

BAW VERGÄREN & KOMPOSTIEREN?



**Produkt- und sortenspezifische Beurteilung der Eignung
von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW)
zur Verwertung in Schweizer Biogas- & Kompostieranlagen.**

Schlussbericht ZHAW

September 2016

Auftraggeber

BAFU Bundesamt für Umwelt
Abteilung Abfall & Rohstoffe
Postfach
CH – 3003 Bern

Petar Mandaliev / petar.mandaliev@bafu.admin.ch / +41 58 462 96 38

Auftragnehmer

ZHAW Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften
LSFM / ICBT Institut für Chemie und Biotechnologie
Fachstelle Umweltbiotechnologie
Einsiedlerstrasse 31 / Campus Reidbach
CH – 8820 Wädenswil

Autoren

Urs Baier*, Mike Haubensak (ZHAW)
Reto Grüter, Stefan Ulmer (HSR)
(* verantwortlicher Autor)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.

Kontakt: Urs Baier / urs.baier@zhaw.ch / +41 58 9345 714

Zitierung

Baier U. Haubensak M. Grüter R. Ulmer S., (2016): Schlussbericht „BAW VERGÄREN & KOMPOSTIEREN? - Produkt- und sortenspezifische Beurteilung der Eignung von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW) zur Verwertung in Schweizer Biogas- & Kompostieranlagen“, ZHAW (nicht publiziert)

Keywords

Biokunststoffe, Bioplastics, BAW, Abbaubarkeit, Vergärung, Kompostierung, Technologietauglichkeit

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	7
RÉSUMÉ	8
RIASSUNTO	9
1 PROJEKTHINTERGRUND	10
2 EINLEITUNG	13
3 NORMEN, PRÜFVERFAHREN UND PARAMETER	16
3.1 PRÜFUNG AUF GRUNDLAGE VON NORMEN	17
3.1.1 Chemische Prüfung	17
3.1.2 Prüfung auf vollständige biologische Abbaubarkeit	18
3.1.3 Prüfung auf Kompostierbarkeit	19
3.1.4 Prüfung der Qualität des Kompost	21
3.1.5 Prüfung auf vollständige anaerobe Abbaubarkeit	21
3.1.6 Zertifizierungsorgane und Labels	21
3.2 VERGLEICH NORMEN - REALITÄT	22
4 PLAYER, PRODUKTE UND STOFFE AUF DEM SCHWEIZER MARKT	25
4.1 PLAYER AUF DEM SCHWEIZER BAW MARKT	26
4.1.1 Bachmann Plantec AG	26
4.1.2 BIOAPPLY	27
4.1.3 COOP	27
4.1.4 dietragtasche.ch	28
4.1.5 GVZ Rossat	28
4.1.6 Max Schwarz AG	29
4.1.7 MIGROS	29
4.1.8 Novamont SpA	29
4.1.9 Pacovis AG	30

4.1.10	Papier Mettler AG	30
4.1.11	Petroplast Vinora AG.....	31
4.1.12	Rominger Kunststofftechnik GmbH	32
4.1.13	„Runder Tisch BAW“	32
4.1.14	Sukano AG	33
4.1.15	Swiss Bioplastics GmbH.....	33
4.1.16	Swissplastics	34
4.2	PRODUKTE	34
4.2.1	Teller, Schalen, Geschirr, Food Boxen	35
4.2.2	Transparente Trinkbecher, Schalen und Trinkhalme	36
4.2.3	Grünabfallsäcke	36
4.2.4	Knotenbeutel (Hemdchenbeutel)	37
4.2.5	Pflanztöpfe, Pflanzschalen.....	38
4.2.6	Mulchfolien	39
4.2.7	Hygieneartikel, Haushaltutensilien, Spielsachen.....	40
4.3	MATERIALIEN.....	41
4.3.1	Zuckerrohrfasern / Palmblattfasern	41
4.3.2	Stärkebasierte Biopolymere.....	42
4.3.3	MaterBi®.....	43
4.3.4	PLA – Polylactide.....	43
4.3.5	PHA – Polyhydroxyalkanoate	45
4.3.6	Proteinbasierte Biopolymere	45
4.3.7	Handelsnamen Biopolymere.....	46
4.3.8	Weiterführende Quellen zu BAW	46
4.4	INGESETZTE MENGEN IN DER SCHWEIZ.....	46
5	EINFLUSSFAKTOREN FÜR DEN BIOLOGISCHEN ABBAU VON BAW	48
5.1	GENERELLE EINFLUSSFAKTOREN FÜR DEN MIKROBIOLOGISCHEN ABBAU	49

5.2	EINFLUSSFAKTOREN IN DER VERGÄRUNG UND KOMPOSTIERUNG	50
5.2.1	Mikroorganismenaktivität, Vielfalt und Adaptation.....	50
5.2.2	Verfügbarkeit von Wasser, Nährstoffen und Sauerstoff.....	50
5.2.3	Temperatur Vergärung	51
5.2.4	Temperatur Kompostierung.....	51
5.2.5	Verweilzeiten Vergärung	51
5.2.6	Verweilzeiten Kompostierung.....	52
5.2.7	Der Vergärung / Kompostierung vorgelagerte Prozesse	52
5.2.8	Der Vergärung / Kompostierung nachgelagerte Prozesse	53
5.3	EINFLUSSFAKTOREN IM BODEN	54
6	TECHNOLOGIETAUGLICHKEIT DER BAW MATERIALIEN / PRODUKTE.....	55
6.1	RELEVANTE BETRIEBSPARAMETER & BEDINGUNGEN.....	55
6.2	BEDINGUNGEN IN SCHWEIZER GRÜNGUTVERWERTUNGSANLAGEN	57
6.2.1	Landwirtschaftliche CO-Vergärungsanlagen (VGÄ – LW)	57
6.2.2	Industrielle Vergärungsanlagen (VGÄ – IND)	59
6.2.3	Platzkompostierung / Gewerbliche Kompostierung (KOMP – IND) ...	59
6.2.4	Feldrandkompostierung (KOMP – FRK)	61
6.2.5	Faultürme kommunaler ARA (VGÄ – ARA).....	62
6.2.6	Haus- & Gartenkompostierung (KOMP – HGK)	63
6.3	SCHLUSSFOLGERUNGEN	64
6.3.1	Repräsentativität der Testverfahren.....	64
6.3.2	Technologietauglichkeit BAW	65
7	EMPFEHLUNGEN	69
7.1	RELEVANZ VON BAW UND INFORMATION	69
7.2	BERÜCKSICHTIGUNG VON BAW IN POSITIVLISTEN	70
7.3	NACHWEISMETHODEN VON BAW IN ORGANISCHEN DÜNGERN UND BÖDEN	71
8	LITERATURVERZEICHNIS	72

9	TABELLENVERZEICHNIS.....	75
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	76
11	ANHANG A – BAW KONSENS „RUNDER TISCH BAW“	77

Zusammenfassung

Biokunststoffe oder richtigerweise BAW Biologisch Abbaubare Werkstoffe sind in den letzten Jahren zu einem Dauerthema geworden. Sie werden einerseits als nachhaltiger Weg im Übergang von fossilen zu biogenen Rohstoffen betrachtet, führen aber andererseits zu Verwirrung und Verwechslungen bei Konsumenten und Konsumentinnen sowie in der Entsorgungsbranche. Die vorliegende Studie gibt eine Übersicht über die aktuelle Situation von BAW in der Schweiz und erarbeitet die Grundlagen für den Entscheid ihrer Verwertung entlang der Grüngutschiene, also in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen.

In der Schweiz bestimmen ein gutes Duzend Player den BAW Markt. Die Branche ist dynamisch, innovativ und weist ein gewisses Bewusstsein für kritische Aspekte von BAW auf. Jüngere Entwicklungen zeigen, dass wesentliche Player aufgrund wirtschaftlicher Entwicklungen schnell von Markt verschwinden können. Insgesamt sind jährlich ca. 3'000 t an BAW Produkten auf dem Schweizer Markt (ohne Veredelungen). Die mengenmässig dominanten BAW Produkte sind Behälter, Trinkbecher und Grünabfallbeutel. Bei den eingesetzten Materialien dominieren Zellulose- und Faserprodukte auf der Basis von Zuckerrohr- und Palblättern. In der Grünabfallschiene landen geschätzt ca. 640 t BAW pro Jahr, was einem Anteil von deutlich unter 1 ‰ der insgesamt verarbeiteten Menge an Grüngut (>1.2 Mio t FS/a) beträgt.

Die beiden Hauptfaktoren, welche den Abbau von BAW in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen beeinflussen, sind die Temperatur und die Abbaupzeit (Verweilzeit im biologisch aktiven Milieu). Nicht abgebaute BAW Produkte sind mehrfach relevant. Betrieblich können sie zur Beeinträchtigung von Apparaten und Abläufen führen. Wichtig ist auch die Beeinträchtigung des visuellen Aspekts der Endprodukte Gärgut und Kompost. Über die ökologische Relevanz nicht abgebauter BAW im Boden und eine mögliche Akkumulation besteht keine Klarheit.

Die zur Beurteilung der biologischen Abbaubarkeit von BAW eingesetzten Testverfahren geben die Bedingungen in realen Anlagen nur ungenügend wieder. Die Attribute „biologisch abbaubar“ und „kompostierbar“ resp. „vergärbar“ sind nicht geeignet, das Verhalten unter sämtlichen Realbedingungen abzubilden. Während thermophile Vergärungen bei 55 °C generell zur Erreichung eines weitgehenden Abbaus von BAW tauglich sind, stossen mesophile Biogasanlagen bei 35 – 42 °C beim BAW Abbau an ihre Grenzen. Industrielle Platzkompostierungen erreichen für die meisten BAW einen gesicherten weitgehenden Abbau. Bei Feldrandkompostierungen ist dies für gewisse BAW nicht der Fall.

Obwohl gesetzlich vorgeschrieben, stehen der Branche und den Anlagenbetreibern keine zuverlässigen und praxistauglichen Methoden zum Nachweis und zur qualitativen Analytik von BAW und generell von Kunststoffen in den Produkten zur Verfügung.

Résumé

Les bioplastiques, ou plus précisément, les « matériaux biodégradables » (abrégiés BAW en allemand, pour « biologisch abbaubare Werkstoffe ») sont devenus un thème récurrent ces dernières années. Si d'un côté, ils sont considérés comme un moyen durable de faciliter la transition des matières premières fossiles aux matières premières biogènes, de l'autre, ils sont source de confusion et d'erreurs, aussi bien chez les consommateurs qu'au sein du secteur de l'élimination de déchets. La présente étude décrit la situation actuelle de ces matériaux en Suisse et fournit les bases nécessaires pour décider comment les valoriser dans la filière de traitement des déchets biogènes, à savoir dans des installations de compostage ou de méthanisation.

En Suisse, le marché des matériaux biodégradables est régi par une bonne douzaine d'acteurs. Ce secteur est dynamique, innovant et se montre conscient de certains des problèmes que soulèvent ces matériaux. Toutefois, il s'est récemment avéré que des protagonistes importants peuvent disparaître d'un jour à l'autre pour des raisons économiques. Quelques 3000 t de produits fabriqués avec des matériaux biodégradables sont mis annuellement sur le marché en Suisse, principalement des récipients, des gobelets et des sachets pour déchets biogènes. Les matériaux prédominants sont la cellulose et les fibres provenant de feuilles de sucre de canne et de palmier. On estime à 640 t la quantité de matériaux biodégradables empruntant chaque année la filière des déchets biogènes, soit bien moins de 1‰ de la somme des déchets traités (> 1,2 millions t MS/an).

Les deux principaux paramètres influençant la décomposition des matériaux biodégradables dans les installations de compostage et méthanisation sont la température et le temps de dégradation (temps de rétention dans le milieu biologiquement actif). Les résidus non dégradés sont significatifs à plus d'un titre. Sur le plan opérationnel, ils peuvent perturber certains dispositifs et processus. Tout aussi important est leur impact négatif sur la qualité visuelle du compost et digestat produits. En revanche, l'incidence écologique de leur accumulation dans le sol n'a pas encore été clarifié.

Les tests utilisés pour évaluer la biodégradabilité de ces matériaux ne reflètent que très partiellement les conditions régnant dans les installations réelles. Les attributs « biodégradable », « compostable » ou « méthanisable » ne suffisent pas à décrire leur comportement dans toutes les situations concrètes. Alors que les installations de méthanisation thermophiles, fonctionnant à 55 °C, réussissent généralement à les dégrader presque entièrement, celles mésophiles, opérant entre 35 et 42°C, atteignent leurs limites avec ces substrats. De même, si les installations industrielles de compostage en andains assurent une dégradation quasi complète de la plupart de ces matériaux, le compostage en bord de champ n'est pas en mesure de tous les décomposer.

Le secteur des déchets biogènes et les exploitants d'installations de traitement ne disposent pas de méthodes fiables et applicables pour détecter dans leur produits et caractériser les matériaux biodégradables et les plastiques en général, bien que de telles analyses soient légalement requises.

Riassunto

Le bioplastiche o, per meglio dire, i materiali sintetici biodegradabili (in tedesco BAW, per “biologisch abbaubare Werkstoffe”) sono divenuti negli ultimi anni un argomento di discussione infinita. Da un lato vengono percepiti come una via sostenibile nella progressiva migrazione dalle materie prime di origine fossile verso quelle di origine organica. D’altro canto però questi materiali causano una certa confusione nell’approccio dei consumatori e dei gestori di impianti per il trattamento dei rifiuti. Il presente studio fornisce una descrizione dell’attuale situazione di questi materiali in Svizzera e offre al contempo le basi per decidere quale sia il loro destino migliore nell’ambito della filiera di recupero delle sostanze organiche, attraverso impianti di digestione anaerobica e di compostaggio.

In Svizzera il mercato dei materiali biodegradabili è sostanzialmente determinato da una dozzina di attori. Il settore è caratterizzato da un notevole dinamismo, è innovativo e i suoi responsabili mostrano una certa consapevolezza degli aspetti critici di questi materiali. Gli sviluppi più recenti testimoniano del fatto che alcuni attori importanti possono facilmente scomparire dal mercato per motivi economici. La quantità di prodotti realizzati con materiali biodegradabili immessa sul mercato svizzero annualmente è pari a 3.000 t circa. La gran parte di questi sono costituiti da contenitori, recipienti per bevande e sacchi per rifiuti biogeni. I materiali impiegati per la loro produzione sono soprattutto prodotti cellulosici e fibre provenienti da foglie di canna da zucchero e di palma. Circa 640 t di materiali biodegradabili arrivano ogni anno nella filiera di recupero delle sostanze organiche di rifiuto, il che ammonta a meno dell’1 ‰ dei rifiuti organici complessivamente trattati (>1.2 milioni di tonnellate/anno).

I due fattori principali che influenzano la degradazione delle cosiddette “bioplastiche” negli impianti di digestione anaerobica e di compostaggio sono la temperatura e il tempo di degradazione (ovvero il tempo di residenza dei materiali nell’ambiente nel quale si svolge l’attività biologica). I residui non degradati di tali materiali sono rilevanti, per diverse ragioni. Dal punto di vista della gestione degli impianti, essi possono compromettere la funzionalità degli apparati o la qualità dei processi. Pregiudicano inoltre la qualità visiva del prodotto finale, sia esso il digestato oppure il compost. Per quanto riguarda la rilevanza ecologica del accumulo nei terreni dei residui non degradati non vi sono ancora certezze.

I test proposti per giudicare il livello di biodegradabilità dei materiali in oggetto sono insufficienti a descrivere il comportamento degli stessi materiali negli impianti di trattamento reali. Gli attributi “biodegradabile”, “compostabile”, “utilizzabile per la produzione di biogas”, non sono adatti a rappresentare il loro comportamento nelle effettive condizioni di processo che si verificano negli impianti. Per esempio, mentre la digestione anaerobica termofila (a 55°C) è generalmente adatta a conseguire una buona degradazione delle “bioplastiche”, gli impianti che producono biogas in condizioni mesofile (35 – 42°C) con gli stessi materiali giungono al limite delle loro possibilità. Allo stesso modo, il compostaggio in aia condotto a livello industriale assicura di norma la buona degradazione dei materiali biodegradabili, mentre un compostaggio a bordo campo non ottiene gli stessi risultati, almeno con alcuni di essi.

Benché vi siano prescrizioni dettate dalle norme, il settore dei rifiuti organici e i gestori degli impianti di trattamento non dispongono di metodi affidabili ed efficaci per individuare e caratterizzare i materiali biodegradabili, e più in generale le plastiche, nei loro prodotti.

1 Projekthintergrund

Der Einsatz biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW, Biokunststoffe, Bioplastics) als Ersatz für Kunststoffe auf fossiler Basis hat in der Schweiz in den letzten Jahren zugenommen und ist weiter auf dem Vormarsch. Produkte aus BAW weisen gegenüber rein fossilen Kunststoffen zwei Eigenschaften auf:

- Aufgrund der mehrheitlich biogenen Ausgangsstoffe zur Produktion ist die Möglichkeit der CO₂-Neutralität gegeben.
- Infolge ihrer Abbaubarkeit unter optimalen Bedingungen besteht die Möglichkeit einer geringeren Akkumulation in der Umwelt, sowie eines mikrobiologischen Abbaus im Boden.

Die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit geht nicht zwingend mit einer optimalen Entsorgung in Anlagen zur biologischen Abfallbehandlung (Vergärungen, Kompostierungen) einher. In Bezug auf die energetische Verwertung bietet die thermische Schiene (Verbrennung, Pyrolyse & Vergasung) einen höheren Wirkungsgrad.

Unter dem Begriff „BAW“ werden unterschiedlichste Produkte (z.B. Tragetaschen, Beutel, Verpackungsfolien, Lebensmittelverpackungen (Trays), Geschirr etc.) aus verschiedenen Materialien (z.B. modifizierte Stärke, Cellulose Derivate, PLA, etc.) zusammengefasst. Nicht alle dieser BAW fallen als sortenreine Abfälle an, sie sind teilweise vermischt mit nicht abbaubaren Materialien. Zudem ist eine visuelle Unterscheidung von BAW gegenüber fossilen Kunststoffen auch bei entsprechendem Labeling nicht in jedem Falle selbstverständlich.

Bei der Behandlung von BAW in Abfallbehandlungsanlagen steht derzeit die energetische Verwertung im Vordergrund. Die stoffliche Verwertung ist aufgrund des meist nur sehr geringen Nährstoff- und Fasergehaltes sekundär und einzig bei stark faserbasierten BAW ist aufgrund des Humusbildungspotenzials eine stoffliche Verwertung angezeigt.

Weltweit bestehen mehrere Normen (DIN, ASTM), welche die aerobe und die anaerobe Abbaubarkeit von BAW unter definierten Bedingungen beschreiben. Die Erfüllung dieser Normen drückt sich in entsprechenden Labels (z.B. „OK Compost“, „kompostierbar“, „Gitterdruck“ etc.) aus. Die Bedingungen dieser Normen sind nicht zwingend identisch mit den Realbedingungen (Zeit, Temperatur, Vorbehandlung, Lagerung etc.), wie sie in Vergärungs- oder Kompostierungsanlagen herrschen. Auch liegen BAW als Abfallfraktion nicht zwingend in einer Form vor, welche jener der standardisierten Abbaunormen entspricht (Stückgrösse, Vermischung, Feuchte).

Aufgrund dieser Unterschiede sind sowohl BAFU und BLW als auch teilweise Branchenverbände und Abfallanlagen gegenüber der Vergärung und Kompostierung von BAW kritisch eingestellt. Vor diesem Hintergrund hat sich das BAFU entschieden, in einer Studie folgende Punkte zur Verwertung von BAW in Schweizer Vergärungs- und Kompostierungsanlagen bearbeiten zu lassen:

- a. Bewertung der Mengen, Produktformen und Ausgangsmaterialien von BAW in Bezug auf die Eignung zur Vergärung & Kompostierung in Abhängigkeit der realen und normierten Abbaubedingungen.
➔ **Erarbeitung von produkt- & stoffspezifischen Empfehlungen für die Verwertung von BAW.**

- b. Erstellen einer Übersicht, über reale und für den biologischen Abbau von BAW relevante Bedingungen, welche in Biogas- und Kompostierungsanlagen in der Schweiz herrschen (inkl. Vor- & Nachbehandlung, Lagerung) und Vergleich mit den Bedingungen standardisierter Abbaunormen.
→ **Beurteilung der Aussagekraft von Abbaunormen für die betriebliche Praxis.**
- c. Bestimmung des Restgehaltes an BAW/Kunststoffen in mehreren Realproben von Gärgut und Kompost von Anlagen mit unterschiedlichem BAW/Kunststoffanteil im Rohmaterial.
→ **Verifizieren der Anwendbarkeit und Aussagekraft von Nachweismethoden im Hinblick auf Analyseempfehlungen.**

Der vorliegende Bericht umfasst die Punkte a) und b) dieser Studie. Er gliedert sich in die folgenden Hauptkapitel:

3 Normen, Prüfverfahren und Parameter (S. 16)

Dieses Kapitel definiert den Unterschied zwischen Prüfnormen und Prüfverfahren und gibt eine Übersicht über Parameter und Bedingungen, welche in verschiedenen internationalen Verfahren zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit von BAW zur Anwendung kommen.

4 Player, Produkte und Stoffe auf dem Schweizer Markt (S. 25)

Eine vollständige und aktuelle Übersicht über den Schweizer Markt und seine internationalen Verknüpfungen zu geben ist äusserst aufwendig und nicht zwingend aussagekräftig. In diesem Kapitel werden wesentliche oder beispielhafte Player des Schweizer BAW Marktes vorgestellt. Es wird zudem eine Übersicht gegeben über grundsätzliche BAW Produkte, welche auf dem Markt erhältlich sind sowie über die grundlegenden Materialien, aus welchen diese Produkte bestehen. Das Kapitel schliesst mit dem Versuch einer Mengenabschätzung für den Gesamtfluss von BAW in der Schweiz.

5 Einflussfaktoren für den biologischen Abbau von BAW (S. 48)

In diesem Kapitel werden chemisch-physikalische, biologische und technische Parameter erläutert, welche auf den Abbau von BAW in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen einen Einfluss haben. Ziel ist es, aufzuzeigen, welche Faktoren für ein unterschiedliches Verhalten von BAW in zertifizierten Abbautests im Labor- / technischen Massstab resp. in grosstechnischen Anlagen verantwortlich sind.

6 Technologietauglichkeit der BAW Materialien / Produkte (S. 55)

Basierend auf den Einträgen der Datenbank des Inspektoratssystems für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz (CVIS) wird in diesem Kapitel gezeigt, wie sich verschiedene Abfallkategorien (und damit verschiedene BAW Produkte) auf die Anlagentypen und auf die für den Abbau massgeblichen Parameter verteilen. Zudem nimmt dieses Kapitel die Kernaufgabe der Studie auf und bewertet BAW Produkte- und Materialkategorien in Bezug auf ihre Tauglichkeit in den unterschiedlichen Anlagentypen der Vergärung und Kompostierung.

7 Empfehlungen (S. 69)

In diesem Kapitel werden Empfehlungen zum Umgang mit BAW Produkten in Hinblick auf eine Vollzugshilfe zur neuen VVEA Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen gegeben, welche seit dem 1.1.2016 in Kraft ist.

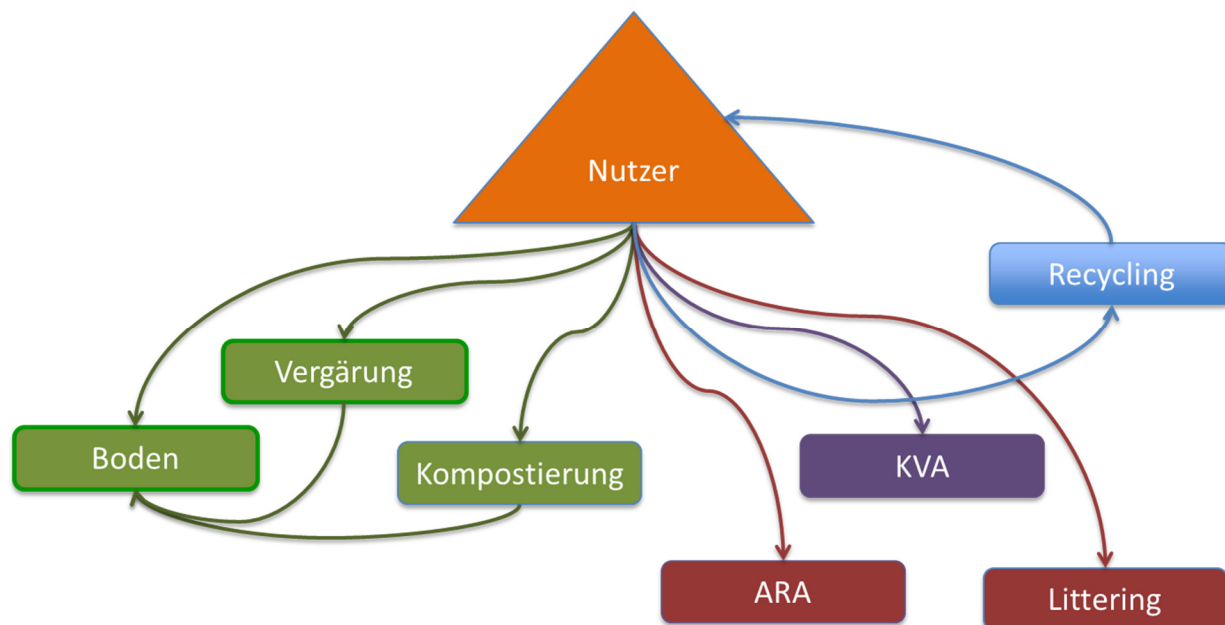


Abbildung 1: Senken resp. Entsorgungspfade für BAW

2 Einleitung

In verschiedensten Applikationen ersetzen synthetische Polymere in den letzten 50 Jahren, nach und nach traditionelle Materialien wie Metall, Holz oder Leder. Ca. 300 Millionen Tonnen Kunststoff werden jährlich weltweit produziert. Die Langlebigkeit von konventionellem Plastik, eine der meist geschätzten Eigenschaften des Werkstoffs, stellt auch die grösste Bedrohung für die Umwelt dar.

Diese Polymere können durch natürliche Prozesse in der Biosphäre kaum abgebaut werden. Die einhergehende Belastung der Umwelt durch wasserlösliche und nanopartikuläre Polymere im Abwasser und in Gewässern wird immer mehr als grosses Problem angesehen. Daher und aufgrund steigender Erdölpreise wurde biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW) in den letzten Jahren vermehrt Beachtung geschenkt.

Biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) werden als Materialien definiert, die durch natürlich auftretende Mikroorganismen vollständig metabolisiert, also zu Wasser und Kohlenstoffdioxid abgebaut werden. Gemäss Definition spielt es dabei keine Rolle ob erneuerbare oder nicht erneuerbare, fossile Ressourcen zur Herstellung verwendet werden. Die Abbaubarkeit wird anhand standardisierter Methoden unter Laborbedingungen ermittelt. Das Verhalten unter nicht definierten Realbedingungen fliesst nicht in die Beurteilung der Abbaubarkeit ein. Bei der Abbaubarkeit muss zwischen *aerob abbaubar = kompostierbar* und *anaerob abbaubar = vergärbar* unterschieden werden.

Bio-basierte Werkstoffe (Biokunststoffe) hingegen sind definiert als Materialien, die aus erneuerbaren Kohlenstoffressourcen produziert werden. Extrahierte Bestandteile von Pflanzen- und Holzbiomasse wie Stärke, Cellulose, Hemicellulose, Lignin oder Pflanzenöl, welche über Photosynthese aus atmosphärischem Kohlenstoff gebildet wurden, können als erneuerbare Kohlenstoffquelle genutzt werden. Ein Verbrennen solcher Materialien gilt als kohlenstoffneutral, da das generierte CO₂ wieder über Photosynthese in Biomasse gewandelt wird. Ungenau wird die Definition bei so genannten „Blends“, bei Mischungen bio-basierter Werkstoffe mit fossilen Anteilen. Gemäss Definition spielt es bei der Bezeichnung „*bio-basiert*“ oder „*aus erneuerbaren Ressourcen*“ keine Rolle, ob der Werkstoff auch tatsächlich biologisch abbaubar ist.

Eine Vielzahl neuer Produktentwicklungen in diesem Bereich sind auch auf dem Schweizer Markt vorhanden, sei es auf Ebene Konsument als Verpackungen und Taschen/Säcken, sei es auf Ebene Gewerbe als Folien und Gebinde. Bei den Konsumenten besteht ein spürbares Interesse an BAW und Produkten aus Biokunststoffen. Dabei ist der Konsument jedoch häufig nicht in der Lage, zwischen dem Aspekt „*aus erneuerbaren Ressourcen = bio-basiert*“ und der Eigenschaft „*biologisch abbaubar*“ resp. „*kompostierbar*“ zu unterscheiden. Für ihn steht das (oft nicht weiter begründete) Attribut „*ökologisch positiv*“ im Vordergrund. Erschwerend kommt hinzu, dass aus Konsumentensicht eine eindeutige ökologische begründbare Bewertung eines Produktes wünschbar ist. Bei *Blends* von bio-basierten Werkstoffen mit fossilem Anteil ist der Konsument oft nicht bereit, den ökologischen Vorteil gegenüber rein fossilen Materialien anzuerkennen. Umgekehrt nimmt er *oxo-abbaubare Kunststoffe* vielfach als *biologisch abbaubar* und damit als ökologisch unbedenklich wahr. Diese fossilen Materialien mit (oft metallischen) Zusätzen zeigen unter Einfluss von UV Strahlung, erhöhter Temperatur oder Feuchtigkeit eine Fragmentierung in vom menschlichen Auge nicht wahrnehmbare Bruchstücke <200 µm. Ein mikrobiologischer Abbau resp. eine vollständige Mineralisierung findet im Kom-

post oder im Boden nicht statt. Trotz fehlendem biologischen Abbau können diese Materialien in Tests zur Prüfung auf Kompostierbarkeit, welche auf visueller Beurteilung der Materialien basieren (z.B. DIN V 54900-3 / DIN EN 14855 / ASTM D 6400, siehe 3.1) als „kompostierbar“ (aber nicht als „vollständig biologisch abbaubar“) beurteilt werden.

Sammeldienste und Verwerter stehen diesen Entwicklungen und dem vermehrten Einsatz von BAW hingegen skeptisch gegenüber. Hierfür sind v.a. zwei Gründe ausschlaggebend.

- Auch bei eindeutigen Beschriftungen (z.B. „OK Compost“) und Markierungen (z.B. Gitterdruck) von BAW kommt es unter realen Bedingungen zu Verwechslungen mit herkömmlichen Kunststoffprodukten und zu einer Querverschmutzung organischer Abfälle mit fossilen Kunststoffen. Diese fossile Kunststofffraktion kann zwar in Verwertungsanlagen aufwändig abgetrennt werden, sie erhöht jedoch generell den Kunststoffanteil und damit das Risiko von Restkunststoffen in den landwirtschaftlich eingesetzten Recyclingdüngern.
- BAW verhalten sich bei der Verwertung in Biogasanlagen oder in Kompostierungen nicht zwingend gleich, wie unter standardisierten Laborbedingungen. In Einzelfällen finden eine Akkumulation und eine mechanische Beeinträchtigung im Prozess statt (Verzopfungen, Schwimmschichten, Verstopfungen). Kritischer hingegen ist der unvollständige biologische Abbau, welcher zu Restkunststoffgehalten im Gärgut oder Kompost führt. Dies hat eine visuelle Verunreinigung der Produkte zur Folge und schmälert deren Akzeptanz. Der Verbleib im landwirtschaftlich genutzten Boden und eine Beeinflussung der Bodenqualität durch Rest-BAW sind möglich. Aufgrund des während der Lagerung sowie im biologisch aktiven Boden zwar langsamen, aber über längere Zeit stattfindenden Abbaus von Rest-BAW ist eine BAW Anreicherung wenig wahrscheinlich.

Für den Betreiber einer Anlage zur Verwertung organischer Abfälle steht die Frage nach der Herkunft von Kunststoffen und der Schonung von Ressource – fossil oder biogen – nicht im Vordergrund. Im Betrieb sind störende Auswirkungen in technischen Aggregaten als Kriterium wichtiger. Die Hauptkriterien im Umgang mit Kunststoffen – fossil oder biogen – bleiben die Beeinträchtigung der Produktqualität und die möglichen negativen Auswirkungen auf den Boden (Abbildung 2).

	Fossile Kunststoffe «mikrobiologisch nicht abbaubar»	BAW – «erneuerbare» Kunststoffe «mikrobiologisch abbaubar»
Material	Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen Tauglichkeit verpackter Substrate	Einsatz erneuerbarer Ressourcen Tauglichkeit verpackter Substrate
Trennung	Abtrenngrade & Trennschärfe Zerkleinerung zu Nanopartikeln	Abtrenngrade & Trennschärfe Zerkleinerung zu Nanopartikeln
Fermenter Miete	Beeinträchtigung des Betriebs, Ablagerungen, Verzopfungen	Beeinträchtigung des Betriebs, Ablagerungen, Verzopfungen Erhöhter Gasertrag
Produkt	Schmälerung der Akzeptanz Beeinträchtigung der Ausbringung	Schmälerung der Akzeptanz Beeinträchtigung der Ausbringung
Boden	Visuelle Beeinträchtigung langfristig Akkumulation in der Nahrungskette Beeinträchtigung der Bodenqualität	Visuelle Beeinträchtigung kurzfristig Biologischer Abbau findet saisonal statt Freisetzung von Additiven

Abbildung 2: Kriterien zur Bewertung von Kunststoffen in der Abfallbehandlung

3 Normen, Prüfverfahren und Parameter

Dieses Kapitel definiert den Unterschied zwischen Prüfnormen und Prüfverfahren und gibt eine Übersicht über Parameter und Bedingungen, welche in verschiedenen internationalen Verfahren zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit von BAW zur Anwendung kommen.

Eine *Zertifizierung* beschreibt das Vorgehen zum Nachweis und zur Dokumentation einer angestrebten oder einzuhaltenden Norm.

Eine *Norm* beschreibt ein anerkanntes und dokumentiertes Regelwerk, nach welchem vorgegangen wird, um Aussagen und Schlussfolgerungen über z.B. das Verhalten von BAW Produkten zu erlangen.

Ein *Prüfverfahren* beschreibt Vorgehen, Analysenparameter und Bedingungen sowie zu erfassende Messparameter zu Bestimmung der in der Norm festgelegten Aussagen und Schlussfolgerungen.

Die Grundlage des CERTCO Zertifizierungsprogramms von BAW bilden die deutsche Norm DIN V 54900, die europäische Norm DIN EN 13432 und die US-amerikanische Norm ASTM D 6400. Im Kern sind sich diese Normenwerke sehr ähnlich. Auftretende Unterschiede und Gemeinsamkeiten sowie die zu Grunde liegenden Prüfverfahren zur Bestimmung der Abbaubarkeit und des Verhaltens unter realen Bedingungen in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen werden im Folgenden kurz erläutert.

Die Norm DIN V 54900 Deutsche Norm zur Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen beinhaltet die Prüfverfahren

- DIN V 54900-1 Chemische Prüfung
- DIN V 54900-2 Prüfung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit
 - Verfahren 1: *Bestimmung des biochemischen Sauerstoffverbrauchs in einem geschlossenen Respirometer.*
 - Verfahren 2: *Bestimmung der Entwicklung von Kohlendioxid im wässrigen Medium*
 - Verfahren 3: *Bestimmung der Entwicklung von Kohlendioxid im Kompost*
- DIN V 54900-3 Prüfung im Technikumsmassstab unter optimierten Bedingungen

Die Europäische Norm DIN EN 13432 Nachweis der Kompostierbarkeit von Verpackungen sowie die Europäische Norm DIN EN 14995 Nachweis der Kompostierbarkeit von Kunststoffen beinhalten je identisch die Prüfverfahren

- Chemische Prüfung
- ISO 14851 *Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoff-Materialien in einem wässrigen Medium: Verfahren mittels Messung des Sauerstoffbedarfs in einem geschlossenen Respirometer*
- ISO 14852 *Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoff-Materialien in einem wässrigen Medium: Verfahren mittels Analyse des freigesetzten Kohlenstoffdioxids*
- ISO 14855 *Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit und Zersetzung von Kunststoff-Materialien unter den Bedingungen kontrollierter Kompostierung: Verfahren mittels Analyse des freigesetzten Kohlenstoffdioxids.*

Die US-amerikanische Norm ASTM D 6400 beinhaltet die Prüfverfahren

- Chemische Prüfung
- ASTM D 5338-98 Standard Testmethode zur Bestimmung des aeroben Abbaus von Kunststoffen unter kontrollierten Kompost-Bedingungen
- ASTM D 6002-96 Standard Leitfadens zur Bestimmung der Kompostierbarkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffen.

3.1 Prüfung auf Grundlage von Normen

Die Prüfung für BAW ist in fünf Teile gegliedert, wobei für eine Erfüllung einer Norm nicht zwingend die Durchführung und Erfüllung aller Prüfungen erforderlich sind.

- Chemische Prüfung: Zusammensetzung, Schadstoffgehalt, Nährstoffgehalt (DIN V 54900-1 / DIN EN 13432 / ASTM D 6400)
- Prüfung auf vollständige aerobe biologische Abbaubarkeit: idealisierte Standardbedingungen (DIN V 54900-2 / DIN EN 14851 / DIN EN 14852 / ASTM D 6400)
- Prüfung auf Kompostierbarkeit: Realbedingungen, Desintegration (DIN V 54900-3 / DIN EN 14855 / ASTM D 6400)
- Prüfung der Qualität der Komposte: Pflanzentests, Ökotoxizitätstests (DIN V 54900 / DIN EN 13432 / ASTM D 6400)
- Prüfung auf vollständige anaerobe Abbaubarkeit: Verhalten in Biogasanlagen, nicht obligatorisch (DIN EN 14853)

3.1.1 Chemische Prüfung

Die chemische Prüfung, d.h. die Analyse von erneuerbaren sowie fossilen Inhaltsstoffen und von Schadstoffen ist in allen drei Normen DIN V 54900 / DIN EN 13432 / ASTM D 6400 festgelegt. Es bestehen in allen Normwerken vergleichbare chemische Prüfungen. Unterschiedlich sind hier die Grenzwerte für Schwermetalle Tabelle 1. DIN V 54900 stellt hier die strengsten Anforderungen gefolgt von DIN EN 13432. ASTM D 6400 lässt die höchsten Werte für Schadstoffe zu (Weber, 2001).

Norm	DIN V 54900-1	DIN EN 13432	ASTM D 6400
	Grenzwert in [mg/kg]		
As / Arsen	-	5	20.5
Cd / Cadmium	0.3	0.5	17
Cr / Chrom	30	50	-
Cu / Kupfer	23	50	750
F / Fluor	-100	-	
Hg / Quecksilber	0.3	0.5	8.5
Mo / Molybdän	-	1	-
Ni / Nickel	15	25	210
Pb / Blei	30	50	150
Se / Selen	-	0.75	50
Zn / Zink	100	150	1400

Tabelle 1: Grenzwerte für Schadstoffe in BAW

3.1.2 Prüfung auf vollständige biologische Abbaubarkeit

Die Prüfverfahren zur Ermittlung der biologischen Abbaubarkeit beziehen sich auf sämtliche oder zumindest die wertgebenden Inhaltstoffe und charakterisieren deren grundsätzliche aerobe Abbaubarkeit unter standardisierten, angenähert idealen Abbaubedingungen. Die Labormethoden wieder spiegeln dabei nicht die realen Milieubedingungen des aeroben Abbaus von BAW.

Das Prüfverfahren DIN V 54900-2 basiert auf den beiden Prüfverfahren EN ISO 14851 sowie EN ISO 14852 und bedient sich derselben Testparameter.

Mittels Prüfverfahren nach EN ISO 14851 wird die aerobe biologische Abbaubarkeit von Polymeren durch Messung des Sauerstoffverbrauchs in einem geschlossenen System bestimmt. Die Prüfsubstanz wird im Labormassstab mit einem Inokulum aus Belebtschlamm, Kompost oder Erdboden ausgesetzt. Wenn der biologische Abbau in einem speziellen Abfallbehandlungssystem festzustellen ist, wird das Inokulum aus diesem Abfallbehandlungssystem gewonnen. Die Inkubation erfolgt im Dunkeln bei einer Temperatur von $20-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Die Abbaubarkeit einer Referenzsubstanz (mikrokristalline Zellulose) wird als internen Standard bestimmt, eine Negativkontrolle wird mittels eines nicht-bioabbaubaren Polymers (z.B. Polyethylen) ermittelt. Die Prüfung nach der Norm EN ISO 14851 gilt als bestanden, wenn die Abbaubarkeit nach 6 Monaten Prüfdauer mindestens 90% beträgt (Beuth, 2013).

Mittels Prüfverfahren nach EN ISO 14852 wird analog zu EN ISO 14851 die aerobe biologische Abbaubarkeit von Polymeren durch Analyse des freigesetzten Kohlenstoffdioxids bestimmt. Der CO_2 -Gehalt kann dabei analytisch oder mittels Titration gemessen werden. Referenzsubstanz und Negativkontrolle werden identisch zu EN ISO 14851 gehandhabt. Die Prüfung nach der Norm EN ISO 14852 gilt als bestanden, wenn die Abbaubarkeit nach 6 Monaten Prüfdauer mindestens 90% beträgt (Beuth, 2013).

Das Prüfverfahren EN ISO 14855 beschreibt ein Verfahren zur Simulation typischer aerober Kompostierbedingungen. Der Abbau wird anhand der Menge des gebildeten Kohlenstoffdioxids bestimmt. Als Inokulum wird stabilisierter, ausgereifter Kompost verwendet. Das Inokulum wird mit der Prüfsubstanz vermischt und in ein Kompostiergefäss überführt. Die maximale Prüfdauer beträgt 6 Monate. Die Inkubation erfolgt im Dunkeln bei einer Temperatur von $58^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Als Referenzsubstanz kommt z.B. mikrokristalline Cellulose zum Einsatz. Die Prüfung nach der Norm EN ISO 14855 gilt als bestanden, wenn die Abbaubarkeit nach 6 Monaten Prüfdauer mindestens 90% beträgt (Beuth, 2013).

Zur Erfüllung einer Norm müssen sämtliche untergeordneten Prüfverfahren erfolgreich durchlaufen werden. Erfolgreiche Einzeltests genügen der Anforderung der Norm nicht.

Die erwähnten Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich im Hinblick auf Prüfdauer und Erfüllungskriterien für „vollständige biologische Abbaubarkeit“. Nach DIN V 54900-2 und ASTM D 6400 muss nach 6 Monaten ein Abbaugrad von 60 % für Homopolymere und 90 % für Mischpolymere erreicht werden. Nach DIN EN 13432 (ISO 14851 oder ISO 14852) muss immer ein Abbaugrad von 90% relativ zu einer Referenzsubstanz erreicht werden. Eine maximale Prüfdauer von 6 Monaten darf nicht überschritten werden. Nach ASTM D 6400 kann die Prüfdauer auf ein Jahr verlängert werden, wenn radi-

oaktiv markierte Testsubstanzen verwendet werden. DIN V 54900 und DIN EN 13432 (ISO 14851 oder ISO 14852) haben gemeinsam, dass die biologische Abbaubarkeit für jeden signifikanten organischen Anteil (> 1%) ermittelt werden muss und der organische Anteil insgesamt bei mindestens 50 % liegen muss. In ASTM D 6400 fehlt ein solcher Hinweis komplett. Nach DIN EN 13432 dürfen chemisch nicht veränderte Stoffe natürlichen Ursprungs (Holz, Holzfasern, Baumwolle, Stärke, etc.), ohne eine Prüfung als abbaubar angesehen werden. Sie müssen jedoch chemisch charakterisiert werden und die Anforderungen an Desintegration und Kompostqualität erfüllen. In Tabelle 2 sind die Prüfungen nach den drei Normen zusammengefasst.

Norm	DIN V 54900	DIN EN 13432	ASTM D 6400
Prüfungsverfahren	DIN V 54900-2	ISO 14851 ISO 14852	ISO 14855 ASTM D 5338-98 ASTM D 6002-96
Testparameter	T = 20 - 25 °C O ₂ -Überschuss wässriges Medium	T = 20 - 25 °C O ₂ -Überschuss wässriges Medium	T = 58 °C
Messgrössen	O ₂ – Verbrauch CO ₂ - Entwicklung	O ₂ – Verbrauch CO ₂ - Entwicklung	CO ₂ - Entwicklung
Prüfungsgegenstand	Alle Komponenten mit Konzentrationen >1 % (max. 3 % darf ungeprüft bleiben)	Alle Komponenten mit einer Konzentration von >1 % (max. 5 % darf ungeprüft bleiben)	Alle Komponenten mit einer Konzentration von >1 %
Maximale Dauer	6 Monate	6 Monate	6 Monate, bei radioaktiv markierten Werkstoffen 12 Monate
Vorgeschriebener Abbaugrad	60 % (Homopolymer) 90 % (Mischpolymer)	90 % des Referenzwertes (mikrokristalline Cellulose)	60 % (Homopolymer) 90 % (Mischpolymer) des Referenzwertes (mikrokristalline Cellulose)

Tabelle 2: Kriterien zur Prüfung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit nach Norm

3.1.3 Prüfung auf Kompostierbarkeit

Die Prüfverfahren zur Ermittlung der Kompostierbarkeit beziehen sich auf das BAW Gesamtprodukt und charakterisieren dessen Verhalten unter realen oder annähernd realen Kompostierungsbedingungen. Unter „realen Bedingungen“ wird dabei das Milieu verstanden, wie es während einer gut geführten Kompostierung in der Heissrottephase besteht. Die Beeinflussung des Abbaus durch vorgelegte Prozesse wie Zerkleinerung und Lagerung wird nicht geprüft. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die angewendeten Prüfverfahren zur Kompostierbarkeit von BAW.

Das Prüfverfahren DIN V 54900-3 beschreibt den Nachweis der Abbaubarkeit im Technikumsmassstab und in einer Praxisanlage. Dabei wird überprüft, ob sich die biologische Abbaubarkeit im Laborversuch gemäss DIN V 54900-2 auch auf die Realität übertragen lässt. Die Prüfsubstanzen werden mit frischen Bioabfällen vermischt und in gekennzeichneten Probesäcken in die Bioabfall-Kompostieranlage eingeschleust. Nach zeitlich regelmässigen Abständen werden Probesäcke aus der Kompostieranlage entnommen und auf den Abbau der Prüfsubstanz geprüft. Die Kompostierzeit beträgt dabei 10 – 15 Wochen. Weiter muss nach DIN V 54900-3 ein Abbaubersuch mit deutlich höherer Konzentration von BAW (Ökotoxizitätstest) durchgeführt werden, auf den in den anderen Standards verzichtet wird (Neff-Koster, 2001).

Die Norm DIN EN 13432 verlangt eine obligatorische Technikumsprüfung mittels eines Verfahrens zur Simulation typischer aerober Kompostierbedingungen, nennt aber kein spezielles Verfahren, wie die Prüfung praktisch durchzuführen ist. Die Technikumsprüfung gilt als bestanden, wenn nach einer Prüfdauer von 12 Wochen bei der Siebung durch ein 2mm Sieb noch maximal 10% der Originalmasse (auf Basis Trockensubstanz TS) als Siebrückstand zurückbleiben. (Bioplastics, 2007).

Das Prüfverfahren ASTM D 6400 schreibt ebenfalls kein spezifisches Verfahren vor.

Der Vollständigkeit halber ist das Prüfverfahren EN ISO 17556 zu nennen, mit welchem die vollständige aerobe biologische Abbaubarkeit von Polymeren im Boden bestimmt wird. Zur Bestimmung der Abbaubarkeit kann der Sauerstoffbedarf oder das gebildete Kohlendioxid gemessen werden. Es wird herkömmlicher Boden als Inokulum verwendet und die Prüfung der Bodeninkubation wird im Labor bei Dunkelheit und bei einer konstanten Temperatur von $20-28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Als Boden wird ein Gemisch aus 70% industriellem Quarzsand, 10% Ton, 16% natürlichem Boden und 4% reifem, gut belüfteten Kompost verwendet. Als Referenzsubstanz wird mikrokristalline Cellulose eingesetzt. Die Prüfung nach der Norm EN ISO 17556 gilt als bestanden, wenn die Abbaubarkeit nach 6 Monaten Prüfdauer mindestens 60% beträgt (Beuth, 2013).

Norm	DIN V 54900	DIN EN 13432	ASTM D 6400
Prüfungsverfahren	DIN V 54900-3	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt
Testparameter	Realbedingungen	Realbedingungen	Realbedingungen
Messgrössen	CO ₂ - Entwicklung	CO ₂ - Entwicklung	CO ₂ - Entwicklung
Prüfungsgegenstand	Realprobe	Realprobe	Realprobe
Maximale Dauer	12 Wochen (Technikum) 10 – 15 Wochen (Anlage)	12 Wochen	5 Wochen verlängerbar
Vorgeschriebener Abbaugrad	90% des Siebüberlaufes >20 mm	90% des Siebüberlaufes >20 mm	90% des Siebüberlaufes >20 mm

Tabelle 3: Kriterien zur Prüfung der Kompostierbarkeit nach Norm

3.1.4 Prüfung der Qualität des Kompost

Die Prüfung der Qualität der Komposte basiert auf verschiedenen Ökotoxizitätstests. Dabei werden nach DIN V 54900 Tests mit einer Pflanzenart, nach DIN EN 13432 mit zwei und nach ASTM D 6400 mit drei Pflanzenarten gefordert. DIN V 54900 verlangt eine zusätzliche optische Prüfung (Störstoffgehalt). Nach DIN EN 13432 erfolgt zusätzlich eine genauere chemische Charakterisierung des Kompostes. Hierbei wird der Nährstoffgehalt bestimmt, der nach DIN V 54900 bereits Teil der chemischen Prüfung des Werkstoffes ist.

3.1.5 Prüfung auf vollständige anaerobe Abbaubarkeit

Das Prüfverfahren EN ISO 14853 beschreibt eine Methode zur Bestimmung der anaeroben Abbaubarkeit von Polymeren in flüssigem Milieu mit maximal 20 % TS. Das zu untersuchende BAW Material wird mit einem aktiven Inokulum aus einer Biogasanlage vermischt und in geschlossenen Gefässen bei einer Temperatur von $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ inkubiert. Gemessen werden die finale Produktion und die Zusammensetzung von Biogas nach 60 Tagen = 8.6 Wochen. Diese Norm ist laut der Prüfung nach der Norm EN 13432 optional und die Tests der anaeroben Abbaubarkeit müssen nicht zwingend durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist diese Norm nicht im DIN-Taschenbuch 489 veröffentlicht (Beuth, 2013). Die Prüfung nach der Norm EN ISO 14853 gilt als bestanden, wenn innerhalb von 8.6 Wochen ein Abbaugrad von mindestens 50% erreicht wird (Weber, 2001).

Das Prüfverfahren EN ISO 15985 beschreibt eine Methode zur Bestimmung der anaeroben Abbaubarkeit von Polymeren bei hohen Feststoffgehalten von über 20 % TS. Das zu untersuchende BAW Material wird mit einem aktiven Inokulum aus einer Biogasanlage vermischt, welche unter ähnlichen Bedingungen Grüngut / Haushaltsabfälle behandelt und in geschlossenen Gefässen bei einer Temperatur von $52\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ inkubiert. Die Gefässe werden während der Inkubation nicht durchmischt. Gemessen werden die finale Produktion und die Zusammensetzung von Biogas nach 15 Tagen = 2.1 Wochen. Wird in dieser Zeit keine stationäre Phase der Gasbildung erreicht, kann länger inkubiert werden.

3.1.6 Zertifizierungsorgane und Labels

Durch verschiedene Organisationen können Werkstoffe anhand der beschriebenen Normen auf Ihre Kompostierbarkeit zertifiziert werden. Tabelle 4 gibt eine Übersicht der wichtigsten Zertifizierungsorgane mit den jeweiligen Logos.







Organisation (Sitz)	DIN CERTCO (DE)	AIP Vinçotte (BE)	International Biopolymer Institute US Composting Council (USA)
Logo	 	 	 
Prüfungs- grundlage	DIN V 54900 DIN EN 13432 ASTM D 6400	DIN EN 13432	ASTM D 6400

Tabelle 4: Zertifizierungsorgane und Labels (Auswahl)

3.2 Vergleich Normen - Realität

Zwischen Prüfverfahren zur Bestimmung der Abbaubarkeit und den entsprechenden Bedingungen in realen Abfallanlagen resp. im Boden können Unterschiede bestehen. Diese Unterschiede führen dazu, dass BAW mit nachgewiesenem biologischen Abbau nicht oder unvollständig eliminiert werden und in den Endprodukten der Abfallbehandlung oder im Boden verbleiben. Korrespondierende Parameter, welche in Normen vorgeschrieben sind, unter Realbedingungen jedoch vom Prüfstandard abweichen können, umfassen:

Prüftemperatur resp. Betriebstemperatur

Für den Nachweis einer vollständigen biologischen Abbaubarkeit (ISO 14851) unter aeroben Bodenbedingungen wird eine Prüftemperatur von 20 – 25 °C angesetzt. Diese Temperaturen liegen um 5 – 10 °C über den durchschnittlichen Temperaturen mittelländischer Oberböden (biologisch aktiver Horizont). Für den Nachweis der Kompostierbarkeit unter Standardbedingungen wird eine Temperatur von 58 °C angesetzt (ISO 14855). Dies entspricht einer durchschnittlichen Komposttemperatur während der Heissrottephase (resp. liegt um 5 – 10 °C darunter). Für den Nachweis der anaeroben Abbaubarkeit wird bei Temperaturen von 35 °C (mesophil, ISO 14853) resp. 52 °C (thermophil, ISO 15985) gearbeitet, was den durchschnittlichen Temperaturen entsprechender technischer Vergärungsanlagen entspricht oder um 2 – 5 °C tiefer liegt.

