

Möglichkeiten und Grenzen eines forcierten Einsatzes von biobasierten Produkten in Österreich

Analyse von Substitutionspotentialen sowie
deren Auswirkungen und Erfordernisse

A. Windsperger
B. Windsperger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

1/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Möglichkeiten und Grenzen eines forcierten Einsatzes von biobasierten Produkten in Österreich

Analyse von Substitutionspotentialen sowie
deren Auswirkungen und Erfordernisse

Andreas Windsperger, Bernhard Windsperger
Institut für Industrielle Ökologie

St. Pölten, November 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

Produktion der Zukunft

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Die umfassende und exzessive Nutzung fossiler und nicht erneuerbarer Ressourcen hat vor allem in den Industrienationen lange Zeit für ein kontinuierliches wirtschaftliches Wachstum gesorgt. Heute allerdings stellt diese Handlungsweise die Weltgemeinschaft vor große Herausforderungen, die im 21. Jahrhundert gelöst werden müssen – seien es der Klimawandel, die globale Umweltverschmutzung oder die allgemeine Verknappung der Ressourcen.

Speziell die EU-Mitgliedstaaten liefern sich aufgrund ihrer hohen Rohstoffimportabhängigkeit (z. B. betreffend Erdöl und Erdgas) der immer stärkeren Konkurrenz auf dem Weltmarkt aus. Mit ressourceneffizienter und nachhaltiger Nutzung biogener Rohstoffe gibt es für die Wirtschaft vielfältig nutzbare Alternativen.

Nachhaltigen Industriekonzepten wird zur Lösung eingangs genannter Herausforderungen eine entscheidende Rolle zugesprochen, die biobasierte Industrie wird hierbei ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor sein. Diese ermöglicht die Umwandlung (Konversion) nachwachsender Rohstoffe in hochwertige Produkte und erzeugt so zusätzlichen Mehrwert. Die zielgerichtete Forschung und Entwicklung für den Ausbau der biobasierten Industrie gewährleistet Wertschöpfung im nationalen und europäischen Raum und somit realen Mehrwert für die regionale und lokale Nutzung der Rohstoffe und den Einsatz heimischer Fach- und Arbeitskräfte.

Aber auch biogene Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Daher ist es sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen notwendig, Biomasse möglichst vollständig zu verwerten, beziehungsweise Konzepte zu entwickeln, die eine ressourceneffiziente Nutzung berücksichtigen und höhere Wertschöpfung erzielen. Zugleich soll eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft unterstützt werden, welche – neben der kaskadischen Nutzung – auf die Rückführung von biogenem Material in den Produktionskreislauf und die Verwertung von Reststoffen abzielt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert mögliche Herausforderungen sowie vorhandenen Forschungsbedarf einer zentralen Fragestellung im Themenbereich „Biobased Industry“ der FTI Initiative „Produktion der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Unsere Motivation ist es, kontinuierlich Ergebnisse zugänglich zu machen - zentral und themenübergreifend. Damit geben wir einen Anstoß zur Lösung unserer großen gesellschaftlichen Herausforderungen und folgen dem Ziel des BMVIT, unter der Initiative „open4innovation“ (www.open4innovation.at) die Basis für Vernetzung und für die Gestaltung von Neuem zu schaffen.

Theodor ZILLNER / René ALBERT
Thementeam Ressourcen
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
1 Hintergrund und Zielsetzung	8
2 Methodische Vorgehensweise	9
3 Analyse von Substitutionspotentialen im Verpackungsbereich	10
3.1 Funktionale Materialeigenschaften unterschiedlicher Verpackungsmaterialien im Überblick	10
3.1.1 Petrochemische Kunststoffe	10
3.1.2 Biobasierte Kunststoffe	13
3.1.3 Biobasierte Drop-in Lösungen:	16
3.1.4 Sonstige Verpackungsmaterialien	17
3.2 Vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften nach Produktbereichen	17
3.2.1 Getränkeverpackungen	18
3.2.2 Haushaltsbehälter	19
3.2.3 Becher und Schalen als Lebensmittelverpackung	20
3.2.4 Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen	21
3.2.5 Folien für den Baubereich	22
3.2.6 Verpackungsbeutel	23
3.3 Beurteilung der funktionalen Äquivalenz und der ökologischen Auswirkungen von biobasierten Materialien	24
3.3.1 Getränkeflaschen	25
3.3.2 Haushaltsbehälter	27
3.3.3 Becher und Schalen als Lebensmittelverpackung	30
3.3.4 Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen	32
3.3.5 Folien für den Baubereich	34
3.3.6 Verpackungsbeutel	36
4 Analyse von Substitutionspotenzialen im Textilbereich	39
4.1 Funktionale Materialeigenschaften unterschiedlicher Textilien im Überblick	39
4.1.1 Synthetische Textilfasern	39
4.1.2 Naturfasern	42
4.2 Vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften nach Produktbereichen	46

4.2.1	Vorhänge und Gardinen	46
4.2.2	Sitzbezüge für öffentliche Verkehrsmittel	47
4.2.3	Sitzbezüge für die Automobilindustrie.....	48
4.2.4	Innenausstattung von Personenkraftwagen.....	48
4.3	Beurteilung der funktionalen Äquivalenz und der ökologischen Auswirkungen von biobasierten Materialien.....	49
4.3.1	Vorhänge und Gardinen	50
4.3.2	Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln.....	53
4.3.3	Sitzbezüge in Personenkraftwagen	55
4.3.4	Innenausstattung von Personenkraftwagen.....	58
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	60
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	60
5.2	Unsicherheitsfaktoren zur Interpretation der Ergebnisse.....	62
5.3	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	64
6	Literaturverzeichnis	65

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Getränkeflaschen geeigneten Materialien	25
Abbildung 2: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Getränkeflaschen geeigneten Materialien	26
Abbildung 3: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Getränkeverpackungen geeigneten Materialien	27
Abbildung 4: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien	28
Abbildung 5: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien	29
Abbildung 6: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien.....	29
Abbildung 7: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien	30
Abbildung 8: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien	31
Abbildung 9: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien	31
Abbildung 10: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien	32
Abbildung 11: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien	33
Abbildung 12: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien	34
Abbildung 13: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien	35
Abbildung 14: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien	35
Abbildung 15: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien	36
Abbildung 16: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien	37
Abbildung 17: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien	37
Abbildung 18: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien	38

Abbildung 19: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Vorhänge/Gardinen geeigneten Materialien	51
Abbildung 20: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Vorhänge geeigneten Materialien	52
Abbildung 21: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Vorhänge geeigneten Materialien	52
Abbildung 22: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien	53
Abbildung 23: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien	54
Abbildung 24: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien	55
Abbildung 25: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	56
Abbildung 26: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	56
Abbildung 27: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	57
Abbildung 28: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	58
Abbildung 29: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	59
Abbildung 30: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien	59
Abbildung 31: Darstellung des Schwankungsbereichs im Treibhausgaspotential bei Verpackungsmaterialien	63

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften für die betrachteten Kunststoffe.....	11
Tabelle 2: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Biokunststoffe.....	14
Tabelle 3: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Getränkeverpackungen.....	19
Tabelle 4: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Haushaltsbehälter.....	20
Tabelle 5: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Becher und Schalen.....	21
Tabelle 6: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Einkaufstaschen.....	22
Tabelle 7: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Baufolien..	23
Tabelle 8: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Verpackungsbeutel.....	24
Tabelle 9: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten synthetischen Textilfasern.....	40
Tabelle 10: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Naturfasern.....	43
Tabelle 11: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Vorhänge	46
Tabelle 12: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für öffentliche Sitzbezüge.....	47
Tabelle 13: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Autositzbezüge.....	48
Tabelle 14: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für sonstige Autoausstattung.....	49

Tabelle 1: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften für die betrachteten Kunststoffe.....	11
Tabelle 2: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Biokunststoffe.....	14
Tabelle 3: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Getränkeverpackungen.....	19
Tabelle 4: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Haushaltsbehälter.....	20
Tabelle 5: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Becher und Schalen.....	21
Tabelle 6: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Einkaufstaschen.....	22
Tabelle 7: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Baufolien..	23

Tabelle 8: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Verpackungsbeutel.....	24
Tabelle 9: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten synthetischen Textilfasern.....	40
Tabelle 10: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Naturfasern.....	43
Tabelle 11: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Vorhänge	46
Tabelle 12: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für öffentliche Sitzbezüge.....	47
Tabelle 13: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Autositzbezüge.....	48
Tabelle 14: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für sonstige Autoausstattung.....	49

1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

Im Sinne einer nachhaltigen und umweltschonenden Lebensweise ist ein gesellschaftlicher Wandel hin zu umweltfreundlicheren Produkten unausweichlich, um aktuelle Herausforderungen wie den Klimawandel oder die Ressourcenknappheit bewältigen zu können. Um derzeitige, meist aus fossilen Rohstoffen hergestellte Konsumprodukte substituieren zu können, bedarf es Produkte einerseits mit äquivalenten Eigenschaften und andererseits mit niedrigeren Umweltbelastungen, die zudem optimal in natürliche Kreisläufe (im Sinne einer „circular economy“) eingepasst sind. In dieser Hinsicht wird speziell biobasierten Produkten (im Rahmen einer „biobased economy“) enormes Potential zugeschrieben, da sie in sehr vielfältiger Art und Weise genutzt und auch recycelt werden können, jedenfalls aber in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf eingebunden sind. Für den verstärkten Einsatz von biobasierten Produkten müssten bei der Produktauswahl neben den derzeit primär betrachteten Eigenschaften wie Preis, Funktion (technische Qualität) sowie Design weitere Kriterien in die Entscheidung einbezogen werden. Dabei sollten im Sinne eines nachhaltigen Konsums neben den ökologischen Aspekten wie die Nachhaltigkeit der Ressourcen, niedriger Energie- und Treibhausgasintensität und geeigneten Recyclingmöglichkeiten auch volkswirtschaftliche Effekte und positive Außenhandelsbilanz sowie soziale Effekte im Sinne von Arbeitsplatzergänzung und Arbeitsplatzqualität mit einbezogen werden. Produkte aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen besitzen maßgebliche Vorteile aufgrund des erneuerbaren und nachhaltig erzeugten Rohstoffs, der CO₂-Speicherung und auch der niedrigen Energieintensität sowie andererseits durch die positiven Effekte speziell in ländlichen Regionen. Derartige Substitutionen sind zwar gut bekannt, allerdings ist die Abschätzung der Auswirkungen problematisch, da hierfür ein Vergleich von Produkten und Materialien allein auf Basis physischer Einheiten wie Tonnen oder Volumina nicht ausreichend erscheint. Vielmehr sollten derartige Vergleiche auf der funktionalen Äquivalenz der Produkte aufbauen, d.h. die für die Substitution notwendigen Mengen und ihre konstruktive Gestaltung müssten miteinbezogen werden.

Im Zuge dieses Projekts sollen nun für den Verpackungs- und Textilbereich die derzeit maßgebendsten Anwendungsbereiche identifiziert und in weiterer Folge daraus die Anforderungen (funktionalen Eigenschaften) definiert werden. Diese sollen anschließend die Grundlage für die Analyse von möglichen Substitutionsmöglichkeiten darstellen, wobei die funktionale Äquivalenz der ermittelten Alternativprodukte hinsichtlich der zuvor definierten Anforderungen in den jeweiligen Anwendungsbereichen bewertet wird. Daraus sollen anschließend geeignete Substitutionsmöglichkeiten abgeleitet werden. Die Auswirkungen dieser ermittelten Substitutionspotentiale (bei möglichst äquivalenter technischer Funktion) werden hinsichtlich der ökologischen Effekte (z.B. THG-Emissionen) untersucht und bewertet.

Darauf aufbauend soll abgeleitet werden, in welchen Bereichen der forcierte Einsatz von Produkten aus biogenen Materialien aus technischer und ökologischer Sicht sinnvoll und vorteilhaft ist und in welchen Bereichen daraus keine Vorteile zu erwarten sind. Darüber hinaus soll deren Umsetzbarkeit (z.B. Technologie, Infrastruktur) abgeschätzt, die wesentlichsten Herausforderungen und der noch vorhandene Forschungsbedarf aufgezeigt und mögliche Wege für eine erfolgreiche Substitution in den jeweiligen Bereichen ermittelt werden.

2 METHODISCHE VORGEHENSWEISE

Im Zuge dieses Projektes wurde zu Beginn eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um einen Überblick für die im Verpackungs- und Textilbereich verwendeten Materialien und deren funktionale Eigenschaften in Form von quantitativen Kennzahlen zu bekommen. Anschließend wurde die Recherche auch auf die ökologischen Auswirkungen der jeweiligen Materialien ausgedehnt, um in weiterer Folge Abschätzungen zu den ökologischen Vor- und Nachteilen der einzelnen Materialien und deren Alternativen zu ermöglichen. Die Recherche bezog sich dabei einerseits auf wissenschaftliche Fachliteratur sowie andererseits auf Produktdatenblätter von Herstellfirmen, speziell um nähere Informationen über Produkteigenschaften zu erhalten.

Diese Ergebnisse der Literaturrecherche wurden mit ausgewählten FachexpertInnen aus Wissenschaft und Praxis besprochen und diskutiert sowie weiter konkretisiert. Dabei wurde eine Differenzierung nach unterschiedlichen Anwendungsbereichen vorgenommen, für die jeweils die gängigsten Materialien inklusive möglicher biogener Alternativen identifiziert wurden. Im Anschluss wurden in den Anwendungsbereichen die für das jeweilige Produkt wesentlichen funktionalen Anforderungen definiert. Abschließend erfolgte auf Grundlage der quantitativen Kennzahlen und ExpertInneneinschätzungen eine Bewertung der Erfüllung dieser Anforderungen in qualitativer Form. Diese diente als Grundlage für die Beurteilung der funktionalen Äquivalenz zwischen biogenen und fossil-basierten Materialien. Im Zuge dieses Projektes wurden dabei Interviews mit folgenden ExpertInnen aus dem Verpackungsbereich geführt:

- Michael Washüttel, Michael Krainz - OFI Technologie & Innovation GmbH
- Christoph Burgstaller - Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH
- Manfred Tacker – FH Campus Wien
- Johann Zimmermann – naKu
- Bettina Schrenk - Greiner Packaging International GmbH
- Christian Zmöltnig, Robert Siegl – Alpla

Im Textilbereich wurde ein ganztägiger Expertenworkshop an der Versuchsanstalt für Textilindustrie durchgeführt, bei dem folgende Experten mit einbezogen wurden:

- Christian Spanner – Versuchsanstalt für Textilindustrie
- Harald Bleier – ecoplus
- Rupert Wimmer – BOKU
- Anton Hagenauer – Hanfland

Die Abschätzung der ökologischen Performance erfolgte primär anhand von Lebenszyklus-Daten der Ecoinvent-Datenbank, wobei vor allem für biobasierte Kunststoffe ergänzend entsprechenden Informationen aus wissenschaftlichen Studien mit einbezogen wurden. Aus diesen wurden LCA-Faktoren ermittelt und den jeweiligen Materialien zugeordnet, um die einhergehenden Umweltbelastungen in den folgenden Wirkungskategorien zu quantifizieren:

- Versauerungspotential
- Treibhausgaspotential
- Eutrophierungspotential
- Humantoxizität

- Landverbrauch
- Sommersmog

Dies stellt nur eine Auswahl der häufig verwendeten Umweltindikatoren dar, die nicht alle vorhandenen Belastungskategorien (z.B. Ökotoxizität) beinhaltet und keine Gewichtung der Kriterien nach der aktuellen Dringlichkeit enthält. Darüber hinaus wäre auch die Einbeziehung von Umweltrisiken in Entscheidungen und für die Erstellung von Strategien notwendig. In dieser Analyse wird aber ein stationärer Zustand betrachtet, etwaige zukünftige Folgeschäden (z.B. Meeresverschmutzung) sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung, da sie in diesem Untersuchungsrahmen nicht quantifiziert werden konnten.

Die so ermittelten Umweltbelastungen bildeten die Basis für eine Bewertung in qualitativer Form, bei der auch nicht quantifizierbare Eigenschaften einbezogen werden konnten. Die zusammenfassende Bewertung der Eigenschaften und auch der ökologischen Effekte erfolgte für jeden Anwendungsbereich jeweils mit einer Skala von 1 bis 5 (1 = sehr schlecht (--), 5 = sehr gut (++)). Dies führte zu einem Wirkungsprofil, in dem die funktionale mit der ökologischen Performance der einzelnen Materialien direkt verglichen werden kann und somit eine Entscheidungsgrundlage für vielversprechende biobasierte Substitutionspotentiale darstellt.

3 ANALYSE VON SUBSTITUTIONSPOTENTIALEN IM VERPACKUNGSBEREICH

In diesem Kapitel werden nachfolgend zunächst die Materialeigenschaften der im Verpackungsbereich gängigsten Materialien dargestellt. Anschließend wird eine vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften in ausgewählten Anwendungsbereichen durchgeführt, um daraus die qualitativ hochwertigsten Materialien und Möglichkeiten einer funktionalen Äquivalenz bzw. jeweilige Vor- und Nachteile abzuleiten. Darüber hinaus werden auch die ökologischen Auswirkungen einer verstärkten Nutzung biogener Materialien im Vergleich zu konventionellen Materialien abgeschätzt.

3.1 Funktionale Materialeigenschaften unterschiedlicher Verpackungsmaterialien im Überblick

Die wesentlichsten Verpackungsmaterialien werden hinsichtlich ihrer Rohstoffbasis in fossil- und biogen-basierte sowie Drop-in-Lösungen und sonstige Materialien unterschieden. In Tabelle 1 und Tabelle 2 werden nachfolgend die Materialeigenschaften petrochemischer und biobasierter Kunststoffe dargestellt sowie ihre Charakteristika beschrieben. Anfangs sei an dieser Stelle erwähnt, dass einige untersuchte Eigenschaften nur relativ zueinander und auch im Lichte der Anwendungsanforderungen zu sehen sind. So erscheint eine pauschale Behauptung, dass eine hohe Biegefestigkeit oder ein hohes E-Modul erwünscht ist, nicht zulässig. Dies ist immer im Zusammenhang mit der untersuchten Anwendung zu betrachten, auf die in Kapitel 3.2 näher eingegangen wird.

3.1.1 Petrochemische Kunststoffe

Nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über die wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Kunststoffe anhand gemessener Parameter sowie die wesentlichsten Merkmale und häufigsten Anwendungsfälle.

Tabelle 1: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften für die betrachteten Kunststoffe

Petrochemische Kunststoffe		PE	PP	PA 6	PET	PC	PS
Eigenschaften	Einheit						
Dichte	g/cm ³	0,95	0,92	1,14	1,39	1,2	1,1
Erweichungstemperatur	ISO 306 °C	75	90	180-200	200	145	90
Streckspannung	ISO 527 N/mm ²	23	33	80-85	85	65	26
Reißdehnung	ISO 527 %	>400	50-70	70	70	80	50
Biegefestigkeit	ISO 178 Mpa	18,5		125		70	103
E-Modul	ISO 527 N/mm ²	1000	1200	3000-3200	3000	2300	1700
Kerbschlagzähigkeit	ISO 179 kJ/m ²	20	7	5	3,5	20	10
Feuchtigkeitsaufnahme	EN ISO 62 %	0,01	0,01	3	0,25	0,15	0,1
Durchschlagfestigkeit	IEC 60243-1 kV/mm	53	50	15	25	34	43
Merkmale		+ Chemikalienbeständigkeit + geringes Gewicht + Schlagzähigkeit - UV- und Temperaturbeständigkeit	+ Chemikalienbeständigkeit + geringe Wasseraufnahme ~ Steifigkeit und Festigkeit	zäh, abriebfest, beständig gegen Chemikalien	+ hohe Festigkeit und Härte, + Chemikalienbeständigkeit + hohe Temperaturen	+ schlagfest und schlagzäh, + Hoch- und Tieftemperaturverhalten + Festigkeit und Steifigkeit	+ hochschlagfest, + leicht + biegsam - UV- und Temperaturbeständigkeit
Anwendungen		Extrusionsanwendungen (z.B. Waschmittel), Folien, Sackerl	Lebensmittelverpackungen (z.B. Becher), Fahrzeugausstattung	Spritzgießen, Bekleidung, Möbelstoffe	Flaschen, Folien, Tiefziehbehälter, Fasern	Glas-Alternative (z.B. Fahrzeugbau), optische Speichermedien, optische Bauteile	Lebensmittelverpackung, Wegwerfgeschirr, Haushaltsprodukte, Dämmstoff
Literatur		Baum und Engelmann, 2001. Thyssenkrupp, 2009. Wettlinger, 2012.					

