

INSTITUT WAR – Bibliothek –
Wasserwirtschaft, Abwassertechnik,
Abfalltechnik und Raumplanung
Technische Hochschule Darmstadt
Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt
TEL. 06151 / 163659 + 162748
FAX 06151 / 163758

W. A. R. – Bibliothek
Inv.-Nr. D15236

10 SBA 59

Petra Püchner

**Screening-Testmethoden zur
Abbaubarkeit von Kunststoffen
unter aeroben und anaeroben
Bedingungen**

Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	15

I. Einleitung

1. Einführung in das Thema abbaubare Kunststoffe.....	17
2. Begriffsdefinition biologische Abbaubarkeit	
2.1 Abbaubarkeit von Chemikalien.....	19
2.2 Abbaubarkeit von Kunststoffen.....	20
2.2.1 Biokorrosion.....	20
2.2.2 Derzeitiger Stand der Definitionen zur Abbaubarkeit von Kunststoffen.....	21
3. Entwicklungsstand: Testmethoden zur Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit	
3.1 Testmethoden für Chemikalien.....	24
3.1.1 Abbaubarkeit unter aeroben Bedingungen.....	24
3.1.2 Abbaubarkeit unter anaeroben Bedingungen.....	26
3.2 Testmethoden für Kunststoffe.....	31
4. Formulierung der Aufgabenstellung.....	33

II. Material und Methoden

1. Untersuchungsmaterialien	
1.1 Poly-(β -OH-Buttersäure) und Copolymeren.....	38
1.2 Poly- ϵ -caprolacton (PCL)	42
1.3 Zusammenstellung anderer untersuchter Polymere.....	45
2. Allgemeine Methoden zur Analytik und Auswertung	
2.1 Proteine.....	45
2.2 Ammonium und Phosphat.....	45
2.3 Nitrat und Nitrit.....	48
2.4 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	48
2.5 Gelöster anorganischer Kohlenstoff (DIC)	48
2.6 Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) und gesamter anorganischer Kohlenstoff (TIC)	48
2.7 CH ₄ und CO ₂ in der Gasphase.....	49
2.8 Bestimmung des Trockenrückstandes und der Trockensubstanz.....	49
2.9 Auswertung der Abbaukurven durch Anpassung	
2.9.1 Anpassung an die logistische Funktion.....	49
2.9.2 Berechnung der lag-Phase.....	51
2.9.3 Berechnung von V _{max}	51
3. Aerobe Screening Verfahren	
3.1 Der Biochemische Sauerstoffbedarf als Abbaukriterium	
3.1.1 Prinzip der Methode.....	52
3.1.2 Beschreibung des Testsystems.....	52
3.1.3 Versuchsdurchführung.....	53

3.1.4	Medien	
3.1.4.1	Abwasser aus dem Vorklärbecken.....	55
3.1.4.2	Mineralsalzmedien.....	57
3.1.5	Animpfung	
3.1.5.1	Belebtschlamm.....	59
3.1.5.2	Kläranlagenablauf.....	59
3.1.5.3	Erdsuspension.....	59
3.1.5.4	Mischungen aus verschiedenen Inocula.....	60
3.1.6	Auswertung	
3.1.6.1	Kurvenverlauf.....	60
3.1.6.2	Abbaugrad.....	61
3.1.6.3	Nitrifikation.....	62
3.1.6.4	C-Bilanzierung.....	64
3.2	CO ₂ -Entwicklung als Abbaukriterium	
3.2.1	Prinzip der Methode.....	65
3.2.2	Beschreibung des Testsystems.....	65
3.2.3	Versuchsaufbau.....	66
3.2.4	Animpfung.....	66
3.2.5	Versuchsdurchführung.....	66
3.2.6	Auswertung.....	67
3.2.7	C-Bilanzierung.....	68
4. Anaerobes Screening Verfahren		
4.1	Prinzip der Methode.....	69
4.2	Beschreibung des Testsystems.....	69
4.3	Medien	
4.3.1	Mineralsalzmedium A.....	71
4.3.2	Mineralsalzmedium B.....	72
4.3.3	Mineralsalzmedium C.....	73
4.3.4	Sperrflüssigkeit.....	73
4.4	Animpfung.....	73
4.5	Versuchsdurchführung.....	75
4.6	Auswertung der Ergebnisse	
4.6.1	Berechnung der maximal möglichen Gasbildung.....	76
4.6.2	Volumetrische Bestimmung der Biogasproduktion.....	77
4.6.3	Bestimmung der CH ₄ - und CO ₂ -Produktion.....	77
4.6.4	Anpassung an die logistische Funktion.....	78
4.7	Versuche zur C-Bilanzierung	
4.7.1	Austreiben des CO ₂ durch Ansäuern.....	80
4.7.2	DIC-Bestimmungen.....	81
4.7.3	C-Bilanzierung.....	82