⇒ *Die Standardtemperaturen für den Nachweis der vollständigen biologischen Abbaubarkeit liegen leicht über den realen Bodentemperaturen. In landwirtschaftlich genutzten Böden kann ein langsamerer Abbau von nachweislich biologisch abbaubaren Werkstoffen auftreten.*

- ⇒ *Die Standardtemperaturen für den Nachweis der biologischen Abbaubarkeit von BAW unter Vergärungs- und Kompostierungsbedingungen entsprechen den Temperaturbereichen realer technischer Anlagen.*

Prüfungsdauer resp. minimale und mittlere hydraulische Verweilzeit

Für den Nachweis einer vollständigen biologischen Abbaubarkeit (ISO 14851) unter aeroben Bodenbedingungen wird eine Prüfdauer von 6 Monaten angesetzt. Dies entspricht einer realistischen Zeitdauer mikrobiologischer Aktivität eines landwirtschaftlich bewirtschafteten Bodens. Für den Nachweis der aeroben Abbaubarkeit unter Realbedingungen wird eine Prüfungsdauer von 12 - 15 Wochen angesetzt. Für den Nachweis der mesophilen anaeroben Abbaubarkeit im Flüssigmedium werden 60 Tage, für den thermophilen Abbau in feststoffreichen Substraten werden 15 Tage angesetzt. Diese Zeiten entsprechen durchschnittlichen resp. branchenüblichen Verweilzeiten in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen. Landwirtschaftliche Vergärungen weisen teilweise Verweilzeiten von lediglich 20 – 30 Tagen auf. Trockenvergärungsanlagen (Boxenvergärungen) arbeiten mit Verweilzeiten von 4 – 8 Wochen.

- ⇒ *Die Prüfungsdauer von normierten Abbautest orientiert sich an den Zeiten, welche für den Abbau in technischen Anlagen resp. im Boden zur Verfügung stehen.*
- ⇒ *Die Aussage der „vollständigen biologischen Abbaubarkeit“ bezieht sich auf einen mehrmonatigen Verbleib im warmen Boden. Dieser Nachweis kann alleingestellt nicht zur Bewertung des Abbaus von BAW in aeroben oder anaeroben technischen Systemen übertragen werden.*

Animpfung resp. biologische Aktivität

Sämtliche Standardverfahren setzen aktive aerobe oder anaerobe Mischkulturen (Boden, Belebtschlamm, Kompost, Gärgut), welche nicht speziell an BAW adaptiert sind, für den Nachweis der biologischen Abbaubarkeit ein. Die Verfahren entsprechen in dieser Hinsicht realitätsnahen Bedingungen auf technischen Anlagen.

- ⇒ *Eine fehlende oder unzureichende mikrobiologische Aktivität kann in technischen Anlagen als Grund für einen mangelhaften Abbau von BAW ausgeschlossen werden.*

Belüftung, Feuchte und Durchmischung

Sämtliche Standardtestverfahren berücksichtigen bei ihrer Durchführung eine gute Sauerstoffversorgung (Sauerstoffüberschuss), ausreichend Feuchte und eine sinnvolle Durchmischung. In technischen Anlagen wird auf diese betrieblichen Einflussgrößen ebenfalls geachtet und es sind keine grossen Abweichungen von den Standardbedingungen zu erwarten. In nicht durchmischten resp. lediglich perkolierten Trockenvergärungen können im Vergleich zu den Laborverfahren lokal geringere Feuchtegehalte und länger andauernde undurchmischte Perioden auftreten. In vernässten oder ausgetrockneten Kompostanlagen (Garten- und Feldrandkompost) erfolgt im Vergleich zu den Standardverfahren eine massiv schlechtere Sauerstoffversorgung.

- ⇒ *In Trockenvergärungen, Garten- und Feldrandkompostierungen kann ein verminderter Abbau von nachweislich biologisch abbaubaren Werkstoffen auftreten.*

Abbaugrad resp. Restgehalt an BAW

Die meisten Standardverfahren zum Nachweis der vollständigen biologischen Abbaubarkeit von BAW resp. zum Nachweis der Kompostierbarkeit basieren auf einem Abbau von 60 – 90 % des Ausgangsmaterials. Sie sind damit bei hohen Belastungen der verarbeiteten Abfälle nicht geeignet, sicherzustellen, dass keine visuellen Beeinträchtigungen der Endprodukte Gärgut oder Kompost durch Restfraktionen BAW auftreten.

Nachweis des Abbaus

Zur Bestimmung der mikrobiologischen Aktivität und des Abbaus der zu untersuchenden BAW Fraktionen werden in Standardtests die CO₂ Produktion, der O₂ Verbrauch oder die CH₄ Produktion verwendet. Diese Parameter sind für die Überprüfung des Abbaus in technischen Anlagen nicht geeignet. Hier hat sich zur Beurteilung des Abbaus bis anhin die (visuelle) Bestimmung des Restgehaltes an BAW (resp. des Gesamtkunststoffgehaltes) mit einer bestimmten Korngrössengrenze (meist 2 mm) durchgesetzt. Breit anwendbare Methoden zum quantitativen Nachweis der Kunststofffraktion (Mengenanteil Kunststoff) inkl. des Feinkornanteils <200µm sind nicht verfügbar. Feldtaugliche Methoden zur qualitativen Bestimmung von Kunststoffen, welche in der Lage sind, fossile Kunststoffe von BAW getrennt zu erfassen, fehlen ebenfalls mehrheitlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Standardverfahren zum Nachweis der vollständigen biologischen Abbaubarkeit, der Kompostierbarkeit und der anaeroben Abbaubarkeit je für sich genommen sinnvolle und recht realitätsnahe Abbildungen der jeweiligen Kompartimente (Biogasanlage, Kompostierung, Boden) darstellen.

Die Kombination der gewählten Rahmenbedingungen von Temperatur und Verweilzeit widerspiegeln hingegen die Realität nur ungenügend. Die Prüfdauer von 60 Tagen gemäss EN 14835 wird in mesophilen Vergärungsanlagen zur Covergärung von Grünabfällen nicht durchgehend erreicht und teilweise deutlich unterschritten. Ebenso ist eine Heissrottephase von 60 Tagen gemäss EN 14855 in technischen Kompostierungen nicht realistisch. Zu guter Letzt geben die Temperaturen und Prüfzeiten zur Bestimmung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit nach ISO 14861 und 14852 in keiner Weise die Bedingungen in realen Vergärungs- und Kompostierungsanlagen wieder. Aus der Aussage „vollständig biologisch abbaubar gemäss DIN V 54900-2“ (resp. EN ISO 14851, EN ISO 14852) kann entsprechend nicht auf das Verhalten in diesen Abfallanlagen geschlossen werden.

Das Erreichen der Norm DIN V 54900 resp. der Normen DIN EN 13432 oder DIN EN 14995 erlauben eine gute und wertvolle Beurteilung der geprüften BAW. Sie sind für eine generelle Klassierung des Gesamtverhaltens dieser Stoffe entlang der Kette *Abfallanlage – Boden (resp. Gewässer)* geeignet. In Gewässern kann der biologische Abbau von BAW auch bei Erreichen von Abbaunormen reduziert oder verunmöglicht sein, wenn die erforderlichen Umweltbedingungen (z.B. Temperatur, Nährstoffgehalt oder mikrobielle Aktivität) nicht erfüllt sind. Auf eine weitere Beurteilung des Abbauverhaltens von BAW in Gewässern wird an der vorliegenden Studie nicht eingegangen.

Zur Beurteilung des Verhaltens der geprüften BAW unter den Realbedingungen verschiedener Abfallverwertungstechnologien, (wie mesophile oder thermophile Vergärung, Platz-, Feldrand- oder Gartenkompostierung) sind diese Normen aber allenfalls wenig aussagekräftig, da die Kombination der Prüfparameter nicht mit derjenigen der Realparameter übereinstimmt.

4 Player, Produkte und Stoffe auf dem Schweizer Markt

In diesem Kapitel werden wesentliche oder beispielhafte Player des Schweizer BAW Marktes vorgestellt. Es wird zudem eine Übersicht gegeben über grundsätzliche BAW Produkte, welche auf dem Markt erhältlich sind sowie über die grundlegenden Materialien, aus welchen diese Produkte bestehen. Das Kapitel schliesst mit dem Versuch einer Mengenabschätzung für den Gesamtfluss von BAW in der Schweiz.

Der Schweizer Markt für BAW ist nicht homogen strukturiert und stark mit anderen Segmenten (Kunststoff / Lebensmittel / Konsum) und internationalen Märkten vermischt. Eine detaillierte Darstellung und eine präzise Analyse der Massenflüsse an BAW sind kaum möglich, da Produktionsorte, Verarbeitungs- und Veredelungsorte und Orte der Distribution und des Gebrauchs nicht übereinstimmen. Schweizer Unternehmen importieren z.T. Rohmaterialien, veredeln diese und exportieren Halbfabrikate (z.B. Masterbatches) oder Fertigprodukte (z.B. Folien). Ebenfalls importieren Schweizer Händler Fertigprodukte (z.B. Taschen) und vertreiben diese auf dem inländischen Markt. Zusätzlich importieren Gross- und Detailhändler BAW Produkte sortenrein (z.B. Säcke, Folien) oder als Verpackung (z.B. Folien) und vertreiben diese auf dem inländischen Markt (Abbildung 3).

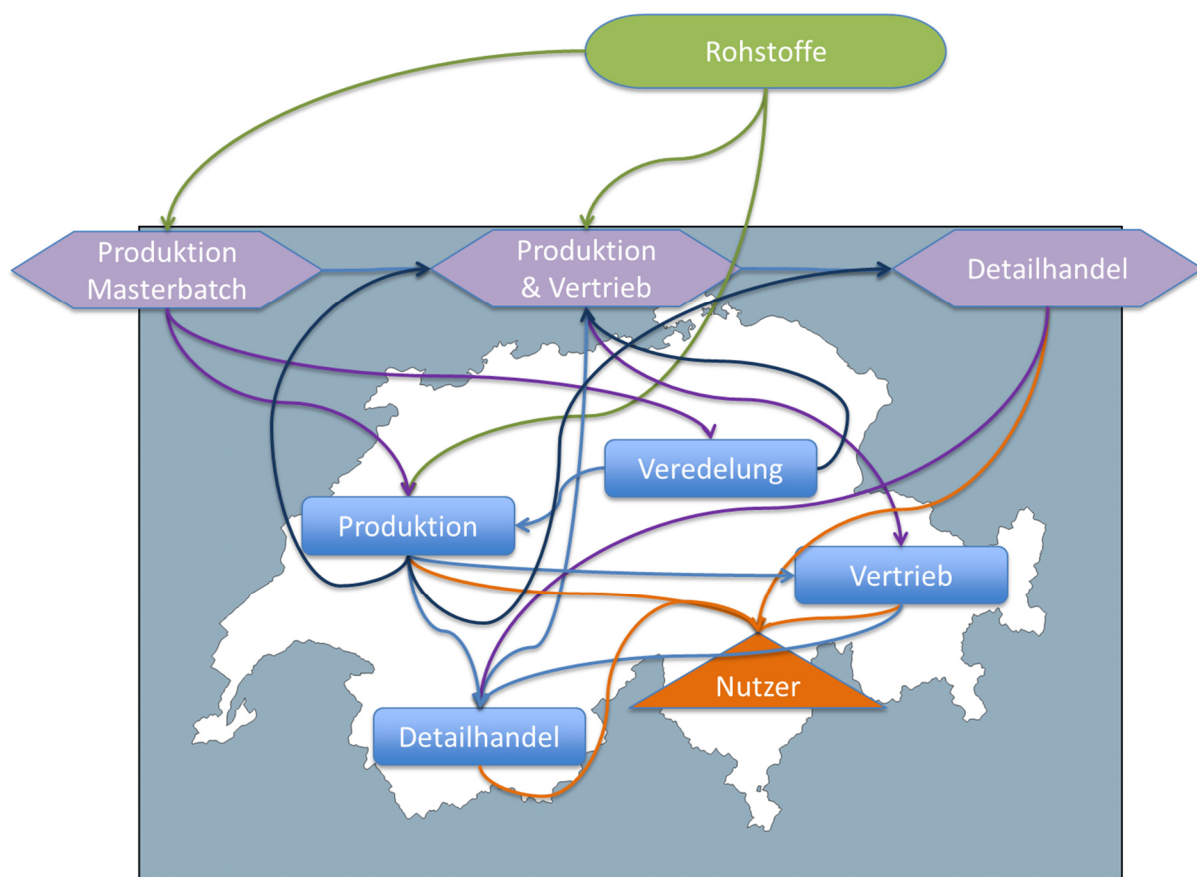


Abbildung 3: Strukturierung & Vernetzung des Schweizerischen BAW Marktes

Kapitel 4.1 gibt beispielhaft einen Überblick über BAW Player auf dem Schweizer Markt. Die Aufzählung kann nicht vollständig sein, berücksichtigt jedoch einige der wichtigsten resp. typischen Marktteilnehmer. An dieser Stelle wird unterschieden zwischen:

- Produzenten von BAW Rohprodukten (z.B. Folien) und Fertigprodukten (z.B. Becher).
Z.T. findet die Produktion mehrheitlich oder vollständig im meist Europäischen Ausland statt.
Teilweise sind BAW Nischenprodukte bei einer v.a. fossil basierten Kunststoffproduktion.
Produzenten treten teilweise auch als Händler / Vertrieber auf.
BioApply / Max Schwarz AG / Novamont / Pacovis
- Produzenten von traditionellen Kunststoff- oder Verpackungsprodukten mit einer Produktions- oder Vertriebsparte BAW.
Bachmann Plantec / Papier Mettler / Petroplast Vinora / Rominger Kunststofftechnik
- Veredlern von BAW Produkten
z.B. Sukano
- Händlern / Vertriebern von BAW Fertigprodukten
z.B. BioApply / dietragsche.ch / GVZ Rossat / Petroplast Vinora / Papier Mettler / Swiss Bioplastics
- Detailhandel / Verteiler von BAW Fertigprodukten oder Produkten mit BAW Anteil
z.B. Aldi / Aligro / CC Prodega / Coop / Globus / Hornbach / Interio / Jumbo / Landi / Lidl / Manor / Migros / Volg
- Branchenverbänden / Gruppierungen mit starker oder teilweiser Affinität zu BAW
z.B. Runder Tisch BAW / Swissplastics

Weiter wird eine Übersicht über die wichtigsten Produktgruppen (Kapitel 4.2) und über die wichtigsten BAW-Materialien (Kapitel 4.3) gegeben. Dabei wird den mengenmässig wichtigsten Gruppen von BAW besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

4.1 Player auf dem Schweizer BAW Markt

Die Aufzählung erfolgt alphabetisch und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.1.1 Bachmann Plantec AG

Die Bachmann Plantec AG stellt eine breite Palette an Kunststoffprodukten für den Erwerbsgartenbau und für die Verpackungsindustrie her und vertreibt diese weltweit. Verwendet werden mehrheitlich thermoplastische Kunststofftypen wie Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP) sowie PET. Die Produktionsmengen von Biokunststoffen (PLA) sind sehr gering. Biopolymere Folien sind in der Entwicklung (z. B. Bio-PET, PLA, Stärke-, Cellulose-basierte Polymere).

<i>Factbox Bachmann Plantec AG</i>	
<i>Firma:</i>	<i>Bachmann Plantec AG / www.bachmann-pflanzentrays.ch</i>
<i>Standort:</i>	<i>An der Ron 4, 6280 Hochdorf</i>
<i>Kontakt:</i>	<i>André OEHEN 041 9147 800 / info@bachmann.ch</i>
<i>Position:</i>	<i>Produzent / Importeur</i>

Marken / Produkte:	Kulturschalen (Max Schwarz AG)
--------------------	--------------------------------

4.1.2 BIOAPPLY

BioApply SA entwickelt und vertreibt Produkte wie Abfallbeutel, Compobags, Mehrweg – Tragtaschen, Hemdchenbeutel und Knotenbeutel. Die Produktion findet in Europa (Schweiz, Deutschland, Italien, weitere EU Länder) statt. Neben der Rolle als Importeur und Vertreiber versteht sich BioApply stark als Entwickler von BAW Gesamtlösungen.

BioApply beliefert den Detailhandel Food (z.B. Migros, Le Shop, BioSuisse) und Non-Food sowie Grossanlässe und unterstützt dabei die fachgerechte Einführung und Entsorgung der BAW Produkte.

Factbox BioApply AG	
<i>Firma:</i>	BioApply AG / www.bioapply.com
<i>Standort:</i>	33, Avenue du Mont Blanc, 1196 Gland
<i>Kontakt:</i>	Frederic MAUCH 022 311 88 11 / f.mauch@bioapply.com
<i>Position:</i>	Produzent / Importeur / Händler / Dienstleister
<i>Marken / Produkte:</i>	MaterBi, Bios® Compobags, Beutel, Tragtaschen

4.1.3 COOP

Als einer der grossen Detailhandelsketten in der Schweiz ist COOP gegenüber BAW Produkten skeptisch eingestellt. COOP beteiligt sich aktiv am „Konsens BAW Schweiz“ (Runder_Tisch_BAW, 2013) und veröffentlicht eine eigene Stellungnahme zu BAW Produkten (Fuchs, 2012). Darin wird z.B. auf die in 3.2 erwähnten Unterschiede zwischen standardisierten Abbautests und realen Abbaubedingungen hingewiesen. Coop unterstützt in Bezug auf BAW die separate Betrachtung von Funktionalität (biologische Abbaubarkeit) und Rohstoffbasis (Basis erneuerbare Ressourcen).

Im Sortiment von COOP finden sich *Compobags* aus PLA (Gitterdruck) sowie nicht gekennzeichnete Pflanztöpfe aus erneuerbaren Ressourcen. Beide Produkte stammen von Schweizer Herstellern resp. Vertreibern (Max Schwarz AG, Pacovis, Petroplast Vinora) und stellen Nischenprodukte im gesamten COOP Sortiment dar. Die Rohstoffherkunft und der Gehalt allfälliger Additive werden nicht weiter verfolgt. Genaue Mengen werden nicht offen gelegt.

Factbox COOP	
<i>Firma:</i>	COOP / www.coop.ch > Nachhaltigkeit
<i>Standort:</i>	Thiersteinallee 12, 4002 Basel
<i>Kontakt:</i>	Guido FUCHS +41 61 336 52 84 / guido.fuchs@coop.ch
<i>Position:</i>	Detailhandel
<i>Marken / Produkte:</i>	diverse

4.1.4 dietragsche.ch

Die Tragsche AG vertreibt über ihre Internetplattform eine grosse Palette an Tragschen und Verpackungen aus Papier, Karton und Kunststoffen. Als Nischenprodukt sind unter der Bezeichnung „Öko-Bio-Polyethylen“ Tragschen aus PE im Angebot. Diese werden als +100% biologisch abbaubar resp. „biodegradable“ bezeichnet. Ein zertifiziertes Label resp. ein EN Abbauzertifikat ist nicht vorhanden. Die Tragschen dürften als oxo-abbaubar (s. 2) bezeichnet werden und entsprechen nicht dem brancheninternen BAW Konsens (Runder_Tisch_BAW, 2013).

Zu den Lieferanten, den eingesetzten Materialien und den umgesetzten Mengen sind keine Informationen verfügbar.

<i>Factbox „dietragsche.ch“</i>	
<i>Firma:</i>	<i>Die Tragsche AG</i>
<i>Standort:</i>	<i>Bachstrasse 8, 8280 Kreuzlingen</i>
<i>Kontakt:</i>	<i>Ilaria CRITELLI ANDEREGG 071 672 12 12 / ic@dietragsche.ch</i>
<i>Position:</i>	<i>Importeur / Vertrieb</i>
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>„Öko-Bio-Polyethylen“ unbekannter Herkunft (Import)</i>

4.1.5 GVZ Rossat

Die GVZ Rossat vertreibt Produkte und Apparate für die professionelle Gartenbautechnik. Im Sortiment der Verbrauchsmaterialien werden Pflanztöpfe und Mulchfolien aus BAW geführt. Mulchfolien werden in 3 verschiedenen Dicken (12 / 15 / 18 µm) mit entsprechend unterschiedlicher Haltbarkeit (2 – 10 Monate) in der Freilandkultur angeboten.

Zu den Lieferanten, den eingesetzten Materialien und den umgesetzten Mengen sind keine Informationen verfügbar.

<i>Factbox GVZ Rossat</i>	
<i>Firma:</i>	<i>GVZ Rossat / www.gvz-rossat.ch</i>
<i>Standort:</i>	<i>Industriestrasse 10, 8112 Otelfingen</i>
<i>Kontakt:</i>	<i>Patrick MÜLLER 044 271 22 11 / info@gvz-rossat.ch</i>
<i>Position:</i>	<i>Vertrieb</i>
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>BIO-Topf Penta, BI-OPL Bio-Folie</i>

4.1.6 Max Schwarz AG

Die Max Schwarz AG vertreibt Pflanzentöpfe und Kulturschalen für die mechanisierte Verarbeitung im Pflanzenbau. Die Produkte basieren auf Getreidestärke / rPLA Blends aus französischer Herkunft (*FuturaMat*). Die Produktion der Pflanzentöpfe erfolgt durch die französische Soparco SA (Lanquetin, 2012), Kulturschalen werden durch Bachmann Plantec in Hochdorf (CH) produziert. Die Produkte sind nach EN 13432 zertifiziert und tragen das „OK Compost“ resp. „Vinçotte“ Label. Die Produkte werden über den professionellen Gartenbau wie auch über den Hobbymarkt (z.B. Coop Bau&Hobby) vertrieben.

Factbox Max Schwarz AG	
<i>Firma:</i>	Max Schwarz AG / www.schwarz.ch
<i>Standort:</i>	Hauptstrasse 49, Villigen AG
<i>Kontakt:</i>	Heiner GYSI 056 297 87 67 / gysi@schwarz.ch
<i>Position:</i>	Produzent
<i>Marken / Produkte:</i>	Schwarz „inspired by nature“, Biocérés® (<i>FuturaMat</i> , F)

4.1.7 MIGROS

Die Migros steht BAW resp. Biokunststoff Produkten zurückhaltend gegenüber. Die Migros beteiligt sich aktiv am „Konsens BAW Schweiz“ (Runder_Tisch_BAW, 2013). Der Migros-Genossenschafts-Bund empfiehlt den Einsatz von Biokunststoffen für Plastiksäcke, Verpackungen und Produkte nur dann, wenn diese in der Ökobilanz besser abschneiden als konventionelle Kunststoffe, keine Lebensmittelkonkurrenz besteht und keine gentechnisch veränderten Organismen beim Herstellungsprozess eingesetzt werden. Die Migros verwendet zurzeit für ihre Verpackungen keine Biokunststoffe.

Im Sortiment der Migros befindet sich BAW Geschirr aus Zuckerrohr- und Palmblattfasern.

Factbox MIGROS	
<i>Firma:</i>	MGB Migros Genossenschaftsbund / www.mgb.ch
<i>Standort:</i>	8031 Zürich
<i>Kontakt:</i>	Jasmin BUCHS 044 277 30 91 / jasmin.buchs@mgb.ch
<i>Position:</i>	Detailhandel
<i>Marken / Produkte:</i>	diverse

4.1.8 Novamont SpA

Die Novamont SpA stellt einen der europaweit wichtigsten Produzenten von BAW dar und ist mit ihren Produkten auf dem Schweizer Markt stark vertreten. Der Hauptsitz von Novamont liegt im italienischen Novara, produziert wird an verschiedenen Standorten in Italien. Produziert werden ausschliesslich MaterBi® BAW (Polyester, Stärke- und/oder PLA- Blends, s. 4.3.3) basierend auf nach-

wachsenden pflanzlichen Rohstoffen aus Stärkepflanzen und Ölsaaten. Die Rohstoffe stammen mehrheitlich aus Europäischem Anbau. Wo vereinzelt pflanzliche Rohstoffe nicht kommerziell verfügbar sind, wird auf petrochemische Grundstoffe zurückgegriffen. Auf dem Schweizer Markt umfassen die MaterBi® Produkte Bioabfallsäcke, Mulchfolien, Knotenbeutel, Folienverpackungen, kompostierbares Besteck und Geschirr sowie *loose fill* Verpackungsmaterialien (Verpackungschips).

Factbox Novamont SpA	
<i>Firma:</i>	NOVAMONT SpA
<i>Standort:</i>	Kölner Strasse 3a, D-65760 Eschborn
<i>Kontakt:</i>	Friedrich VON HESLER +49 6196 947 888 / friedrich.vonhesler@novamont.com
<i>Position:</i>	Vertrieb / Hersteller (Hauptsitz & Produktion: It-Novara)
<i>Marken / Produkte:</i>	MaterBi®

4.1.9 **Pacovis AG**

Die Pacovis AG produziert und vertreibt im Geschäftsbereich *food packaging* eine Vielzahl von Produkten, welche der Zubereitung, Präsentation und Verpackung von Speisen dienen. Unter der Marke *naturesse*® werden Verpackungen und Einwegprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen vertrieben. Die Produktion findet dabei in Deutschland resp. Italien (MaterBi®), Indien (Palmblatt), China (Zuckerrohrfaser) oder USA/Taiwan (PLA, CPA, NatureWorks) statt. Alle Produkte sind nach DIN EN 13432 auf biologische Abbaubarkeit geprüft. In der Schweiz besteht keine Produktion von BAW Produkten.

Pacovis AG beliefert mit ihren Produkten direkt Events und Grossanlässe, die Lebensmittel produzierende resp. verarbeitende Industrie (z.B. GastroStar Gemüse, Wauwiler Champignons) sowie den Detailhandel (z.B. Migros, Coop, Manor, Globus, Landi, Interio, CC Prodega). An Grossanlässen arbeitet die Pacovis AG mit dem Entsorgungsservice *Dräksak* zusammen. Dieser bietet Produkte und Dienstleistungen zur möglichst sortenreinen Sammlung von BAW Abfällen an, sei es für ein mögliches Recycling oder zur Entsorgung.

