

Pilotstudie zur Anwendbarkeit eines integrierten Konzeptes zur dezentralen Behandlung von Abwasser und Abfall

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Henrich Röper

aus Bielefeld

2012

Verzeichnis der Abbildungen	V
Verzeichnis der Tabellen.....	X
Verzeichnis der Abkürzungen	XII
Verzeichnis der Parameter	XIII
1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	1
1.1 EIN INTEGRIERTES KONZEPT ZUR DEZENTRALEN BEHANDLUNG VON ABWASSER UND ABFALL (INKONDA).....	2
1.2 KERNASPEKTE DER ARBEIT.....	4
2 GRUNDLAGEN	7
2.1 DEZENTRALE INFRASTRUKTURPLANUNG	7
2.1.1 Stoffkreisläufe, ökologische Vorteile und Klimaschutz.....	7
2.1.2 Lösungsansätze für dezentrale ökologisch verträgliche Entsorgungskonzepte	9
2.1.3 Konventionelle Systeme: Einsatz von Kleinkläranlagen.....	11
2.1.4 Gesetzliche Anforderungen an Kleinkläranlagen in Europa	12
2.1.5 Bioabfall aus dezentralen Strukturen.....	13
2.2 GRUNDLAGEN DER MEMBRANTECHNIK IN DER ABWASSERWIRTSCHAFT	13
2.2.1 Einsatz von Membranverfahren in der Abwasserreinigung	14
2.2.2 Funktionsweise der Ultrafiltration.....	15
2.2.3 Material und Struktur von Porenmembranen für die Ultrafiltration.....	15
2.2.4 Begriffsdefinitionen und Betriebsparameter	16
2.2.5 Betriebsarten bei der Ultrafiltration.....	17
2.2.6 Deckschichtbildung.....	19
2.2.7 Maßnahmen der Wartung und Reinigung zur Erhaltung der Filtrationsleistung	21
2.3 GRUNDLAGEN DER ANAEROBTECHNIK	23
2.3.1 Biologische Grundlagen	23
2.3.2 Einflussfaktoren der anaeroben biologischen Vorgänge	25
2.3.3 Verfahrenstechnische Betriebsgrößen	28

3	VORVERSUCHE IM TECHNIKUMSMAßSTAB	33
3.1	MEMBRANTECHNIK ZUR REINIGUNG UND AUFKONZENTRIERUNG VON ROHABWASSER	33
3.1.1	Leistung der Technikumsmembranen – Permeatqualität.....	36
3.1.2	Leistung der Technikumsmembranen – Konzentratqualität.....	37
3.1.3	Leistung der Technikumsmembranen – Permeabilität.....	39
3.1.4	Reinigung und Aufbereitung der Membran	42
3.2	GASBILDUNGSPOTENTIAL BEI DER CO-VERGÄRUNG VON ABWASSERKONZENTRAT UND BIOABFÄLLEN.....	44
3.3	BETRIEB EINER AUTOMATISIERTEN TECHNIKUMSFERMENTATIONSANLAGE.....	46
3.3.1	Anlagenaufbau und Steuerung.....	46
3.3.2	Versuchsprogramm der Technikumsfermentation.....	47
3.3.3	Ergebnisse der Technikumsversuche	48
3.4	ZUSAMMENFASSUNG DER TECHNIKUMSVERSUCHE	52
4	KONZEPTION UND UMSETZUNG IM PILOTMAßSTAB.....	53
4.1	STANDORT UND AUSLEGUNG DER PILOTANLAGE	53
4.2	AUFBAU UND TECHNISCHE DATEN DER PILOTANLAGE.....	54
4.2.1	Aufbau der Membranstufe	54
4.2.2	Aufbau der Anaerobstufe	56
4.2.3	Messtechnik	61
4.2.4	Prozessleitsystem und Monitoring.....	62
5	PILOTBETRIEB DER MEMBRANSTUFE	65
5.1	CHARAKTERISIERUNG DES ROHABWASSERS.....	65
5.2	BETRIEBSZUSTÄNDE UND HAUPTEREIGNISSE ÜBER DIE GESAMTE BETRIEBSDAUER.....	68
5.2.1	Inbetriebnahme und erster automatischer Betrieb der Membranstufe	69
5.2.2	Erster automatischer anaerober Betrieb	72
5.2.3	Langzeitbetrieb einer neuen fabrikneuen Membran im anaeroben Betrieb.....	74
5.2.4	Langzeitbetrieb einer neuen fabrikneuen Membran im aeroben Betrieb.....	76
5.2.5	Betriebsdaten der Restlaufzeit	79