Polyethylen (PE):

Polyethylen ist einer der bedeutendsten Kunststoffe (gehört zu der Gruppe der Polyolefine) weltweit und wird über die Polymerisation von Ethylen hergestellt. Polyethylene zeichnen sich im Allgemeinen durch eine vergleichsweise geringe Dichte mit $0,95 \text{ g/cm}^3$, gute Beständigkeit gegenüber Chemikalien, eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit (0,01%), gute Kerbschlagzähigkeit (20 kJ/m^2) und gute elektrische Eigenschaften aus. Im Gegensatz dazu besitzt dieses Material allerdings eine relativ geringe Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung, eine geringe Steifigkeit (z.B. Streckspannung von nur 23 N/mm^2 , Biegefestigkeit von nur $18,5 \text{ MPa}$) sowie begrenzte Einsatztemperaturen mit maximal 75°C . Die Einsatzgebiete reichen von Folien und Sackerl bis zu Spritzgussverarbeitungen wie Waschmittel- und Kosmetikverpackungen und auch als Industriehalfzeug.

Polypropylen (PP):

Polypropylen zählt wie Polyethylen zu den Polyolefinen und wird durch Polymerisation des Monomers Propen hergestellt. Hinsichtlich der Eigenschaften weist PP die geringste Dichte unter den Kunststoffen auf (nur $0,92 \text{ g/cm}^3$), verfügt aber dennoch über eine relativ hohe Steifigkeit und Festigkeit (z.B. Streckspannung von 35 MPa und Reißdehnung von 700%). Darüber hinaus besitzt es eine sehr gute Chemikalienbeständigkeit sowie eine sehr geringe Wasseraufnahmefähigkeit mit 0,01%. Polypropylen kann dabei sehr vielseitig bearbeitet werden, beispielsweise zum Spritzgießen, Extrudieren, Tiefziehen und für Blasformen. Die wesentlichsten Einsatzgebiete sind dabei Lebensmittelverpackungen wie Becher oder Flaschenverschlüsse, Innenausstattungen für Fahrzeuge sowie auch Rohrleitungen, Pumpen- und Ventileile oder Dichtungen.

Polyamid (PA6):

Polyamide sind Thermoplaste und werden durch Polykondensation von Di-Carbonsäuren mit Diaminen hergestellt. Bei Kondensation von Adipinsäure mit Hexamethyldiamin entsteht Polyamid 6, das als Standard-Polyamid bezeichnet wird und sich vor allem durch eine hohe Festigkeit und Steifigkeit sowie Formbeständigkeit auszeichnet. Dies ist auf ein sehr hohes Elastizitätsmodul von über 3000 N/mm^2 sowie hohe Streckspannungs- und Biegefestigkeitswerten (80 N/mm^2 bzw. 125 MPa) zurückzuführen. Darüber hinaus ist PA6 auch sehr stabil gegenüber Chemikalien. Dem gegenüber besitzt dieses Material allerdings eine vergleichsweise größere Wasseraufnahmefähigkeit (3%) und ein durch die hohe Dichte verursachtes höheres Gewicht. Angewendet wird Polyamid 6 speziell für die Konstruktion und Wartung von Maschinen, im Automobilbau (z.B. Gehäuseteile), für Gleitlager und Beschläge.

Polyethylenterephthalat (PET):

PET ist ein durch Polykondensation hergestellter Kunststoff, der aus den Monomeren Terephthalsäure und Ethylenglykol besteht. PET besitzt mit über $1,3 \text{ g/cm}^3$ die höchste Dichte aller bisher beschriebenen Kunststoffe. Mit einer Streckspannung von 85 N/mm^2 und einem Elastizitätsmodul von 3000 N/mm^2 handelt es sich bei diesem Material um den steifsten und stabilsten Kunststoff und ermöglicht hohe Einsatztemperaturen (bis zu 200°C). Weiters ist PET gekennzeichnet durch eine gute Chemikalienbeständigkeit. Anwendung findet PET aufgrund seiner Eigenschaften vor allem für blasgeformte Getränkeflaschen. Darüber hinaus kann PET aber auch für Tiefziehbehälter, Folien und Fasern eingesetzt werden.

Polycarbonat (PC):

Polycarbonate sind thermoplastische Kunststoffe und Polyester der Kohlensäure. Sie können durch Polykondensation von Phosgen mit Bisphenol A hergestellt werden. Zur Vermeidung des giftigen Phosgens werden auch Umesterungs-Verfahren eingesetzt. PC besitzt vor allem sehr gute chemische und optische Eigenschaften. Es handelt sich dabei um einen sehr schlagzähen und flexiblen Kunststoff (Kerbschlagzähigkeit von 20 kJ/m²), der weiters über eine optische Transparenz verfügt. PC ist sehr gut formbar und kann sehr gut bei Hoch- und Tieftemperaturen verarbeitet werden (Erweichungstemperatur ab 145°C). Eingesetzt wird Polycarbonat häufig als Alternative zu Glas. Konkrete Anwendungsfälle sind zum Beispiel optische Speichermedien sowie optische Bauteile (z.B. Brillengläser) oder auch im Fahrzeugbau (z.B. Seiten- und Heckscheiben).

Polystyrol (PS):

Polystyrol ist ein Thermoplast, der durch Polymerisation von Styrol hergestellt wird und sehr gute Polymerisationseigenschaften aufweist. PS ist lichtbeständig, hat eine hohe Schlagfestigkeit (Durchschlagfestigkeit von 43 kV/mm), vergleichsweise ein geringes Gewicht und besitzt eine sehr gute elektrische Isolierfähigkeit sowie chemische Beständigkeit. Dieser Kunststoff ist allerdings sehr spröde und schlagempfindlich (Streckspannung von nur 26 N/mm² und niedrigste Reißdehnung mit 50%). PS wird vor allem für Wegwerfgeschirr, Lebensmittelverpackungen (z.B. Joghurtbecher), Haushaltsgegenstände, Profile oder Beschläge verwendet. Geschäumtes PS (EPS, XPS) wird speziell im Bausektor als Dämmstoff für Gebäude eingesetzt.

3.1.2 Biobasierte Kunststoffe

In nachfolgender Tabelle werden die wesentlichsten Biokunststoffe nach einigen technischen Parametern, den wesentlichsten Merkmalen und den jeweiligen Anwendungsgebieten dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Biokunststoffe

Bio-Kunststoffe		PLA	PEF	Bio PBS	PHA	TPS
Eigenschaften	Einheit					
Dichte	g/cm ³	1,24	1,45	1,26	1,25	1
Gasdurchlässigkeit	cm ³ /(m ² *tag*bar)		O ₂ 5-10x, CO ₂ 3-8x, H ₂ O 2x besser als PET			
Erweichungstemperatur	ISO 306 °C	55-60°	geringere Verformung	115		50
Streckspannung	ISO 527 N/mm ²	60	ähnlich PET	40		20-50
Reißdehnung	ISO 527 %	100	ähnlich PET	120		200-600
Zugfestigkeit	Mpa	110	ähnlich PET	15-40	15-35	35-80
Biegefestigkeit	ISO 178 Mpa	55	ähnlich PET	40		
E-Modul	ISO 527 N/mm ²	3450-3800		630	855	600-850
Kerbschlagzähigkeit	ISO 179 kJ/m ²	6,5			5-60	30
Merkmale		+ steif, hohe Festigkeit + geringe Wasseraufnahme + geringe Barrierewirkung, - Wärmebeständigkeit	+ sehr hohe Barrierewirkung + geringe Wandstärken + thermische Stabilität - Preis und Mengen	+ elastisch und dehnbar + Wärmebeständigkeit	+ starr bis elastomerartig, + Wärmebeständigkeit + Barriere - Nachkristallisation	+ sehr elastisch + biologisch abbaubar - wasserlöslich
Anwendungen		Waschmittel, Kosmetik, Lebensmittelverpackungen, Folien	Flaschen, Folien, Textilien	Sackerl, Spritzguss Copolymer, Verpackungen, Mulchfilm	Schalen, Becher, Dosen, Verpackungsfolien	Folien, Tragetaschen, Beschichtungen
Literatur		Roch, 2012., Thielen (FNR), 2013. Strimitzer und Höher (Klimaaktiv), 2015. IFBB Hannover, 2017. Frischenschlager et al., 2018.				

Polymilchsäure (PLA):

PLA ist ein aus biogenen Rohstoffen herzustellender Kunststoff und kann dabei bis zu 100% biogenen Anteil erreichen. Die Herstellung von PLA erfolgt ausgehend von Stärke, die zu Zucker umgewandelt, anschließend zu Milchsäure fermentiert und in weiterer Folge polymerisiert wird. Hinsichtlich der Eigenschaften hat PLA eine sehr hohe Festigkeit durch eine Zugfestigkeit von 110 MPa und ein E-Modul von deutlich über 3000 N/mm². PLA ist transparent und gut auf den vorhandenen Anlagen verarbeitbar. Das Material besitzt allerdings eine niedrige Erweichungstemperatur (ca. 60°C) sowie eine geringe Wasserdampf- und Sauerstoffbarriere, die jedoch in manchen Anwendungsbereichen durchaus auch zu Vorteilen führen kann. Die Einsatzgebiete von PLA sind daher sehr vielfältig und gehen von Tragetaschen, Lebensmittelverpackungen, Flaschen (z.B. Getränke, Waschmittel) bis hin zu Folien.

Polyethylenfuranuat (PEF):

PEF ist ein zu 100% biobasierter Kunststoff, der dem derzeit fossil-basierten PET grundsätzlich sehr ähnlich ist. Er wird aus Maisstärke über die Furandicarbonsäure (FDCA) und deren Polymerisation hergestellt. Derzeit ist dieser Kunststoff allerdings noch nicht in großem Maßstab verfügbar, wobei vor allem der Preis einen limitierenden Faktor darstellt. Dem gegenüber werden von PEF allerdings bessere Barriereigenschaften bei Sauerstoff (5 bis 10-fach), CO₂ (3 bis 8-fach) und Wasser (zweifach), Vorteile bei der Verarbeitbarkeit, Recyclingfähigkeit (durch den Wegfall von Acetaldehyd) sowie geringeres Gewicht durch dünnere Wandstärken erwartet.

Polybutylensuccinat (PBS):

PBS wird aus Butandiol und Bernsteinsäure hergestellt. Beide können auf biogenem Weg produziert werden, wobei derzeit vor allem die Bernsteinsäure noch vorwiegend auf fossilem Weg hergestellt wird. Die Verarbeitung biogener Rohstoffe zu PBS kann dabei allerdings auf den bestehenden Anlagen erfolgen, sodass kaum Änderungen in der Produktionsstruktur notwendig wären. PBS ist ein sehr starres Material, das auch bei hohen Temperaturen noch stabil bleibt. Darüber hinaus lässt es sich sehr gut bedrucken und weist eine gute Kompatibilität mit Naturfasern und anderen biogenen Polymeren auf (z.B. PLA) auf, sodass als Compound noch bessere Eigenschaften erzielt werden können.

Polyhydroxyalkanoate (PHA):

PHAs sind aufgrund der hohen Diversität an Monomeren sehr vielseitig in ihren Eigenschaften. Die aus ausschließlich biogenen Rohstoffen hergestellten und darüber hinaus auch biologisch abbaubaren PHAs werden in einem Fermentationsprozess mit Reinkulturen unter Verwendung von Glukose als Kohlenstoffquelle produziert. Sie können je nach Zusammensetzung eine eher elastomerartige bis hin zu einer sehr starren Struktur aufweisen und besitzen darüber hinaus eine gute UV- und Temperaturstabilität sowie gute Beständigkeit gegen Feuchtigkeit. Einsatz finden diese Biokunststoffe in Spritzgieß-, Extrusions- und Blasformanwendungen sowie als Folien.

Thermoplastische Stärke (TPS):

Materialien aus Stärke werden seit einiger Zeit zur Umstellung auf erneuerbare Rohstoffe eingesetzt. Allerdings besitzt Stärke relativ schlechte physikalische Eigenschaften (z.B. Festigkeit), eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit und verfügt über eine schnelle biologische Abbaubarkeit. Auch das Verhalten bei hohen Temperaturen erscheint als möglicher Nachteil.

Daher wird Stärke in der Regel in Form von thermoplastischer Stärke verwendet, die ausgehend von Stärkekörnern und unter Beimischung von natürlichen Weichmachern und Plastifizierungsmitteln über Extrusionsprozesse hergestellt wird. Speziell diese Plastifizierung führt zu einer Verbesserung der physikalischen Eigenschaften wie der Stabilität und Reißfestigkeit sowie auch einer größeren hydrophoben Wirkung. Anwendung findet TPS vor allem für Folien und Tragetaschen oder auch in weiterverarbeiteter Form als Formteile oder Spritzgussteile.

3.1.3 Biobasierte Drop-in Lösungen:

Neben rein biobasierten Kunststoffen gibt es seit einiger Zeit Bestrebungen den fossilen Anteil zu reduzieren und durch biogene Anteile zu ersetzen. Dabei wird von so genannten Drop-ins gesprochen, die von den technischen Eigenschaften her kaum Unterschiede zu den rein auf fossiler Basis hergestellten Kunststoffen aufweisen. Es werden derzeit bereits für einige Kunststoffe derartige Drop-in Lösungen produziert, die nachfolgend beschrieben werden:

Beim Bio-Polyethylen wird seit einigen Jahren das Ethanol aus Zuckerrohr (Braskem) hergestellt, wobei aus einem Quadratmeter Anbaufläche zwischen 0,1 und 0,3 kg Polyethylen erzeugt werden kann. Aktuell werden durch Bio-PE allerdings noch keine wesentlichen Anteile an der weltweiten Produktionskapazität substituiert. Bio-Polypropylen kann grundsätzlich aus unterschiedlichen biobasierten Materialien hergestellt werden, wie beispielsweise aus Ethanol über das Ethen oder aus Glycerol über das Propan. In den letzten Jahren wurden immer wieder Versuche für biobasiertes PP gestartet, die bis jetzt allerdings noch zu keinem zählbaren Ergebnis geführt haben, jedoch weiterhin beforscht werden. Bei Bio-PET kann in der Regel das Ethylenglycol auf biogenem Weg hergestellt werden, beispielsweise aus biogenem Ethanol. Die Terephthalsäure wird bis jetzt allerdings noch aus fossilen Rohstoffen gewonnen, es laufen jedoch zahlreiche Forschungsarbeiten zur Herstellung aus Glycerin oder auch Holzrestmassen wie Lignin. Insgesamt zählt Bio-PET aktuell zu einem der bedeutendsten biogenen Polymere (Frischenschlager et al. 2018).

Weitere Möglichkeiten sind Compounds aus Biopolymeren mit traditionellen Kunststoffen. Ein Beispiel dafür ist das PBAT-PLA-Compound, das aus einem erdölbasierten PBAT sowie einem biogenen PLA besteht. Das Compound zeichnet sich aufgrund eines geringen E-Moduls durch eine hohe Elastizität bei gleichzeitiger hoher Reißfestigkeit (Reißdehnung bis zu 600%) aus. Die fehlende Wärmebeständigkeit als Charakteristik des PLA verbleibt dabei als noch zu lösende Herausforderung. Anwendung findet dieser Verbundstoff vor allem bei Folien sowie Beutel und Sackerl. TPS-PBS-Compound stellt eine weitere Alternative dar, um die Nachteile von TPS (z.B. Erweichungstemperatur, Wasseraufnahmefähigkeit) durch die Compoundierung mit PBS auszugleichen. Darüber hinaus kann PBS ebenfalls bereits zu einem gewissen Teil auf biogenem Weg hergestellt werden (biogenes Butandiol), sodass durch dieses Material ein insgesamt sehr geringer verbleibender fossiler Anteil erreicht werden kann.

3.1.4 Sonstige Verpackungsmaterialien

Papier und Karton:

Papier ist ein altbewährtes und sehr preiswertes Verpackungsmaterial biogenen Ursprungs, das allerdings aufgrund der geringen Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit vor allem für trockene Anwendungen geeignet ist. Darüber hinaus verfügt Papier über eine sehr gute Recyclingfähigkeit. Wesentliche Einsatzgebiete sind im Verpackungsbereich beispielsweise für Tragetaschen und Einkaufssackerl sowie auch für Getränkekartons.

Glas:

Glas ist neben den Kunststoffen ein altbewährtes Material, das aus mineralischen Rohstoffen hergestellt wird. Es besitzt eine deutlich höhere Barriereeigenschaft als Kunststoffe, sodass Glasflaschen vor allem für kohlenensäurehaltige Getränke eingesetzt werden. Darüber hinaus ist Glas sehr stabil gegenüber hohen Temperaturen und deshalb für Pasteurisations- und Sterilisationsprozesse geeignet. Es besitzt hohe Stabilität gegen Krafteinwirkungen von außen und gute Migrationseigenschaften. Nachteile von Glas sind vor allem der für die Herstellung notwendige hohe Energieeinsatz auch bei Recyclingglas, sowie das vergleichsweise hohe Gewicht. Der hohe Energieeinsatz kann durch Mehrwegsysteme weitgehend reduziert werden.

Aluminium/Weißblech:

Verpackungen (in der Regel Dosen) aus Aluminium bzw. Weißblech sind ein weiteres traditionelles Material, das ähnlich dem Glas über eine sehr hohe Barriereeigenschaft verfügt, die aufgrund des dichteren Verschlusses sogar als etwas besser eingestuft werden kann. Auch die weiteren Eigenschaften sind jenen von Glas sehr ähnlich, wobei die Behältnisse bei gleichem Volumen deutlich leichter, jedoch empfindlicher gegenüber Krafteinwirkungen von außen sind. Verwendet werden Dosen aus Aluminium bzw. Weißblech speziell bei Getränken wie Bier oder auch Lebensmittelkonserven. In beiden Fällen liegt ein hoher Einsatz von Sekundärrohstoffen vor, der den Energieeinsatz deutlich gegenüber Frischmaterial reduziert.

3.2 Vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften nach Produktbereichen

Die funktionalen Eigenschaften der jeweiligen Verpackungsmaterialien weisen grundsätzlich ein sehr heterogenes Bild auf, wodurch sich auch die Schwerpunkte des Einsatzes oft deutlich unterscheiden. PET ist beispielsweise aufgrund der hohen Gasbarriere und der hohen Steifigkeit neben Aluminiumdosen und Glasflaschen das etablierteste Material für Getränkeverpackungen. PEF (Polyethylenfuranoat) kann aus biogenen Rohstoffen hergestellt werden und könnte eine ernstzunehmende Alternative zu den traditionellen Materialien darstellen. Demgegenüber wird Polyethylen aufgrund des geringen Gewichts und der guten chemischen Beständigkeit vorwiegend für Waschmittel- und Kosmetikverpackungen sowie Polystyrol und Polypropylen aufgrund der guten thermischen Verformbarkeit und auch Elastizität für Lebensmittelverpackungen wie Becher eingesetzt. PLA scheint in diesen Bereichen eine mögliche biobasierte Alternative darzustellen.