Factbox Pacovis AG	
<i>Firma:</i>	PACOVIS AG / www.pacovis.ch
<i>Standort:</i>	Grabenmattenstrasse 19, 5608 Stetten AG
<i>Kontakt:</i>	Hans-Peter BURRI 056 485 9372 / hanspeter.burri@pacovis.ch
<i>Position:</i>	Importeur / Händler / Dienstleister
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>naturesse</i> ®, <i>Natureflex</i> ®, <i>MaterBi</i> ®

4.1.10 **Papier Mettler AG**

Die deutsche Papier Mettler AG produziert eine breite Palette an Serviceverpackungen basierend auf Papier und Kunststoff. In der Sparte „Grüne Verpackungen“ werden industrielle Verpackungen, Tragtaschen und auf Basis Zuckerrohrstärke, Kartoffelstärke und Maisstärke mit einem erneuerbaren

Anteil von 30 – 85% hergestellt. In der Schweiz ist Papier Mettler mit einer Niederlassung im luzernischen Hünenberg vertreten. Am Standort Hünenberg werden keine BAW Produkte produziert resp. vertrieben. Ab 2016 übernimmt das deutsche Mutterhaus den Kundenstamm und die Angebotspalette der schweizerischen Petroplast Vinora AG.

Bemerkenswert ist, dass bei den *bioStep* Produkten auf Basis Kartoffel- oder Maisstärke darauf hingewiesen wird, dass die Materialien zu maximal einem Drittel aus erneuerbaren Quellen stammen und dass ein vollständiger Abbau nur bei hohen Temperaturen erfolgt. Unter dem Label *natureStep* werden fossile Verpackungsfolien vertrieben, welche oxo-abbaubar sind; das Produkt wird als „*biologisch abbaubar*“ beworben.

Factbox Papier Mettler Schweiz AG	
<i>Firma:</i>	Papier-Mettler Schweiz AG / www.papier-mettler.com
<i>Standort:</i>	Bösch 37, 6331 Hünenberg
<i>Kontakt:</i>	Willi ZENDER 041 783 83 60 / pm-suisse@papier-mettler.com +49 6533 79 37 01 / willi.zender@papier-mettler.com
<i>Position:</i>	Produzent / Importeur / Händler
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>l'm green, bioStep, natureStep</i>

4.1.11 Petroplast Vinora AG

Neben einer grossen Anzahl fossiler Kunststoffprodukte (v.a. PE, PET) für den Food und für den Non-Food Bereich bietet Petroplast Vinora Kompostbeutel und Grüngutsammelsäcke aus nachwachsenden Rohstoffen an. BAW Produkte werden auf dem Europäischen Markt zugekauft, es besteht keine inländische Produktion mehr. Petroplast Vinora beliefert den Detailhandel (z.B. Coop, Manor, Volg).

Aufgrund des zunehmend schlechten Geschäftsganges und der starken Exportabhängigkeit stellt die Petroplast Vinora AG ab 2016 ihre Tätigkeiten in der Schweiz ein. Der deutsche Hersteller von Verpackungsfolien *Papier-Mettler* (Schweizer Standort: Hünenberg) übernimmt Kundenstamm und Angebotspalette.

Factbox Petroplast Vinora AG	
<i>Firma:</i>	Petroplast Vinora AG / www.petroplastvinora.ch
<i>Standort:</i>	Feldrietstrasse 8, 9204 Andwil
<i>Kontakt:</i>	Rolf HEUSSER 071 388 60 19 / r.heusser@pev.ch
<i>Position:</i>	Importeur / Händler
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>Compobag</i>

4.1.12 Rominger Kunststofftechnik GmbH

Die Rominger Kunststofftechnik GmbH entwickelt und produziert innovative und unkonventionelle Kunststoffprodukte mehrheitlich auf Basis fossiler Materialien. Seit 2013 stellt sie hoch reissfeste Tragtaschen auf der Basis von PLA mit fossilen Zusätzen her. Die Produkte sind nach EN 13432 auf vollständige Abbaubarkeit geprüft.

<i>Factbox Rominger Kunststofftechnik GmbH</i>	
<i>Firma:</i>	Rominger Kunststofftechnik GmbH / www.kunststofftechnik.ch
<i>Standort:</i>	Bleick 3b, 6313 Edlibach ZG
<i>Kontakt:</i>	Lars ROMINGER 041 756 0315 / info@kunststofftechnik.ch
<i>Position:</i>	Produzent
<i>Marken / Produkte:</i>	Green Bag

4.1.13 „Runder Tisch BAW“

Unter den Namen „Runder Tisch BAW“ besteht eine Interessensgemeinschaft, welche Empfehlungen zur Kennzeichnung, Verwendung und Verwertung von BAW resp. generell von Biokunststoffen erarbeitet. Die unter der Bezeichnung „Konsens“ erarbeiteten Empfehlungen (Runder_Tisch_BAW, 2013) richten sich an Hersteller, Importeure, Logistiker, Verkäufer von Produkten / Verpackungen aus BAW sowie an die Beteiligten der Abfallschiene.

Dem Runden Tisch BAW gehören die meisten Player (Behörden, Verbände, Industrie, Detailhandel) auf dem BAW Markt an, u.a.

- Bundesamt für Umwelt / Bundesamt für Landwirtschaft / Bundesamt für Energie / Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften / Biomasse Suisse / Axpo Kompogas AG / Innorecycling AG / InnoPlastics AG / Kompost Forum Schweiz / Kunststoff-Verband Schweiz / Organisation Kommunale Infrastruktur des Städteverbandes / PET Recycling Schweiz / Stiftung Praktischer Umweltschutz Schweiz / Swiss Recycling
- BioApply / Max Schwarz AG / Novamont S.p.A / Pacovis AG / Permapack AG / Petroplast Vinora AG / Plastiroll OY
- Coop / Manor / Migros

Der Runde Tisch BAW unterhält ein Komitee *Evaluation Bioplastics*, welches Bewertungen neuer BAW Produkte durchführt. Der Runde Tisch BAW unterstützt die separate Betrachtung von Funktionalität (biologische Abbaubarkeit) und Rohstoffbasis (Basis erneuerbare Ressourcen).

<i>Factbox „Runder Tisch BAW“</i>	
<i>Organisation:</i>	Runder Tisch BAW / www.evaluation-bioplastics.ch
<i>Kontakt:</i>	Patrik GEISSELHARDT, Swiss Recycling patrik.geisselhardt@swissrecycling.ch Alex BUKOWIECKI, Kommunale Infrastruktur alex.bukowiecki@staedteverband.ch

	<i>Daniel TRACHSEL, BiomasseSuisse</i> contact@biomassesuisse.ch
<i>Position:</i>	<i>Interessengemeinschaft</i>
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>keine</i>

4.1.14 Sukano AG

Die Sukano AG tritt nicht als Hersteller oder Verkäufer von BAW Produkten auf sondern stellt Additive und Masterbatches von BAW hauptsächlich für Lebensmittelverpackungen her. Die Firma ist exportorientiert. An BAW Rohstoffen wird hauptsächlich PLA importiert.

Zu den Lieferanten und den umgesetzten Mengen sind keine Informationen verfügbar.

<i>Factbox Sukano AG</i>	
<i>Firma:</i>	<i>SUKANO AG /</i>
<i>Standort:</i>	<i>Chaltenbodenstrasse 23, 8834 Schindellegi</i>
<i>Kontakt:</i>	<i>Thomas BERNHARDT</i> <i>044 787 57 77 / emea@sukano.com</i>
<i>Position:</i>	<i>Importeur PLA / Hersteller Master Batches</i>
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>keine</i>

4.1.15 Swiss Bioplastics GmbH

Swiss Bioplastics GmbH beabsichtigt, Kunststoffprodukte aus natürlichen Ressourcen herzustellen, welche frei von fossilen Rohstoffen sind. Der Fokus liegt auf Verpackungsprodukten für Lebensmittel. Aktuell läuft ein Versuch zur Herstellung einer Trinkflasche mit einem Granulat, welches zu 100% aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. Des Weiteren sind Baumbefestigungs-Clips im Sortiment.

Zu den Lieferanten, den eingesetzten Materialien und den umgesetzten Mengen sind keine Informationen verfügbar.

<i>Factbox Swiss Bioplastics GmbH</i>	
<i>Firma:</i>	<i>Swiss Bioplastics GmbH / www.swissbioplastics.com</i>
<i>Standort:</i>	<i>Südstrasse 124, 8157 Dielsdorf</i>
<i>Kontakt:</i>	<i>Richard BISIG</i> <i>044 853 20 51 / richard.bisig@swissbioplastics.com</i>
<i>Position:</i>	<i>Händler / Vertrieb</i>
<i>Marken / Produkte:</i>	<i>Trinkflaschen, Clips</i>

4.1.16 Swissplastics

Im Verband Swissplastics (Kunststoffverband Schweiz) vereinen sich Interessensvertreter der Schweizerischen Kunststoffindustrie. Swissplastics propagiert einen verantwortungsbewussten Umgang mit Kunststoffen und bietet u.a. professionelle Aus- und Weiterbildungsangebote an. Swissplastics unterstützt in Bezug auf BAW die separate Betrachtung von Funktionalität (biologische Abbaubarkeit) und Rohstoffbasis (Basis erneuerbare Ressourcen) (anon, 2013).

<i>Factbox Swissplastics</i>	
<i>Firma:</i>	Swissplastics / www.swiss-plastics.ch
<i>Standort:</i>	Schachenallee 29C, 5000 Aarau
<i>Kontakt:</i>	Kurt RÖSCHLI 062 834 00 67 / k.roeschli@swiss-plastics.ch
<i>Position:</i>	Branchenverband
<i>Marken / Produkte:</i>	keine

Auf dem Markt BAW Schweiz treten weitere Player auf, welche hier nicht im Detail vorgestellt werden. Erwähnt seien u.a.

- Delica AG, Birsfelden: Lebensmittelindustrie, Einsatz von BAW Verpackungen
- Folag AG, Sarnen: Produktion & Vertrieb von u.a. BAW Folien, in Konkurs seit 10.2015
- Jumbo Markt AG, Dietlikon: BAW Produkte
- Manor, Basel: Detailhandel, BAW Produkte, z.B. von Pacovis AG
- Permapack AG, Rorschach: Produktion & Vertrieb von Kunststofffolien
- Plastiroll OY, Finnland: Produktion einer grossen Palette an BAW Folien auf Stärkebasis
- Sansonnens FG Frères SA, Rueyres-les-Prés: BAW Mulchfolien
- Toppac AG, Schwarzenbach SG: Produktion & Vertrieb von Kunststofffolien, Fokus PE / PP

4.2 Produkte

Zur Beurteilung der Anlagentauglichkeit verschiedener BAW Produkte werden diese im Folgenden gemäss Tabelle 5 kategorisiert. Diese Kategorisierung ist teilweise übergreifend. So werden z.B. unter dem Begriff *Boxen* auch gewisse Schalen mit eingeschlossen. Mit *Utensilien* werden Produkte des täglichen Gebrauchs bezeichnet, welche klar nicht als reine Verpackungen oder Beutel sowie für den mehrmaligen Gebrauch eingesetzt werden. Mit *visuell gekennzeichnet* werden Produkte bezeichnet, welche durch den Konsumenten intuitiv und ohne besonderen Aufwand und auch noch als zerkleinertes Teilprodukt als BAW identifiziert werden können.

Produkttyp	Charakteristik
BOXEN	hart & stückig, nicht visuell gekennzeichnet
BECHER	hart & stückig, nicht visuell gekennzeichnet
ABFALLSÄCKE	weich & flächig, visuell gekennzeichnet (Gitterdruck)
BEUTEL	weich & flächig, teilweise visuell gekennzeichnet (Gitterdruck)

TÖPFE	hart & stückig, nicht visuell gekennzeichnet
FOLIEN	weich & flächig, nicht visuell gekennzeichnet
UTENSILIEN	hart & stückig, nicht visuell gekennzeichnet

Tabelle 5: Kategorisierung der Produkttypen BAW

4.2.1 Teller, Schalen, Geschirr, Food Boxen

Die Motivation, Geschirr und Lebensmittelverpackungen aus BAW herzustellen, liegt in der ökologischen Argumentation, also bei der Schonung von Ressourcen und der Minimierung der Umweltbelastung bei entsprechender Produktion. Obwohl meist als kurzlebige Einwegprodukte konzipiert, steht der Aspekt der Abbaubarkeit in Abfallanlagen oder in der Natur im Hintergrund. Im Grüngut sind diese Produkte in geringen Mengen aus dem Haushalt vorhanden. Hier besteht einerseits aufgrund der Zunahme von Lebensmittelboxen v.a. im Detailhandel ein zunehmendes Potential (Behälter für Rüstabfälle), andererseits auch eine nicht vernachlässigbare Verwechslungsgefahr mit ähnlichen Produkten aus fossilen Kunststoffen. Aus Veranstaltungen fallen vereinzelt separat gesammelte Chargen an biologisch abbaubarem Geschirr an, welche mittel bis stark mit Fremdstoffen belastet sein können. Grössere Mengen sind vorhanden, wo verpackte Lebensmittelabfälle (Überproduktion, Fehlchargen, Ablauf Haltbarkeit) aus dem Detailhandel anfallen. Recyclingmöglichkeiten durch gezielte Separatsammlungen bestehen kaum.

<i>Factbox Teller & Boxen</i>	
<i>Materialien</i>	<i>PLA, Palmblattfasern, Stärke-BAW,</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Lebensmittelreste, aus Veranstaltungen auch z.B. Zigaretten und Kunststoffe (PET)</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine Schadstoffe, da meist lebensmitteltauglich</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch, teilweise schlecht zu zerkleinern</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>hoch, teilweise lagerstabil</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>aus dem Haushalt teilweise im Grüngut Monochargen von Veranstaltungen oder aus dem Catering grössere Mengen bei Annahme verpackter Lebensmittel</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>Pacovis</i>



Abbildung 4: BAW Lebensmittelboxen, Pizzateller

4.2.2 Transparente Trinkbecher, Schalen und Trinkhalme

Auch bei dieser Produktkategorie steht das Argument der Produktion aus nachwachsenden Ressourcen vor demjenigen der Abbaubarkeit. Aufgrund der Nutzung ist aus dem Haushalt nur mit geringen Mengen dieser Produkte im separat gesammelten Grüngut zu rechnen. Auch aus Kantinen, von Veranstaltungen oder aus dem Detailhandel fallen kaum je grössere Mengen als Abfälle an, welche in Biogas- oder Kompostierungsanlagen verwertet werden. Vor allem für Becher bestehen für Kantinen und Grossgastronomiebetriebe zunehmend Möglichkeiten des gemischten oder zukünftig des sortenreinen Recyclings.

<i>Factbox Trinkbecher / Schalen</i>	
<i>Materialien</i>	<i>PLA, Stärke, Stärke-Blends</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Lebensmittelreste</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine, Druckfarben lebensmittelecht, ungiftig</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch, teilweise schlecht zu zerkleinern</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>hoch, teilweise lagerstabil</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>aus dem Haushalt nur vereinzelt im Grüngut aus Gewerbe & Gastronomie selten</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>Pacovis (z.B. naturessse®)</i>



Abbildung 5: BAW Trinkbecher / Schalen

4.2.3 Grünabfallsäcke

Die seit Jahren in vielen Schweizer Gemeinden propagierten Grünabfallsäcke (Kompostsack, Compo-Bag, Gitterdrucksack) sind gezielt als abbaubare Produkte konzipiert. Hier steht das Argument der Abbaubarkeit klar vor demjenigen der Ressourcenschonung. Die Grünabfallsäcke werden als Innenauskleidung von Grünabfallbehältern in Privathaushalten und Gewerbebetrieben eingesetzt und dienen als sauber handhabbare Verpackungs- und Transportgebilde. Grünabfallsäcke stellen den Prototyp eines BAW Produktes dar, welches durch seine auffällige und klare Kennzeichnung (weisser Gitterdruck, „honeycomb“) eine Verwechslung mit fossilen Kunststoffsäcken verhindern soll. Die teilweise Transparenz der Säcke ermöglicht eine grobe visuelle Kontrolle des Inhaltes. Trotz dieses

durchdachten Produktedesigns tritt sowohl die Verwechslung mit fossilen weissen Säcken als auch die Befüllung mit Haushaltsabfällen häufig auf. In Abfallanlagen ist eine mechanische Zerkleinerung (Schreddern) der gefüllten Säcke erforderlich. Das BAW Material wird dabei aufgrund seiner Elastizität in 20 – 200 mm grosse Fetzen zerrissen. Die Abbaubarkeit ist aufgrund des Verwendungszwecks generell gut, die Beständigkeit gegenüber Feuchte und mechanischer Beanspruchung aufgrund der gewollt kurzen Lebensdauer eher schlecht.

<i>Factbox Grünabfallsäcke</i>	
<i>Materialien</i>	<i>MaterBi, PLA</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Grüngut, Küchenabfälle, absichtliche oder unbeabsichtigte Querverschmutzung mit Haushaltsabfällen und anderen Kunststoffen</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine aus dem Produkt, Querverschmutzung mit Hausmüll möglich</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>gering</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>mittel</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>sehr wahrscheinlich – gezielt gewollt</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>BioApply, Novamont, Pacovis</i>



Abbildung 6: BAW Abfallsäcke für Grünabfall / Küchenabfall

4.2.4 Knotenbeutel (Hemdchenbeutel)

Der Knotenbeutel wird aufgrund seiner Ähnlichkeit mit einem Unterhemd im deutschsprachigen Raum auch als Hemdchenbeutel bezeichnet. Knotenbeutel sind hauptsächlich im Detailhandel zur Verpackung von losem Obst und Gemüse im Angebot. Teilweise werden sie auch als Beutel für die allgemeine Verpackung von geringen Warenmengen angeboten. Teilweise werden Knotenbeutel mit Gitterdruck angeboten, sie können hier im Sinne der Kaskadennutzung einen doppelten Nutzungszweck erfüllen. Wie bei normalen Kompostbeuteln besteht auch hier das Risiko einer Verwechslung mit weissen Kunststoffsäcken oder einer Befüllung mit normalen Haushaltsabfällen. Die Beständigkeit und die biologische Abbaubarkeit sind vergleichbar mit herkömmlichen Grünabfallsäcken.

Factbox Knotenbeutel

<i>Materialien</i>	<i>PLA, MaterBi, Stärke BAW</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Grüngut, Küchenabfälle, absichtliche oder unbeabsichtigte Querverschmutzung mit Haushaltsabfällen und anderen Kunststoffen</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>gering (Foliendicke < 50 µm) – hoch (Foliendicke >50 µm)</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>mittel</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>sehr wahrscheinlich – gezielt gewollt</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>BioApply, Pacovis</i>



Abbildung 7: BAW Knotenbeutel mit Gitterdruck

4.2.5 Pflanztöpfe, Pflanzschalen

Pflanztöpfe und Kulturschalen aus nachwachsenden Rohstoffen sind v.a. im professionellen Gartenbau im Einsatz. Teilweise finden die Produkte Eingang in den Hobby- und Heimgartenbau. Sie sind für die mechanisierte Verarbeitung geeignet und überstehen einen mehrmonatigen Einsatz unter Bedingungen im gedeckten Anbau (Gewächshaus).

Als Rohstoff für BAW Töpfe wird hauptsächlich stärkebasiertes PLA und rPLA eingesetzt. Teilweise sind Töpfe aus Fasermaterialien auf dem Markt. PLA / rPLA Töpfe benötigen aufgrund der gegenüber Folien erhöhten Materialdicke im thermophilen Temperaturbereich 4 – 10 Wochen für einen vollständigen Abbau. Mesophil resp. im Boden ist der Abbau verzögert und dauert mehrere Monate.

<i>Factbox Pflanztöpfe / Kulturschalen</i>	
<i>Materialien</i>	<i>rPLA, Stärke BAW</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Erde, mineralische Anteile</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine (6% Additive, organische Farbstoffe)</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch (Wandstärke >500 µm)</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>mittel - hoch</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>wahrscheinlich – gezielt gewollt</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>Max Schwarz AG, GVZ Rossat, Bachmann Plantec</i>



Abbildung 8: Pflanztöpfe und Kulturschalen

4.2.6 Mulchfolien

Biologisch abbaubare Mulchfolien werden in der mechanisierten Landwirtschaft eingesetzt, um bei frisch angebauten Feldfrüchten eine höhere Bodentemperatur, eine geringere Verdunstung und damit eine schnellere Keimung zu erreichen. Durch die Bodenabdeckung wird zudem der Befall mit Fremdpflanzen und damit der Einsatz von Herbiziden und Pestiziden verringert.

Die meisten land- und gartenbaulichen Mulchfolien werden aus MaterBi® hergestellt. Sie sind auf dem Acker einem witterungsbedingten Abbau unterworfen, welcher sich meist über mehrere Monate (Filmdicke 12 – 15 µm) bis zu über einem Jahr (Filmdicke 18 – 25 µm), also über die gesamte Vegetationsperiode der angepflanzten Feldfrüchte und länger hinzieht. Bei kurzen Vegetationszeiten (Gartenbau) werden die Folien bis zur Ernte nicht vollständig abgebaut.

Der Norwegische Produzent BioBag bietet eine umfangreiche Palette an Mulchfolien an. In der Schweiz sind BAW Mulchfolien u.a. von Samen Mauser, GVZ Rossat, Sansonnens SA oder über den online Handel www.pflanzen-shop.ch erhältlich.

<i>Factbox Mulchfolien</i>	
<i>Materialien</i>	<i>MaterBi®</i>
<i>Fremdstoffe, Verschmutzung:</i>	<i>Erde, mineralische Anteile</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine (z.T. organische Farbstoffe)</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch (Wandstärke 12 - 25 µm)</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>mittel - hoch</i>
<i>Verwertungspfad Grüngut:</i>	<i>wenig wahrscheinlich, da direkt auf dem Feld abgebaut</i>
<i>Hersteller / Vertrieb:</i>	<i>BioBag (NOR), GVZ Rossat, Sansonnens SA, Samen Mauser</i>



Abbildung 9: Mulchfolien aus BAW (BioAgri®, links frisch verlegt, rechts nach 80 Tagen)

4.2.7 Hygieneartikel, Haushaltutensilien, Spielsachen

Langlebige Hygiene- oder Haushaltsartikel, wie z.B. Zahnbürsten, Schreibtisch- und Haushaltutensilien oder Spielwaren sowie Verpackungen (Flaschen) mit hoher mechanischer, chemischer und Feuchtebeständigkeit werden z.T. aus PHA und PHB hergestellt (Thielen, 2012). Den zu Grunde liegenden Materialien wird in Wasser und im Boden eine mittlere biologische Abbaubarkeit zugesprochen (Koel, 2013). Durch das auf Langlebigkeit und Stabilität ausgerichtete Produktedesign tritt die Abbaubarkeit jedoch in den Hintergrund. Zudem sind diese Produkte nicht für die Entsorgung über die Bioabfallschiene gedacht. Mit einem erhöhten Gehalt in separat gesammeltem Grüngut ist nicht zu rechnen. Für diese Produktkategorie ist nicht die biologische Abbaubarkeit sondern die Verwendung nachwachsender Rohstoffe die wesentliche Argumentation.

<i>Factbox Zuckerrohrfasern / Palmblattfasern</i>	
<i>Rohstoff:</i>	<i>Zuckerrohrpflanze, Palmen</i>
<i>Zusatzstoffe:</i>	<i>z.T. 1 – 2% Bindemittel als Feuchte- und Fettschutz</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine</i>
<i>Abbaubarkeit Norm:</i>	<i>vollständig</i>
<i>Abbaubarkeit real:</i>	<i>mittel, nicht-flächige Faserreste verbleiben</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Nährstoffe</i>	<i>gering</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Humus:</i>	<i>hoch</i>
<i>Produktbeispiele:</i>	<i>Geschirr & Besteck, Trays</i>

4.3.2 Stärkebasierte Biopolymere

Die natürlich in Stärkepflanzen wie Getreide oder Kartoffeln oder in Mikroalgen vorkommende Stärke kann relativ direkt zur Herstellung von Biopolymeren oder als Komponente eines Biokomposits verwendet werden (Pilla, 2011). Die wichtigsten Ausgangsstoffe zur Herstellung von Biopolymeren sind Kartoffelstärke, Süsskartoffelstärke, Reisstärke und Weizenstärke. Da reine Stärke häufig nicht die gewünschten Eigenschaften aufweist, muss sie durch verschiedene Verfahren modifiziert werden (TPS, thermoplastische Stärke). Auch wird Stärke vielfach mit anderen Polymeren zu Blends (Mischungen) verarbeitet, welche die gewünschten Eigenschaften (z.B. Wasserfestigkeit) aufweisen. Stärkebasierte BAW finden sich v.a. als Tragtaschen, Joghurt- und Trinkbecher, Pflanzentöpfe, Besteck und Folien (Thielen, 2012). Stärkebasierte Polymere sind aufgrund ihrer geringen Wasserbeständigkeit sowohl unter anaeroben als auch unter aeroben Bedingungen bei mesophilen und bei thermophilen Temperaturen gut abbaubar.

Blends sind Polymergemische die aus zwei oder mehreren Polymeren bestehen. Meist tritt die biologische Abbaubarkeit von Blends auf Kosten verbesserter Produkteigenschaften in den Hintergrund.

PBSA (polybutylene succinate adipate) ist ein biologisch teilweise abbaubarer Polyester, welcher mit maximal 60 % Stärke versetzt werden kann (Pilla, 2011). *PBSA*-Blends sind im wässrigen Milieu während 70 Tagen zu <50 % abbaubar. Bei der aeroben Kompostierung kann *PBSA* während 65 Tagen nur zu 20 % abgebaut werden. Beim Abbau im Boden wird während 105 Tagen ein Abbaugrad von bis zu 80 % erreicht (Neff-Koster, 2001).

Plastarch ist ein biologisch teilweise abbaubares, thermoplastisches Harz, bestehend aus über 50 % Maisstärke und weiteren biologisch abbaubaren Komponenten. Dieser Stärkeblend ist im Boden während 660 Tagen zu >30 % abbaubar. Bei der anaeroben Vergärung wird unter mesophilen Bedingungen bei 37 °C während 50 Tagen eine Abbaubarkeit von >25 % erreicht. In der Kompostierung wird bei einer Temperatur von 55 °C während 115 Tagen eine Abbaubarkeit von >50 % erreicht (Gómez & Michel Jr., 2013).

Factbox Stärke-basierte BAW	
Rohstoff:	<i>pflanzliche Stärke (Getreide, Kartoffeln, Stärkepflanzen)</i>
Zusatzstoffe:	<i>diverse biobasierte oder fossile</i>
Schadstoffe:	<i>keine</i>
Abbaubarkeit Norm:	<i>vollständig</i>
Abbaubarkeit real:	<i>gut, bei Blends mittel</i>
Feuchtebeständigkeit:	<i>mittel bis gut</i>
Mechanische Beständigkeit:	<i>mittel bis gut</i>
Stoffliche Nutzung: Nährstoffe	<i>keine</i>
Stoffliche Nutzung: Humus:	<i>keine</i>
Produktbeispiele:	<i>Bioabfallsäcke, Knotenbeutel, Henkelbeutel, Taschen, Verpackungsfolien, Becher & Geschirr, Pflanztöpfe</i>

4.3.3 **MaterBi®**

MaterBi® wird auf Basis nachwachsender Rohstoffe aus Pflanzenstärke und Pflanzenölen hergestellt. Grünabfallsäcke und Knotenbeutel in der Schweiz sind aus MaterBi® hergestellt. Die Grünabfallsäcke sind ausgerichtet zur Sammlung von Grünabfall und werden mitsamt dem darin enthaltenen Material abgebaut. MaterBi® Säcke sind bedingt feuchtigkeits- und fettbeständig. Durch dessen Hitzeempfindlichkeit kann das Material im Kompost und in thermophilen Vergärungen vollständig biologisch abgebaut werden. Der mesophile Abbau erfordert mehrere Wochen und ist z.T. unvollständig (Dinkel & Kägi, 2012). MaterBi® Produkte wurden nach den Normen DIN V 54900 und EN 13432 geprüft.