5.3	LEISTUNGSBEWERTUNG DER MEMBRANSTUFE	81
5.3.1	Gesamtdurchsatz der Membranstufe über alle Betriebsphasen	81
5.3.2	Aufkonzentrierung des Abwassers	82
5.3.3	Summenparameter TOC, CSB und BSB ₅ im Konzentrat	83
5.3.4	pH-Wert und Hydrogencarbonat im Konzentrat	84
5.3.5	Aufkonzentrierung im Verhältnis Konzentrat zu Rohwasser	84
5.3.6	Qualität von Permeat und Reinigungsleistung der Membran	86
5.3.7	Stickstoffrückhalt der Ultrafiltration	88
5.4	WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN IM PERMEAT	90
5.4.1	Hygieneuntersuchungen und pathogene Keime	90
5.4.2	Untersuchung auf Bestandteile von Medikamentenrückständen und endokrin wirksame Substanzen in Konzentrat und Permeat	91
5.4.3	Vegetationsversuch zur Eignungsprüfung des Permeats zu Bewässerungszwecken ..	94
5.4.4	Messung der Geruchsstoffemissionskapazität von Rohabwasser, Konzentrat und Permeat	95
5.4.5	Identifizierung von geruchsaktiven Substanzen in Rohabwasser, Konzentrat und Permeat mittels SPME-GC/MS	100
5.4.6	Bestimmung der Hauptgeruchsstoffe mittels Odour Index	105
5.5	GESAMTBEWERTUNG DER MEMBRANSTUFE	107
 6	 PILOTBETRIEB DER ANAEROBSTUFE	 109
6.1	AUSWERTUNG DES KONTINUIERLICHEN BETRIEBS	109
6.1.1	Darstellung der Betriebsverläufe von Versuchsphasen I - VII	110
6.2	GASPRODUKTION UND QUALITÄT	122
6.3	ABBAUGRAD VON KOHLENSTOFFVERBINDUNGEN DURCH DIE ANAEROBSTUFE	124
6.3.1	Abbaugrade gemessen an den Flüssigproben	124
6.3.2	Abbaugrade über die Gasphase	125
6.4	GESAMTBEWERTUNG DER ANAEROBSTUFE	128
 7	 PILOTBETRIEB DER GÄRRESENTWÄSSERUNG	 129
7.1	GÄRRESTERFASSUNG	130
7.1.1	Nährstoffgehalte im Gärrest	131

7.1.2	Schwermetallbelastung im Gärrest	132
7.2	VERARBEITUNG DES GÄRRESTS ZU NUTZPELLETS	133
7.2.1	Pelletierung von Gärrest-Kompost-Mischungen	134
7.2.2	Nährstoffgehalt der Pellets	135
7.2.3	Nachkompostierung der Pellets	136
7.3	VEGETATIONSVERSUCH ZUR ÜBERPRÜFUNG DER DÜNGEWIRKUNG DER PELLETPRODUKTE	137
7.4	EINSATZ DER PELLETS ALS ENERGIETRÄGER IN HEIZUNGEN	139
7.4.1	Heizwertbestimmung der Gärrest-Kompost-Pellets	139
8	ENERGIEBILANZ UND GROBTECHNISCHE UMSETZUNG	141
8.1	MASSENBILANZIERUNG	142
8.2	NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN DER OUTPUT-PRODUKTE IN EINEM GESAMTKONZEPT	145
8.2.1	Nutzung des Brauchwassers	145
8.2.2	Biogasverwertung	147
8.2.3	Nutzung des Gärrests	150
8.3	DIMENSIONIERUNG UND FLÄCHENBEDARF EINER INKONDA-ANLAGE	150
8.4	ÜBERSCHLÄGIGE KOSTENBETRACHTUNG IM VERGLEICH MIT KONVENTIONELLEN METHODEN	154
8.4.1	Konventionelle Lösung: Anschluss an ein Kanalnetz mittels Druckrohrleitung	154
8.4.2	Konventionelle Lösung: Klein- / Kläranlage	155
8.4.3	Kostenbetrachtung einer INKONDA-Anlage	156
9	ZUSAMMENFASSUNG	157
10	LITERATUR	161

ANHANG

A 1	Technische Entwurfsplanung der INKONDA-Pilotanlage	169
A 2	Identifizierung der Hauptgeruchsstoffe in unbehandeltem Abwasser und in nach Behandlung in der Membrananlage anfallendem Permeat und Konzentrat	175