Die in Kapitel 3.1.3 angeführten Drop-In Kunststoffe stellen ebenfalls eine Alternative zu konventionellen petrochemischen Kunststoffen dar. Sie wurden allerdings nicht explizit in die Untersuchungen aufgenommen, da der Fokus dieses Projektes primär auf neuen biobasierten Alternativ-Materialien und deren Eigenschaften im Vergleich zu konventionellen Materialien

liegt. Allerdings wird gegebenenfalls vorhandenes Potential von Drop-In Lösungen nachfolgend berücksichtigt, speziell in Anwendungsbereichen mit derzeit noch fehlenden biobasierten Alternativen.

Im nachfolgenden Kapitel werden die bereits beschriebenen Materialien daher in definierten Anwendungsfällen betrachtet, bei denen speziell die Erfüllung der funktionalen Anforderungen wesentlich ist, um Unterschiede zwischen fossilen und biobasierten Materialien erkennen zu können. Auf Grundlage der technischen Eigenschaften und Einsatzbereiche der Materialien wurden gemeinsam mit ExpertInnen aus Wissenschaft und Wirtschaft wesentliche Produktbereiche identifiziert, für die in weiterer Folge die jeweils prägendsten Anforderungen festgelegt sowie die in Frage kommenden Materialien ausgewählt wurden. Für jeden Produktbereich wurde das Ausmaß der Erfüllung der Anforderungen durch die einzelnen Produkte geprüft. Als Grundlage dienten aktuelle wissenschaftliche Studien, speziell für die biobasierten Alternativen, deren Marktpräsenz und Praxisprüfung noch nicht in äquivalentem Ausmaß vorliegt (z.B. Detzel et al. 2012). Die Bewertung der Eignung jedes Materials in den ausgewählten Eigenschaften erfolgte in qualitativer Form, möglichst abgestützt auf die quantitativen Materialeigenschaften. Sie stellte die Grundlage für die Beurteilung der Substitutionspotentiale biobasierter Materialien aus technischer Sicht dar.

3.2.1 Getränkeverpackungen

Als erster Produktbereich wurden die Getränkeverpackungen ausgewählt, für den vor allem folgende Parameter von essenzieller Bedeutung sind: die möglichst niedrige Gasdurchlässigkeit für kohlenensäurehaltige Getränke, die Recyclingfähigkeit inklusive Energieaufwand als generell aktuelles Thema, ein geringes Gewicht, die Transparenz sowie die thermische Stabilität für Reinigungsprozesse (z.B. Sterilisation). Hinsichtlich der möglichen einsetzbaren Materialien wurden einerseits Aluminiumdosen und Glasflaschen und andererseits der konventionelle Kunststoff PET sowie die Biokunststoffe PEF und PLA betrachtet. Fossil-basiertes PET ist aktuell neben Glas und Aluminium das am häufigsten eingesetzte Material.

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich wird, verspricht das auf biogenem Weg herstellbare PEF deutliche Vorteile gegenüber dem traditionellen PET, speziell hinsichtlich der Gasbarriere für CO₂, Sauerstoff und Wasserdampf. Darüber hinaus könnten auch die Recyclingfähigkeit durch die Verringerung des Additiv-Anteils verbessert, das Gewicht aufgrund von geringeren Wandstärken reduziert sowie auch der Schutz gegen Verformung durch Einwirkung von außen verbessert werden. Es gilt dabei allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Technologie derzeit noch im Pilotmaßstab befindet und daher noch keine kommerzielle Umsetzung im technischen Maßstab erfolgt ist. Dadurch sind vor allem die Produktionskapazität und auch der Preis noch limitierende Faktoren. Im Vergleich dazu erzielen Glasflaschen und auch Aluminiumdosen speziell hinsichtlich der Barriereigenschaften bessere Ergebnisse. Sie weisen allerdings bei anderen Parametern wie Gewicht und Energieverbrauch Nachteile gegenüber Kunststoffen auf. Eine weitere biogene Alternative könnte in diesem Produktbereich PLA darstellen, wobei bei diesem Material vor allem die geringe Gasbarriere und auch die mangelnde thermische Stabilität zu überwinden wären.

Tabelle 3: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Getränkeverpackungen

Getränkeflaschen	PET	PEF	Glas	Alu/Blech	PLA
Eigenschaften	Bewertung				
Gasdurchlässigkeit	~	+	++	++	-
Recyclingfähigkeit	~	+	++	++	+
Energieaufwand	+	+	--	~	+
Gewicht	+	++	--	~	++
Thermische Stabilität	~	~	++	++	-
Transparenz/Gleichmäßigkeit	+	+	++	--	+
Migration	+	+	++	+	~
Verformbarkeit (Schutz vor Krafteinwirkung)	~	+	+	+	+
Preis	+	--	-	~	-

Der Vergleich der technischen Eigenschaften in Tabelle 3 zeigt, dass vor allem das auf biogenem Weg herstellbare PEF eine ernstzunehmende Alternative für die traditionellen Verpackungen wie PET, Glas oder Aluminium/Weißblech darstellen. Es wird bei diesem Material sogar von teilweise deutlich besseren Eigenschaften ausgegangen, die allerdings erst im technischen Maßstab getestet und umgesetzt werden müssen, um auch die Probleme mit dem Preis und auch den für diesen Massenmarkt notwendigen Absatzmengen lösen zu können. Neben PEF ist auch die weitere Erhöhung des biogenen Anteils von PET (Bio-PET) als Drop-in Lösung speziell aufgrund der vergleichbaren und etablierten Eigenschaften eine vielversprechende biobasierte Alternative.

3.2.2 Haushaltsbehälter

Im Bereich der Haushaltsbehälter (z.B. Waschmittel- und Kosmetikprodukte) handelt es sich im Gegensatz zu Getränkeverpackungen aus Streckblasprozessen um extrudierte Materialien. Dieser Produktbereich erfordert hinsichtlich der Qualität des Produkts ähnliche Eigenschaften wie die Getränkeverpackungen, allerdings mit gewissen Unterschieden. Die Gasbarriere ist zwar relevant, allerdings von etwas geringerer Bedeutung als bei den Verpackungen für kohlenstoffhaltige Getränke. Neben der Recyclingfähigkeit des Materials, dem Gewicht, der thermischen Stabilität, der Migration (Verfärbbarkeit des Produkts), der Verformbarkeit (Schutz vor Krafteinwirkung) ist auch die chemische Beständigkeit von hoher Relevanz.

Polyethylen ist dabei das derzeit am häufigsten eingesetzte Material für die Herstellung von Waschmittel- und Kosmetikverpackungen. Es besitzt eine geringe Sauerstoff-, aber hohe Wasserdampfbarriere, ein geringes Gewicht sowie eine gute Beständigkeit gegenüber Chemikalien. Ein Recycling von PE ist grundsätzlich möglich, jedoch aufgrund der Vielfalt an unterschiedlichen Kunststoffen und des Einsatzes von Additiven nicht ohne Probleme. Als traditioneller Kunststoff kann in diesem Anwendungsbereich neben PE auch PET sowie biobasiertes PEF eingesetzt werden. In diesem Produktbereich ist weniger die gute Gasbarriere

von Bedeutung als die Chemikalienbeständigkeit. Als weitere biogene Alternative weist PLA grundsätzlich gute Eigenschaften auf, da es sich dabei um ein leichtes, sehr steifes und durchlässiges Material gegenüber Sauerstoff handelt. Problematisch sind dabei allerdings vor allem die fehlende Stabilität gegenüber hohen Temperaturen (derzeit bis maximal 60°C) und auch die Wasser-Migration. Darüber hinaus hat PLA derzeit noch einen deutlich höheren Preis aufgrund der geringen Produktionsmengen.

Tabelle 4: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Haushaltsbehälter

Haushaltsbehälter	PE	PET	PLA	PEF
Eigenschaften	Bewertung			
Gasdurchlässigkeit	-	~	-	+
Recyclingfähigkeit	~	~	+	+
Gewicht	+	~	+	+
Thermische Stabilität	~	+	--	~
Transparenz/Gleichmäßigkeit	~	+	~	+
Migration	+	+	+	+
Mechanische Verformbarkeit	~	~	++	+
Chemische Beständigkeit	+	+	~	~
Preis	+	~	-	--

Die Bewertung aus Tabelle 4 zeigt für Haushaltsbehälter die besten Eigenschaften bei Polyethylen, Polyethylenterephthalat und Polyethylenfuranuat, wobei ersteres überwiegend eingesetzt wird. PET wäre von den Eigenschaften her vergleichbar mit PE, zeigt bei manchen entscheidenden Parametern wie dem Gewicht aber etwas schlechtere Werte. Hinsichtlich der biogenen Materialien wäre PEF ein interessantes Substitutionsmaterial, wobei der hohe Preis aufgrund der fehlenden technischen Umsetzung der derzeit noch entscheidende Faktor ist. Sonst wäre PLA eine weitere biobasierte Alternative, die jedoch speziell aufgrund der unzureichenden thermischen Stabilität noch kaum eingesetzt wird. Auch in diesem Produktbereich können allerdings neben reinen biogenen Materialien auch Drop-ins zunehmend an Bedeutung gewinnen, da es bereits für alle derzeit verwendeten Materialien (PE, PET) Lösungen mit biogenen Anteilen gibt, die weiter forciert werden sollten.

3.2.3 Becher und Schalen als Lebensmittelverpackung

Lebensmittelverpackungen wie Becher (z.B. Joghurtbecher) und Schalen haben andere Qualitätsansprüche als beispielsweise extrudierte oder streckgeblasene Flaschen. Für diese Produktgruppe sind vor allem die Siegelbarkeit des Produktes, ein gleichmäßiges Fließverhalten, eine geringe thermische und mechanische Verformung (Produktschutz) sowie auch die Durchstichfestigkeit von erhöhter Relevanz.

Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP) sowie auch Polyethylen (PE) sind derzeit die gefragtesten Materialien am Markt. PS hat ein sehr gutes Fließverhalten sowie sehr gute Eigenschaften

hinsichtlich Temperaturstabilität. PP (und auch PE) ist im Gegensatz dazu besser siegelbar und verfügt über eine höhere Durchstichfestigkeit sowie auch etwas bessere Eigenschaften für den Lebensmittelkontakt. PET ist ebenfalls geeignet, in diesem Produktbereich eingesetzt zu werden, hat speziell bei der Festigkeit Vorteile, allerdings Nachteile bei der Stabilität bei hohen Temperaturen. Als biogene Alternative verfügt neben Drop-in Lösungen PLA über vielversprechende Eigenschaften, welche die Vorteile von PS und PP verbinden könnte. Einzig die fehlende thermische Stabilität sowie auch der hohe Preis sind zurzeit noch Grund für die fehlende Marktdurchdringung. Darüber hinaus wäre der Biokunststoff Polyhydroxyalkanoat (PHA) eine weitere vielversprechende Alternative, da er über sehr gute mechanische und thermische Stabilität sowie gute biologische Abbaubarkeit verfügt. Er wird jedoch bis dato noch nicht in ausreichenden Mengen am Markt verfügbar.

Tabelle 5: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Becher und Schalen

Becher und Schalen	PS	PE/PP	PET	PLA
Eigenschaften	Bewertung			
Fließverhalten	+	+	~	-
Thermische Verformbarkeit	++	+	~	-
Mechanische Verformbarkeit	~	-	+	++
Durchstichfestigkeit	~	~	+	+
Siegelbarkeit	+	++	+	+
Recyclingfähigkeit	-	~	~	+
Preis	+	+	~	-

Wie in Tabelle 5 zu sehen ist, verfügen einige Kunststoffe (PE, PP, PS und PET) über gute technische Eigenschaften für den Einsatz als Becher und Schalen mit Lebensmittelkontakt. Marktführer ist zurzeit Polystyrol, für welches es bis jetzt allerdings noch kaum Drop-in Lösungen gibt, um den biogenen Anteil erhöhen zu können. Als biogene Alternative kommen somit vor allem Drop-ins für PE, PP und PET oder das 100% biobasierte PLA in Frage, für das jedoch die Verarbeitbarkeit (Fließverhalten) verbessert und die thermische Stabilität gewährleistet werden müsste.

3.2.4 Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen

Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen sind alltägliche Gebrauchsgegenstände aller KonsumentInnen. Die höchsten Anforderungen werden bei dieser Produktgruppe an die Stabilität, die Dehnbarkeit und die Reißfestigkeit gestellt, um einen sicheren Transport beispielsweise von Lebensmitteln zu ermöglichen. Daneben ist allerdings auch die Wasserbeständigkeit ein wichtiges Kriterium.

Hinsichtlich der Materialien werden dafür vorwiegend Polyethylen und Papier eingesetzt, wobei PE vor allem eine geringere Reißfähigkeit sowie Wasseraufnahmefähigkeit als Papier besitzt und generell über eine höhere Festigkeit verfügt. Darüber hinaus ist PE dehnbarer als beschichtetes Kraftpapier und besitzt eine bessere Siegfähigkeit für den Tragegriff. Neben beschichtetem Kraftpapier könnten als biobasierte Alternative für Einkaufstaschen vor allem

Drop-ins an Bedeutung gewinnen, wie beispielsweise PLA-Compounds (mit PBAT). Die Dehnbarkeit und vor allem die Reißfestigkeit zeigen hier analog dem beschichteten Kraftpapier allerdings noch Optimierungsbedarf. Compounds aus thermoplastischer Stärke (TPS) und PBS (Polybutylensuccinat) weisen bis auf eine durchschnittliche Recyclingfähigkeit annähernd vergleichbare Eigenschaften zu Polyethylen auf. Zusätzlich werden hier auch Hanf und Baumwolle als Naturfasern für Einkaufssackerl und Tragetaschen mit einbezogen, die über eine hohe Nassfestigkeit, gute Reißfestigkeit sowie auch die Möglichkeit der Wiederverwendbarkeit besitzen.

Tabelle 6: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Einkaufstaschen

Einkaufssackerl/ Tragetaschen	PE	Kraftpapier beschichtet	PBAT-PLA	TPS-PBS	Hanf	Baum- wolle
Eigenschaften	Bewertung					
Festigkeit	++	+	++	+	++	++
Durchstich/Weiterreiß- festigkeit	+	~	~	+	++	++
Dehnbarkeit	+	~	~	++	-	-
Siegel/Nahtfähigkeit	++	-	+	+	++	++
Wasserbeständigkeit	++	-	+	+	+	+
Recyclingfähigkeit	~	++	+	~	+	+
Preis	+	+	-	~	-	~

Die funktionalen Eigenschaften für Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen zeigen (siehe Tabelle 6), dass Kunststoffackerl (aus Polyethylen) zurzeit die besten technischen Eigenschaften besitzen. Biobasierte Kunststoffe können derzeit noch kaum mithalten, da vor allem das schlechte Feuchteverhalten und damit die erhöhte Reißfähigkeit ein wesentliches Hindernis darstellen. Ganz anders ist die Situation bei biobasierten Textilstoffen wie Hanf und Baumwolle, die sich durch das Potential oftmaliger Wiederverwendbarkeit und der hohen Festigkeit auszeichnen.

3.2.5 Folien für den Baubereich

Ein weiterer Produktbereich der verpackungsähnlichen Anwendungen sind Folien, die vor allem in der Baubranche eingesetzt werden. Dabei zählen die Festigkeit und die Durchstich- und Weiterreißfestigkeit für die Stabilität zu den prägendsten Anforderungen. Die Wasserbeständigkeit ist ebenfalls von Bedeutung, wobei eine möglichst geringe Anfälligkeit gegenüber Feuchtigkeit gewährleistet sein sollte (siehe Tabelle 7).

Polyethylen (bzw. auch Polypropylen) ist dabei das derzeit geeignetste Material, bei welchem trotz gewisser Elastizität eine gute Festigkeit und Stabilität sowie eine sehr gute Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit gewährleistet ist. Rein biobasierte Materialien werden vor allem aufgrund der hohen Anforderungen an die Festigkeit und Steifigkeit sowie die Wasserbeständigkeit kaum eingesetzt. Um den biogenen Anteil im Produkt zu erhöhen, bieten sich vor allem Drop-Ins für PE bzw. PP an.

Tabelle 7: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Baufolien

Baufolien	PE	PP	PBAT-Biokunststoff-Compound
Eigenschaften	Bewertung		
Festigkeit	++	++	++
Durchstich/Weiterreißfestigkeit	+	+	+
E-Modul	~	~	++
Wasserbeständigkeit	++	++	+
Preis	+	~	-

Als Fazit kann gefolgert werden, dass für Baufolien aktuell keine funktional äquivalenten biobasierten Alternativmaterialien für Polyethylen bzw. Polypropylen zur Verfügung stehen. Diesbezüglich besteht vor allem hinsichtlich der Wasserbeständigkeit noch weiterer Forschungsbedarf. Bis dahin könnten allerdings Drop-in Lösungen für PE und PP weiterentwickelt und forciert werden. Weitere vielversprechende Alternativen könnten Verbundstoffe aus derzeit fossilem PBAT und biobasierten Materialien (z.B. PLA oder TPS) darstellen. Diese Compounds besitzen ähnliche Eigenschaften wie PE oder PP und sind vor allem durch ihre hohe Festigkeit und Stabilität interessant. Ein wesentlicher Nachteil ist allerdings der zurzeit noch zu hohe Preis sowie teilweise das Verhalten bei hohen Temperaturen.

3.2.6 Verpackungsbeutel

Ein weiterer Produktbereich im Bereich der Verpackungen sind Verpackungsbeutel. Dabei zählen die Festigkeit und die Durchstich- und Weiterreißfestigkeit für die Stabilität zu den elementaren Eigenschaften. Wie bei den Folien für den Baubereich ist die Wasserbeständigkeit ebenfalls von Bedeutung, da eine möglichst geringe Anfälligkeit gegenüber Feuchtigkeit gewährleistet sein sollte (siehe Tabelle 8).

Den Markt dominieren Verpackungsbeutel aus Polyethylen, da dieses Material die Anforderungen am besten erfüllt. Hierzu zählt eine sehr gute Festigkeit, welche daneben nur der Verbundwerkstoff aus Aluminium und Polymilchsäure (PLA) vorweisen kann. Speziell hinsichtlich der Durchstich- und Weiterreißfestigkeit hat PE gute Kennzahlen vorzuweisen, wobei thermoplastische Stärke (TPS) und mit PLA beschichtetes Papier ebenfalls als gut einzustufen sind. Zwei weitere essentiell geforderte Eigenschaften an das Material sind die Wasserbeständigkeit und das Fungieren als Wasserdampfbarriere. Bezüglich Erstem können PE aber auch Polyhydroxyalkanoat (PHA) mit sehr guten Werten punkten. Um den Inhalt von Verpackungsbeutel vor Feuchtigkeit, gegebenenfalls Sauerstoff und anderen Medien zu schützen, muss ein geeignetes Material eine entsprechende Dichtheit aufweisen. Hierbei erzielt ein Alu-PLA Verbund auf Grund des Metallanteils die besten Werte (Wasserdampfbarriere), gefolgt von PHA, wobei Polyethylen ebenfalls ausreichend einzustufen ist.