Factbox MaterBi	
Rohstoff:	<i>pflanzliche Stärke (Stärkepolyester, PSAC)</i>
Zusatzstoffe:	<i>pflanzliche Öle, teilweise fossile Öle</i>
Schadstoffe:	<i>keine</i>
Abbaubarkeit Norm:	<i>vollständig</i>
Abbaubarkeit real:	<i>mesophil mittel / thermophil gut, teilweise langsamer Abbau</i>
Feuchtebeständigkeit:	<i>gering</i>
Mechanische Beständigkeit:	<i>mittel</i>
Stoffliche Nutzung: Nährstoffe	<i>keine</i>
Stoffliche Nutzung: Humus:	<i>keine</i>
Produktbeispiele:	<i>Bioabfallsäcke, Knotenbeutel, Mulchfolien, Besteck und Geschirr, Verpackungsfolien, Verpackungsmaterial, Tragtaschen.</i>

4.3.4 **PLA – Polylactide**

Polylactid stellt in der Schweiz (abgesehen von Fasermaterialien) das mengenmässig wichtigste abbaubare Biopolymer dar. Neben dem Einsatz als Polymerwerkstoff wird die Milchsäure auch als Säuerungsmittel, Geschmacksstoff und Konservierungsmittel verwendet.

Der biotechnische Herstellungsweg ist mit einem gewissen Aufwand verbunden. Er bestimmt die Herstellungskosten und die Ökobilanz. Für die Herstellung von PLA werden meistens anaerobe homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien eingesetzt. Als Rohstoffe dienen Kohlehydrate, welche aus Zucker- oder Stärkepflanzen (Zuckerrüben, Mais) mit einer C-Ausbeute von >95% gewonnen werden. Das Endprodukt PLA wird durch Polymerisation von fermentativ gebildeter Milchsäure (Lactat) resp. Kondensation von Lactid gebildet. PLA ist ein kristallines, biologisch abbaubares thermoplastisches Polymer, mit einem relativ hohen Schmelzpunkt und sehr guten mechanischen Eigenschaften (Marthy, Schnyder, & von Burg, 2015). PLA kann sortenrein rezykliert werden (rPLA).

PLA lässt sich ähnlich gut verarbeiten, wie Polymere mit fossilem Ursprung und weist im Vergleich zu den meisten anderen Biopolymeren ein recht ausgereiftes Eigenschaftsprofil bezogen auf die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften auf. Es kann über weite Bereiche fossile Kunststoffe wie Low-Density-Polyethylen (LDPE), High-Density-Polyethylen (HDPE) und Polyethylenterephthalat (PET) ersetzen (Thielen, 2012). Zudem ist PLA feuchtigkeits- und fettbeständig und damit gut geeignet als Material für Lebensmittelverpackungen. Durch die hohe mechanische Beständigkeit und Steifigkeit ist PLA für belastbare Becher, Schalen oder Flaschen geeignet (Uhde Inventa-Fischer, 2015). PLA ist nicht hitzebeständig, was als Nachteil angesehen werden kann.

Reines PLA kann unter idealen Bedingungen im Labor sowohl aerob als auch anaerob über Monate vollständig metabolisiert werden. Neuere Beobachtungen zeigen, dass PLA-Produkte in Vergärungs- und Kompostieranlagen teilweise nur unvollständig abgebaut werden (Dinkel & Kägi, 2012). Obwohl diese Produkte den Labortest für biologische Abbaubarkeit bestehen, verhalten sie sich in der Praxis bei inkonstanten Parametern nicht entsprechend. Für den vollständigen Abbau sind einerseits thermophile Temperaturen und andererseits Abbauezeiten von mehreren Wochen erforderlich.

In biologisch aktiven und feuchten Böden ist PLA weder bei psychrophilen noch bei mesophilen Temperaturen innerhalb von ein bis zwei Jahren abbaubar. (DIN 54900: 6 / >150 d) (Neff-Koster, 2001). Unter mesophilen aeroben (z.T. in der Feldrandkompostierung) oder anaeroben (z.B. landwirtschaftliche Vergärung) technischen Bedingungen werden PLA Produkte nur teilweise biologisch abgebaut. Bei thermophilen Bedingungen findet sowohl aerob als auch anaerob ein vergleichsweise langsamer Abbau über mehrere Wochen statt.

Factbox PLA	
<i>Rohstoff:</i>	<i>Milchsäure (fermentativ aus Zucker hergestellt)</i>
<i>Zusatzstoffe:</i>	<i>keine</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine, Druckfarben lebensmittelecht, ungiftig</i>
<i>Abbaubarkeit Norm:</i>	<i>gut</i>
<i>Abbaubarkeit real:</i>	<i>mesophil: schlecht / thermophil: gut, lange Abbauezeiten</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Nährstoffe</i>	<i>keine</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Humus:</i>	<i>keine</i>
<i>Produktbeispiele:</i>	<i>Becher & Geschirr, Verpackungen, Beutel, Tragetaschen</i>

4.3.5 PHA – Polyhydroxyalkanoate

Unter PHA (Polyfettsäuren, PF) werden thermoplastische bioabbaubare Polymere basierend auf Hydroxyalkanoaten zusammengefasst. Diese Grundbausteine werden fermentativ durch Mikroorganismen meist auf Basis von Kohlehydratsubstraten produziert (Pilla, 2011) (Peelman, et al., 2013), die Polymere PHA werden zellintern unter nährstofflimitierten Bedingungen synthetisiert und dienen als Energiequelle. Durch mechanischen oder enzymatischen Zellaufschluss werden PHA freigesetzt und können extrahiert werden. Von den über 100 verschiedenen PHA Kompositionen sind Polyhydroxybutyrat (PHB) und Polyhydroxybutyratvalerat (PHBV) die bekanntesten Vertreter.

PHA weisen ähnliche mechanische Eigenschaften wie Polypropylen (PP) auf und sind für viele Anwendungen zur Substitution von erdölbasiertem PP geeignet. PHA wird hauptsächlich zur Produktion chemisch und mechanisch beständiger eher langlebiger Produkte eingesetzt (Hygiene- & Haushaltsutensilien, s. 4.2.4).

Unter aeroben Milieubedingungen wird PHB in wässrigem Milieu oder in Kompost sowohl mesophil als auch thermophil nur teilweise abgebaut (DIN 54900: 60 – 80 % / 50 – 65 d) In biologisch aktiven Böden werden PHB Produkte über mehrere Monate ebenfalls nur teilweise (70 %) abgebaut (Neff-Koster, 2001).

<i>Factbox PHA</i>	
<i>Rohstoff:</i>	<i>Kohlehydrate</i>
<i>Zusatzstoffe:</i>	<i>keine</i>
<i>Schadstoffe:</i>	<i>keine</i>
<i>Abbaubarkeit Norm:</i>	<i>mittel</i>
<i>Abbaubarkeit real:</i>	<i>mittel</i>
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	<i>hoch</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Nährstoffe</i>	<i>keine</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Humus:</i>	<i>keine</i>

4.3.6 Proteinbasierte Biopolymere

Pflanzliche (z.B. Weizengluten, Sojaproteine) und tierische (z.B. Milchproteine, Collagen, Gelatine) Proteine sind aus unterschiedlichen Kombinationen von 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaute Copolymere, welche aufgrund der spezifischen Kombinationen der Aminosäuren einzigartige Funktion und Struktur ergeben (Pilla, 2011). Die Seitenketten sind gut geeignet um chemische Modifikationen vorzunehmen, um sie als Biopolymere verfügbar zu machen. Da Polymere basierend auf pflanzlichen oder tierischen Proteinen im Vergleich zu herkömmlichen synthetischen Polymeren bisher jedoch meist schlechtere Eigenschaften in der Verarbeitung aufweisen, sind diese bis heute noch nicht in einem industriell grossen Umfang produziert worden (Thielen, 2012). Auf dem Schweizer BAW Markt spielen proteinbasierte Biopolymere bis anhin keine signifikante Rolle.

<i>Factbox Protein-BAW</i>	
<i>Rohstoff:</i>	<i>pflanzliche und tierische Proteine</i>
<i>Zusatzstoffe:</i>	-
<i>Schadstoffe:</i>	-
<i>Abbaubarkeit Norm:</i>	-
<i>Abbaubarkeit real:</i>	-
<i>Feuchtebeständigkeit:</i>	-
<i>Mechanische Beständigkeit:</i>	-
<i>Stoffliche Nutzung: Nährstoffe</i>	<i>ja, Stickstoff, Phosphor, Schwefel</i>
<i>Stoffliche Nutzung: Humus:</i>	<i>teilweise</i>

4.3.7 Handelsnamen Biopolymere

Biopolymere und BAW finden sich mit unterschiedlichen Bezeichnungen und Handelsnamen auf dem Markt. Die Biokunststoffdatenbank der Fachhochschule Hannover (Material_Data_Center, 2016) erlaubt einen schnellen Überblick über Produkte, welche sich auf dem Schweizerischen oder Europäischen Markt befinden.

4.3.8 Weiterführende Quellen zu BAW

Folgende Quellen werden für weitergehende Informationen zu BAW, deren Produktion und Eigenschaften sowie deren Umweltverhalten empfohlen:

(Bastioli, 2005)	<i>Handbook of Biodegradable Polymers.</i>
(Ebnesajjad, 2013)	<i>Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics</i>
(European Bioplastics, 2016)	Europäischer Verband der Biokunststoffindustrie, http://en.european-bioplastics.org/
(Greene, 2014)	<i>Sustainable Plastics – Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable and Recycled Plastics.</i>
(IfBB_Hannover, 2016)	Biopolymers Plattform der FH Hannover, Datenbank zu Märkten, Produktionsverfahren und Landbedarf. http://ifbb.wp-hs-hannover.de/downloads/index.php?site=Statistics
(Material_Data_Center, 2016)	Biokunststoff Datenbank der FH Hannover, Datenbank zu Produkten und Produzenten. http://www.materialdatacenter.com/mb/

4.4 Eingesetzte Mengen in der Schweiz

Eine detaillierte und vollständige Massenflussanalyse oder auch nur eine Massenbilanz von BAW Materialien und Produkten innerhalb der Systemgrenze Schweiz zu erstellen, ist aufwändig. Einerseits sind Import-, Vertriebs- und Produktionswege unklar resp. nicht durchgängig deklariert. Andererseits unterliegen Mengenangaben seitens Produzenten und Vertreiber oft der Vertraulichkeit und sind nicht zugänglich. Basierend auf die von den Playern gemäss Kapitel 4.1 erhaltenen Daten lässt

sich folgende Mengenabschätzung für die BAW Flüsse in der Schweiz erstellen (Basis 2014). Tabelle 7 listet die BAW Mengen gegliedert nach Material auf, Tabelle 8 gliedert die Mengen nach Produkt.

Bei einer insgesamt in der Schweiz verarbeiteten Menge von über 1'200'000 t/a organischer Abfälle (Frischsubstanz) in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen (Schleiss, 2015) liegt der Anteil an BAW bei deutlich unter 0.1 %.

Material	Typ	Menge [t/a]	Zu Grüngut [t/a]*
Zuckerrohr- & Palmblattfasern, Zellulose	FASERN	2000	200
Stärkebasierte BAW (inkl. MaterBi®)	STÄRKE	400	360
PLA und rezykliertes PLA	PLA	630	80
andere	PHA	20	0
Total		3050	640

Tabelle 7: BAW Mengen Schweiz, gegliedert nach Material (*: geschätzte Werte)

Produkt	Typ	Menge [t/a]	Zu Grüngut [t/a]*
Teller, Schalen, Geschirr, Food Boxen etc.	BOXEN	2000	200
Trinkbecher, Schalen	BECHER	510	20
Grünabfallsäcke, Compobags	ABFALL	320	320
Knotenbeutel, Verpackungsfolien etc.	BEUTEL	150	90
Pflanztöpfe, Pflanzschalen	TÖPFE	40	10
Mulchfolien	FOLIEN	10	0
Haushaltutensilien	UTENSILIEN	10	0
Andere (inkl. Tragetaschen)	UTENSILIEN	10	0
Total		3050	640

Tabelle 8: BAW Mengen Schweiz, gegliedert nach Produkt (*: geschätzte Werte)

5 Einflussfaktoren für den biologischen Abbau von BAW

In diesem Kapitel werden chemisch-physikalische, biologische und technische Parameter erläutert, welche auf den Abbau von BAW in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen einen Einfluss haben. Ziel ist es, aufzuzeigen, welche Faktoren für ein unterschiedliches Verhalten von BAW in zertifizierten Abbautests im Labor- / technischen Massstab resp. in grosstechnischen Anlagen verantwortlich sind.

Beim vollständigen biologischen Abbau werden organische Strukturen (bestehend aus Kohlenstoff C, Wasserstoff H und Sauerstoff O) in ihre Einfachbausteine H₂O und CO₂ zerlegt und so wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt. Zusätzlich wird beim Abbau Biomasse gebildet und dem Milieu werden Nährstoffe (z.B. Stickstoff, Phosphor und Schwefel) entzogen. Die Eigenschaft „Aus erneuerbaren Rohstoffen“, stellt bei BAW die Herkunft und Rohstoffbasis in den Vordergrund. Im Gegensatz dazu verweist die Eigenschaft „100% biologisch abbaubar“ auf die CO₂-neutrale Entsorgung in biologischen Verfahren oder auf die unter optimalen Bedingungen nicht statt findende Akkumulation in der Natur (Gewässer, Boden). Die Eigenschaft der vollständigen Abbaubarkeit darf aber aus folgenden Gründen nie als alleiniges Argument für die positive Umweltverträglichkeit von BAW gelten:

- BAW, welche (bis auf Spuren) auf der Basis von C,H und O aufgebaut sind, und das sind die meisten dieser Stoffe, werden auch in nicht-biologischen Verfahren, wie z.B. in Verbrennungen vollständig zu CO₂ und H₂O umgewandelt. Damit stellen auch diese Verfahren einen CO₂-neutralen Entsorgungsweg dar.
- BAW, welche aus Naturfasern (allenfalls mit Lignin- und Celluloseanteil) bestehen, weisen auch bei nicht vollständiger Mineralisierung zu CO₂ und H₂O einen positiven Effekt auf, wenn die langsam abbaubaren Bestandteile als Bodenverbesserer und Humusbildner in den Kreislauf zurückgeführt werden.
- BAW, welche signifikante Anteile an Nährstoffen aufweisen, spielen ihre positive Umweltbilanz nur dann aus, wenn diese Nährstoffe bei oder nach der Verwertung wieder in den Bodenkreislauf zurückgeführt werden (Vergärung, Kompostierung).
- BAW, welche nährstofffrei sind, binden beim biologischen Abbau die für das Mikroorganismenwachstum erforderlichen Nährstoffe aus der Umgebung. In Vergärungen und Kompostierungen bleiben diese Nährstoffe im organischen Dünger erhalten. Beim Abbau im Boden werden diese Nährstoffe kurz- bis mittelfristig dem System entzogen und in der mikrobiellen Biomasse gebunden (Nährstoffimmobilisierung). Sie stehen damit nicht mehr direkt für das Pflanzenwachstum zu Verfügung.
- Biokunststoffe, welche in biologisch aktiven Umgebungen nicht vollständig mineralisiert werden, sondern lediglich in kleinste Bruchstücke zerfallen (Fragmentierung), können nicht als CO₂-neutral bezeichnet werden und führen zu einer Akkumulation von Mikrobestandteilen / Nanopartikeln in Böden oder im Gewässer.
- Die Eigenschaft der vollständigen biologischen Abbaubarkeit sagt nichts darüber aus, ob am Zielort der Verwertung oder Entsorgung (Vergärung, Kompostierung, Gewässer, Boden) die Bedingungen für den mikrobiologischen Abbau tatsächlich ausreichend gegeben sind.

5.1 Generelle Einflussfaktoren für den mikrobiologischen Abbau

Für den mikrobiologischen Abbau von BAW in biologisch aktiven Milieus (Vergärung, Kompostierung, Gewässer, Boden) sind mikrobielle, chemisch-physikalische und polymerspezifische Faktoren ausschlaggebend.

Mikrobielle Faktoren (Mikroorganismenkonzentration, Aktivität, Artenvielfalt, Adaption)

Bestimmte Mikroorganismen können nur spezifische Gruppen von Polymeren abbauen. Bei den Polymeren handelt es sich meistens um grosse Moleküle, die eine Zellmembran nicht passieren können und somit auch nicht direkt bioverfügbar sind. Um ein Polymer abzubauen muss ein Mikroorganismus extrazelluläre Enzyme produzieren die an eine Polymerkette anhaften können, um diese in wasserlösliche Einzelteile zu spalten. In diesem Grenzflächenprozess wird Material laufend von der BAW-Oberfläche abgetragen. Die wasserlöslichen Monomere können nun von der Zelle aufgenommen und metabolisiert werden. Um einen biologisch vollständigen Abbau zu gewährleisten sind adaptierte, artenvielfältige mikrobielle Populationen notwendig. Insbesondere im anaeroben Bereich sind für den Abbau viele Teilschritte nötig, die nicht von einer einzelnen Mikroorganismen Spezies ausgeführt werden können.

Chemisch-physikalische Faktoren (Gasatmosphäre, pH-Wert, Nährstoffgehalt, Temperatur, UV-Strahlung, Feuchtigkeit)

Aus chemisch-physikalischer Sicht sind für die enzymatische Aktivität vor allem die Wasser- und bei aeroben Prozessen die Sauerstoffverfügbarkeit ausschlaggebend. In teilweise trockenen Oberböden kann die Wasserverfügbarkeit eingeschränkt sein, was zu einer Akkumulation von BAW resp. zu einem zeitlich stark verzögerten Abbau führt. Denselben Effekt zeigen stark vernässte Böden und Komposte aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Sauerstoff. Ein höherer Nährstoffgehalt des Milieus resultiert meist in einer höheren Konzentration an Mikroorganismen und produzierten Exoenzymen und damit in einem schnelleren BAW-Abbau. Die meisten BAW sind über das gesamte Temperaturspektrum von psychrophil (<20 °C) über mesophil (20 – 45 °C) bis thermophil (45 – 75 °C) sowohl aerob als auch anaerob abbaubar. Im psychrophilen Bereich (Böden, Gewässer, Sedimente) kann die Abbaurate stark vermindert sein, so dass hier der grundsätzlich mögliche Abbau nicht zu einer vollständigen Mineralisierung in akzeptabler Zeit führt (Nauendorf, et al., 2016 (in press)). Einzelne BAW-Strukturen (v.a. PLA) sind nur oder hauptsächlich im thermophilen Temperaturbereich hydrolysierbar.

Polymerspezifische Faktoren (Schmelzpunkt, Kristallinität, Struktur und Flexibilität der Kette, Molekulargewicht, Hydrophobizität, Oberfläche, Quervernetzungen, Zusammensetzung)

Polymerspezifische Eigenschaften sind für die Abbaugeschwindigkeit der BAW entscheidend. Schmelzpunkt und Kristallinität stellen hier besonders wichtige Parameter eines Polymers dar. Allgemein gilt: je tiefer der Schmelzpunkt, desto schneller baut sich ein Polymer ab und je kristalliner ein Polymer ist, desto länger braucht es für seine Zersetzung. Die Struktur der Polymere ist dabei entscheidend. Je kürzer Polymere sind und je kleiner ihr Molekulargewicht ist, desto schneller werden sie abgebaut. Für einen schnellen Abbau ebenfalls förderlich, sind unverzweigte Polymerketten, welche wenig intermolekulare Bindungen bilden. Bei der Herstellung können diese Faktoren beein-

flusst werden. Enzyme müssen für eine Hydrolyse an den Kunststoff anlagern können. Raue Oberflächen und Unebenheiten unterstützen diese Anlagerung. Die höchsten Abbauraten werden auf kleinen und dünnen Fragmenten (< 1 mm, < 100 µm) erreicht, während grössere Formen mehrere Jahre für eine vollständige Auflösung brauchen können (Michel, 2004).

5.2 Einflussfaktoren in der Vergärung und Kompostierung

5.2.1 Mikroorganismenaktivität, Vielfalt und Adaptation

Vergärungsanlagen zur Verwertung organischer Abfälle und Hofdünger sowie Faultürme kommunaler ARA werden in der Schweiz ganzjährig betrieben und regelmässig mit Substrat beschickt. Sie stellen daher konstant ein Milieu mit einer hohen Konzentration an aktiver mikrobieller Biomasse dar. Aufgrund der meist breiten Palette an verwerteten Substraten sind die Mikroorganismenvielfalt und deren enzymatische Aktivität hoch.

Dies gilt auch für diskontinuierlich betriebene Verfahren wie Trockenfermentationen und wie die meisten Kompostierungen. In diesen Verfahren wird üblicherweise neu zugefügtes Material mit biologisch aktivem Material einer früheren Charge angeimpft und durchmischt. In Trockenfermentationen findet zusätzlich eine Perkolation mit mikrobiologisch aktivem Perkolat statt. Damit ist gewährleistet, dass durchgängig eine hohe biologische Aktivität vorhanden ist.

Biogasanlagen und Kompostierungen werden nicht zwingend kontinuierlich mit BAW-haltigen Rohmaterialien beschickt. In den vorliegenden natürlichen Substraten (organische Abfälle, Pflanzenreste, Hofdünger, Klärschlämme) liegen jedoch ausreichend polymere Naturstoffe mit identischem (Stärke) oder ähnlichem Aufbau wie BAW-Polymere vor. Es kann also von einer guten Adaptation des enzymatischen Systems für den Abbau und entsprechend mit kurzen Reaktionszeiten gerechnet werden. Für PLA und PHA können ähnliche Strukturen in den Rohmaterialien nur beschränkt vorhanden sein.

5.2.2 Verfügbarkeit von Wasser, Nährstoffen und Sauerstoff

Sämtliche anaeroben Verfahren zur Abfall-, Hofdünger- oder Klärschlammvergärung arbeiten im wässrigen Milieu bei 60 – 96 % Wassergehalt. Trockenvergärungsanlagen, welche allenfalls mit BAW durchsetztes Grüngut verwerten, weisen während der mehrwöchigen aktiven Abbauphase Wassergehalte zwischen 60 % und 70% auf.

Kompostierungsanlagen werden mit tieferen Wassergehalten von 40 – 65 % betrieben. Hier wird zur Aufrechterhaltung einer konstant hohen biologischen Aktivität auf ein Verhindern des Absinkens des Wassergehaltes geachtet. Bei Bedarf wird befeuchtet. Die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser für den mikrobiologischen Abbau von BAW ist in sämtlichen Vergärungs- und Kompostierungsverfahren bei sachgemäsem Betrieb sicher gestellt.

Die ausreichende Versorgung mit O₂ wird durch kontinuierliche (Gebläse, Diffusion) oder diskontinuierliche (Umschichten, Wenden) Belüftung sichergestellt. Der Sauerstoffgehalt unterliegt im Kompost zeitlichen Schwankungen, fällt bei sachgemäsem Betrieb jedoch kaum in einen limitierenden Bereich (Sauerstoffunterversorgung). Während der stark O₂ zehrenden initialen Heissrottephase von

einigen Tagen bis mehreren Wochen können mehrtägige Phasen mit geringer Sauerstoffverfügbarkeit auftreten. Während dieser Phasen ist der (thermophile) Abbau von allfällig vorhandenen BAW reduziert. Im Falle der Nachkompostierung der festen Fraktion von Gärgut (nach der Separierung) kann bei Sauerstoffmangel mit einem weiteren Abbau durch anaerobe Organismen gerechnet werden, da diese mit hoher Aktivität im Gärgut vorhanden sind. Dies ist aufgrund der generell aeroben Betriebsführung in reinen Kompostierungsanlagen nicht der Fall, hier ist mit einem Rückgang des Abbaus bei zeitweiser Sauerstoffunterversorgung zu rechnen.

Aufgrund der Zusammensetzung der Rohstoffe und der generellen Bedingungen an eine aktive Biomasse und einen guten Abbau von organischen (nicht-BAW) Substraten weisen Biogasfermenter und Kompostierungsanlagen generell einen hohen Nährstoffgehalt und eine gute Verfügbarkeit dieser Nährstoffe auf.

5.2.3 Temperatur Vergärung

Unter Schweizer Verhältnissen werden Biogasanlagen in zwei unterschiedlichen Temperaturbereichen bei jeweils recht konstanten Temperaturen gefahren. Schlammfäulungen und Hofdüngervergärungen werden aufgrund der hohen Wassergehalte der Substrate und der meist nicht erforderlichen Hygienisierung mesophil bei 32 – 45 °C gefahren. Die meisten Anlagentemperaturen liegen bei 37 – 40 °C (s. 6.2). Anlagen zur Verwertung von (mehrheitlich) Grüngut werden meist thermophil bei 55 °C betrieben. Die Temperaturen aller Flüssigverfahren sind konstant, es treten bei Beschickung oder Durchmischung Temperaturgradienten von ± 2 °C auf. Trockenvergärungen werden in Abhängigkeit der Hygienisierungsanforderungen mesophil (35 – 37 °C) oder thermophil (52 – 55 °C) gefahren. Die Temperaturgradienten zwischen Beschickung und aktivem Betrieb können hier >20 °C betragen. Während der mehrwöchigen aktiven Abbauphase liegen die Temperaturgradienten bei ± 4 °C.

5.2.4 Temperatur Kompostierung

Kompostierungsanlagen werden aufgrund der beim aeroben Abbau frei werdenden metabolischen Wärme nicht geheizt und nicht temperaturkonstant geführt. Der Kompostierungsprozess durchläuft eine initiale Erwärmungs- und Heissrottephase mit über Tage ansteigenden Temperaturen bis 65 – 72 °C. Die konstante thermophile Phase mit Temperaturen von 60 – 70 °C dauert je nach Abbaubarkeit der Substrate, Sauerstoffversorgung und Aussentemperatur von einigen (4 – 7) Tagen bis zu 4 Wochen. Nach der thermophilen Phase sinkt die Komposttemperatur während 1 - 2 Wochen in den mesophilen Bereich (25 – 45 °C). Je nach Verfahrensführung und gewünschter Kompostqualität dauert die nachgeschaltete mesophile Phase wenige Tage bis wenige Monate. Im Falle der Garten- oder der Feldrandkompostierung sind mesophile Phasen von mehreren Monaten möglich.

