

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

W. A. R. – Bibliothek
Inv. - Nr. D 15236

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 Copolymere.....	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 Abbauverhalten 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-	

	konzentration.....	94
1.1.7	Versuch einer annähernden C-Bilanzierung.....	95
1.1.8	Abbau von PHB unter Nährstoffmangel.....	95
1.1.9	Abbau verschiedener Homo- und Kopolymere von PHBV im Vergleich.....	98
1.1.10	PHBV Folie mit Aluminium-Bedampfung.....	99
1.2	Untersuchungen zum Abbau von Polycaprolacton anhand des BSB	
1.2.1	PCL als alleinige C-Quelle	
1.2.1.1	Folien aus PCL.....	101
1.2.1.1	Abbau von PCL in pulverisierter Form.....	102
1.2.2	Abbau von PCL mit PHB als Cosubstrat	
1.2.2.1	Abbau von PCL/PHB-kaschierten Folien.....	106
1.2.2.2	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 Einfluß des ununterbrochenen Rührens auf den Abbau	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