Tabelle 8: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Verpackungsbeutel

Verpackungsbeutel	PE	Alu-PLA Verbund	TPS	Kraftpapier PLA-beschichtet	PHA
Eigenschaften	Bewertung				
Festigkeit	++	++	~	+	~
Durchstich/Weiterreißfestigkeit	+	-	+	+	~
Dehnbarkeit	+	-	++	+	+
Wasserbeständigkeit	++	+	-	-	++
Wasserdampfbarriere	~	++	-	-	+
Preis	+	~	+	~	-

Zusammenfassend kann daraus geschlossen werden, dass biobasierte Materialien für Verpackungsbeutel vielversprechende Alternativen darstellen, es bei einzelnen Parametern jedoch noch leichte Nachteile gibt (z.B. Festigkeit bei PHA), die die Gesamtleistung etwas herabsetzen. Insgesamt kann trotzdem vor allem durch biobasiertes PHA und dem Compound aus Aluminium und PLA eine annähernd funktionale Äquivalenz zu konventionellem Polyethylen erreicht werden.

3.3 Beurteilung der funktionalen Äquivalenz und der ökologischen Auswirkungen von biobasierten Materialien

Im nachfolgenden Kapitel werden die bisher beschriebenen funktionalen Eigenschaften der jeweiligen biogenen und fossilen Materialien nach den verschiedenen Anwendungsbereichen zusammengefasst und den ökologischen Wirkungen gegenübergestellt. In den nachfolgenden Kapiteln werden die für die Anwendungsbereiche Getränkeflaschen, Haushaltsbehälter, Becher/Schalen, Einkaufssackerl/Tragetaschen, Folien für den Baubereich und Verpackungsbeutel einsetzbaren Materialien bezüglich ihrer wesentlichsten Eigenschaften charakterisiert. Dies erfolgt mit zwei Spinnendiagrammen, in denen die Funktionalität und die ökologischen Eigenschaften der untersuchten Materialien angegeben werden. Je mehr sich ein Punkt auf dem Spinnendiagramm dem Mittelpunkt annähert, desto schlechter ist die Performance hinsichtlich dieser Eigenschaft. Analog hierzu bedeutet, dass ein Wert ganz außen auf dem „Spinnennetz“ eine sehr gute Leistung bezüglich dieser Eigenschaft. Dies ist auch an der Achsenbeschriftung (1 = sehr schlecht 5 = sehr gut) zu erkennen.

Grundsätzlich lassen sich für jedes untersuchte Material die jeweiligen Punkte verbinden und somit ein Polygon erzeugen. Die dabei entstehende Fläche kann als Gesamtleistung des Materials für eine gewisse Anwendung angesehen werden. Die jeweiligen Materialien werden anschließend nach ihrer Gesamtleistung (errechnet über die Punktesumme) gereiht, wobei standardgemäß der „1. Rang“ die beste Materialeignung widerspiegelt. Dies entspricht einer Gleichgewichtung der einzelnen Eigenschaften, die nicht die realen Grundlagen für Entscheidungen darstellen. In der Praxis wird nicht allen Kriterien die gleiche Bedeutung zukommen, der Preis wird oft stärker gewichtet und es werden an bestimmte Eigenschaften Mindestanforderungen gestellt.

In den folgenden Balkendiagrammen werden in jedem Kapitel die funktionalen und ökologischen Eigenschaften vergleichsweise gegenübergestellt. Dabei stellt jeweils das Material mit den besten Eigenschaften (höchste Punktesumme bei funktionalen und ökologischen Eigenschaften) den 100%-Wert dar. Die Balken der anderen Materialien beziehen sich auf die 100% und zeigen den jeweiligen Abstand zum Bestwert.

Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass sich die Bewertungen und somit die Rangfolge auf Grund der in diese Untersuchung einbezogenen Attribute ohne eine Gewichtung untereinander ergibt. Daher erscheint es unzulässig pauschal zu behaupten, ein Material erfülle die funktionalen Anforderungen am besten, oder hat die geringsten ökologischen Auswirkungen, da sich durch Einbeziehen anderer Bewertungskriterien wie etwa Langlebigkeit eine andere Bewertung und möglicherweise andere Rangordnung ergeben könnte.

3.3.1 Getränkeflaschen

In nachfolgender Abbildung 1 ist die Performance der für Getränkeflaschen einsetzbaren Materialien in den für das Produkt wesentlichsten Eigenschaften dargestellt. Insgesamt ist aus dieser Abbildung zu erkennen, dass die verschiedenen Materialien sehr heterogene Bewertungen in den einzelnen Parametern besitzen und die Auswahl des am besten geeigneten Materials daher sehr stark von der Priorisierung innerhalb der einzelnen Eigenschaften abhängt.

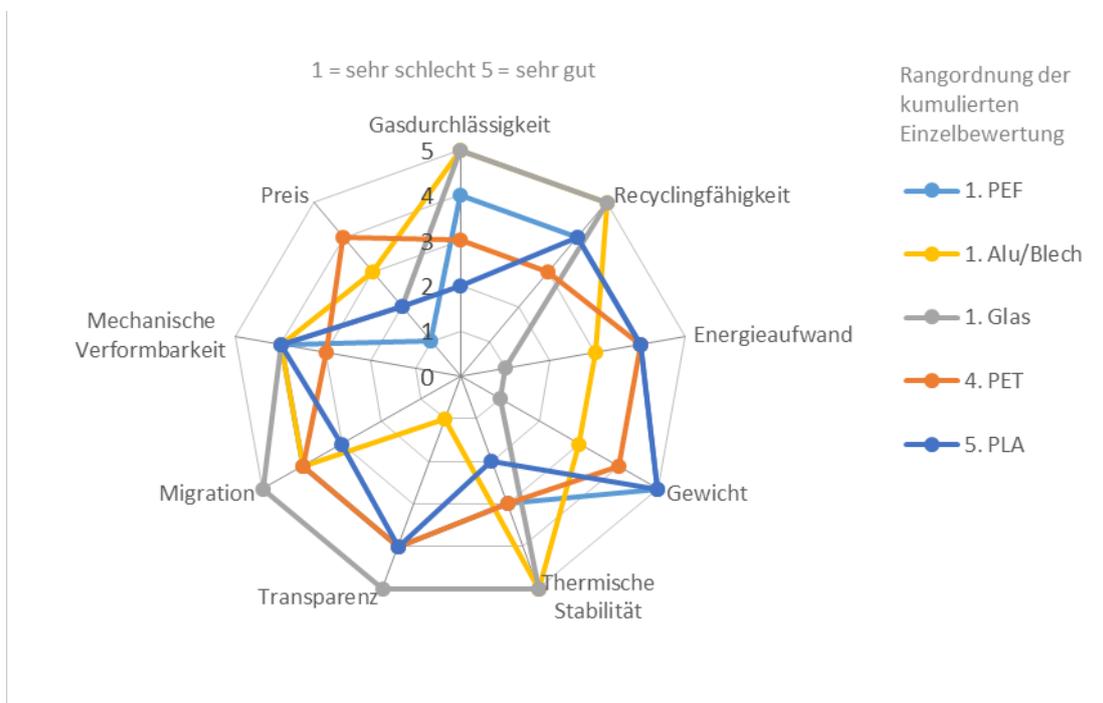


Abbildung 1: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Getränkeflaschen geeigneten Materialien

Abbildung 1 zeigt, dass Polyethylenfuranuat (PEF) in Summe bei der Bewertung der technischen Eigenschaften das beste Ergebnis erzielt, wobei hierbei deutlich zu erkennen ist, dass der hohe Preis bei diesem Produkt negativ ins Gewicht fällt. Glas und Alu/Blech sind insgesamt als gleich gut an zweiter Stelle zu bewerten, gefolgt von Polyethylenterephthalat (PET) und PLA auf den weiteren Plätzen. Neben den funktionalen Eigenschaften werden nachfolgend die ökologischen Eigenschaften näher betrachtet.

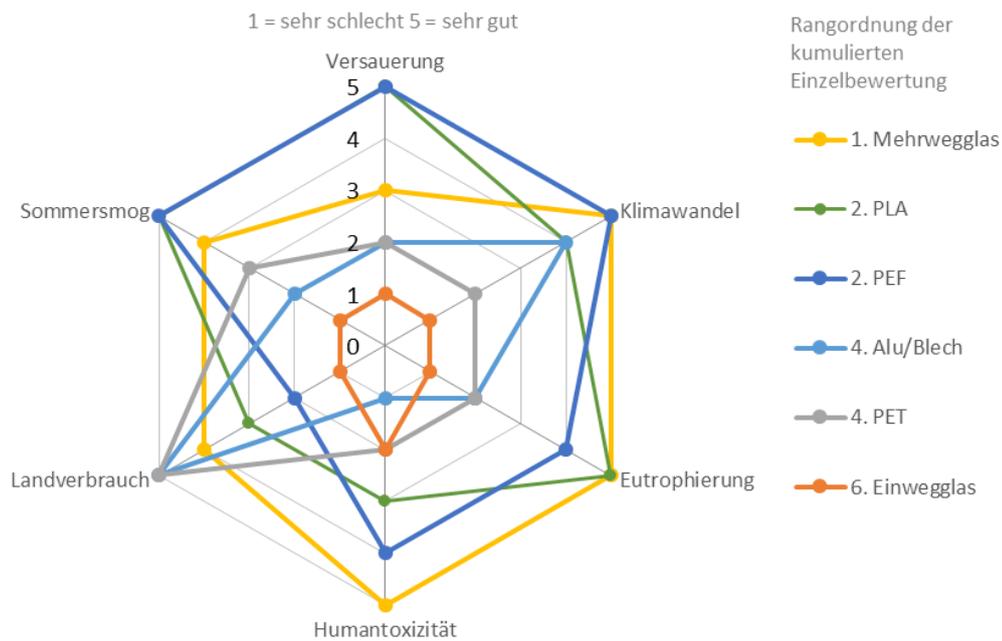


Abbildung 2: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Getränkeflaschen geeigneten Materialien

Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass Glas je nachdem wie oft dieses verwendet wird, als bestes oder schlechtestes Material aus ökologischer Sicht eingestuft werden kann. Bei Mehrwegglas wird angenommen, dass dieses acht bis zehn Mal eingesetzt wird, ehe es als Abfall endet. Einwegglas gilt hingegen nach einmaliger Benützung als Abfall. PLA und PEF weisen hinsichtlich der durch das Material verursachten Umweltauswirkungen eine ökologisch gute Performance auf. Aluminium/Blech und PET haben wenige gute beziehungsweise ausreichende Einzelbewertungen (z.B. Klimawandel und Landverbrauch), meist haben diese Materialien jedoch eine tendenziell negativere Bilanz bei den ökologischen Eigenschaften. Daraus kann gefolgert werden, dass Recycling bzw. Wiederverwendung von mineralischen Materialien zurzeit noch leichte ökologische Vorteile gegenüber reinen biobasierten Materialien bringt. Diese verfügen vor allem in den Indikatoren „Landverbrauch“ und teilweise auch „Humantoxizität“ noch über eine schlechtere Performance als konventionelle Materialien.

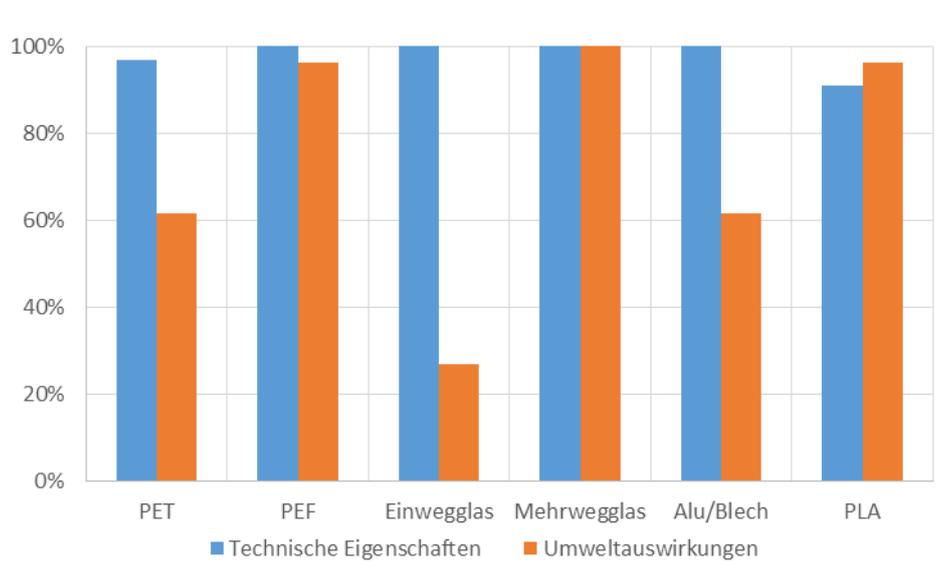


Abbildung 3: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Getränkeverpackungen geeigneten Materialien

Wie bereits angemerkt wurde, weisen sämtliche Materialien hinsichtlich der technischen Eigenschaften eine gute Performance auf und wären daher für einen Einsatz als Getränkeverpackung geeignet. Bei Betrachtung der Umweltauswirkungen zeigt sich allerdings eine stärkere Abstufung zwischen den einzelnen Materialien, wobei sich PEF und Mehrwegglas sowie auch PLA von den anderen Werkstoffen deutlich abheben (siehe Abbildung 3). Bei einer gesamtheitlichen Betrachtung der Funktionalität und auch der ökologischen Auswirkungen zeigen somit das Recycling und Wiederverwenden von Glas und auch die Verwendung von biobasiertem PEF die vielversprechendsten Potentiale, wobei letzteres erst in entsprechenden Mengen zu marktfähigen Preisen hergestellt werden muss.

3.3.2 Haushaltsbehälter

Bei Materialien für Haushaltsbehälter werden hier Polyethylen (PE), Polyethylenfuranuat (PEF), Polymilchsäure (PLA) und Polyethylenterephthalat (PET) bezüglich ihrer funktionalen und ökologischen Eigenschaften bewertet.

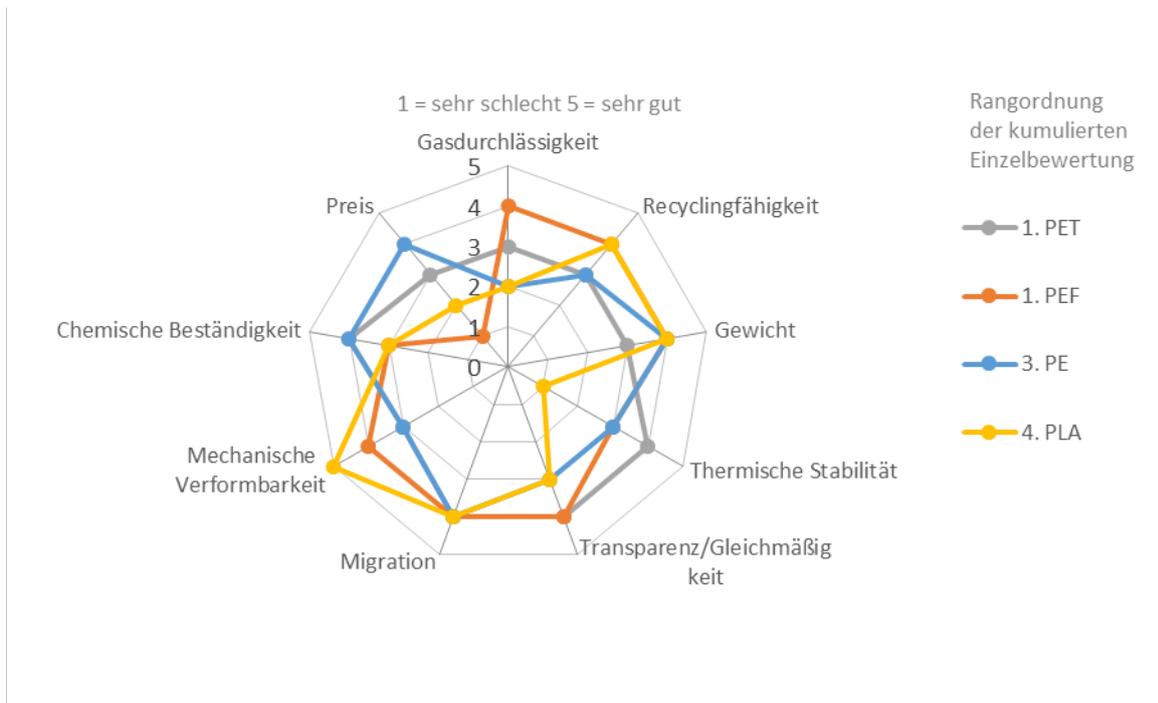


Abbildung 4: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien

Bei den untersuchten Materialien ergeben sich bei den meisten Parametern (z.B. Preis, thermische Stabilität, Recyclingfähigkeit) starke Unterschiede in der Performance, was sich auch deutlich auf die Praxistauglichkeit auswirkt. Bei der Gesamtbewertung liegen PET und PEF an erster Stelle (siehe Abbildung 4). Dies spiegelt allerdings nicht die Situation am Markt wider, da PEF einerseits noch nicht in ausreichenden Mengen verfügbar ist und andererseits der Preis ein wesentliches Kriterium für die Kaufentscheidung ist. Der Markt für Haushaltsbehälter wird daher nach wie vor von petrochemischen Kunststoffen dominiert, wobei PE bei den ausschlaggebenden Kriterien am besten abschneidet und somit trotz dem dritten Rang in obiger Abbildung am häufigsten eingesetzt wird. Bis biobasiertes PEF in technischem Maßstab zu marktfähigen Preisen hergestellt werden kann, liegt noch Entwicklungsbedarf vor.

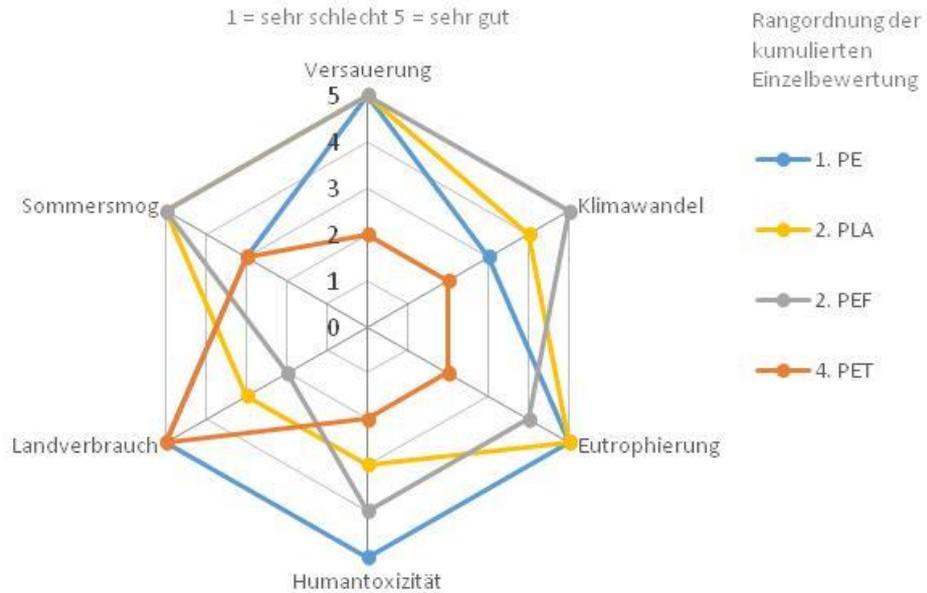


Abbildung 5: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien

In Abbildung 5 sind die ökologischen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter einsetzbaren Materialien dargestellt. Markant ist hierbei die Tatsache, dass sich die beiden auf Erdöl basierenden Kunststoffe sehr unterschiedlich zeigen. PE ist hinsichtlich der ökologischen Verträglichkeit als am besten, beziehungsweise PET am schlechtesten einzustufen. Die beiden biobasierten Kunststoffe weisen bei einzelnen Werten wie Sommersmog, Versauerung oder Klimawandel gute bis sehr gute ökologische Eigenschaften auf, zeigen aber Nachteile in den Belastungsbereichen Landverbrauch und Humantoxizität gegenüber PE.