5.2.5 Verweilzeiten Vergärung

Bei kontinuierlich (d.h. während des Tages mehrmals regelmässig beschickten) oder quasi kontinuierlich (d.h. ein- bis mehrmals täglich beschickten) betriebenen Vergärungsanlagen muss zwischen minimaler und durchschnittlicher Verweilzeit unterschieden werden. Die Minimale Verweilzeit beschreibt die kürzeste Zeit zwischen Beschickung mit Substrat und nachfolgender Entnahme von Gärgut. Sie liegt im realen Betrieb meist zwischen einer und 24 h. Die durchschnittliche oder mittlere

Verweilzeit wird durch das aktive Flüssigvolumen der Fermenter und die hydraulische Beschickungs- resp. Entnahmemenge definiert. Sie liegt im realen Betrieb in mesophilen Anlagen im Mittel bei 58 Tagen (Bereich 30 – 100 Tage), in thermophilen Anlagen im Mittel bei 21 Tagen (Bereich: 12 – 29 Tage). Während zeitlich beschränkten Hochlastphasen können diese mittleren Verweilzeiten während mehrere Wochen wesentlich kürzer (80 % des Normbetriebes) ausfallen. Während saisonal bedingter Schwachlastphasen verlängert sich die mittlere Verweilzeit u.U. auf das Doppelte des Normalwertes.

In batchweise betriebenen Trockenvergärungsanlagen wird die minimale Verweilzeit durch die Intervalle zwischen Beschickung und Entleerung bestimmt. Sie beträgt im realen Betrieb zwischen 28 und 56 Tagen. Die mittlere Verweilzeit entspricht ohne Rückimpfung mit festem Gärgut der minimalen Verweilzeit. Unter Berücksichtigung der normalerweise praktizierten Rückimpfung liegt die mittlere Verweilzeit von Trockenvergärungen bei 35 – 70 Tagen. Aufgrund der initialen Erwärmungsphase von 1 – 3 Tagen ist die für den Abbau massgebliche Zeit mit konstanter Temperatur um diese Periode kürzer.

5.2.6 Verweilzeiten Kompostierung

Technische Kompostierungsverfahren werden mehrheitlich diskontinuierlich betrieben, d.h. frisches Material wird mit aktivem Kompost angeimpft und während 30 – 150 Tagen (4 – 20 Wochen) unter regelmässigem Belüften (Durchmischen, Wenden) aerob behandelt. Die minimale Verweilzeit entspricht dabei der Kompostierungszeit. Die mittlere Verweilzeit liegt unter Berücksichtigung der Animpfung um 10 – 30 % höher.

Da Kompostierungsverfahren nicht temperaturkontrolliert betrieben werden, müssen zur Beurteilung des Abbaus von BAW der Temperaturverlauf und die entsprechenden Zeiten berücksichtigt werden. Für den thermophilen Abbau stehen dabei meist 7 – 30 Tage zur Verfügung. Der nachfolgende mesophile Abbau dauert weitere 14 – 100 Tage.

5.2.7 Der Vergärung / Kompostierung vorgelagerte Prozesse

Zerkleinerung (Korngrösse) und Siebung

In Bezug auf die Korngrösse der zu behandelnden Substrate kann in Biogas- und Kompostierungsanlagen zwischen fünf grundsätzlichen Fällen unterschieden werden.

- Industrielle Anlagen zur flüssigen Vergärung von Grüngut und Material aus der Separatsammlung zerkleinern das Inputmaterial in (meist schnell laufenden) Shreddern auf Korngrössen von 10 – 50 mm. Die Grobfraction (Überkorn >50 mm) wird meist abgesiebt und zur erneuten Zerkleinerung im Kreislauf geführt. Hartkunststoffe werden zerschlagen, Folien zerrissen, aber kaum abgetrennt.
- Industrielle Trockenvergärungen von Grüngut und Material aus der Separatsammlung zerkleinern das Inputmaterial ebenfalls in Shreddern auf Korngrössen von 10 – 50 mm. Die Grobfraction wird jedoch oft für die Vergärung im Trockenfermenter nicht abgesiebt sondern

als Strukturfraktion genutzt. Hartkunststoffe werden zerschlagen, Folien zerrissen, aber kaum abgetrennt.

- Landwirtschaftliche Flüssigvergärungen zur Verwertung von Hofdüngern und geringem Anteil an Grüngut und Material aus der Separatsammlung sind auf eine gute Zerkleinerung dieser Cosubstrate angewiesen, um Verstopfungen und Ablagerungen vorzubeugen. In meist schnell laufenden Ketten- oder Hammermühlen werden Hartkunststoffe zertrümmert, Folien zerrissen. Es findet im Normalfall keine Vorabtrennung durch Windsichter oder Siebe statt.
- Anlagen, welche verpackte Lebensmittel annehmen und hygienisieren, zerkleinern gemäss VTNP diese Substrate auf eine garantierte Korngrösse <20 mm. Zum Einsatz kommen hier meist schnell laufende Ketten- oder Hammermühlen. Hartkunststoffe werden weitgehend zertrümmert, z.T. in Partikel <200 µm. Folien werden zerrissen, grosse Stücke werden durch Windsichtung abgetrennt, kleinere Partikel von 5 - >20 mm können im Substrat verbleiben.
- Kompostierungsanlagen zerkleinern das Inputmaterial ähnlich wie Trockenvergärungsanlagen in Shreddern auf Korngrössen von 20 – 60 mm. Die Grobfraction wird oft als Strukturfraktion genutzt. Hartkunststoffe werden zerschlagen, Folien zerrissen, aber kaum abgetrennt.

Den meisten Grüngutvergärungsanlagen ist eine Lagerung der angelieferten Substrate vorgelagert. Diese Lagerung erfolgt teilweise als Rohmaterial, also unzerkleinert, teilweise als geschreddertes Material. Die Verweilzeit vor Eintrag beträgt einige Stunden bis mehrere Tage. Der Feuchtegehalt entspricht dem Rohmaterial und liegt bei 50 – 30 %. Die Lagertemperaturen entsprechen meist den Innentemperaturen der Betriebsgebäude, also 10 – 25 °C. Bei mehrtägigen Lagern findet eine leichte Eigenerwärmung auf gegen 40 °C statt. Die Lagerbedingungen sind nicht geeignet, zu einem merklichen Abbau von BAW zu führen. Mit einer Quellung, welche für den nachfolgenden Abbau förderlich ist, kann bei mehrtägiger Lagerung gerechnet werden.

Vergärungsanlagen mit einer vorgeschalteten Hygienisierungsstufe für TNP (z.B. verpackte Lebensmittelabfälle) weisen neben der erwähnten mechanischen Zerkleinerung eine thermische Behandlung mit 1 – 2 h Verweilzeit bei (meist) 70 °C auf. Während der Hygienisierung werden zerkleinerte BAW bei den erhöhten Temperaturen teilweise oder mehrheitlich in Lösung gebracht. Dies ist dem nachfolgenden anaeroben Abbau im (mesophilen) Fermenter stark förderlich.

In Kompostierungsanlagen mit offen zugänglicher vorgeschalteter Lagerung resp. mit offenen Kompostmieten findet meist eine manuelle Auslese von grossen Kunststoffstücken statt. Es wird dabei nicht zwischen fossilen Kunststoffen und BAW unterschieden.

5.2.8 Der Vergärung / Kompostierung nachgelagerte Prozesse

Landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur flüssigen Vergärung von Hofdüngern mit einem geringen Anteil an Grüngut ist eine Nachgärung und/oder eine Flüssiggärgutlager nachgeschaltet. Hier erfolgt bei auf 30 – 20 °C abgesenkter Temperatur und Verweilzeiten von wenigen Wochen bis mehreren Monaten ein weiterer Abbau. Die Temperaturen und die Aufenthaltszeiten dieser nachgeschalteten Prozesse sind nicht vereinheitlicht resp. nicht kontrolliert, unterstützen aber im Allgemeinen den weiteren mikrobiologischen Abbau von bisher nicht vollständig abgebauten BAW.

Wird in landwirtschaftlichen oder industriellen Biogasanlagen der anaeroben Vergärung eine mechanische Separierung des Gärgutes nachgeschaltet, so ist mit einer Verteilung der nicht abgebauten BAW Fraktion auf beide Phasen zu rechnen. Stückerige resp. flüchtige Anteile von v.a. Folien und weichen BAW werden in der Festphase angereichert und meist einer nachfolgenden Kompostierung zugeführt, wo bei ausreichenden Kompostierungszeiten ein weiterer Abbau stattfindet. Die Mikrofraktion nicht abgebauter BAW wird bei der Separierung zumindest teilweise der Flüssigphase zugeführt. Hier gelten die oben gemachten Aussagen zu nachgeschalteten Lagerprozessen; es findet bei reduzierten Temperaturen und unterschiedlichen Verweilzeiten ein weiterer Abbau statt.

In Kompostierungsanlagen mit bekannt hohem Anteil an Kunststoffen im Inputmaterial sind oft Windsichter zur Kunststoffabscheidung dem Kompostierungsprozess nachgeschaltet. Hier werden flüchtige Kunststoffe effizient abgeschieden. Auf den Restgehalt an nicht abgebauten BAW haben Windsichter vermutlich keinen grossen Einfluss, da diese Materialien nach der Kompostierung mehrheitlich in kleinen Korngrössen <2mm vorliegen.

5.3 Einflussfaktoren im Boden

Der Vollständigkeit halber werden an dieser Stelle einige Parameter aufgeführt, welche einen allfälligen Abbau von im Gärgut oder im Kompost verbliebenen BAW in landwirtschaftlich genutzten Böden beeinflussen.

Die biologische Aktivität ist in landwirtschaftlich genutzten Böden aufgrund der guten Nährstoffversorgung, der Bewirtschaftung und des Bewuchses meist hoch. Im Falle eines Eintrags von BAW ist damit zu rechnen, dass eine zum Abbau befähigte Mikrobiologie vorhanden und aktiv ist.

Im biologisch aktiven Oberboden herrschen unter Schweizerischen Klimabedingungen starke saisonale Temperaturunterschiede. Im Winter kann während rund drei Monaten nicht mit einer signifikanten Aktivität und mit einem Abbau von BAW im Boden gerechnet werden. Im Frühling und im Herbst ist aufgrund der Oberbodentemperaturen um 12 ± 5 °C mit einem verlangsamten Abbau zu rechnen. Einzig während der Sommermonate werden über längere Zeiträume von mehreren Wochen Temperaturen um 20 °C erreicht, wie sie in den Prüfverfahren zur Bestimmung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit für BAW festgelegt sind.

Untergeordnet, aber für einen vollständigen Abbau von BAW Restfraktionen im Boden ausschlaggebend, sind der Wassergehalt und die Sauerstoffversorgung. In landwirtschaftlich genutzten Böden sind diese beiden Parameter während der Vegetationsperiode im Mittel nicht limitierend für einen biologischen Abbau. Kurzzeitig können im vernässten (Sauerstofflimitation) oder trockenen (geringe Wasserverfügbarkeit) Oberboden Bedingungen herrschen, welche einen mikrobiologischen Abbau von BAW verhindern oder stark verlangsamen. Die in standardisierten Prüfverfahren erreichten Abbauezeiten können nicht in jedem Fall auf reale landwirtschaftliche Böden übertragen werden.

6 Technologietauglichkeit der BAW Materialien / Produkte

Die wohl kompletteste Übersicht über die in Kapitel 6 genannten Parameter in Schweizer Vergärungs- und Kompostierungsanlagen liegt in der Datenbank des Inspektoratssystems für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz (Schleiss, 2015) vor. Hier werden auf jährlicher Basis u.a. Anlage- und Betriebsdaten sowie Substratkategorien und Mengen erfasst. In diesem Kapitel wird anhand einer Gruppierung dieser Parameter gezeigt, welche Produktkategorien in welchen Anlagentypen zu erwarten sind und wie sich die für den Abbau erforderlichen Bedingungen in den jeweiligen Betriebsparametern widerspiegeln. Die Daten beziehen sich auf die durch den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz kontrollierten Anlagen (CVIS Einträge 2014). Da nicht alle Kantone den Verein Inspektorat mit der Anlagenkontrolle beauftragt haben, weichen die CVIS Daten z.T. von den totalen Zahlen ab, welche für die gesamte Schweiz und Lichtenstein gelten (Schleiss, 2016).

Für die unter 6.2 aufgeführten Anlagentypen wird die Relevanz von BAW anhand von drei Kriterien grob bewertet.

- Als „*Betriebliche Relevanz*“ werden negative Effekte definiert, welche für den Betrieb der Anlage bei einem unvollständigen Abbau der eingetragenen BAW Materialien und Frachten entstehen können (Verstopfungen, Verzopfungen, Hemmungen, Schwimmschichten).
- Unter „*Ökologischer Relevanz*“ werden negative Effekte verstanden, welche bei einem in der Anlage unvollständigen Abbau der eingetragenen BAW Materialien und Frachten durch die Verwertung der Endprodukte (Gärgut, Kompost) entstehen können (visueller Aspekt der Endprodukte, Akkumulation im Boden).
- Unter „*Normkonformität*“ wird verstanden, ob die Realbedingungen im Allgemeinen die standardisierten Abbaubedingungen (Temperatur, Abbaupzeit) der in 3.1 aufgeführten Normen widergeben oder massgeblich davon abweichen. „Nein“ bedeutet, dass unter Bedingungen des Realbetriebes nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Normbedingungen eingehalten werden. „Ja“ bedeutet entsprechend, dass im realen Betrieb die Bedingungen der entsprechenden Norm eingehalten werden.

6.1 Relevante Betriebsparameter & Bedingungen

BAW Produkte gemäss Kapitel 4.2 gelangen nicht vollständig in die Grünabfallschiene und verteilen sich nicht gleichmässig auf die vorhandenen Anlagentypen. Für die Bewertung der Anlagentauglichkeit wird von folgenden pauschalen Annahmen ausgegangen:

- Im getrennt gesammelten Grüngut der Grüngutsammlung der Gemeinden sind hauptsächlich gekennzeichnete BAW Abfallsäcke (ABFALL) anzutreffen. Aufgrund des Verwechslungsrisikos mit nicht gekennzeichneten Knotenbeuteln ist auch ein gewisser Anteil dieser Produkte vorhanden (BEUTEL). Dieser Anteil ist massgeblich abhängig von der Produktmarkierung resp. Gestaltung und kann durch gezielte Aufklärung der Bevölkerung stark gesenkt werden. Der Anteil anderer Produkte (BOXEN, BECHER, TÖPFE) ist gering, FOLIEN und UTENSILIEN sind im Grüngut keine vorhanden.

- In Material aus der Landschaftspflege und dem Gartenbau sind kaum BAW Produkte anzutreffen ausser TÖPFEN und geringen Anteilen an FOLIEN.
- Zu Abfällen aus Gewerbe & Industrie werden auch verpackte Lebensmittel gezählt. Hier finden sich die meisten BOXEN inkl. Verpackungsfolien wieder. Von Veranstaltungen können Einzelchargen von verschmutztem BAW Geschirr (BOXEN, BECHER) anfallen. Der Anteil der restlichen BAW Produkte ist gering.
- Material aus der Landwirtschaft (hier unzutreffenderweise zu den Abfallkategorien gezählt) ist kaum mit BAW Produkten belastet. Allenfalls finden sich TÖPFE oder geringe Mengen an FOLIEN in diesen Substraten.
- Im den Fraktionen Hauskehricht und Gewerbe- & Industrieabfall, welche in die Kehrichtverbrennung gelangen, finden sich allenfalls BOXEN, BECHER, BEUTEL und UTENSILIEN, die restlichen BAW Produkte gelangen nur zu einem geringen Teil in diesen Abfall.

	BAW Produktkategorie						
	BOXEN	BECHER	ABFALL	BEUTEL	TÖPFE	FOLIEN	UTENSILIEN
Grüngut	gering	gering	gross	mittel	gering	keine	keine
Gartenbau	keine	keine	keine	keine	mittel	gering	keine
Gewerbe	mittel	mittel	gering	gering	keine	keine	keine
Landwirtschaft	keine	keine	keine	keine	gering	mittel	keine
Kehricht	gross	gross	gering	gross	mittel	mittel	gross

Tabelle 9 Verteilung der BAW Produkte (gemäss Tabelle 5) **auf die Abfallkategorien**

keine	BAW Produkte sind in dieser Abfallkategorie nicht anzutreffen
gering	Ein geringer Anteil dieser BAW Produkte gelangt in die Abfallkategorie
mittel	Ein mittlerer Anteil dieser BAW Produkte gelangt in die Abfallkategorie
gross	BAW Produkte sind mehrheitlich in dieser Abfallkategorie anzutreffen

Aus dieser Einteilung lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Anlagen, welche massgebliche Anteile an Grüngut aus der Separatsammlung annehmen und verarbeiten, sind hauptsächlich mit BAW Produkten auf Stärkebasis (inkl. MaterBi®) und auf PLA Basis konfrontiert. Diese Anlagen müssen Bedingungen zum Abbau dieser Produkte erfüllen, also thermophil betrieben werden. Dies ist in den meisten industriellen Vergärungen sowie in Platzkompostierungen der Fall. Landwirtschaftliche Vergärungen erfüllen dieses Kriterium nicht, Feldrandkompostierungen teilweise. Unter thermophilen Bedingungen sind für einen vollständigen Abbau Abbauezeiten von 20 – 50 Tagen erforderlich. Diese Bedingungen werden von gewerblichen Kompostierungen erfüllt, von thermophilen Vergärungen nur teilweise resp. nur bei einer nachgeschalteten Kompostierung (der Feststoffe).
- Anlagen, welche massgebliche Anteile an gewerblichen Abfällen mit verpackten Lebensmitteln annehmen, sind ebenfalls mit BAW Produkten auf Stärkebasis und auf PLA Basis konfrontiert. Da diese Abfälle zwingendermassen entweder thermophil behandelt oder einer vorgeschalteten Hygienisierung (70 °C) unterzogen werden, kann von einem vollständigen Abbau ausgegangen werden, wenn die erforderlichen Abbauezeiten eingehalten werden.

- In Anlagen, welche erhebliche Mengen an Abfällen aus dem Gartenbau annehmen und verarbeiten, können punktuell BAW Pflanztöpfe und Kulturschalen anfallen. Auch hier gelten die erforderlichen Abbaubedingungen für PLA, also eine thermophile Betriebsführung und Abbaueiten von mehreren Wochen.
- Landwirtschaftliche Vergärungen und Feldrandkompostierungen, welche kein Material aus der Grüngutsammlung und keine verpackten Lebensmittel annehmen und behandeln, sind kaum mit BAW Produkten belastet. Allenfalls können in der Feldrandkompostierung einzelne Chargen an Mulchfolien eingetragen werden, welche in der Kultur nicht abgebaut wurden.

6.2 Bedingungen in Schweizer Grüngutverwertungsanlagen

Durch den Verein Inspektorat der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz wurden 2014 insgesamt 244 Anlagen überwacht (Tabelle 10). Dies stellt rund 2/3 der insgesamt 368 Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz und in Liechtenstein dar (Schleiss, 2016). Für die vorliegende Betrachtung werden die Vergärungsanlagen unterteilt in landwirtschaftliche Co-Vergärungen und industriell-gewerbliche Vergärungen. Zusätzlich werden anaerobe Schlammfäulungen auf ARA in die Betrachtung mit einbezogen. Kompostierungen werden in industriell-gewerbliche und in Feldrandkompostierungen unterteilt. Zusätzlich wird die Garten- und Hauskompostierung mit in die Betrachtung aufgenommen.

Anlagentyp ↓	verarbeitete Jahresmenge (Input) [t/a]				Anzahl Anlagen	
	<1000	1000-5000	>5000	>10000	CVIS	Schleiss
CO-Vergärung / VGÄ-LW	14	22	1	5	42	72
Vergärung Boxen	0	0	0	2	2	2
Vergärung Pflopfstrom	0	1	4	18	23	25
Kompostierung Boxen	1	2	4	1	8	8
Kompostierung Halle	0	1	2	2	5	5
Kompostierung Platz	27	43	12	9	91	144
Kompostierung Feldrand	46	18	0	0	64	102
nur Sammelplatz	5	2	2	0	9	10
Total (CVIS)	93	89	25	37	244	
<i>Total (Schleiss, 2016)</i>	<i>168</i>	<i>131</i>	<i>30</i>	<i>39</i>		<i>368</i>

Tabelle 10 Anzahl Grüngutverwertungsanlagen nach Typ und Grösse

6.2.1 Landwirtschaftliche CO-Vergärungsanlagen (VGÄ – LW)

In der Schweiz sind 72 landwirtschaftliche Co-Vergärungsanlagen erfasst, 29 davon verarbeiten <1'000 t/a an Abfällen, 38 Anlagen verarbeiten zwischen 1'000 und 5'000 t/a und lediglich 5 Anlagen besitzen eine Kapazität zur Verarbeitung von >5'000 t/a an Abfällen. Insgesamt verarbeiten die landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlagen ca. 140'000 t/a an organischen Abfällen (ohne Hofdünger).

BAW relevante Flüsse

31 der 72 landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen nehmen insgesamt ca. 28'000 t/a an Abfällen aus der gemeindeeigenen Separatsammlung an. In einer Mehrheit von 66 Anlagen werden jährlich insge-

samt über 100'000 t/a gewerblich-industriellen Abfälle verarbeitet. Abfälle aus dem Gemeindedienst oder aus der Industrie werden dabei auch in vielen kleinen Anlagen (Verarbeitungsmenge <1'000 t/a an Abfällen) verarbeitet.

Betriebsparameter

Landwirtschaftliche Co-Vergärungen werden als ein- oder zweistufige quasi-kontinuierlich beschickte Rührkesselfermenter mit innen liegender Durchmischung betrieben. Aufgrund der eher tiefen Gehalte an TS von 4 – 8 % findet eine schnelle und gleichmässige Durchmischung statt. Die hydraulischen Verweilzeiten liegen zwischen 30 und 100 Tagen, vereinzelt und kurzfristig sind Verweilzeiten unter 15 Tagen anzutreffen. Der Mittelwert der hydraulischen Verweilzeit im biologisch aktiven Milieu, d.h. im mesophilen Fermenter und allenfalls im mesophilen Nachgärer liegt bei 58 d. Die Beschickungsintervalle liegen zwischen 1 – 24 h, diese Zeiten entsprechen auch den minimalen hydraulischen Verweilzeiten. Landwirtschaftliche Co-Vergärungen werden im Allgemeinen mesophil bei T = 35 – 45 °C, einzelne Anlagen thermophil bei 50 – 55 °C betrieben. In 8 Anlagen ist eine thermische Hygienisierungsstufe (70 – 90 °C) für TNP (z.B. verpackte Lebensmittel) vorgeschaltet.

Sämtliche landwirtschaftlichen Covergärungen weisen gedeckte oder offene Stapeltanks für flüssiges Gärgut resp. für die Flüssigfraktion im Falle einer nachgeschalteten fest/flüssig Trennung auf. Die Stapeltanks werden nicht beheizt und besitzen ihrer Funktion gemäss stark schwankende Volumen und Verweilzeiten. Sie werden als wenig bis nicht relevant für die Beurteilung des Abbaus von BAW betrachtet.

8 landwirtschaftliche Co-Vergärungen weisen eine Nachkompostierung der abgetrennten Gärgutfestfraktion auf. Für diese Nachkompostierungen gelten in den meisten Fällen Bedingungen, wie sie in mittleren Platzkompostierungen herrschen. Selten wird die Festfraktion in Feldrandkompostierungen geführt.

<i>Factbox Landwirtschaftliche Co-Vergärung</i>		
<i>Temperatur</i>	35 – 45 °C	
<i>Mittlere Verweilzeit</i>	58 d (30 – 100 d)	
<i>Minimale Verweilzeit</i>	<24 h	
<i>Abbau zu erwarten für</i>	STÄRKE, FASERN BEUTEL (Mater-Bi®), TÖPFE	
<i>Abbau problematisch für</i>	PLA, PHA, Feinanteil <200 µm BOXEN, BECHER, ABFALL, BEUTEL (PLA), FOLIEN	
<i>Betriebliche Relevanz BAW</i>	hoch	
<i>Ökologische Relevanz BAW</i>	hoch	
<i>Normkonformität</i>	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	Nein
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	Nein

6.2.2 Industrielle Vergärungsanlagen (VGÄ – IND)

In der Schweiz sind 2014 insgesamt 27 industrielle Vergärungsanlagen erfasst. Alle Anlagen verarbeiten >5'000 t/a an Abfällen. In sämtlichen Anlagen werden sowohl Grünabfälle aus der Separatsammlung (>230'000 t/a), Abfälle aus dem Gartenbau (>73'000 t/a) als auch gewerblich-industrielle Abfälle (120'000 t/s) verarbeitet.

Betriebsparameter

Die meisten industriellen Vergärungen werden als thermophile längsdurchströmte Fermenter bei 52 – 55 °C betrieben. Vereinzelt sind Boxenvergärungen (2) und mesophile Anlagen (2) in Betrieb. Den Boxenvergärungen ist jeweils eine Kompostierung nachgeschaltet. Die mesophil betriebenen Anlagen nehmen kein Grüngut aus der Separatsammlung an.

Die längs durchströmten Fermenter werden mehrmals täglich (quasi kontinuierlich) beschickt. Aufgrund des hohen TS Gehaltes von meist >20% TS erfolgt nur eine geringe Rückmischung. Bei zeitweise herrschenden tieferen TS Gehalten und infolge der üblichen Rückmischung von Fermenterauslauf liegt die minimale Verweilzeit teilweise im Bereich von einem Tag. Durchschnittlich weisen die thermophilen Pfropfstromreaktoren eine hydraulische Verweilzeit von 21 Tagen auf. Einzelne Fermenter werden bei 12 – 15 Tagen Verweilzeit betrieben. Bei vielen Anlagen variiert die hydraulische Verweilzeit in Abhängigkeit des saisonalen Anfalls an Substraten. Im Sommer liegt sie um 20 – 40% tiefer (13 – 17 Tage), im Winter um 20 – 40% höher (25 – 29 Tage).

Die meisten industriellen Vergärungsanlagen betreiben eine Nachkompostierung der Festfraktion aus der Gärgutseparierung resp. der gesamten Gärgutfraktion (Boxenvergärungen). Die Nachkompostierungen werden meist nur über kurze Zeiten von wenigen Wochen in der thermophilen Phase (55 – 65 °C) geführt.

