R1-Feed anteilig Flockungsüberstand (Supernatant) aus den Fällungs-/Flockungsversuchen zudosiert. Die Versuche verliefen insgesamt 14 Tage. Dies entspricht einem Aufenthalt von jeweils 7 Tagen pro Reaktor, wie Phase 2b. Die Probenahmen erfolgten wie in Versuchsphase 2. Die Versuchsphase 3 verlief über 177 Tage.

Die Zusammensetzung der Reaktorfluide für Versuchsphase 2 und Versuchsphase 3 sind in Tabelle 3 gezeigt.

Tabelle 3: Zusammensetzung der Reaktorfluide in Versuchsphase 2 und 3 der Festbettreaktoren

Versuchsphase	Nitri/Denitri				Flockungsüberstand	
	Phase 2a		Phase 2b		Phase 3	
Reaktor	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Beschickung	2x pro Woche		1x pro Woche		1x pro Woche	
Zielwert NH₄N in R1 [mg/l]	60	-	120	-	120	-
Reaktorfluid [ml]	5300 (aus R2)	5700 (aus R1)	4700 (aus R2)	5700 (aus R1)	4400 (aus R2)	5700 (aus R1)
Konzentrat [ml]	600 ¹	-	1200	-	1000	-
Flockungsüberstand [ml]	-	-	-	-	500	-
VE-Wasser mit NH₄HCO₃/CH₃COOH + NaOH [ml]	50	50	50	50	50	50
Gesamtvolumen [ml]	5950	5750	5950	5750	5950	5750
Rezirkulation R2 zu R1 [%]	89		79		74	