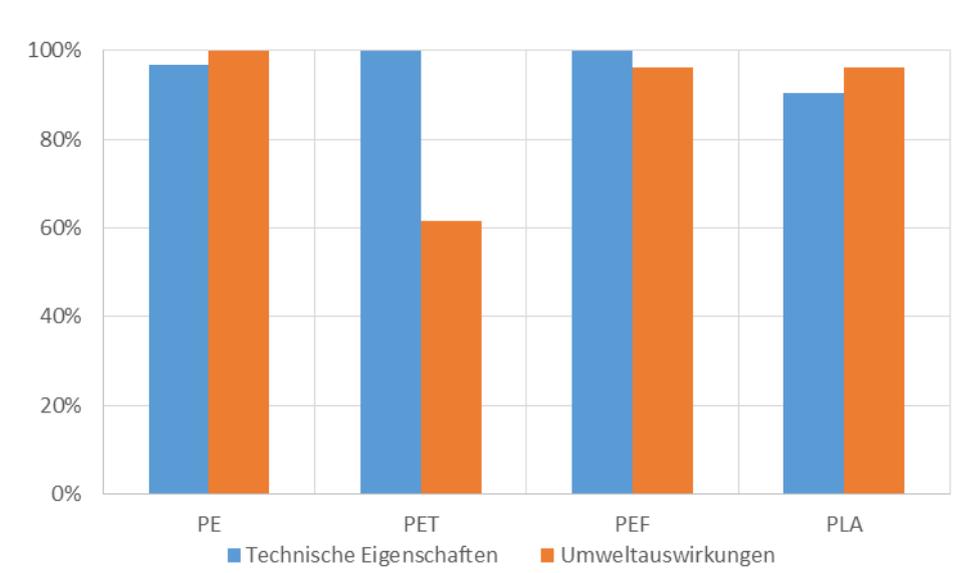


Abbildung 6: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Haushaltsbehälter geeigneten Materialien

Gesamtheitlich betrachtet (siehe Abbildung 6) erzielen PET und PEF die besten technischen Bewertungen, dicht gefolgt von Polyethylen. Konventionelles PET schneidet von der ökologischen Performance betrachtet am schlechtesten ab, besitzt jedoch etwas bessere technische Eigenschaften als beispielsweise PLA. Für Haushaltsbehälter ist kurzfristig der Einsatz von Drop-in Lösungen ebenfalls von größter Bedeutung, um fossile durch biogene Bestandteile zu ersetzen. Mittel- bis langfristig erhofft man sich allerdings durch biobasiertes PEF und eventuell auch durch thermostabiles PLA vielversprechende Substitutionspotentiale.

3.3.3 Becher und Schalen als Lebensmittelverpackung

Polystyrol (PS), Polypropylen (PP) und Polyethylenterephthalat (PET) sowie der biobasierte Kunststoff Polymilchsäure (PLA) werden als Werkstoffe für Becher und Schalen in der Lebensmittelverpackung untersucht.

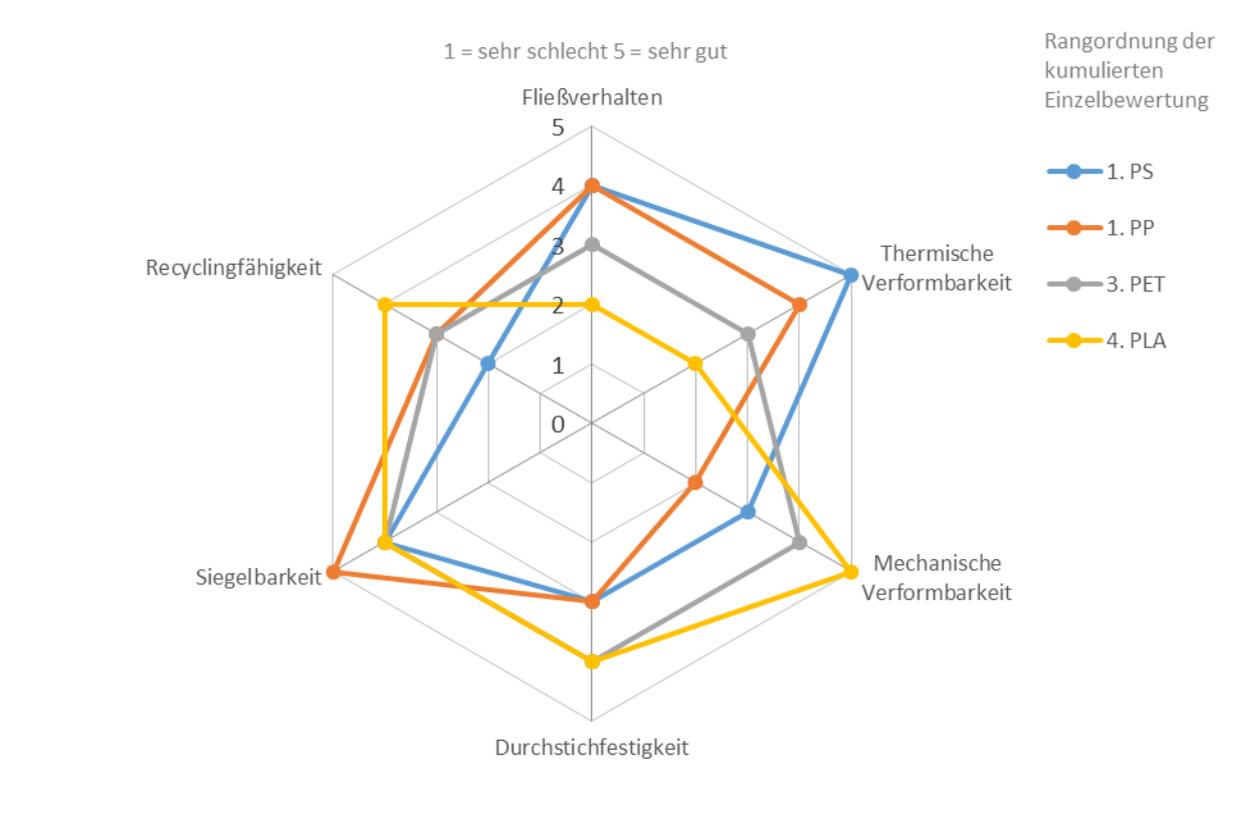


Abbildung 7: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien

Abbildung 7 zeigt, dass PLA vor allem bei dem Fließverhalten und der thermischen Stabilität ungünstige Eigenschaften besitzt. Polystyrol führt diese Rangordnung insgesamt an, trotz der lediglich mittelmäßigen Performance im Bereich der mechanischen Verformbarkeit und Recyclingfähigkeit. Generell kann sich hinsichtlich dieser Darstellung jedoch kein Material deutlich von den anderen abheben, was auf ein noch vorhandenes Verbesserungspotential der Werkstoffe für die Verwendung als Becher oder Schalen hindeutet. Nachdem für diesen Anwendungsbereich ebenfalls petrochemische Kunststoffe dominieren und noch kaum funktional äquivalente biobasierte Alternativen vorhanden sind, würden wiederum Drop ins Potentiale für den Einsatz von biogen-basierten Materialien bieten.

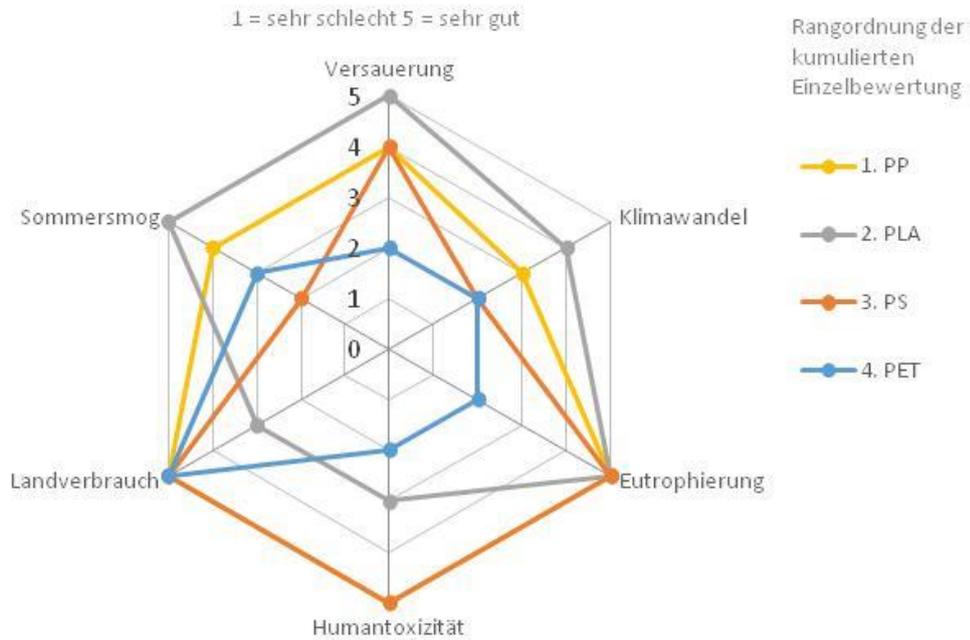


Abbildung 8: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien

Wie bereits in Kapitel 3.3.2 angesprochen, weist der erdölbasierte Kunststoff PET die schlechtesten ökologischen Werte auf. Bezüglich Versauerung, Klimawandel, Eutrophierung und Humantoxizität liegen die ökologischen Belastungen durchgehend höher als bei den Vergleichsprodukten. Die beste ökologische Bewertung zeigt in diesem Bereich Polypropylen mit teilweise sehr guten Eigenschaften. Lediglich in der Kategorie „Klimawandel“ liegt nur eine durchschnittliche Bewertung vor. An zweiter und dritter Stelle folgen mit PLA und PS jeweils ein biobasierter und ein fossiler Werkstoff.

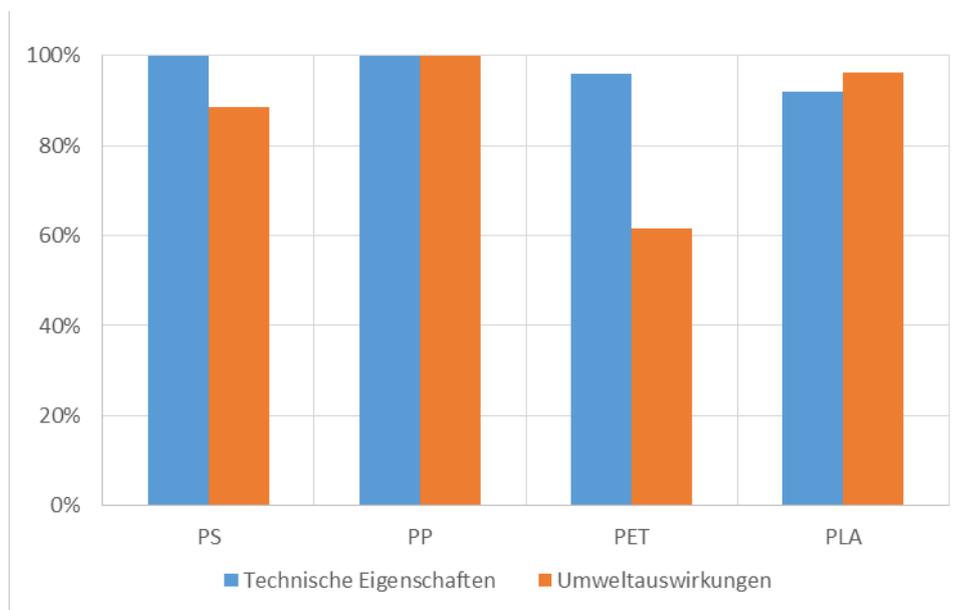


Abbildung 9: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Becher und Schalen geeigneten Materialien

Gesamtheitlich betrachtet zeigt die Performance von Polypropylen insgesamt die beste Charakteristik. Demgegenüber liegt PET vor allem aufgrund der relativ schlechten ökologischen Bewertung in dieser Betrachtung an letzter Stelle als Material für Becher und Schalen. PLA zeigt eine ähnliche ökologische Performance wie PP, liegt aber in den technischen Eigenschaften etwas hinter PS zurück. Damit besitzt PLA in diesem Anwendungsbereich ernstzunehmendes Substitutionspotential auf, wenn man von weiteren Verbesserungen bei den technischen Eigenschaften ausgeht. Weitere Potentiale könnten zukünftig neben den bereits erwähnten Drop-in Lösungen auch durch andere Biokunststoffe wie PHA lukriert werden, wofür allerdings noch Entwicklungsarbeit geleistet werden muss.

3.3.4 Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen

Für den Gebrauchsgegenstand eines Einkaufssackerls oder einer Tragetasche wurden folgende Materialien untersucht: Polyethylen (PE), Verbund aus thermoplastischer Stärke (TPS) und Polybutylensuccinat (PBS), Verbund aus Polymilchsäure (PLA) und Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT), Hanf, Baumwolle und beschichtetes Kraftpapier.

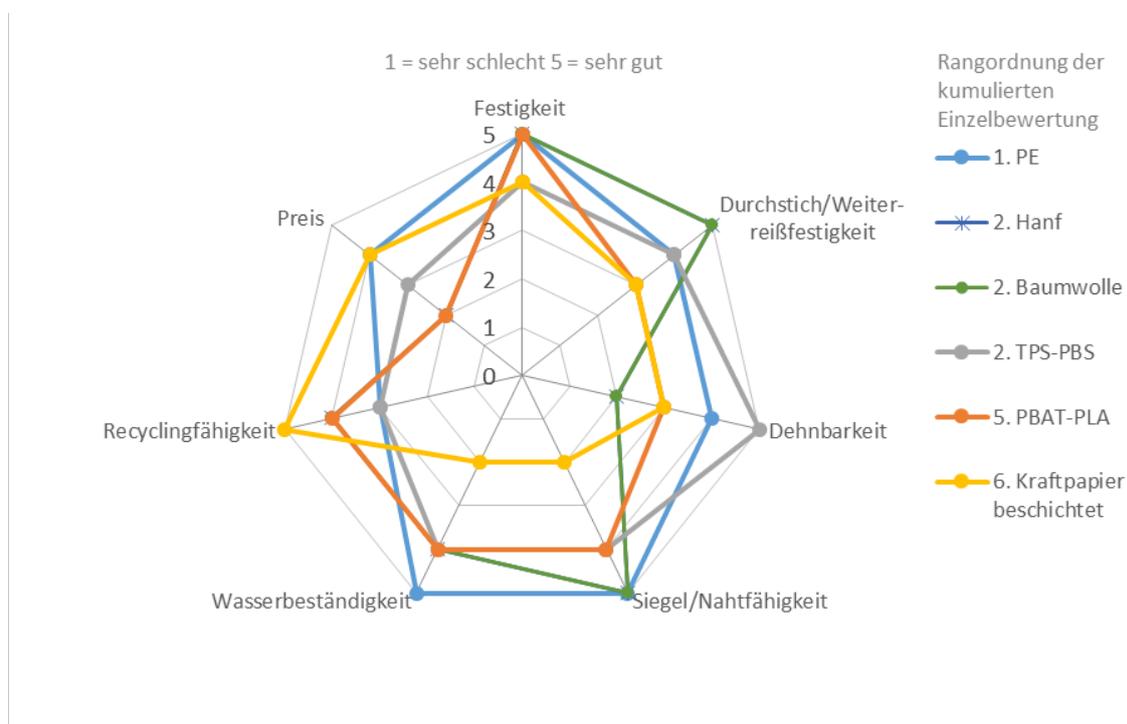


Abbildung 10: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien

Insgesamt zeigt Abbildung 10 sehr deutliche Schwankungen der Bewertungen der einzelnen funktionalen Eigenschaften. Allein aus technischer Sicht, wie schon bei den Haushaltsbehältern (Kapitel 3.3.2), weist Polyethylen die beste Performance auf. Dieser Werkstoff hat durchgehend gute bis sehr gute funktionale Eigenschaften. Hanf und Baumwolle liegen in dieser Rangordnung an zweiter Stelle (Linienzüge liegen übereinander), wobei der Preis und die

Dehnbarkeit die Gesamtbewertung dieser Materialien herabsetzt. Die beiden Verbundwerkstoffe weisen vereinzelt ungünstigere Eigenschaften auf (z.B. Weiterreißfestigkeit). Kraftpapier liegt bei den technischen Kriterien meist im hinteren Bereich der Materialien, zeichnet sich aber vor allem durch seine Recyclingfähigkeit aus.

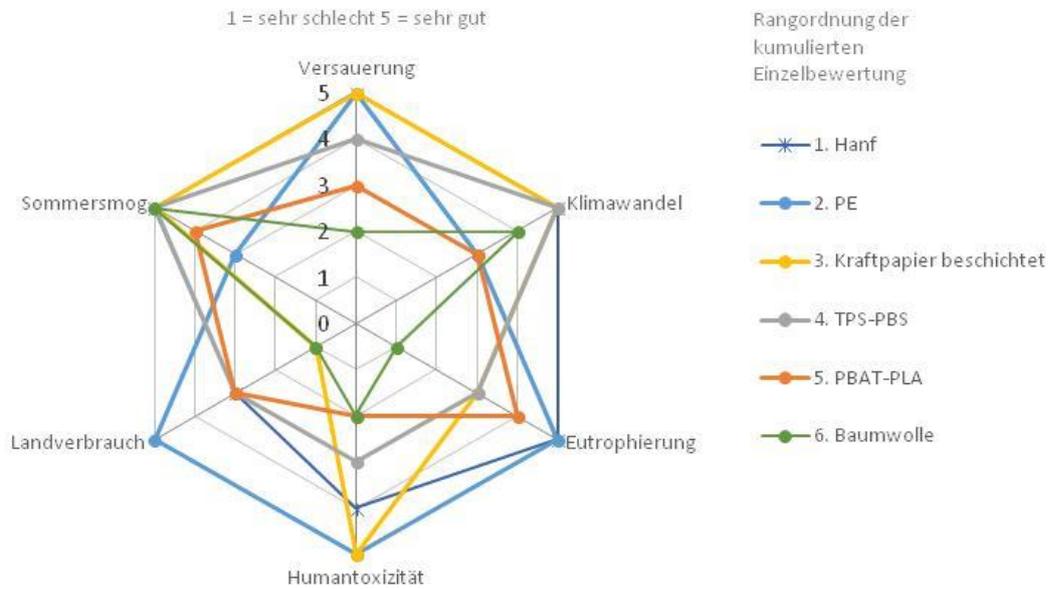


Abbildung 11: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien

In Abbildung 11 kann man bezogen auf die ökologischen Effekte ebenfalls ein sehr uneinheitliches Bewertungsbild erkennen. Hanf führt diese Rangordnung an und ist in Bezug auf Sommersmog, Versauerung, Klimawandel und Eutrophierung als sehr gut eingestuft. Das beste funktionelle Material (PE) hat, wie bereits unter Abbildung 5 beschrieben, auch gute ökologische Eigenschaften. Auffallend ist weiters, dass sich beim Kraftpapier der hohe Landverbrauch sehr negativ auf die ökologische Performance auswirkt. Die beiden anderen Verbundmaterialien rangieren im hinteren Teil der Rangliste, was unter anderem auf die schlechten Kennwerte bezüglich Landverbrauch, Humantoxizität und Eutrophierung zurückzuführen ist. Der Baumwollanbau trägt Mitschuld an der Versauerung von Böden, der Eutrophierung und dem Landverbrauch, was dazu beiträgt, dass dieses biobasierte Material als generell wenig ökologisch verträglich eingestuft wird.

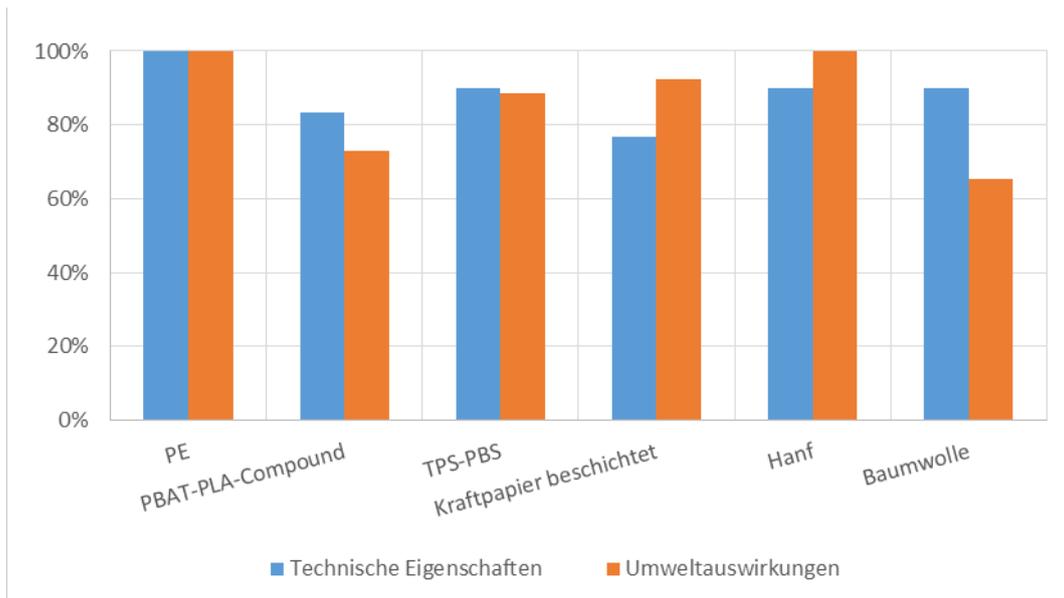


Abbildung 12: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Einkaufssackerl/Tragetaschen geeigneten Materialien

Die Gesamtpformance durch Aufsummieren der relativen prozentuellen Bewertungen zeigt, dass PE am besten und Hanf am zweitbesten bewertet sind. Die zwei untersuchten biobasierten Verbundwerkstoffe (PBAT-PLA und TPS – PBS) können sowohl hinsichtlich der technischen Eigenschaften als auch hinsichtlich der Umweltauswirkungen noch nicht mit konventionellen Kunststoffen mithalten. Wie bereits aus Abbildung 11 zu erkennen war, ist die Herstellung von Baumwolltaschen mit sehr großen Umweltauswirkungen verbunden. Demgegenüber stehen jedoch relativ gute technische Eigenschaften, vor allem bei Wiederverwendbarkeit würde sich Baumwolle bei der Anwendung für Tragetaschen und Einkaufssackerl behaupten. Für diesen Verpackungsbereich sind damit biobasierte Alternativen vor allem durch Naturfasern verfügbar, die einerseits annähernd funktional äquivalente Eigenschaften aufweisen und andererseits auch zu ökologischen Verbesserungen führen würden.

3.3.5 Folien für den Baubereich

In Bezug auf die Anwendung als Folien für den Baubereich, wurden Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und der Verbund aus Polymilchsäure (PLA) und Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT) untersucht.

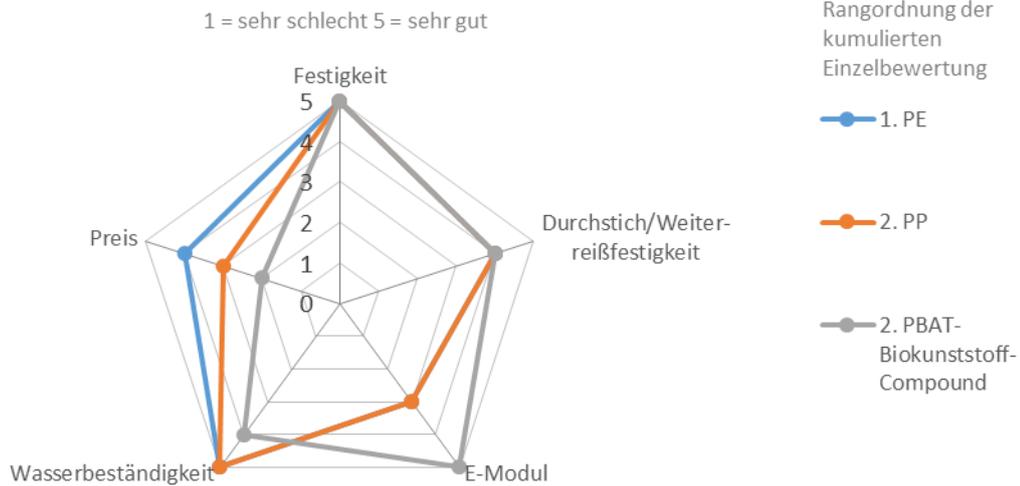


Abbildung 13: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien

Polyethylen weist auch hier die beste Performance auf, wobei vor allem die hohe Wasserbeständigkeit und Festigkeit in der Praxis eine wichtige Rolle spielen. Der Verbundwerkstoff aus PBAT und einem Biokunststoff (z.B. TPS, PLA) weist wie Polypropylen etwas schlechtere Eigenschaften auf, sind aber bis auf einzelne Kriterien (z.B. zu hoher Preis bei dem Verbundstoff) annähernd funktional äquivalent. (siehe Abbildung 13).

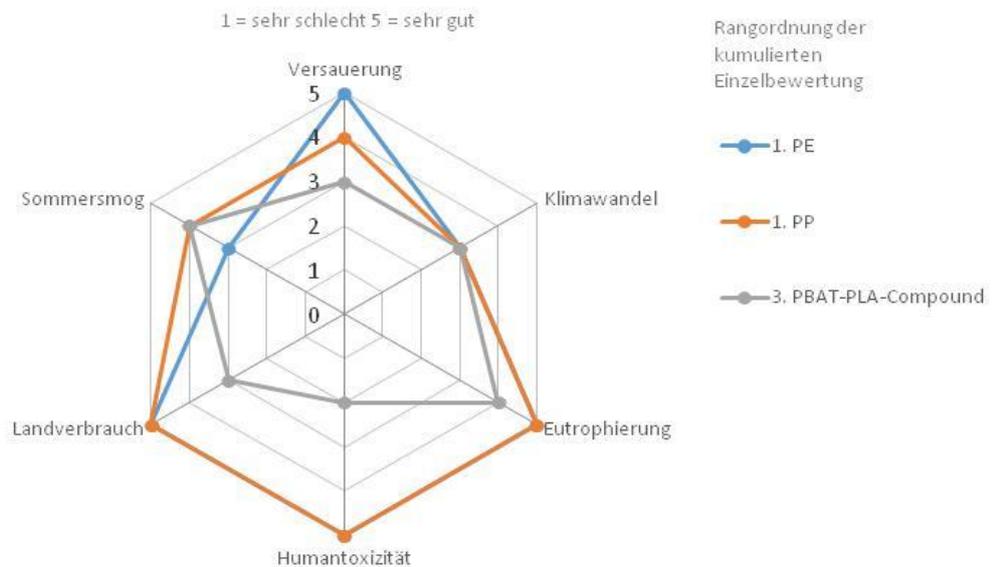


Abbildung 14: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien

Wie bereits beschrieben, zeigen PE und PP durchwegs auch sehr gute ökologische Eigenschaften. Zu den geringen Belastungen könnte auch die kontinuierliche Verbesserung und Optimierung der chemischen Produktion im Industriebereich wesentlich beigetragen haben. Zu erwähnen ist ebenfalls die vergleichsweise negative Bewertung des teilweise biobasierten Verbundwerkstoffs, die vor allem auf die Belastungen der fossilen Anteile bei einzelnen Umweltkriterien zurückzuführen ist.

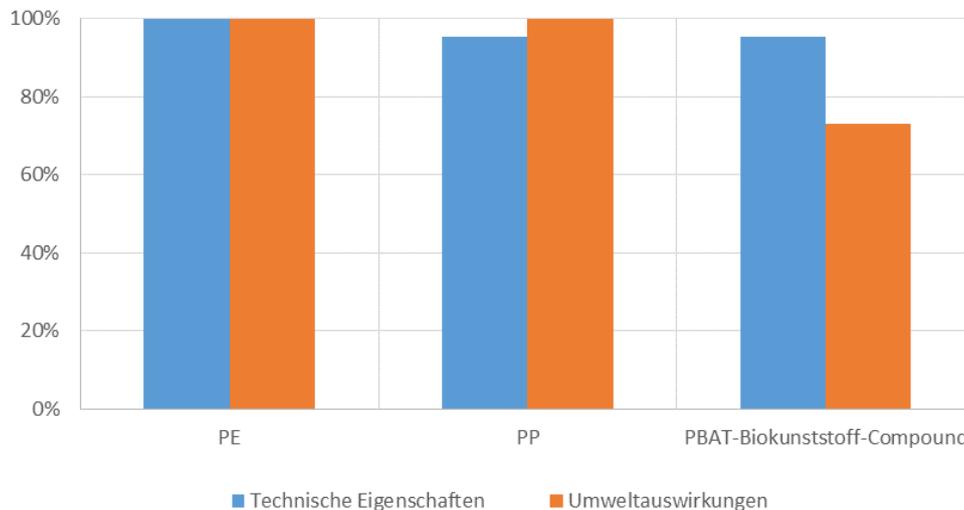


Abbildung 15: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Baufolien geeigneten Materialien

Betrachtet man sowohl die technischen als auch die ökologischen Eigenschaften zeigt sich hier ein klares Bild. PE und PP liegen in dieser Abschätzung eindeutig vor dem teil-biobasierten Compound, was darauf hindeutet, dass die Verbesserungen in der chemischen Industrie bei den erdölbasierten Kunststoffen in den letzten Jahren zu deutlichen Verminderungen der Umweltbelastungen geführt haben. Potentiale für eine Erhöhung des biogenen Anteils ohne Verlust an Funktionalität stellen auch hier maßgeblich Drop-in Lösungen bei PE und PP dar. Dadurch können Kunststoffe aus biogenen Ausgangsmaterialien rein technisch gesehen, als perfekte Substitute für fossile Kunststoffe dienen.

3.3.6 Verpackungsbeutel

In die Analyse für die Anwendung als Verpackungsbeutel wurden folgende Materialien aufgenommen: Polyethylen (PE), Polyhydroxyalkanoate (PHA), Verbund aus Aluminium (Alu) und Polymilchsäure (PLA), Thermoplastische Stärke (TPS), und mit Polymilchsäure beschichtetes Kraftpapier.

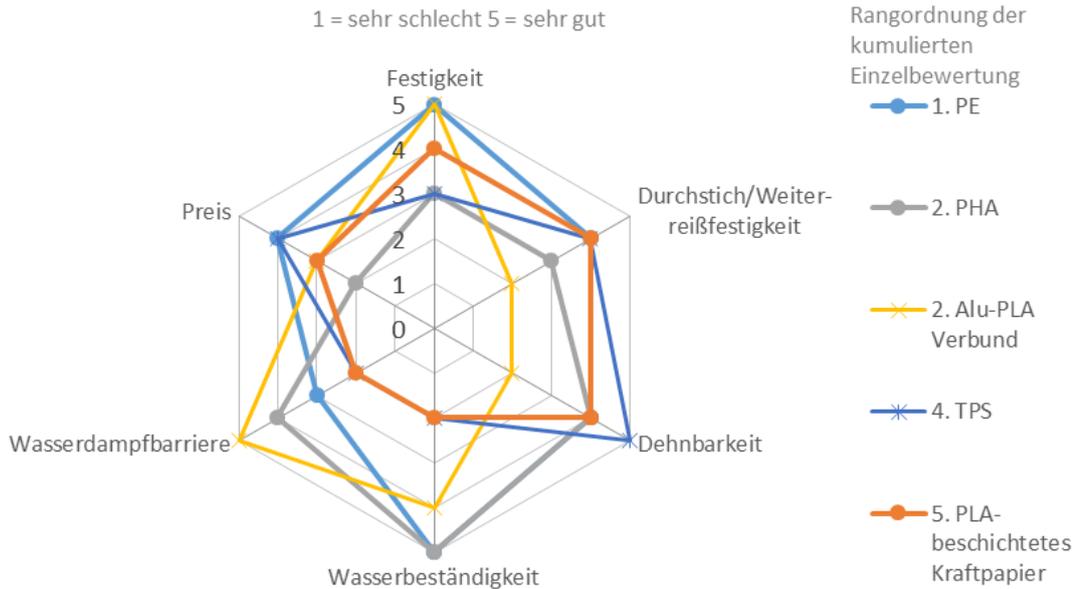


Abbildung 16: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien

Wie bereits in Kapitel 3.2.6 erläutert, zeigt sich hier abermals technische Vorteile des petrochemischen Kunststoffes Polyethylen. PHA zeigt hier ebenfalls eine vergleichsweise gute Gesamtperformance, hat bei gewissen Aspekten jedoch entscheidende Schwächen (Preis und Festigkeit). Der Verbund aus Alu und PLA hat hierbei sowohl gute aber auch schlechte Einzelbewertungen. TPS sowie PLA beschichtetes Papier schneiden vor allem bei der Funktion der Wasserdampfbarriere aber auch bei der Wasserbeständigkeit deutlich schlechter ab.

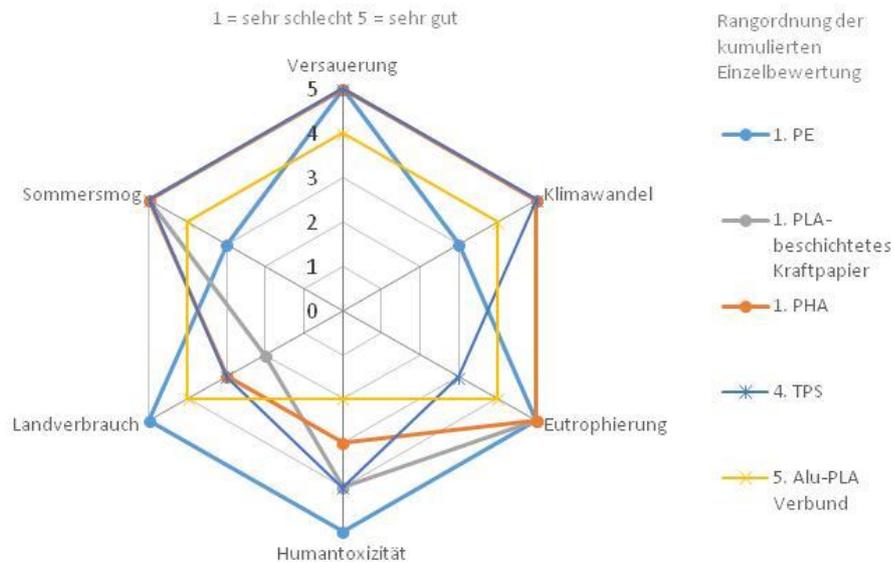


Abbildung 17: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien

Die Auswertung der ökologischen Eigenschaften zeigt drei Materialien auf dem ersten Rang. PE weist auch hier eine ebenso gute Bewertung auf wie PLA beschichtetes Kraftpapier und PHA. Die beiden letztgenannten Materialien haben vor allem bezüglich Sommersmog und Klimawandel eine bessere Performance als Polyethylen. TPS hat eine annähernd gleich gute ökologische Gesamtbewertung. Lediglich der Alu-PLA Verbundwerkstoff zeigt bei der Humantoxizität schlechte Werte, was trotz guter restlicher Einzelbewertungen den letzten Rang zur Folge hat (siehe Abbildung 17).

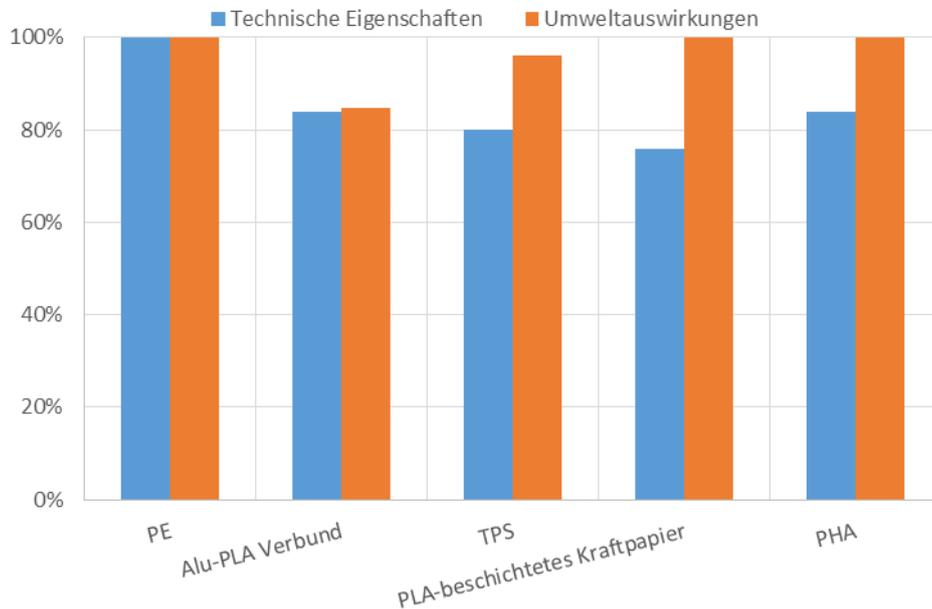


Abbildung 18: Vergleichende Darstellung der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Verpackungsbeutel geeigneten Materialien

Stellt man diese Darstellung (Abbildung 18) den anderen vergleichenden Darstellungen in Kapitel 3.3 gegenüber, so sieht man hier ein relativ ausgeglichenes Balkendiagramm. Bei den technischen Eigenschaften zeigt sich allerdings, dass alle untersuchten Materialien etwas schlechtere Eigenschaften verglichen mit Polyethylen aufweisen. Hingegen sind die ökologischen Eigenschaften der betrachteten Materialien deutlich ausgeglichener, indem PE, PHA, TPS und PLA-beschichtetes Papier insgesamt sehr gute ökologischen Eigenschaften besitzen, lediglich der Alu-PLA Verbund weist etwas schlechtere Eigenschaften auf. Somit zeigen sich in diesem Anwendungsbereich der Verpackungsbeutel speziell aus ökologischer Sicht deutliche Potentiale durch biobasierte Materialien, die allerdings noch keine ausreichende funktionale Äquivalenz besitzen, wodurch aus technischer Sicht noch Forschungsbedarf geleistet werden muss.

4 ANALYSE VON SUBSTITUTIONSPOTENZIALEN IM TEXTILBEREICH

In diesem Kapitel werden zunächst die im Textilbereich gängigsten Materialien hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften dargestellt. Anschließend wird eine vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften nach ausgewählten Anwendungsbereichen durchgeführt, um daraus die qualitativ hochwertigsten Materialien und Möglichkeiten einer funktionalen Äquivalenz bzw. jeweilige Vor- und Nachteile zu erkennen. Abschließend werden die ökologischen Eigenschaften der Materialien ergänzend zur technischen Eignung einbezogen.

4.1 Funktionale Materialeigenschaften unterschiedlicher Textilien im Überblick

In Tabelle 9 und Tabelle 10 werden nachfolgend die Materialeigenschaften und Kennzahlen der wesentlichsten Textilfasern dargestellt. In weiterer Folge werden diese nach ihren Charakteristika beschrieben. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die untersuchten Eigenschaften immer in Verbindung mit der jeweiligen Anwendung gesehen werden muss. So ist bei Textilien grundsätzlich eine niedrige Dichte erwünscht, die ein geringes Flächengewicht zur Folge hat (z.B. Kapitel 4.3.1). Allerdings könnte in bestimmten Fällen ein bestimmtes Mindestgewicht, das nicht unterschritten wird, von Vorteil sein (Anm. wehender Vorhang im Wind bei zu niedrigem Flächengewicht). Hohe Festigkeit und Zugfestigkeit wird in allen hier untersuchten Anwendungen angestrebt, das Elastizitätsmodul kann unterschiedlich (entweder hoch oder niedrig) erwünscht sein. So kann hohe Elastizität in manchen Bereichen erwünscht sein (Seile). Bei anderen Anwendungen wie im Textilbereich sich aber ungünstig auswirken. Ähnlich stellt sich dies bei der Wasseraufnahmefähigkeit dar. Bei bestimmten Anwendungsgebieten ist diese durchaus erwünscht. So sollen etwa Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln ein feuchtigkeitsregulierendes Verhalten aufweisen. Hingegen weist beispielsweise Sportbekleidung eine niedrige Wasseraufnahmefähigkeit auf und leitet Feuchtigkeit schnell durch ohne selbst feucht zu wirken.

4.1.1 Synthetische Textilfasern

Nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick für die wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Synthefasern anhand gemessener Parameter sowie die wesentlichsten Merkmale und häufigsten Anwendungsfälle.

Tabelle 9: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten synthetischen Textilfasern

Synthesefasern		Polyamid	Polyester	Viskose
Eigenschaften	Einheit			
Faserlänge	mm	114	114	100
Faserdurchmesser	µm	10	14	80
Dichte	g/cm ³	1,14	1,37	1,52
Zugfestigkeit	MPa	82	85	433
Elastizitätsmodul	Gpa	3,2	3	8,3
Bruchdehnung	%	55	29	22,5
Wasseraufnahme	%	4	0,35	12,5
Chemische Beständigkeit		gute Alkalibeständigkeit, mittlere Säurebeständigkeit	gute Alkalibeständigkeit, gute Säurebeständigkeit	gute Alkalibeständigkeit, sehr schlechte Säurebeständigkeit
Entflammbarkeit		erweicht bei relativ niedrigen Temperaturen und schmilzt danach	erweicht bei relativ niedrigen Temperaturen und schmilzt danach	ab ~110°C Vergilbung und Zugfestigkeitsverlust; verbrennt rasch
Merkmale		+ Zugfestigkeit + Bruchdehnung + geringe Dichte, - niedrige Wasseraufnahme	+ Zugfestigkeit - E-Modul - sehr geringe Wasseraufnahme	+ hohe Wasseraufnahmefähigkeit - hohe Dichte
Anwendungen		Straßen-, Sport- und Berufskleidung, Badebekleidung	Blusen, Gardinen, Sportbekleidung, Nähgarne	Nähwaren, Flächenschichtstoffe, Futter- und Kleiderstoffe
Literatur		Haudek und Viti, 1980. Carus et al., 2008. Thyssenkrupp, 2009.		

Polyamide:

Chemiefasern sind synthetische Polymere die aus dem Rohstoff Erdöl hergestellt werden. Sie entstehen durch Polymerisation von Dicarbonsäuren mit Diaminen. Bekannteste Produkte sind Nylon oder Perlon. Polyamidfasern werden rein oder im Verbund für verschiedenste Anwendungen wie etwa Gewebe, Maschenware oder Stickereien verwendet. Einsatzgebiete sind vor allem Sport- und Berufskleidung, Futterstoffe, Strümpfe, Badebekleidung, Möbelstoffe oder technische Textilien. Der breite Anwendungsbereich begründet sich auf den Eigenschaften wie gute Zug- bzw. Scheuerfestigkeit, Dehnung und Elastizität (Haudek und Viti, 1980).

Polyester:

Für die Erzeugung von Polyester dient ebenfalls der fossile Rohstoff Erdöl als Ausgangsprodukt. Polyesterfasern bestehen aus Polymeren, welche durch Polykondensation von Diolen und Dicarbonsäuren gewonnen werden. Polyestergranulat wird bei hohen Temperaturen um 170 bis 300°C getrocknet, aufgeschmolzen und anschließend zu Fäden weiterverarbeitet. In reiner Form wird Polyester in ähnlichen Anwendungsgebieten wie die Polyamide eingesetzt. Die hohe Zugfestigkeit kommt bei Sportbekleidung, technischen Artikeln (Förderbänder, Reifencord) und Nähgarnen zum Tragen. Im Verbund mit Baumwolle, Wolle oder Viskose wird dieser synthetische Stoff ebenfalls häufig eingesetzt (Haudek und Viti, 1980). Gemeinsam mit Polyamid weist Polyester unter allen Faserstoffen die höchste Reiß- und Scheuerfestigkeit auf. Nass- und Trockenfestigkeit sind dabei gleich hoch. Außerdem sind die meisten PES-Fasern ausgesprochen elastisch und knittern wenig. Die Lichtbeständigkeit ist sehr gut, d. h. die Stoffe bleichen und brechen nicht, wenn sie starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Sie sind darüber hinaus verhältnismäßig hitzebeständig (Vossberg, 2014).

Viskose:

Viskose wird aus Zellulose gewonnen, für deren Herstellung unterschiedliche Holzarten zum Einsatz kommen. Vor allem Nadelholzarten aber auch Harthölzer wie etwa Buche werden als Rohstoff eingesetzt. Die Zellulose wird in einem ersten Schritt mit Natronlauge alkalisiert und dann in Schwefelkohlenstoff zum Xanthogenat umgesetzt und in Natronlauge aufgelöst (Viskose). Die alkalische Viskose wird durch Spindüsen in ein Fällbad aus Schwefelsäure gepresst, in dem sich die Zellulose wieder in Fadenform rückbildet (Regeneratzellulose). Durch Verstreckung zwischen Rollen (Galetten) erhält die Viskosefaser ihre technischen Eigenschaften. Neue Verfahren verwenden aus Umweltgründen andere Lösungsmittel, die vollständig rückgewonnen werden können, z.B. Modal- oder Tencelfaser (Lenzing Aktiengesellschaft 2008).

Viskose wird ebenfalls entweder rein oder als Mischung mit anderen Materialien verwendet. In beiden Fällen wird sie für Futterstoffe, Wäsche oder Kleider eingesetzt. Auch Möbelstoffe oder textile Bodenbeläge zählen zu den Anwendungsgebieten. Besondere Eigenschaften der Viskose sind die Feinheit ihrer Fasern und ihre gute Feuchtaufnahme, die sie zu einem sehr hygienischen Stoff macht. Darum wird dieser Stoff gerne für Kleidung verwendet. Allerdings ist Viskose auch sehr knitteranfällig und nicht formbeständig.

4.1.2 Naturfasern

Nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick für die wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Naturfasern anhand gemessener Parameter sowie die wesentlichsten Merkmale und häufigsten Anwendungsfälle.

Tabelle 10: Übersicht der wesentlichsten Eigenschaften der betrachteten Naturfasern

Naturfasern		Flachs/Leinen	Baumwolle	Hanf	Jute	Schafwolle
Eigenschaften	Einheit					
Faserlänge	mm	33	35,5	25	3	57,5
Faserdurchmesser	µm	19	23,5	25	20	41
Dichte	g/cm ³	1,4	1,51	1,48	1,42	1,32
Zugfestigkeit	MPa	900	543,5	350	540	170
Elastizitätsmodul	Gpa	12,8	10,49	8,3	17,3	3
Bruchdehnung	%	5,5	6,9	7,8	3,1	38
Wasseraufnahme	%	7	8	9	12,5	30
Chemische Beständigkeit		alkalibeständig, nicht säurebest.	alkalibeständig, nicht säurebest.	alkalibeständig, unbest. ggü. starken Säuren	weder alkali- noch säurebeständig	gut säurebeständig, schlecht laugenbest.
Entflammbarkeit		verbrennt rasch	verbrennt rasch	verbrennt rasch	verbrennt rasch	schwer entflammbar
Merkmale		+ hohe Steifigkeit + hohe Festigkeit	+ gute Zugfestigkeit - hohe Dichte	+ hohe Festigkeit und Steifigkeit	- niedrige Bruchdehnung	- niedrige Zugfestigkeit + hohe Wasseraufnahme
Anwendung		Zwirne, Dekor- und Möbelstoffe	Geweben, Spitzen, Stickereien	Zelte, Liegestuhlbespan- nung, Planen	Säcke, Seile, Wandbespannung	Oberbekleidung, Watten, Stickereien
Literatur		Haudek und Viti, 1980. Carus et al., 2008. Mieck et al., 2012. Eberle et al., 2010.				

Flachs:

Als Leinen oder Flachs wird sowohl die Faser des Gemeinen Leins als auch insbesondere das in der Leinenindustrie daraus gefertigte Gewebe bezeichnet. Gegenüber anderen Bastfasern ist die Leinenfaser gut teilbar und fein verspinnbar, was sie für Wäsche und Kleidung auszeichnet. Die Leinenfaser ist glatt und das Leinengewebe schließt wenig Luft ein, sodass Leinen von Natur aus wenig anfällig gegen Schmutz und Bakterien ist. Leinen nimmt bis zu 35 % Luftfeuchtigkeit auf und tauscht diese Feuchtigkeit auch schnell mit der Umgebungsluft aus. Das Gewebe wird durch den kühlenden Effekt gern für Sommerbekleidung eingesetzt. Die Leinenfaser ist sehr reißfest und extrem unelastisch. Aufgrund der geringen Elastizität ist Leinen knitteranfällig. Die Reißfestigkeit macht Leinen strapazierfähig und langlebig. Die technischen Flachsfasern sind relativ steif und reißfest. Kombiniert mit ihrer geringen Dichte ergeben sich somit sehr hohe spezifische Festigkeit und Steifigkeit, vergleichbar mit Glasfasern. Flachsfasern finden deshalb auch für technische Gewebe sowie als Ersatz für Asbestfasern Verwendung. Leinengewebe wurden traditionell für Bett- und Hauswäsche verwendet. In dieser Nutzung wurden sie von der billigeren Baumwolle verdrängt. Neue Einsatzgebiete wie Kleidung und Dekorationsstoffe kommen hinzu, besonders in Form handgewebter hochpreisiger Produkte. Leinen wird als Bezugsstoff für Bucheinbände verwendet, außerdem für Schuhe und Taschen. Namensgebend waren Leinenstoffe zum Bespannen für Leinwände in der Malerei.

Baumwolle:

Baumwolle ist eine Naturfaser, die aus den Samenhaaren der Pflanzen der Gattung „Gossypium“ gewonnen wird. Verglichen mit synthetischen Fasern ist Baumwolle sehr saugfähig und kann bis zu 65 % des Eigengewichtes an Wasser aufnehmen. Sind allerdings Gewebe aus Baumwolle einmal nass geworden, trocknen sie nur langsam. Zudem besitzt Baumwolle auch eine hohe Schmutz- und Ölaufnahmefähigkeit, ist aber auch in der Lage, diese wieder abzugeben. Baumwollstoffe gelten als sehr hautfreundlich (sie „kratzen“ nicht) und haben ein äußerst geringes Allergiepotezial. Baumwolle ist nicht wasserlöslich und in feuchtem oder nassem Zustand reißfester als in trockenem. Die Fasern sind alkalibeständig, jedoch nicht säurebeständig. Baumwolle ist anfällig für den Befall durch Mikroorganismen. Der Hauptanwendungsbereich für Baumwolle ist eindeutig die Textilindustrie. Fischernetze, Seile und Taue bestehen häufig ganz oder teilweise aus Baumwollfasern, ebenso Zelte, Planen und Persennings. Baumwolle wird auch als Verstärkungsfaser für naturfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt. Haupteinsatzgebiet hierfür sind duroplastische Verbundwerkstoffe vor allem für LKW-Fahrerkabinen.

Hanf:

Die Fasern der Nutzhansorten werden als Faserwerkstoff für unterschiedliche Anwendungen genutzt. Hanffasern sind im Stängel in mehreren Lagen und als Faserbündel parallel zur Stängelachse sowie ringförmig im Phloem angeordnet. Die mechanischen Eigenschaften der Hanffaser können je nach Ausgangsmaterial wie bei allen Naturprodukten relativ stark variieren und nur als Durchschnittswerte angegeben werden. Die Bruchfestigkeit der Hanffaser ist mit 23 % ein wenig höher als jene der vergleichbaren Flachsfaser und die spezifische Reißfestigkeit beträgt etwa 30 Reißkilometer. Die Dehnbarkeit liegt dagegen nur bei zwei bis drei Prozent und die Flexibilität ist abhängig von Bündelaufbau und der Feinheit der Fasern. In Garnen werden Festigkeit und Flexibilität erhöht, indem man Hanf- und Flachsfasern gemeinsam verspinn und so die Eigenschaften beider Fasern nutzt. Die Wasseraufnahmefähigkeit der Hanffaser liegt bei etwa 8 % des Eigengewichtes, ohne dass Wasser austritt und sich das Material nass anfühlt;

dieser Eigenschaft verdankte Hanf vor allem seine Bedeutung als Material für Seile, Taue, Netze und Segeltücher in der Schifffahrt. Heute findet Hanf Verwendung in Textilien, Dämmstoffen, Zellstoffen, Papieren sowie naturfaserverstärkten Kunststoffen.

Jute:

Jute ist eine einjährige Pflanze, wobei die Stängellänge die Faserlänge bestimmt und bei 1,50 bis über 3 m liegt. Als Naturfasern sind Jutefasern vollständig biologisch abbaubar. Sie ist durch ein hohes Wasseraufnahmevermögen, eine geringe Reißfestigkeit und eine gute Verrottbarkeit gekennzeichnet. Jutefasern haben eine hohe Dehnfestigkeit bei niedriger Dehnbarkeit, was die Qualität als industrielles Garn und Gewebe bedingt. Sie lassen sich gut färben, sind jedoch sehr fäulnisanfällig und riechen streng. Jutefasern werden unter anderem für Verpackungsmaterialien (beispielsweise Säcke), Spezialpapiere, grobe Garne und Teppiche verwendet. Jute gehört zu den „nachwachsenden Rohstoffen“ und ist ein wichtiger Konkurrent zu den heimischen Naturfasern Flachs und Hanf, beispielsweise in Faserverbundwerkstoffen. Da die Jute mengenmäßig alle technisch genutzten Naturfasern dominiert, beeinflusst sie maßgeblich die Preise der anderen Naturfasern. In den letzten Jahren wurde eine Fülle neuer Produkte mit hoher Wertschöpfung für Jutefasern entwickelt: Heimtextilien, Verbundwerkstoffe, Geotextilien, Papier, Technische Textilien, Chemieprodukte und Modeartikel.

Schafwolle:

Die Wolle kann vom lebenden Schaf durch Abscheren aber auch vom toten Tier gewonnen werden. Abhängig von der Rasse oder von Alter und Geschlecht unterscheidet man z.B. Lammwolle, Mutterwolle, Bockwolle oder Hammelwolle. Nach der Schur müssen Verunreinigungen wie Fett, Schweiß, Kot, Pflanzenteile, Sand oder Staub durch Waschen entfernt werden. Die Länge der Wollfasern kann stark variieren, wobei diese Länge entscheidend ist für die Weiterverarbeitung (Haudek und Viti, 1980).

Die geruchshemmende Wirkung, die Schmutzunempfindlichkeit und der Umstand, dass Wollfasern sehr knitterarm sind, machen diesen Stoff vor allem für Kleidung interessant. Der hohe Anteil an Luft, der 85 % des Gesamtvolumens der Faser ausmacht, bewirkt, dass die Wärme des Körpers im Gewebe erhalten bleibt, bzw. der relativ kühle Körper durch Hitzeeinwirkung von außen nicht aufgeheizt wird, zeichnet Schafwolle ebenfalls aus.

Weiterhin kann die Faser gut Feuchtigkeit aufnehmen, ohne dass sich der Stoff nass anfühlt. Wolle lädt sich nicht elektrostatisch auf und ist darüber hinaus schwer entflammbar. Im trockenen Zustand kehrt Wolle nach der Dehnung in den vorherigen Zustand zurück. Nachteile sind die Anfälligkeit gegenüber Laugen, wobei Säuren Wolle nicht viel anhaben können (Vossberg, 2013).

Leder:

Leder wird aus tierischen Häuten über mehrere Produktionsprozesse wie der Gerbung hergestellt und kann in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise für Sitz- und Polstermöbel im Wohnbereich sowie auch in der Innenraumgestaltung von Autos oder auch für Bekleidung, eingesetzt werden. Leder ist dabei ein sehr hochwertiges Material, das vor allem eine gute Wärmebeständigkeit, Licht- und Reibechtheit, eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit sowie geringes Verschleißverhalten besitzt.

4.2 Vergleichende Analyse der funktionalen Eigenschaften nach Produktbereichen

Nachfolgend werden die im vorigen Kapitel beschriebenen Materialien nach definierten Anwendungsfällen und deren prägendsten Eigenschaften betrachtet, speziell um die funktionalen Unterschiede zwischen fossilen und biobasierten Materialien zu erkennen. Die hierbei maßgebenden Eigenschaften der verschiedenen Materialien wurden wieder entsprechend den Anwendungen gewählt.

4.2.1 Vorhänge und Gardinen

Bei der Anwendung von Polyester, Baumwolle, modifizierter Viskose und Hanf als Vorhangtextilien sind einige der vorher angeführten Materialeigenschaften besonders relevant. Das jeweilige Flächengewicht ist auf Grund der Größe von Vorhängen oftmals zu beachten und sollte meistens möglichst gering sein. Eine gute Brandbeständigkeit sollte aus Sicherheitsgründen nicht außer Acht gelassen werden. Ebenfalls ist eine niedrige Lichtdurchlässigkeit bei Vorhängen oftmals erwünscht (siehe Tabelle 11).

Der weitaus größte Teil der Gardinstoffe wird inzwischen aus synthetischen Garnen gefertigt. Moderne Gardinen zeichnen sich durch hohe Festigkeit aus. Sie haben eine sehr gute Formbeständigkeit und sind pflegeleicht - sie sind leicht, schnell waschbar und trocknen schnell, ebenfalls sind sie knitterfest und bügelfrei. Sie besitzen eine gute Lichtbeständigkeit – auch bei intensiver Sonneneinstrahlung bleibt der Weißgrad der Gardine erhalten – und sind unempfindlich gegenüber UV-Strahlen.