<i>Factbox Industrielle Vergärungsanlagen</i>		
<i>Temperatur</i>	52 – 55 °C	
<i>Mittlere Verweilzeit</i>	21 d	
<i>Minimale Verweilzeit</i>	<24 h	
<i>Abbau zu erwarten für</i>	FASERN, STÄRKE, PLA BOXEN, BECHER, ABFALL, BEUTEL, TÖPFE	
<i>Abbau problematisch für</i>	PHA FOLIEN	
<i>Betriebliche Relevanz BAW</i>	mittel	
<i>Ökologische Relevanz BAW</i>	hoch	
<i>Normkonformität</i>	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	Nein
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	Nein

6.2.3 Platzkompostierung / Gewerbliche Kompostierung (KOMP – IND)

In der Schweiz sind 2014 insgesamt 157 gewerbliche Kompostierungen erfasst. 13 Anlagen sind geschlossene Boxen- oder Hallenkompostierungen, die Mehrheit (144 Anlagen) wird als offene Platz-

kompostierung mit Dreiecks- oder Trapezmieten von 1.2 – 4.5 m Höhe geführt. Der Vergärung nachgeschaltete Nachkompostierungen sind in diesen Zahlen nicht inbegriffen. 58 Anlagen verarbeiten jährlich weniger als 1'000 t Material, 64 Anlagen verarbeiten je zwischen 1'000 und 5'000 t/a und 35 Anlagen verarbeiten je >5'000 t/a.

BAW relevante Flüsse

Von den jährlich in den Schweizer Platzkompostierungen insgesamt 600'000 t/a verarbeiteten Materialien stammen gegen 300'000 t/a aus Grüngutsammlungen der Gemeinden. Der Rest stammt vorwiegend aus der Landschaftspflege und dem Gartenbau. 138 Anlagen (88%) verarbeiten Material aus der Grüngutsammlung, 37 Anlagen (24%) nehmen insgesamt gegen 24'000 t/a an gewerblich-industriellen Abfällen an.

In sämtlichen Anlagen wird das angenommene Material aus Grüngutsammlungen und aus Gewerbe / Industrie mechanisch zerkleinert. Ausnahmen bilden allenfalls flüssige Chargen. In diesen ist jedoch nicht mit einem Besatz an BAW zu rechnen. Der Anteil an Grüngut aus Haushalten, welcher nicht offen gesammelt (Container, Mulden), sondern in BAW Gebinden (Kompostsäcke) angeliefert wird, ist nicht bekannt, liegt jedoch aufgrund der Sammellogistik teilweise recht hoch. Gewerbliche und industrielle Abfälle können teilweise verpackt angeliefert werden. Aufgrund der hohen Energiedichte oder der hohen Feuchte werden diese Abfälle jedoch mehrheitlich in Vergärungsanlagen verwertet. Vor allem in den Anlagen mit grösseren verarbeiteten Mengen werden zerkleinerte Abfälle gesiebt, hier erfolgt eine weitgehende Abscheidung flächiger und eine teilweise Abscheidung stückiger Kunststoffe. Mehrheitlich werden die Endprodukte ebenfalls gesiebt, wobei nochmals eine Abtrennung allfällig verbliebener flächiger Kunststoffe erfolgt.

Betriebsparameter

Platzkompostierungen sowie Hallen-/Boxenkompostierungen stellen in Bezug auf Temperatur, Sauerstoffversorgung und Feuchte weitgehend homogene Volumen dar. Sämtliche Anlagen werden im Normalbetrieb während der ersten 3 – 6 Wochen ein- mehrmals wöchentlich umgeschichtet. Dabei werden Temperaturen von 60 – 75 ° erreicht. Sowohl stückige als auch flächige Kunststoffe werden beim Umschichten teilweise zerkleinert. Die Betriebsführung wird anhand von Rotteprotokollen dokumentiert. Einheitliche Temperaturverläufe und minimale resp. durchschnittliche Verweilzeiten bestehen aufgrund der unterschiedlichen Substratmengen und Qualitäten nicht. Aufgrund der geltenden Qualitätsanforderungen an Komposte kann davon ausgegangen werden, dass im Normalfall Platz-, Hallen- und Boxenkompostierungen eine gesicherte minimale Verweilzeit von 21 Tagen bei Temperaturen über 55 °C einhalten. Heissrottephasen von >40 d werden teilweise, von >60 d kaum erreicht. Mesophile Reifephase von >60 d hingegen sind üblich.

<i>Factbox Platzkompostierung</i>	
<i>Temperatur</i>	<i>30 – 75 °C, mind. 21 d bei >55 °C</i>
<i>Mittlere Verweilzeit</i>	<i>60 – 90 d</i>
<i>Minimale Verweilzeit</i>	<i>21 d thermophil, 30 d mesophil</i>
<i>Abbau zu erwarten für</i>	<i>FASERN, STÄRKE, PLA</i> <i>BOXEN, BECHER, ABFALL, TÖPFE</i>
<i>Abbau problematisch für</i>	<i>PHA</i> <i>BEUTEL, FOLIEN, z.T. ABFALL</i>

Betriebliche Relevanz BAW	gering	
Ökologische Relevanz BAW	hoch	
Normkonformität	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	Nein
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	nicht relevant

6.2.4 Feldrandkompostierung (KOMP – FRK)

In der Schweiz sind 2014 insgesamt 104 Feldrandkompostierungen erfasst. 78 Anlagen verarbeiten jährlich weniger als 1'000 t Material, 25 Anlagen verarbeiten je zwischen 1'000 und 5'000 t/a. Eine Anlagengruppe verarbeitet >10'000 t/a.

Flüsse

Von den jährlich in den Schweizer Feldrandkompostierungen insgesamt über 100'000 t/a verarbeiteten Materialien stammen 66'000 t/a aus Grüngutsammlungen der Gemeinden. Der Rest stammt vorwiegend aus der Landschaftspflege und dem Gartenbau. 91 Anlagen (88%) verarbeiten Material aus der Grüngutsammlung. Der Anteil an Grüngut aus Haushalten, welcher in BAW Gebinden (Kompostsäcke) angeliefert wird, ist nicht bekannt, liegt jedoch aufgrund der Sammellogistik sehr tief. Fallweise gelangen abgeräumte Chargen kompostierbarer Mulchfolien mit einem geringen Erdanteil in die Feldrandkompostierung. 15 Anlagen verarbeiten insgesamt ca. 3'600 t/a gewerblich-industrieller Abfälle. Nur die wenigsten Anlagen setzen eine vorgeschaltete Fremdstoffabscheidung ein. Flächige Kunststoffe werden teilweise von Hand ab Miete aussortiert.

Betriebsparameter

Feldrandkompostierungen weisen systembedingt grössere Randeffekte auf, als die meisten Platzkompostierungen. Durch die geringere Mietenhöhe (1.2 – 1.5, selten bis 2.5 m), die längere Kompostierzeit (2 – 12 Monate) und die unterschiedlich intensive Umschichtung / Belüftung (mehrmals wöchentlich – 2-monatlich) entstehen Randzonen mit geringerer Temperatur und tiefem oder erhöhtem Feuchtegehalt. In diesen Randzonen ist die mikrobiologische Aktivität abgesenkt.

In den weitaus meisten Feldrandkompostierungen werden die Mieten während der anfänglichen 3–6–wöchigen Heissrottephase bei Temperaturen von 55 – 70 °C ein- bis mehrmals pro Woche umgeschichtet. Dabei werden stückige Materialien mechanisch zerschlagen. Folien werden nur unzureichend zerkleinert. Die Betriebsführung wird anhand von Rotteprotokollen dokumentiert. Eine allgemein gültige Angabe von Temperatur und Verweilzeit ist nicht möglich. Aufgrund der geltenden Qualitätsanforderungen an Komposte kann davon ausgegangen werden, dass im Normalfall Feldrandkompostierungen eine gesicherte minimale Verweilzeit von 21 d bei Temperaturen über 55 °C einhalten. Heissrottephasen von >40 d werden kaum erreicht. Mesophile Reifephase von >60 d hingegen sind üblich.

<i>Factbox Feldrandkompostierung</i>	
Temperatur	30 – 70 °C, mind. 21 d bei >55 °C
Mittlere Verweilzeit	60 – 360 d
Minimale Verweilzeit	21 d thermophil, 60 d mesophil

Abbau zu erwarten für	FASERN, STÄRKE TÖPFE	
Abbau problematisch für	PLA, PHA BOXEN, BECHER, ABFALL, BEUTEL, FOLIEN	
Betriebliche Relevanz BAW	gering	
Ökologische Relevanz BAW	hoch	
Normkonformität	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	Ja
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	nicht relevant

6.2.5 Faultürme kommunaler ARA (VGÄ – ARA)

Die Betriebsparameter und Flüsse von Faultürmen kommunaler ARA werden in CVIS nicht erfasst. Die hier gemachten Aussagen basieren auf Erfahrungswerten und nicht auf real erhobenen Datensätzen.

Betriebsparameter

Bei der Schlammfäulung kommen in den weitaus meisten ARA in der Schweiz quasi-kontinuierlich beschickte Rührkesselfermenter mit innen oder aussen liegender Durchmischung vor. Aufgrund der eher tiefen Gehalte an TS von 3 – 6 % findet eine schnelle und gleichmässige Durchmischung statt. Die durchschnittlichen hydraulischen Verweilzeiten liegen zwischen 18 und über 30 Tagen. Die Beschickungsintervalle liegen zwischen 1 – 24 h, diese Zeiten entsprechen auch den minimalen hydraulischen Verweilzeiten. Schlammfäulungen werden im Allgemeinen mesophil bei $T = 32 - 38 \text{ °C}$ betrieben.

Flüsse

Schlammfäulungen in ARA werden mit gemischten Schlämmen aus der Abwasserreinigungsanlage sowie teilweise mit Fremdschlämmen aus externen ARA beschickt. Diese Schlämme enthalten verschwindend kleine Anteile an BAW. Dies einerseits, da aufgrund des gesetzlichen Verbotes und der Stückgrösse über die Kanalisation kaum grössere Mengen an BAW Materialien entsorgt werden. Andererseits sind die meisten ARA abwasser- und/oder schlammseitig mit Fremdstoffabscheidern (Feinrechen, Siebe, Strainpress) ausgestattet, welche Kunststoffpartikel $>4 - 10 \text{ mm}$ entfernen. Für gezielt dem häuslichen Abwasser zugegebenen BAW, wie z.B. Verpackungsfolien von Waschmitteltabs, findet bereits in der Kanalisation resp. in der biologischen Stufe der ARA ein vollständiger Abbau statt.

Wo Schlammfäulungen kommunaler ARA mit einer Co-Vergärung externer Abfälle betrieben werden. Ist ein Eintrag von BAW Materialien in die Fäulung möglich und im Falle verpackter Lebensmittel wahrscheinlich. Dabei handelt es sich meist um sortenreine Verpackungsmaterialien, z.B. aus Stärke oder PLA. Vor dem Eintrag in die Fäulung findet eine mechanische Zerkleinerung (Hammermühlen) und Kunststoffabscheidung (Windsichter) statt. Ein Eintrag grösserer Mengen an Folien und Beuteln resp. von Grüngut aus der kommunalen Sammlung findet nicht statt.

<i>Factbox Faultürme kommunaler ARA</i>	
Temperatur	32 – 38 °C
Mittlere Verweilzeit	18 – 30 d

Minimale Verweilzeit	1 – 24 h	
Abbau zu erwarten für	STÄRKE	
Abbau problematisch für	FASERN, PLA, PHA, Feinanteil <200 µm BOXEN, BECHER, ABFALL, BEUTEL, TÖPFE, FOLIEN	
Betriebliche Relevanz BAW	gering	
Ökologische Relevanz BAW	keine	
Normkonformität	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	nicht relevant
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	Nein

6.2.6 Haus- & Gartenkompostierung (KOMP – HGK)

Die Betriebsparameter und Flüsse von Haus- & Gartenkompostierungen werden in CVIS nicht erfasst. Die hier gemachten Aussagen basieren auf Erfahrungswerten und nicht auf real erhobenen Datensätzen.

Betriebsparameter

In den weitaus meisten Schweizer Haus- und Gartenkompostierungen findet keine Temperaturführung und keine intensive Durchmischung und Belüftung statt. Die Temperaturen liegen oft nur 5 – 10 °C über der herrschenden Umgebungstemperatur. In Kernzonen können Temperaturen von >60 °C erreicht werden, eine gleichmässige Temperaturverteilung und vollständige Abdeckung allen Materials mit thermophilen Bedingungen findet nicht statt. Die durchschnittlichen Verweilzeiten liegen zwischen wenigen Monaten bis zu mehreren Jahren.

Flüsse

Haus- und Gartenkompostierungen werden mit Material aus dem Grünflächen- und Gartenunterhalt sowie mit Küchenabfällen beschickt. Ein Eintrag grösserer Mengen an BAW z.B. durch Verpackungen oder Beutel ist wenig wahrscheinlich. Das eingetragene Material wird durch die Betreiber visuell kontrolliert, grössere Kunststoffstücke (auch BAW) werden in der Regel aussortiert. Es findet keine mechanische Zerkleinerung statt. Die Menge an bewusst in die Gartenkompostierung eingebrachten Kompostbeutel oder Mulchfolien ist verschwindend gering.

<i>Factbox Haus- & Gartenkompostierung</i>		
Temperatur	10 - 60 °C	
Mittlere Verweilzeit	60 - >300 d	
Minimale Verweilzeit	60 - >300 d	
Abbau zu erwarten für	FASERN, STÄRKE	
Abbau problematisch für	PLA, PHA, MaterBi®, Feinanteil <200 µm BOXEN, BECHER, ABFALL, BEUTEL, TÖPFE, FOLIEN	
Betriebliche Relevanz BAW	gering	
Ökologische Relevanz BAW	mittel	
Normkonformität	„vollständige Abbaubarkeit“ (EN 13432)	Nein
	„kompostierbar“ (EN 13432)	Nein
	„anaerob abbaubar“ (EN 14853)	nicht relevant

6.3 Schlussfolgerungen

6.3.1 Repräsentativität der Testverfahren

Die Prüfung von BAW Materialien und Produkten auf ihre vollständige biologische Abbaubarkeit hat sich in den meisten Fällen durchgesetzt. Die Prüfverfahren sind standardisiert und die Resultate nachvollziehbar und vertrauenswürdig. Ebenso ist die Zertifizierung von BAW Materialien und die entsprechende Bezeichnung mit einem Label geeignet, diese Produkte für den Konsumenten zu kennzeichnen. Die Tauglichkeit von Normen und Verfahren zur Beurteilung des Verhaltens von BAW Materialien und Produkten unter Realbedingungen ist aber in Frage zu stellen. Die innerhalb der Normen angewendeten Verfahren zur Bestimmung der Abbaubarkeit basieren nicht auf denselben Bedingungen für Abbauezeit und Temperatur, wie sie in technischen Anlagen herrschen (Tabelle 11). Die meisten standardisierten Verfahren erlauben deutlich längere Zeiten für den Abbau, als sie in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen vorherrschen (Bedingungen der einzelnen Normen / Verfahren vgl. 3 Normen, Prüfverfahren und Parameter).

Die zur Zertifizierung resp. zur Kennzeichnung „*biologisch abbaubar*“ nicht obligatorischen anaeroben Testverfahren sind gut geeignet, die realen Bedingungen in Vergärungsanlagen abzubilden. Sie sollten im Hinblick auf die vermehrte, in Zukunft gebietsweise flächendeckende Verwertung von Grüngut und organischen Abfällen in Biogasanlagen für die Zertifizierung resp. Kennzeichnung „*biologisch abbaubar*“ für obligatorisch erklärt werden.

Zur Beurteilung des realen Verhaltens von BAW in Kompostierungen geeignet erweist sich die häufig angewandte Norm DIN EN 13432. Sie bildet aufgrund der obligatorischen Technikumsprüfung die realen Kompostbedingungen zuverlässig ab und die Kennzeichnung „*kompostierbar*“ ist auf technische Anlagen übertragbar. Die einzelnen untergeordneten Verfahren, welche zu einer Kennzeichnung „*biologisch abbaubar*“ führen (EN ISO 14851, 14852, 14953, 14855, 15985) beschreiben hingegen das Verhalten unter technischen Kompostbedingungen nicht ausreichend.

	Anlagentyp				
	VGÄ – LW	VGÄ – IND	VGÄ – ARA	KOMP – FRK	KOMP – IND
DIN V 54900	N(ae)	N(ae)	N(ae)	T	N(z)
- DIN V 54900-2	N(ae)	N(ae)	N(ae)	T	N(z)
- DIN V 54900-3	N(ae)	N(ae)	N(ae)	J	J
DIN EN 13432	N(ae)	N(ae)	N(ae)	J	J
- EN ISO 14851	N(ae)	N(ae)	N(ae)	N(z)	N(z)
- EN ISO 14852	N(ae)	N(ae)	N(ae)	N(z)	N(z)
- EN ISO 14855	N(ae)	N(ae)	N(ae)	T	N(z)
- EN ISO 14853	T	N(T,z)	N(z)	N(anae)	N(anae)
- EN ISO 15985	N(T)	J	N(T)	N(anae)	N(anae)
ASTM D 6400	N(ae)	N(ae)	N(ae)	T	N(z)
EN ISO 17556	N(ae,T)	N(ae,T)	N(ae,T)	N(T)	N(T)

Tabelle 11 Übereinstimmung von BAW Normabbaubedingungen mit Realbedingungen

J	Die Norm resp. das Verfahren stimmt mit den Betriebsbedingungen des entsprechenden Anlagentyps überein.
T	Die Norm resp. das Verfahren stimmt nur teilweise mit den Betriebsbedingungen des entsprechenden Anlagentyps überein.
N	Die Norm resp. das Verfahren stimmt nicht mit den Betriebsbedingungen des entsprechenden Anlagentyps überein.
(ae) (anae)	Die Norm resp. das Verfahren bezieht sich nicht auf die aeroben resp. anaeroben Milieubedingungen, ist also für den Anlagentyp nicht relevant.
(T)	Die Norm resp. das Verfahren bezieht sich nicht auf die üblichen Temperaturen technischer Anlagen.
(z)	Die Norm resp. das Verfahren bezieht sich nicht auf die üblichen Behandlungszeiten technischer Anlagen.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Begriffe „100% biologisch abbaubar“ resp. „100% kompostierbar“ aufgrund der eingesetzten Testverfahren unpräzise sind. Kein Verfahren verlangt den Nachweis eines vollständigen Stoffumsatzes. Vollständige Abbaubarkeit wird bereits bei einem Stoffumsatz von 50 – 90 % attestiert.

6.3.2 Technologietauglichkeit BAW

Direktive und absolute Aussagen zur Tauglichkeit bestimmter Substrate, Materialien oder Abfälle für einzelne Technologieschritte sind gerechtfertigt. Wenn sich die Aussagen jedoch auf Anlagekonfigurationen beziehen, welche unterschiedliche Technologieschritte kombinieren, sind absolute Aussagen mit Vorsicht zu genießen. Als geeignet für absolute Aussagen hat sich (in Anlehnung an HACCP

Konzepte) die Bestimmung kritischer Punkte entlang einer Kette erwiesen. Ein kritischer Punkt bestimmt durch seine Parameter absolut das Verhalten eines Stoffes oder Flusses, unabhängig der vorgeschalteten oder nachgeschalteten Technologieschritte.

Diese durch den kritischen Technologieschritt definierte Technologietauglichkeit ist zu unterscheiden von der individuellen Anlagentauglichkeit. So kann z.B. eine zum vollständigen Abbau von Mulchfolien nicht geeignete Platzkompostierung (Technologieuntauglichkeit) durchaus in einer Anlage betrieben werden, welche durch vorgeschaltete (z.B. Handauslese) oder nachgeschaltete (z.B. Windsichter) Technologien zur Verarbeitung ebendieser Mulchfolien geeignet ist (Anlagentauglichkeit). Im Sinne der Lenkung von Abfällen mit BAW Anteil muss die Technologietauglichkeit als primäres Beurteilungskriterium (*soll / soll nicht*) angewandt werden. Die Anlagentauglichkeit dient zusätzlich als Kriterium für Spezialfälle (*kann / kann nicht*).

Für die Bewertung der Tauglichkeit von Verfahrensketten und Anlagentypen zum Abbau von BAW Materialien und Produkten wird hier das biologische Hauptverfahren als kritischer Technologieschritt definiert, also der anaerobe Fermenter oder die aerobe Kompostierung.

Mesophil betriebene landwirtschaftliche Vergärungen sind aufgrund der tiefen Temperaturen generell nicht geeignet, den realen Mix an BAW Produkten in Grüngut und Gewerbeabfällen weitgehend abzubauen (Tabelle 12). Für sortenreine Faserprodukte oder Chargen aus Stärkeprodukten (BOXEN) ist ein Abbau zu erwarten (Tabelle 13). Nicht abgebaute Restgehalte von Faserprodukten beeinträchtigen die Gärgutqualität kaum. Flächige BAW Produkte und jegliche Art von Säcken und Beuteln (auch Compobags) sind in landwirtschaftlichen Covergärungen fehl am Platz.

		Anlagentyp					
		VGÄ – LW	VGÄ – IND	VGÄ – ARA	KOMP – FRK	KOMP – IND	KOMP – HGK
Produkttyp	BOXEN	STOP [#]	OK	OK*	STOP	OK	STOP
	BECHER	STOP [#]	OK	OK*	STOP	OK	STOP
	ABFALLSÄCKE	STOP	OK	STOP**	STOP	OK	STOP
	BEUTEL	STOP	OK	STOP**	STOP	OK	STOP
	TÖPFE	STOP [#]	OK	OK*	OK [#]	OK	OK [#]
	FOLIEN	STOP	STOP	STOP**	STOP	STOP	STOP
	UTENSILIEN	STOP	STOP ^{##}	STOP	STOP	STOP ^{##}	STOP

Tabelle 12: Technologietauglichkeit von BAW Produkten aufgrund der Abbaueigenschaften

OK	BAW Produkt ist generell zur Verarbeitung im Anlagentyp geeignet.
STOP	BAW Produkt ist nicht zur Verarbeitung im Anlagentyp geeignet.
*	Im ARA Faulturm führt unvollständiger Abbau nicht zu einer Einbusse der Produktqualität.
**	In Faultürmen von ARA können flächige Kunststoffe zu Verzopfungen, Verstopfungen oder Schwimmschichten führen.
#	In Abhängigkeit des BAW Materials, siehe Tabelle 13
##	Ausgenommen „Business-to-Business“ Fälle, also geschlossene Chargen

z.B. aus der Produktion oder von Anlässen.

Thermophil betriebene industrielle Vergärungen (Grüngutvergärungen) sind aufgrund der hohen Temperaturen generell geeignet, den realen Mix an BAW Produkten in Grüngut und Gewerbeabfällen abzubauen (Tabelle 12). Für flächige BAW Produkte speziell auf PLA Basis ist bei den teilweise kurzen Verweilzeiten ein unvollständiger Abbau zu erwarten. Hier soll generell auf eine funktionsfähige Nachkompostierung (nicht lediglich auf eine kurze Nachbelüftung) Wert gelegt werden, um einen vollständigen Abbau und damit eine hohe Produktqualität zu erreichen. Grössere Chargen an Folien und stückige BAW Utensilien sind in industriellen Vergärungen fehl am Platz.

Der Spezialfall der mesophilen Faulung von kommunalen Schlämmen ist generell aufgrund der tiefen Temperaturen und der vergleichsweise kurzen Verweilzeiten nicht geeignet, einen weitgehenden Abbau von BAW herbeizuführen. Da hier der Aspekt der Produktqualität nur sehr untergeordnet zum Tragen kommt, können nicht-flächige BAW, z.B. Verpackungen von Lebensmitteln, für die Verwertung toleriert werden. Flächige BAW Produkte und jegliche Art von Säcken und Beuteln (auch Combags) sowie stückige BAW Utensilien sind in kommunalen Faultürmen fehl am Platz.

Industrielle Kompostierungen (Platz, Hallen- oder Boxenkompostierung) verarbeiten in der Schweiz einen grossen Teil des separat gesammelten Grünguts. Sie sind damit allenfalls mit einem breiten Mix an BAW Produkten und Materialien konfrontiert. Aufgrund der thermophilen Prozessführung und der meist ausreichend langen Rottezeiten ist für alle gängigen BAW Materialien ein weitgehender Abbau zu erwarten. Einzig bei flächigen Produkten wie Folien, Beuteln und Säcken (auch Combags) ist Vorsicht geboten. Hier kann bei unzureichender Zerkleinerung ein unvollständiger Abbau auftreten. Stückige BAW Utensilien sind in Platzkompostierungen fehl am Platz.

Für die Entsorgung in der Haus- und Gartenkompostierung sind BAW Produkte generell nicht geeignet. Geringe Mengen an Fasermaterialien oder Pflanztopfen können bei entsprechender Zerkleinerung toleriert werden.

		Anlagentyp					
		VGÄ – LW	VGÄ – IND	VGÄ – ARA	KOMP – FRK	KOMP – IND	KOMP – HGK
Materialtyp	FASERN	OK	OK	OK*	OK	OK	OK
	STÄRKE	OK	OK	OK*	OK	OK	STOP
	PLA	STOP	OK	OK*	STOP	OK	STOP
	PHA	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP

Tabelle 13 Technologietauglichkeit von BAW Materialien aufgrund der Abbaueigenschaften

OK	BAW Material ist generell zur Verarbeitung im Anlagentyp geeignet.
STOP	BAW Material ist nicht zur Verarbeitung im Anlagentyp geeignet.
*	Im ARA Faulturm führt unvollständiger Abbau nicht zu einer Einbusse der Produktqualität.

Landwirtschaftliche Feldrandkompostierungen werden teilweise unter denselben Bedingungen geführt, wie industrielle Platzkompostierungen. Dennoch ist bei der Feldrandkompostierung aufgrund der Randeffekte und der teilweise tieferen Temperaturen Vorsicht bei der Behandlung von BAW geboten. PLA haltige Materialien und damit viele Produkte, welche im realen Mix an BAW Produkten in Grüngut und Gewerbeabfällen vorhanden sind, werden in der Feldrandkompostierung nicht gesichert abgebaut. Flächige BAW Produkte und jegliche Art von Säcken und Beuteln (auch Compobags) sowie stückige BAW Utensilien sind in der Feldrandkompostierung fehl am Platz.

7 Empfehlungen

Dieses Kapitel macht Empfehlungen zu BAW Produkten in Hinblick auf eine Vollzugshilfe zur neuen VVEA Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (BAFU, 2016), welche seit dem 1.1.2016 in Kraft ist. Zudem wird die momentan unbefriedigende Situation der fehlenden praktikablen Nachweismethoden von (Bio-)Kunststoffen in Gärgut und Kompost angesprochen.

7.1 Relevanz von BAW und Information

Eine vermehrte Aufklärung und eine gezielte Informationen der Bevölkerung zu sämtlichen Umweltaspekten von BAW sind notwendig. Die BAW Branche wird aufgefordert, bei der Bewerbung ihrer Produkte (und deren Verwertung) weiterhin konsequent zu unterscheiden zwischen der verwertungsbezogenen Produkteigenschaft „*biologisch abbaubar*“ resp. „*kompostierbar*“ oder „*vergärbar*“ und der ressourcenbezogenen Produktbezeichnung „*aus erneuerbaren Ressourcen*“ resp. „*aus nachwachsenden Rohstoffen*“.