III. Ergebnisse

1. Abbaubarkeit unter aeroben Bedingungen

1.1	Untersuchungen zum Abbau von PHB anhand des BSB	
1.1.1	Einfluß des Mediums auf das Abbauprofil von PHB-Homopolymer.....	83
1.1.2	Einfluß der Animpfmenge auf Abbaurate und Abbaugrad.....	84
1.1.3	Einfluß des pH-Wertes auf den Abbau von PHB.....	85
1.1.4	Einfluß der PHB-Testkonzentration auf den Abbau.....	86
1.1.5	Einfluß der Partikelgröße auf den Abbau.....	89
1.1.6	Sauerstoffversorgung bei hoher Substrat-	

1.1.7	konzentration.....	94
1.1.8	Versuch einer annähernden C-Bilanzierung.....	95
1.1.9	Abbau von PHB unter Nährstoffmangel.....	95
1.1.10	Abbau verschiedener Homo- und Kopolymere von PHBV im Vergleich.....	98
1.2	PHBV Folie mit Aluminium-Bedampfung.....	99
1.2.1	Untersuchungen zum Abbau von Polycaprolacton anhand des BSB	
1.2.1.1	PCL als alleinige C-Quelle	
1.2.1.1	Folien aus PCL.....	101
1.2.2	Abbau von PCL in pulverisierter Form.....	102
1.2.2.1	Abbau von PCL mit PHB als Cosubstrat	
1.2.2.2	Abbau von PCL/PHB-kaschierten Folien.....	106
1.3	Abbau von PCL-Folie in Gegenwart von PHB-Pulver..	108
1.3	Abbaubarkeit von anderen Polymeren anhand des BSB	112
1.4	Verfolgung des Abbaus anhand der CO ₂ -Entwicklung	
1.4.1	Zur Bestimmung des freiwerdenden CO ₂	116
1.4.2	C-Bilanzierung.....	116
1.4.3	Bemerkungen zum Versuchsablauf.....	117
1.5	Vergleichsuntersuchung BSB-und CO ₂ -Entwicklung..	119

2. Abbaubarkeit unter anaeroben Bedingungen

2.1	Untersuchungen zum Abbau von PHB anhand der Biogas- und Methanbildung	
2.1.1	Einfluß der Animpfung auf den Abbau von PHB.....	121
2.1.2	Einfluß des Mediums auf den Abbau von PHB.....	124
2.1.3	Einfluß der Probenmenge auf den PHB-Abbau auf den ununterbrochenen Röhrens	
2.1.4	126
2.1.4	Versuche zur Quantifizierung des entstandenen CO ₂	128
2.1.5	C-Bilanzierung.....	133
2.1.6	Abbaubarkeit von PHB in Abhängigkeit vom Molekulargewicht (MG)	134
2.2	Abbaubarkeit von anderen Polymeren anhand der Biogasbildung.....	138

IV. Diskussion

1.	Screening-Versuche zur Untersuchung der Abbaubarkeit von Kunststoffen.....	141
2.	Die Verfolgung des O ₂ -Verbrauchs als Screening- Testmethode im aeroben wäßrigen Milieu	
2.1	Medium.....	142
2.2	Animpfung.....	144
2.3	Testmaterial.....	147
2.4	Auswertung und Interpretation	
2.4.1	Abbaugrad in % ThSB.....	149
2.4.2	C-Bilanzierung.....	150
2.4.3	Anpassung an die logistische Funktion.....	151

2.5	Vergleich der Testmethode mit dem MITI-Test.....	152
2.6	Der Sturm-Test im Vergleich.....	153
2.7	Zusammenfassender Vergleich der aeroben wäßrigen Screening-Verfahren für Kunststoffe.....	157
3.	Die anaeroben Screening Versuche	
3.1	Medium.....	159
3.2	Animpfung.....	160
3.3	Testkonditionen (Temperatur, Durchmischung).....	161
3.4	Auswertung und Interpretation	
3.4.1	Zur Löslichkeit von CH ₄ und CO ₂ in Wasser.....	162
3.4.2	Auswertung anhand der Gasproduktion.....	164
3.4.3	C-Bilanzierung.....	167
3.5	Vergleich mit ASTM-Methode.....	168
4.	Aussagekraft von Screening-Versuchen und ihre Übertragbarkeit	
4.1	Die Abbaubarkeit von PHB-Polymeren	
4.1.1	Aerobe Abbaubedingungen.....	170
4.1.2	Anaerobe Abbaubedingungen.....	172
4.1.3	Abbau von PHBV in erdigem Milieu	173
4.2	Die Abbaubarkeit von PCL.....	173
4.3	Die Abbaubarkeit anderer Polymere.....	175
4.4	Einschätzung der Abbaubarkeit über Referenz- materialien.....	176
4.5	Stellenwert von Screening-Testmethoden im wäßrigen Milieu in bezug auf abbaubare Polymere in der Praxis.....	179
Literaturverzeichnis.....		183
Normen.....		196
Anhang A	BSB-Versuche.....	197
Anhang B	Sturm-Test.....	212
Anhang C	Anaerobes Screening.....	213
Anhang D	Testvorschrift Aerobes Screening anhand BSB.....	221
Anhang E	Testvorschrift Anaerobes Screening.....	227

Anhang

Verzeichnis aus der Schriftenreihe
Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft