

Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser
Band 88 – Kombinierte Bio-Elektro-Verfahren zur Stromgewinnung und
Spurenstoffelimination

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	I
KURZFASSUNG	II
ABSTRACT	III
INHALTSVERZEICHNIS	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	XVI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XX
1 EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	5
2.1 Mikrobielle Brennstoffzelle (MBZ)	5
2.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip	5
2.1.2 Stoffwechselforgänge in einer mikrobiellen Brennstoffzelle	6
2.1.3 Stromerzeugung in einer mikrobiellen Brennstoffzelle	8
2.1.4 Materialien	9
2.1.5 Betriebsweise und Reaktortypen	11
2.1.6 Mögliche Anwendungsgebiete in der Abwasseraufbereitung	12
2.2 Spurenstoffelimination in Klärwerken	13
2.2.1 Verhalten und Auswahl organischer Spurenstoffe	13
2.2.2 Eliminationsverfahren organischer Spurenstoffe	15
2.2.3 Aktivkohle	17
2.2.4 Elektrochemische Transformation	22
3 MATERIAL UND METHODEN	30
3.1 Verwendete Chemikalien und Geräte	30
3.2 Physikalisch-chemische Messmethoden	30
3.2.1 pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoff	30
3.2.2 Schnelltests (Ammonium, gelöstes Eisen, Sulfid, CSB)	30
3.2.3 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	31
3.2.4 Gaschromatographie (GC)	31
3.2.5 Ionenchromatographie (IC)	31
3.2.6 Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)	32

3.3	Elektrochemische Messmethoden	32
3.3.1	Polarisations- und Leistungskurven	32
3.3.2	Galvano- und potentiostatische Arbeitsweise	33
3.4	Molekular- und mikrobiologische Methoden.....	33
3.4.1	Kulturmedien	33
3.4.2	DNA- Extraktion und Polymerase Chain Reaction (PCR).....	33
3.4.3	Toxizitätsmessungen.....	34
3.5	Berechnungen	34
3.5.1	Elektrochemische Parameter	34
3.5.2	Coulombsche Effizienz.....	35
3.5.3	Energiegewinnung pro abgebauter Substratmasse	35
3.5.4	Theoretisch mögliche Iodid - und Iodat – Konzentration.....	36
3.5.5	Desorption und Wiederbeladung.....	36
3.5.6	Reaktionskonstante 1. Ordnung.....	37
3.6	Durchführung der Experimente	37
3.6.1	Mikrobielle Brennstoffzelle	37
3.6.1.1	Laboruntersuchungen im Batch-Betrieb.....	37
3.6.1.2	Laboruntersuchungen im kontinuierlichen Betrieb	39
3.6.1.3	Demonstratoren am Kläranlagen-Standort.....	40
3.6.2	Spurenstoffelimination	41
3.6.2.1	Elektrochemische Desorption von Aktivkohle	41
3.6.2.2	Elektrochemische Abbauprobversuche	42
3.6.2.3	Mikrobielle Abbauprobversuche elektrochemisch gebildeter Reaktionsprodukte	43
3.6.2.4	Demonstratoren am Kläranlagen-Standort.....	45
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	48
4.1	Stromgewinnung mithilfe einer mikrobiellen Brennstoffzelle.....	48
4.1.1	Etablierung der Gasdiffusionselektroden (GDE)	48
4.1.1.1	Verzicht auf Trennmembran und Test der Langzeitstabilität	48
4.1.1.2	Verwendung unterschiedlicher Katalysatoren	50
4.1.1.3	Diskussion zur Etablierung der eingesetzten Gasdiffusionselektroden (GDE).....	52
4.1.2	Biozönose und Stoffwechselvorgänge	54
4.1.2.1	Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation	54
4.1.2.2	Stoffwechselvorgänge	56
4.1.2.3	Diskussion zu Biozönose und Stoffwechselvorgängen.....	60
4.1.3	Weitere Einflüsse auf die Performance	63

4.1.3.1	Substratverfügbarkeit und unterschiedliche Substrate.....	63
4.1.3.2	Stimulierung durch Polarisierung.....	64
4.1.3.3	Verringerung der Kathodenflächen	65
4.1.3.4	Stromkreisunterbrechungen	67
4.1.3.5	Diskussion der weiteren Einflüsse auf die Performance	67
4.1.4	Experimente am Kläranlagen-Standort	71
4.2	Spurenstoffelimination	82
4.2.1	Regeneration von Aktivkohle beladen mit ausgewählten organischen Spurenstoffen	82
4.2.1.1	Beladung	82
4.2.1.2	Elektrochemische Desorption.....	83
4.2.1.3	Wiederbeladung	86
4.2.1.4	Diskussion zur Regeneration von Aktivkohle	87
4.2.2	Abbauverhalten organischer Spurenstoffe bei der elektrochemischen Behandlung	92
4.2.2.1	Röntgenkontrastmittel (RKM).....	92
4.2.2.2	Betrachtung der Reaktionsprodukte (Toxizität und biologische Abbaubarkeit)	98
4.2.2.3	Diskussion zum Abbauverhalten organischer Spurenstoffe bei der elektrochemischen Behandlung	104
4.2.3	Experimente am Kläranlagen-Standort	114
4.3	Bewertung der Bio-Elektro-Verfahren hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten in Klärwerken ..	126
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	131
6	BISHERIGE VERÖFFENTLICHUNGEN	136
7	LITERATURVERZEICHNIS	137
8	ANHANG	151
8.1	Chemisch-physikalische Eigenschaften der untersuchten organischen Spurenstoffe	151
8.2	Messmethode zur Bestimmung von Methan.....	153
8.3	Messmethoden zur Bestimmung der Anionen	153
8.4	Messmethoden zur Bestimmung der untersuchten organischen Spurenstoffe	156
8.5	Kulturmedien	159
8.6	Molekularbiologische Methoden.....	160
8.7	Übersicht der durchgeführten MBZ-Versuche.....	161
8.8	Kenndaten der verwendeten MBZ.....	163
8.9	Übersicht der durchgeführten Versuche zur Spurenstoffelimination.....	164
8.10	Kenndaten der verwendeten Zellen für die Spurenstoffelimination	168
8.11	Polarisations- und Leistungskurven der MBZ-Versuche	169
8.12	Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation in den MBZ-Versuchen	169

8.13	Weitere Messdaten der MBZ-Experimente am Kläranlagen-Standort.....	171
8.14	Weitere Messdaten zur Regeneration von Aktivkohle	174
8.15	Weitere Messdaten der elektrochemischen Abbauversuche ausgewählter Röntgenkontrastmitteln	176
8.16	Weitere Messdaten zur Betrachtung der Reaktionsprodukte (Toxizität und biologische Abbaubarkeit).....	182
8.17	Mögliche Abbauege der untersuchten Röntgenkontrastmittel.....	184
8.18	Weitere Messdaten der Experimente am Kläranlagen-Standort.....	188
9	LEBENS LAUF	195