Es sollen nur Produkte mit „*biologisch abbaubar*“ resp. mit „*kompostierbar*“ oder „*vergärbar*“ beworben werden, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Gewerbeabfall- oder Grüngutschiene landen oder hier gewollt und erwünscht sind. Produkte, welche trotz ihrer Abbaubarkeit in der Grüngutschiene nicht erwünscht sind, sollen entsprechend beworben resp. gekennzeichnet werden.

Die Kennzeichnung von BAW Abfallbeuteln mit Gitterdruck hat sich als sinnvoll und richtig erwiesen. Sowohl Abfallbeutel mit Gitterdruck als auch andere Gitterdrucksäcke stellen in Biogas- und Kompostierungsanlagen kein flächendeckendes Problem dar. Wo sie in der anaeroben Stufe nicht vollständig abgebaut werden, können sie mehrheitlich durch die nachfolgende Siebung, Kompostierung oder Windsichtung eliminiert werden. Das Risiko einer Produktverschmutzung mit Gitterdruckmaterial ist als gering und als wenig problematisch zu bezeichnen. An der Gitterdruckkennzeichnung soll festgehalten werden

Die Bestrebungen der Branche, eine weitere klar identifizierbare Kennzeichnung für Produkte zu generieren, welche nicht mit Gitterdruck versehen werden können, sind zu unterstützen. Die Kennzeichnung und die Produktgestaltung muss dabei klar die Botschaft „*gehört in die Grünabfallschiene*“ zum Ausdruck bringen.

Die betriebliche Relevanz von BAW für Vergärungs- und Kompostierungsanlagen und für deren Produkte Gärgut und Kompost ist im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen unklar. Es besteht Grund zur Annahme, dass BAW Produkte an und für sich keinerlei Relevanz für die Entsorgungsbetriebe und die Anwendung der Produkte haben, sondern, dass ihre Relevanz mit derjenigen fossiler Kunststoffe gleich gesetzt wird.

Die ökologische Relevanz und der Verbleib von BAW Produkten im Boden sind nach wie vor unklar. Inwiefern nicht abgebaute BAW zu einer Akkumulation in Böden führen können, ist unbekannt, ebenso, ob es zu einer Aufnahme entlang der Nahrungskette oder zu einem Auswaschen von im Boden unerwünschten Zusatzstoffen kommen kann (leachables und extractables). Es wird empfohlen, eine allgemein verständliche Publikumsinformation in Form von z.B. einer Übersicht über den Stand des Wissens durchzuführen.

7.2 Berücksichtigung von BAW in Positivlisten

In Bezug auf nicht abbaubare BAW in Klärschlamm wird bereits in (Engi, 1988) der Schluss gezogen, dass ein generelles Verbot von BAW nicht möglich ist, da laufend neue Materialien und Produkte auf den Markt kommen und eine Kontamination des Abwassers nicht zu vermeiden ist. Ein analoger Schluss lässt sich für ein generelles Verbot von BAW in organischen Abfällen ziehen: ein generelles Verbot ist realitätsfremd, nicht zielführend und nicht umsetzbar.

Offene oder versteckte Verbote von BAW, wie z.B. in der durch BioSuisse angestrebten Formulierung, dass „*nur noch Gärgut von Biogasanlagen eingesetzt werden darf, welches nicht mit Plastik (auch Mikroplastik) verunreinigt ist*“, schiessen über das Ziel hinaus. Sie sind in ihrer Pauschalität nicht umsetzbar, da ein faktisches Verbot ohne Möglichkeit zur Kontrolle (Nachweismöglichkeit BAW) eingeführt wird.

Mit dem Instrument der bestehenden Inputliste (anon, 2014) ist ein sinnvoller Lösungsansatz zur Lenkung von BAW Materialien und Produkten vorhanden. Es wird empfohlen, folgende Empfehlungen in die Inputliste aufzunehmen:

- In mesophilen Vergärungsanlagen sollen BAW Materialien und Produkte verwertet werden, welche Stärke basiert sind oder aus Fasermaterialien bestehen. Es sollen keine Boxen, Becher, Grünabfallsäcke, Compobags Beutel, Töpfe und Folien aus PLA und PHA und keine flächigen BAW Produkte verwertet werden.
Ausnahmen bestehen, wenn
 - a) die Anlagen über eine nachweislich effiziente Methode zur Abscheidung von Kunststoffen aus den Abfällen oder aus den Produkten betreiben, oder wenn
 - b) die BAW Materialien und Produkte zwingend durch eine thermische Hygienisierungsstufe geführt werden,
 - c) für Produkte aus PLA durch eine mechanische Zerkleinerung geführt werden und die mesophile Vergärung eine durchschnittliche Verweilzeit von 60 d oder mehr im anaerob aktiven Milieu aufweist, oder wenn
 - d) die Anlagen über eine thermophile Nachkompostierung verfügen.
- In thermophilen Vergärungsanlagen sollen Boxen, Becher, Grünabfallsäcke, Compobags, Beutel und Töpfe aus Fasern, Stärke und PLA verwertet werden. Es sollen keine Folien sowie keine Produkte aus PHA verwertet werden. Bei Annahme von flächigen BAW Produkten ist vorauszusetzen, dass die Anlagen im Stande sind, diese Produkte abzuscheiden oder weitgehend zu zerkleinern. Die Betreiber sind zu ermutigen, im Hinblick auf eine gute Produktqualität funktionsfähige Nachkompostierungen für die feste Gärgutfraktion zu betreiben.
- In Platzkompostierungsanlagen sollen Boxen, Becher, Beutel, Grünabfallsäcke, Compobags und Töpfe, welche Fasern, Stärke und PLA basiert sind verwertet werden. Es sollen keine Beutel, Folien und Grünabfallsäcke verwertet werden, welche PHA basiert sind. Bei Annahme von flächigen BAW Produkten sollen nachweislich effiziente Methoden zur Abscheidung von Kunststoffen aus den Abfällen oder aus den Produkten bestehen.
- In landwirtschaftlichen Feldrandkompostierungen sollen Töpfe aus Fasern und Stärke verwertet werden. Es sollen keine Boxen, Becher, Beutel, Folien, Grünabfallsäcke und Compobags verwertet werden, welche PHA oder PLA basiert sind, sowie keine flächigen BAW Produkte.

- Produkte aus faserhaltigen Materialien auf der Basis von z.B. Kokosfasern, Zuckerrohrfasern oder Palmblattfasern können und sollen in die Grüngutschiene. Ihr Abbau ist in allen Anlagentypen gewährleistet. Ein nicht abgebauter Restgehalt stellt einen Kohlenstoffbonus im Endprodukt Gärgut oder Kompost dar und ist visuell unproblematisch, da er gleichwertig zu Restfasermaterial aus teilverholzter Biomasse wahrgenommen wird.

Wenn Anlagen über eine nachweislich effiziente Methode zur weitgehenden (im Sinne der Grenzwerte der VVEA) Abscheidung von Kunststoffen aus den Abfällen oder aus den Produkten verfügen, sind Ausnahmen von diesen Regeln möglich.

Haus- & Gartenkompostierungen sind aus bestehenden Positivlisten ausgenommen, da sie aufgrund der jährlich verarbeitenden Abfallmengen nicht in den Regelungsbereich über Abfallanlagen in der VVEA Abfallverordnung fallen (Durchsatz <100 t (jährlich)).

7.3 Nachweismethoden von BAW in organischen Düngern und Böden

Die aktuelle Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. Januar 2016) schreibt in Anhang 2.6 vor, dass Dünger (u.a. Recyclingdünger) nur abgegeben werden dürfen, wenn die entsprechenden Qualitätsanforderungen erfüllt sind. Für Kompost und Gärgut gelten folgende Anforderungen für Fremdstoffe:

- *der Gehalt an Alufolie und Kunststoffen darf höchstens 0,1 Prozent des Gewichts der Trockensubstanz betragen;*

Diese Formulierung unterscheidet nicht nach Art und Grösse von Kunststoffen. Sie schliesst damit BAW mit ein. Betreibern von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen stehen heute keine praxistauglichen Methoden zum Nachweis dieser Kunststoffgehalte zur Verfügung. Die klassischen Methoden der Trocknung mit anschliessender Handsortierung und gravimetrischer Bestimmung sowie bildgebende Methoden sind zeitaufwändig, teilweise nicht reproduzierbar und nur durch spezialisierte Laboratorien umzusetzen.

In der chemischen Analytik bestehen mehrere Methoden, welche zum qualitativen und zum quantitativen Nachweis von Kunststoffen eingesetzt werden (Gravimetrie, Thermogravimetrie mit/ohne Kopplung, Kalorimetrie, Polymerextraktion und Erfassung mittels Chromatographie, massenspektroskopische Techniken wie MALDI-ToF, optisch spektroskopische Methoden wie NIR und FTIR, Fotoakustik, Raman). Verschiedene Techniken weisen sehr unterschiedliche Empfindlichkeiten für die unterschiedlichen Stoffklassen sowie unterschiedliche Querempfindlichkeiten zur Umweltmatrix auf. Es wird empfohlen, Arbeiten zu initiieren, um praxistaugliche Methoden zur Kunststoffanalytik in Gärgut und Kompost zu entwickeln.

8 Literaturverzeichnis

- anon. (2013). *Biokunststoffe*. Aarau: Swissplastics.
- anon. (2014). *Liste der Ausgangsmaterialien für Vergär- und Kompostieranlagen*. Bern: Schweizerische Eidgenossenschaft.
- BAFU. (2016). *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA - Abfallverordnung, SR 814.600)*. Bern: Schweizerische Eidgenossenschaft.
- Bastioli, C. (2005). *Handbook of Biodegradable Polymers*. Shawbury UK: Rapra Technology Ltd.
- Beuth. (2013). *DIN-Taschenbuch 489*. Berlin: Beuth.
- Bioplastics, V. E. (2007). *EN 13432 - Nachweis Kompostierbarkeit*.
- Dinkel, F., & Kägi, T. (2012). *Ökologischer Vergleich von BAW Materialien: Entsorgung in KVA vs. Basel: CARbotech AG*.
- Ebnesajjad, S. (2013). *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*. Oxford UK: Elsevier.
- Engi, H. (1988). *Probleme durch nicht verrottende Kunststoffe in den Kläranlagen und deren Beseitigung*. Bern: BAFU.
- European Bioplastics. (2016). Von <http://en.european-bioplastics.org/> abgerufen
- Fuchs, G. (2012). *Coop Haltung zu "Bioplastics" und „biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW)“*. Basel: Coop.
- Gómez, E. F., & Michel Jr., F. C. (2013). Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. *Elsevier, Polymer degradation and stability*, S. 2583 - 2591.
- Greene, J. (2014). *Sustainable Plastics*. Hoboken: Wiley .
- IfBB_Hannover. (2016). *Biopolymers Plattform*. Von <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/downloads/index.php?site=Statistics> abgerufen

- Koel, J. (04. 12 2013). <http://sustainablemfr.com>. Abgerufen am 19. 05 2015 von <http://sustainablemfr.com/materials/heres-bio-bioplastics-enhances-green-manufacturing>
- Lanquetin, D. (2012). *Analyse de Cycle de Vie (ACV) comparative de 3 pots horticoles : « Schwarz-Bio® », en Acide Polylactique (PLA) et en Polypropylène (PP)*. Poitiers: Enviro-Stratégies.
- Marthy, A., Schnyder, S., & von Burg, R. (2015). *Anwendungsgebiete und Abbaubarkeit von Biokunststoffen unter Umweltbedingungen*. Wädenswil: ZHAW N IBT.
- Material_Data_Center. (2016). *Biokunststoffdatenbank*. Von <http://www.materialdatacenter.com/mb/> abgerufen
- Michel, K. (2004). *Biologisch abbaubare Werkstoffe Stand der Forschung und Entwicklung zur Anwendung bioabbaubarer Verpackungsmaterialien*. Zürich: ABB Turbo Systems AG, ETH, seed sustainability.
- Nauendorf, A., Krause, S., Bigalke, N., Gorb, E., Gorb, S., Haeckel, M., et al. (2016 (in press)). Microbial colonization and degradation of polyethylene and biodegradable plastic bags in temperate fine-grained organic-rich marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*.
- Neff-Koster, A. (2001). *Mikrobieller Abbau von biologisch abbaubaren Werkstoffen in Erde und Kompost*. St. Gallen: EMPA-Bericht 254.
- Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peters, R., Cardon, L., et al. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32, S. 128-141.
- Pilla, S. (2011). *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. USA: Scrivener Publishing LLC.
- Runder_Tisch_BAW. (2013). *Konsens für die BAW-Produkt-Bezeichnung in der Schweiz*. Münchenbuchsee: Runder Tisch BAW.
- Schleiss, K. (2015). *CVIS - Inspektoratssystem für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz*. Von www.cvis.ch abgerufen
- Schleiss, K. (2016). *Kompostier- und Vergärungsanlagen. Erhebung in der Schweiz und in Liechtenstein*. Bern: BAFU.

Thielen, M. (2012). *Biokunststoffe Grundlagen, Anwendungen, Märkte*.

Mönchengladbach: Polymedia Publisher GmbH.

Uhde Inventa-Fischer. (30. 05 2015). www.uhde-inventa-fischer.com. Abgerufen am

30. 05 2015 von <http://www.uhde-inventa-fischer.com/polylactic-acid/applications/>

Weber, M. (2001). Neue Entwicklung in der Zertifizierung von biologisch abbaubaren

Werkstoffen.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte für Schadstoffe in BAW.....	17
Tabelle 2: Kriterien zur Prüfung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit nach Norm....	19
Tabelle 3: Kriterien zur Prüfung der Kompostierbarkeit nach Norm	20
Tabelle 4: Zertifizierungsorgane und Labels (Auswahl)	22
Tabelle 5: Kategorisierung der Produkttypen BAW.....	35
Tabelle 6: Kategorisierung der Materialtypen BAW	41
Tabelle 7: BAW Mengen Schweiz, gegliedert nach Material (*: geschätzte Werte).....	47
Tabelle 8: BAW Mengen Schweiz, gegliedert nach Produkt (*: geschätzte Werte).....	47
Tabelle 9 Verteilung der BAW Produkte (gemäss Tabelle 5) auf die Abfallkategorien	56
Tabelle 10 Anzahl Grüngutverwertungsanlagen nach Typ und Grösse	57
Tabelle 11 Übereinstimmung von BAW Normabbaubedingungen mit Realbedingungen	65
Tabelle 12: Technologietauglichkeit von BAW Produkten aufgrund der Abbaueigenschaften	66
Tabelle 13 Technologietauglichkeit von BAW Materialien aufgrund der Abbaueigenschaften	67

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Senken für BAW	12
Abbildung 2: Kriterien zur Bewertung von Kunststoffen in der Abfallbehandlung	15
Abbildung 3: Strukturierung & Vernetzung des Schweizerischen BAW Marktes	25
Abbildung 4: BAW Lebensmittelboxen, Pizzateller	35
Abbildung 5: BAW Trinkbecher / Schalen	36
Abbildung 6: BAW Abfallsäcke für Grünabfall / Küchenabfall	37
Abbildung 7: BAW Knotenbeutel mit Gitterdruck.....	38
Abbildung 8: Pflanztöpfe und Kulturschalen	39
Abbildung 9: Mulchfolien aus BAW (BioAgri®, links frisch verlegt, rechts nach 80 Tagen) ...	40
Abbildung 10: BAW Spielsachen und Haushaltutensilien aus PHA / PHB	41

11 Anhang A – BAW Konsens „Runder Tisch BAW“

Konsens für die BAW-Produkt-Bezeichnung in der Schweiz

Version: 12.04.2013

Einführung

Dieser Konsens betrifft biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW).

Dieser Konsens ist im Rahmen des Runden Tisches BAW entstanden und wird von folgenden Organisationen getragen: BAFU, BioApply, Biomasse Schweiz, Coop, Innorecycling AG, InnoPlastics AG, Kompostforum Schweiz, Kunststoff-Verband Schweiz, Organisation Kommunale Infrastruktur des Städteverbandes, Manor, Migros, Novamont S.p.A, Pacovis AG, Permapack AG, Petroplast/Vinora AG, Plastiroll OY, PET Recycling Schweiz, Städteverband, Stiftung Praktischer Umweltschutz Schweiz, Swiss Recycling, Verband Kompost- und Vergärwerke Schweiz.

Die Empfehlung richtet sich an Hersteller, Importeure, Logistiker, Verkäufer von Produkten / Verpackungen aus BAW sowie an die Beteiligten der Abfallschiene.

Die Entsorgung über ARA's wird in diesem Konsens nicht behandelt.

Die Technische Verordnung über Abfälle TVA wird im Augenblick überarbeitet (revidierte Fassung für 2013-2014 erwartet). Diese wird eine Positivliste für die Annahme in der Grüngutschiene enthalten. Sobald diese definiert ist, wird der Konsens entsprechend angepasst. [Die Bundesbehörden haben am 22.10.2012 eine Inputliste publiziert.](#) Diese erwähnt BAW einzig unter „Einweggeschirr sortiert“ als nicht zulässiges Material. Die Liste ist nach Klarstellung der Verantwortlichen nur eine Empfehlung.

Empfehlung Bezeichnung je Produktart

Die Einhaltung der Norm EN 13432 bedeutet nicht automatisch die Eignung für die Verwertung in der Grüngutschiene. Die Kommunizierbarkeit bzw. die Verwechselbarkeit (Fehlwürfe) und auch die Erkennbarkeit auf der Anlage sind weitere wichtige Kriterien. In gewissen Anlagentypen können BAW entgegen dieser Empfehlung nicht verarbeitet werden (Feldrandkompostierung, unbewachte Annahmestellen).

BAW sind im stofflichen Kunststoffrecycling Störstoffe. Falls sie in der Grüngutschiene gemäss nachfolgender Empfehlungen nicht akzeptiert werden, sind sie der Verbrennung zuzuführen.

Grundsätzlich empfehlen wir, den Fokus nicht auf dem Verwertungsweg, sondern auf der Herkunft „nachwachsende Rohstoffe“ zu legen. Der Runde Tisch BAW äussert sich jedoch nicht zu ökologischen Fragen.

Produktart	Angestrebte Verwertung	Begründung / Bemerkung	Bezeichnung des Produkts
Säcke für das Sammeln von Grüngut, z.B. „Compobag“	Grüngutschiene	Als Sammelgebilde für Grüngut Nur mit Gitterdruck	Gitterdruck weiss, beidseitig, inkl. EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder ähnlich; maximale Werbefläche: 30%
* Flexible Verpackungen von organischen Produkten wie Frucht- und Gemüseverpackung (Beutel)	Grüngutschiene	Als ergänzendes Sammelgebilde für Grüngut Nur mit Gitterdruck	Gitterdruck weiss, beidseitig, inkl. EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder ähnlich; maximale Werbefläche: 30%; bei zweifelhaften Fällen ist das Evaluationskomitee beizuziehen.
Tragtaschen und Säckchen, die für den Zweitgebrauch als Compobags dienen	Grüngutschiene	Als ergänzendes Sammelgebilde für Grüngut Nur mit Gitterdruck	Gitterdruck weiss, beidseitig, inkl. EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder ähnlich; maximale Werbefläche: 30%; bei zweifelhaften Fällen ist das Evaluationskomitee beizuziehen.
* Geschirr, Getränkebecher, Besteck <i>in geschlossenen Chargen; Inkl. Zuckerrohrprodukte</i>	Grüngutschiene	Nur in geschlossenen Chargen und mit Abmachung Verwertungsanlage. Die Chargen müssen kontrollierbar sein. z.B. Veranstaltungen	Allenfalls EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich

Konsens für die BAW-Produkt-Bezeichnung in der Schweiz

Version: 12.04.2013

Produkteart	Angestrebte Verwertung	Begründung / Bemerkung	Bezeichnung des Produkts
* Verpackungen <i>in geschlossenen Chargen</i>	Grüngutschiene	Nur in geschlossenen Chargen und mit Abmachung Verwertungsanlage, Die Chargen müssen kontrollierbar sein. z.B. abgelaufene Gemüse / Früchte mit Verpackung oder Produktionsabfälle	Allenfalls EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich
Abdeckfolien aus Produktionsbetrieben <i>in geschlossenen Chargen</i>	Grüngutschiene	Vereinbarung zwischen Pflanzenproduzent und Verwertungsanlage; aus Privathaushaltungen nicht geeignet für Grüngutschiene (Verwechslungsgefahr mit nicht kompostierbaren Produkten)	Allenfalls EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich
Kompostierbare Kaffeekapseln	Grüngutschiene	Nur in geschlossenen Chargen und mit Abmachung Verwertungsanlage. Die Chargen müssen kontrollierbar sein. z.B. Veranstaltungen	Allenfalls EN 13432 und Vermerk „Grüngut OK“ oder „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich
Produkte/Verpackungen aus 100% Faserprodukten, wie Palmblätter, - oder Kokosfasern etc., sofern das Ausgangsprodukt erkennbar	Grüngutschiene	Für Hauskompost und für die Grüngutschiene geeignet	Eignung ergibt sich aus Material
Oxo-abbaubare Kunststoffe	KVA	Kein Abbau, nur Zerkleinerung	Kein Hinweis auf Abbaubarkeit
Geschirr, Getränkebecher, Besteck	KVA	Verwechslungsgefahr mit nicht kompostierbaren Produkten	Allenfalls „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich und Abfallsack-Logo
Diverse Verpackung wie z.B. Schalen	KVA	Verwechslungsgefahr mit nicht kompostierbaren Produkten	Allenfalls „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich und Abfallsack-Logo
Gartenprodukte wie z.B. Blumentöpfe	KVA	Verwechslungsgefahr mit nicht kompostierbaren Produkten; Ausnahme: Geschlossene Chargen aus Gewerbe/Industrie mit vorgängiger Abmachung Verwertungsanlage	Allenfalls „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich und Abfallsack-Logo
Weitere Produkte wie z.B. Flaschen**, Windeln, Robidogsäcke	KVA oder stoffliches Recycling	Verwechslungsgefahr mit nicht kompostierbaren Produkten, oft nicht ganzes Produkt nach EN 13432 kompostierbar; bei Windeln zusätzlich Hygiene- und Zinkproblematik; für Flaschen siehe Ergänzung*	Allenfalls „Aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder ähnlich und Abfallsack-Logo bzw. Recyclingzeichen
Säcke / Tragtaschen aus nicht abbaubaren Polymeren (z.B. PE)	KVA oder stoffliches Recycling	Gilt auch für Produkte, die aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt wurden. Deren Eigenschaften unterscheiden sich nicht von Produkten, die aus fossilen Rohstoffen produziert werden.	

* Speisereste mit tierischen Abfällen unterstehen unter Umständen den Vorschriften der VTNP und dürfen nur von Anlagen angenommen werden, welche eine Bewilligung des Kantontierarztes haben.

**Getränkeflaschen aus PET oder auch Bio-PET (siehe Begriffe) gehören in die Separatsammlung von PET-Recycling Schweiz, alle weiteren Flaschen aus PLA in die Kehrichtverbrennungsanlage, PE-Verpackungen für Milchprodukte können bei Coop und Migros separat gesammelt werden.

Konsens für die BAW-Produkt-Bezeichnung in der Schweiz

Version: 12.04.2013

Detailregelungen / Begriffe / Abkürzungen

Was	Details
BAW	Biologisch Abbaubare Werkstoffe
Bio-PET oder Bio-PE	Herkömmliche Kunststoffe ganz oder teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen, die gleich verwertet werden können wie die bestehenden fossilen, z.B. stoffliches Recycling für PET-Getränkeflaschen
Bioplastics	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und / oder biologisch abbaubar
EN 13432	Europäische Norm, die Testmethoden zum Nachweis der Kompostierbarkeit beschreibt (Bioabbaubarkeit, Desintegration, Kompostqualität; es existiert keine Norm für den Vergärungsprozess)
Gitterdruck	Bezeichnung für Verpackungen / Produkte, die in der Grüngutschiene verwertet werden können: <ul style="list-style-type: none"> • Ganze Verpackung / Produkt (Vorder- und Rückseite, einseitig bedruckt) mit Gitterdruck • Transparenz bei Säcken / Beutel (nicht opak, für Sichtkontrolle Inhalt) • Linien 90 Grad gekreuzt, Liniendicke 2-5 mm, Linienfarbe weisslich / grünlich bzw. freiwählbar; Linien gut sichtbar • Max. Abstand zwischen Linien 4 cm • Gitterdruck als Linien oder auch als Schriftdruck (z.B. Wort kompostierbar, biodégradable...) • Logo / Beschriftung / Werbung darf max. 30% der Gesamfläche ausmachen Das Komitee Evaluation Bioplastics ist in zweifelhaften Fällen beizuziehen.
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
PLA	Poly-Lactic-Acid, ein Biopolymer, oft aus Mais hergestellt
TVA	Technische Verordnung über Abfälle, SR 814.600 ; ist in Überarbeitung
VTNP	Verordnung über die Entsorgung tierischer Nebenprodukte, SR 916.441.22

Es gibt mehrere Kompostierungslabels nach EN 13432, Dincerto (www.dincerto.de) und Vinçotte (www.vincotte.be) sind zwei Beispiele, die in Europa weit verbreitet sind. Das Piktogramm Abfallsack und weitere finden Sie z.B. auf www.swissrecycling.ch/dienstleistungen.

Komitee Evaluation Bioplastics

Wenn Sie eine vertiefte Empfehlung möchten, können Sie eine Bewertung ihres Produkts bestellen (CHF 2'500.- für Standardbewertung auf Basis bestandene EN 13432). Die Bewertung wird durch ein kleines Komitee durchgeführt (inkl. Geheimhaltungsvereinbarung). Zurzeit werden keine Bewertungen durchgeführt, weil der Bund plant, eine Liste der zulässigen Inputmaterialien auf dem Verordnungsweg zu erlassen. Ausnahme: Beurteilung des geplanten Layouts von Produkten zu CHF 1200.- (siehe Tabelle Produktarten).

Die Mitglieder des Bewertungskomitees sind:

- [Verband Kompost- und Vergärwerke Schweiz VKS](#), Daniel Trachsel, Tel. 031 858 22 24, info@kompostverband.ch
- [Kommunale Infrastruktur](#), Fachorganisation des Schweizerischen Städteverbandes und des Schweizerischen Gemeindeverbandes, Alex Bukowiecki, Tel. 031 356 32 42, info@kommunale-infrastruktur.ch
- [Swiss Recycling](#), Dachorganisation Recyclingsysteme, Patrik Geisselhardt, Tel. 044 342 20 00, info@swissrecycling.ch

Falls Sie weitere Fragen haben, gibt Ihnen das Komitee gerne Auskunft. Bitte besuchen Sie vorab unsere Webseite: www.evaluation-bioplastics.ch.