Tabelle 11: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Vorhänge

Vorhänge	Polyester	Baumwolle	Modifizierte Viskose	Hanf
Eigenschaften	Bewertung			
Flächengewicht	~	~	~	~
Brandbeständigkeit	-	~	+	~
Maßbeständigkeit	++	~	-	-
Lichtdurchlässigkeit	+	+	+	-
Lichtbeständigkeit (ausbleichen)	+	+	~	~
Farbgebung (bedruckbar)	+	+	~	-
Knittern	++	-	-	-

Polyester weist unter anderem eine sehr gute Maßbeständigkeit aus. Beim Flächengewicht halten sich sozusagen alle vier Materialien die Waage und weisen ein durchschnittliches Ergebnis auf, wobei dies bis auf wenige Ausnahmen, in allen Anwendungsfällen niedrig sein sollte. Mit Ausnahme von Viskose mit spezieller Ausrüstung schneiden die untersuchten Materialien hinsichtlich der Brandbeständigkeit durchschnittlich bis schlecht ab. In der Praxis kommt diese Tatsache insofern zu tragen, da viele Brände in Wohnräumen vor allem durch die Vorhänge entfacht werden oder sich über diese ausbreiten (Anm. Christbaumbrand). Mit der Maßbeständigkeit eines Stoffs meint man im Allgemeinen, inwieweit er im Gebrauch seine

ursprünglichen Abmessungen behält. Hierbei schneidet lediglich Polyester sehr gut ab, die anderen Materialien jedoch durchschnittlich bis schlecht. Gut bedruckbar (Farbgebung) ist vor allem Polyester und Baumwolle. Hinsichtlich des Knitterverhaltens verfügt vor allem Polyester über sehr gute Eigenschaften (siehe Tabelle 11).

4.2.2 Sitzbezüge für öffentliche Verkehrsmittel

An Sitzbezüge für öffentliche Verkehrsmittel werden besondere Anforderungen gestellt. So sollten diese auf Grund des intensiven Gebrauchs besonders scheuerfest sein. Eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit sowie die Resistenz gegenüber Verschmutzungen sollten das Material ebenfalls mit sich bringen. Als Farbechtheit versteht man die Widerstandsfähigkeit von Färbungen gegenüber unterschiedlichen Beanspruchungen. Speziell zu erwähnen ist hierbei die Reibecktheit, wobei die Farbe des Materials eine möglichst hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber einem Abreiben oder Abfärben an andere Textilien haben soll. Als Materialien werden von den konventionellen Kunststoffen hier Polyester und Polyamid sowie als Naturfasern Wolle, Baumwolle und Flachs/Leinen betrachtet.

Tabelle 12: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für öffentliche Sitzbezüge

Öffentliche Sitzbezüge	Polyester	Baumwolle	Wolle	Polyamid	Leinen
Eigenschaften	Bewertung				
Scheuerbeständigkeit	++	+	-	++	++
Wasseraufnahmefähigkeit	-	+	+	~	++
Brandschutz	-	~	+	-	~
Farbechtheit	++	+	+	++	~
Reibecktheit	++	+	~	++	~
Schmutzresistenz	++	~	~	++	+

Die Bewertungen der Materialien Polyester, Baumwolle, Wolle, Polyamid und Leinen für diese Anwendung sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Hinsichtlich der Scheuerbeständigkeit weisen Polyester, Polyamid und Leinen sehr gute Werte auf. Die Fähigkeit Wasser respektive Feuchtigkeit aufzunehmen ist vor allem bei Leinen gegeben. Baumwolle und Wolle besitzen diese Fähigkeit ebenfalls in ausreichendem Maße. Um vorbeugenden Brandschutz zu gewährleisten, ist lediglich Wolle als gut einzustufen und wird daher neben Polyamid und Polyester am häufigsten für Sitzbezüge der öffentlichen Verkehrsmittel eingesetzt. Oftmals wird dabei Wolle im Verbund mit Polyester verwendet. Die Anforderung der Schmutzresistenz hat große Bedeutung, wobei die an sich durchschnittliche Schmutzresistenz der Wolle im Verbund mit anderen Fasern erhöht werden kann.

4.2.3 Sitzbezüge für die Automobilindustrie

Für Autositzbezüge gelten ähnliche Anforderungen wie für öffentliche Sitzbezüge. Zusätzlich werden hierbei die Form-, UV- und Temperaturbeständigkeit in die Bewertung aufgenommen, da beispielsweise auf Grund der Sonneneinstrahlung und der daraus resultierenden Erwärmung im Fahrzeug besondere Zustände herrschen. Eingesetzt werden hier typischerweise Kunststoffe wie Polyester oder Polyamid sowie auch Leder und auch modifizierte Viskose.

Tabelle 13: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für Autositzbezüge

Autositzbezüge	Polyester	Polyamid	Modifizierte Viskose	Leder
Eigenschaften	Bewertung			
Scheuerbeständigkeit	++	++	+	++
Wasseraufnahmefähigkeit	-	~	++	+
Brandschutz	-	-	+	++
Farbechtheit	++	++	++	+
Reibecktheit	++	++	+	+
Schmutzresistenz	++	++	+	~
Formbeständigkeit	+	++	+	+
UV-Beständigkeit	+	+	+	~
Temperaturbeständigkeit	~	~	+	++

Gegenüber dauerndem Scheuern sind vor allem Polyamid und Polyester, aber auch Leder sehr gut beständig. Besonders gut schneidet modifizierte Viskose hinsichtlich der Wasseraufnahmefähigkeit und des Brandschutzes (Leder zeigt hier die höchste Bewertung) ab. Bei den Eigenschaften Farbechtheit, Reibecktheit und Schmutzresistenz sowie auch Formbeständigkeit weisen alle Werkstoffe gute bis sehr gute Werte auf, Leder benötigt allerdings eine entsprechende Ausrüstung, um gegen Schmutz gewissermaßen resistent zu sein bzw. farbecht zu wirken. Gegenüber höheren Temperaturen sind die Kunststoffe nur ausreichend beständig, wohingegen Viskose etwas bessere und Leder die höchste Beständigkeit aufweist (siehe Tabelle 13).

4.2.4 Innenausstattung von Personenkraftwagen

In einem Personen- oder Lastkraftwagen befinden sich durchschnittlich mehr als 20 kg Textilien. Sie dienen dem Insassenschutz, beispielsweise als Sicherheitsgurte und als Airbags (Bode et al, 2007). Im Automobilbau sind Textilien unabdingbar, daneben kommen aber auch Kunststoffe in nicht textiler Form zur Anwendung. Für die Ausstattung von PKWs, die über Sitzbezüge hinausgeht, werden Polyurethan (PU-Schaum), naturfaserverstärkte Kunststoffe (WPC) und Polypropylen untersucht. Diese werden hierbei für Verkleidungen, den Himmel inklusive Sonnenblenden, Teppiche und Lenkrad etc. verwendet. An dieser Stelle wurde die für

Textilien untypische Eigenschaft der Bruchfestigkeit untersucht. Ebenfalls Teil der untersuchten Eigenschaften ist der Brandschutz, der darstellt wie entflammbar und brandfördernd ein Material ist. Die Formbeständigkeit ist in dieser Anwendung ebenfalls relevant.

Tabelle 14: Bewertung der funktionalen Eigenschaften geeigneter Materialien für sonstige Autoausstattung

Autoausstattung	Polyurethan	Naturfaserverstärkte Kunststoffe (WPC)	Polypropylen
Eigenschaften	Bewertung		
Bruchfestigkeit	+	+	~
Brandschutz	~	~	~
Farbechtheit	~	+	+
Formbeständigkeit	+	++	~
UV-Beständigkeit	~	-	~
Temperaturbeständigkeit	~	+	~

Hinsichtlich der Bruchfestigkeit sind Polyurethan und naturfaserverstärkte Kunststoffe als gut einzustufen, wohingegen PP lediglich ausreichend bruchfest ist. Sehr gut bzw. gut bewertet werden naturfaserverstärkte Kunststoffe bezüglich der Form- und Temperaturbeständigkeit sowie der Farbechtheit. Polypropylen weist mit Ausnahme der Farbechtheit für alle Eigenschaften lediglich durchschnittliche Werte auf (siehe Tabelle 14).

4.3 Beurteilung der funktionalen Äquivalenz und der ökologischen Auswirkungen von biobasierten Materialien

Analog wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, werden in den nachfolgenden Ausführungen die bisher beschriebenen funktionalen Eigenschaften der jeweiligen biogenen und fossilen Materialien nach den verschiedenen Anwendungsbereichen zusammengefasst und den ökologischen Wirkungen gegenübergestellt. Die Beurteilung der ökologischen Performance wurde ebenfalls vorwiegend mittels Lebenszyklus-Daten der Ecoinvent-Datenbank durchgeführt, wobei ergänzend wissenschaftliche Studien auf entsprechende Informationen analysiert wurden. In den nachfolgenden Kapiteln sind jeweils zwei Spinnendiagramme angeführt, welche die für Vorhänge, Sitzbezüge und Innenausstattung für PKWs einsetzbaren Materialien bezüglich ihrer wesentlichsten Eigenschaften darstellen. Diese zeigen die Funktionalität und die ökologischen Eigenschaften der untersuchten Materialien. Umso näher ein Punkt auf dem Spinnendiagramm dem Mittelpunkt kommt, desto schlechter ist die Performance hinsichtlich dieser Eigenschaft einzuschätzen. Analog hierzu bedeutet ein Wert außen auf der Skala im „Spinnennetz“ eine sehr gute Leistung bezüglich dieser Eigenschaft. Dies ist auch an der Achsenbeschriftung (1 = sehr schlecht 5 = sehr gut) zu erkennen. Grundsätzlich lassen sich für jedes untersuchte Material die jeweiligen Punkte verbinden und somit ein Polygon erzeugen. Die dabei entstehende Fläche (entspricht der Punktesumme) kann als Gesamtleistung des Materials für eine gewisse Anwendung angesehen werden. Die einzelnen Materialien werden anschließend nach ihrer Gesamtleistung (errechnet über die

Punktesumme) gereiht, wobei standardgemäß der „1.Rang“ die beste Materialeignung widerspiegelt. Dies entspricht einer Gleichgewichtung der einzelnen Eigenschaften, die nicht die realen Grundlagen für Entscheidungen widerspiegelt. In der Praxis wird nicht allen Kriterien die gleiche Priorität zukommen, der Preis wird oft stärker gewichtet und es wird für bestimmte Eigenschaften Mindestanforderungen geben.

In den folgenden Balkendiagrammen wird in jedem Kapitel der Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften gegeneinander gezeigt. Dabei stellt jeweils das Material mit den besten Eigenschaften (höchste Punktesumme bei funktionalen und ökologischen Eigenschaften) den 100%-Wert dar. Die Balken der anderen Materialien beziehen sich auf die 100% und zeigen den jeweiligen Abstand zum Bestwert.

Es muss auch hier erwähnt werden, dass sich die Bewertungen und somit die Rangfolge auf die in dieser Untersuchung betrachteten Attribute beziehen und nicht pauschal gültig sind. Die Einbeziehung anderer Kriterien sowie auch eine unterschiedliche Gewichtung könnte das Ergebnis verändern.

4.3.1 Vorhänge und Gardinen

Polyester, Viskose, Baumwolle und Hanf wurden als Einsatzstoffe für Vorhänge und Gardinen untersucht (vgl. Kapitel 4.2.1). Der petrochemische Kunststoff und die aus Zellulose gewonnene Viskose zeigen hinsichtlich der funktionalen Eigenschaften die beste Gesamtpformance. Polyester zeichnet sich durch gutes Knitterverhalten und gute Maßbeständigkeit aus, wohingegen Viskose mit guter Brandbeständigkeit punktet. Baumwolle hat lediglich eine durchschnittliche Gesamtpformance. Hanf scheint auf Grund von vier schlechten Einzelbewertungen als keine geeignete Alternative. Vor allem bezüglich Bedruckbarkeit, Lichtdurchlässigkeit und Maßbeständigkeit zeigt dieser Naturfaserstoff ungünstige technische Eigenschaften (siehe Abbildung 19).

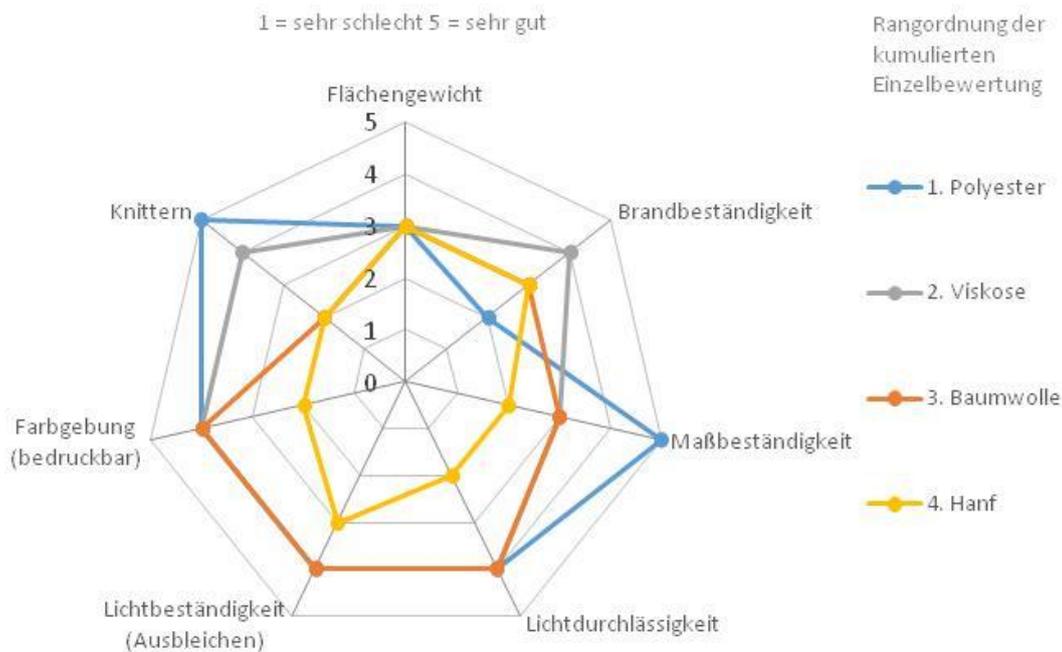


Abbildung 19: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Vorhänge/Gardinen geeigneten Materialien

Hinsichtlich der ökologischen Eigenschaften kann man in Abbildung 20 erkennen, dass Hanf mit Abstand am besten bewertet wird, wobei in vier Kategorien die Bestbewertung erreicht werden konnte, lediglich der Landverbrauch wird durchschnittlich bewertet. Polyester und Baumwolle finden sich auf den Plätzen zwei und drei wieder, wobei ein deutlicher Flächenunterschied erkennbar ist. Baumwolle schneidet vorrangig bei Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität und Landverbrauch schlechter ab. Viskose zeigt bei allen Umweltaspekten maximal durchschnittliche Eigenschaften, größtenteils jedoch deutlich schlechtere verglichen mit den anderen Materialien. Damit zeigt dieser Werkstoff insgesamt die schlechteste ökologische Performance aller untersuchten Materialien. Die verwendeten Daten dürften sich allerdings auf den konventionellen Viskoseprozess beziehen, bei den neuen Lösungsmittel-Verfahren (Modal- und Tencelfaser) ist mit besseren Werten zu rechnen.

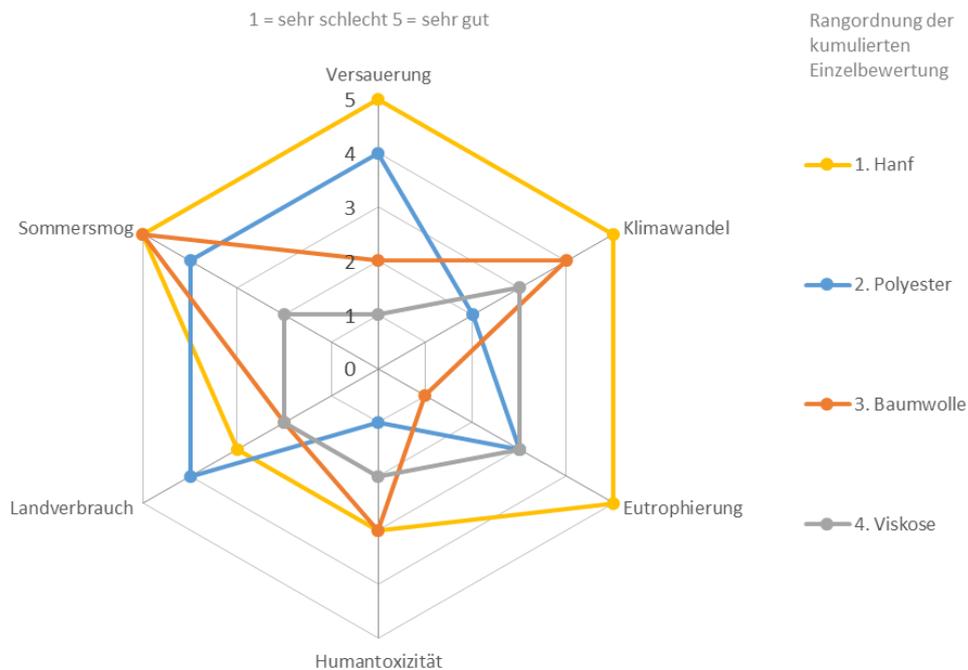


Abbildung 20: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Vorhänge geeigneten Materialien

Bei Betrachtung der gesamten technischen und ökologischen Eigenschaften zeigt sich, dass Polyester hinsichtlich der Funktionalität deutliche Vorteile hat, jedoch bei den ökologischen Wirkungen nicht mit Hanf mithalten kann. Baumwolle und Viskose fallen diesbezüglich etwas ab, wobei Viskose funktional annähernd äquivalente Eigenschaften zu Polyester besitzt, allerdings (der konventionelle Viskoseprozess) höhere ökologische Belastungen aufweist.

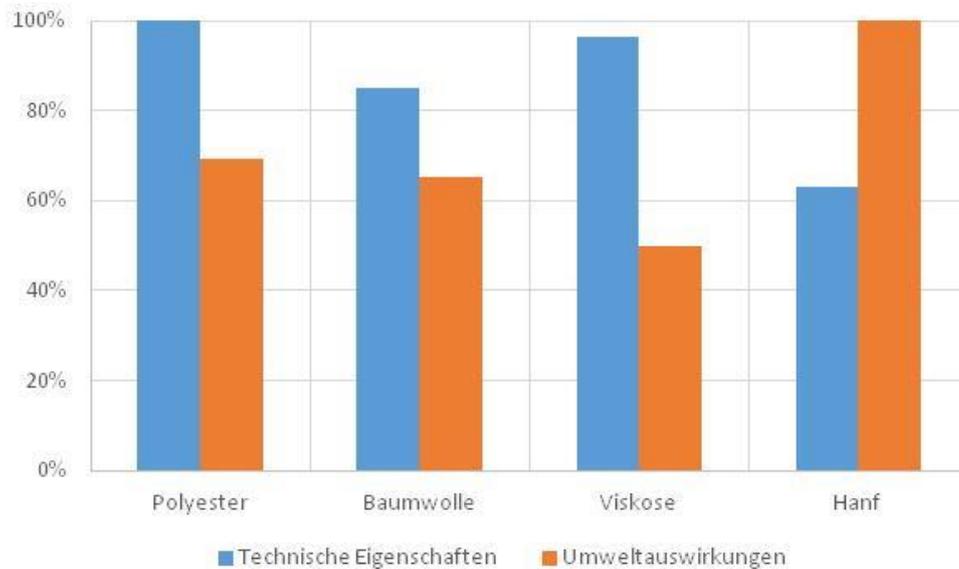


Abbildung 21: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Vorhänge geeigneten Materialien

Generell ist in Abbildung 21 auffallend, dass sich jeweils ein Material hinsichtlich einer Performance absetzen kann, jedoch keines der Materialien in beiden Betrachtungen annähernd gleich gute Bewertungen erzielt. Somit besitzen die biogenen Alternativen mit ökologischen Vorteilen zurzeit noch keine ausreichenden funktionalen Eigenschaften.

4.3.2 Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln

Folgende Textilien wurden für die Anwendung in öffentlichen Verkehrsmitteln in die Untersuchungen miteinbezogen: Polyamid (PA), Flachs/Leinen, Polyester (PES), Baumwolle und Schafwolle.

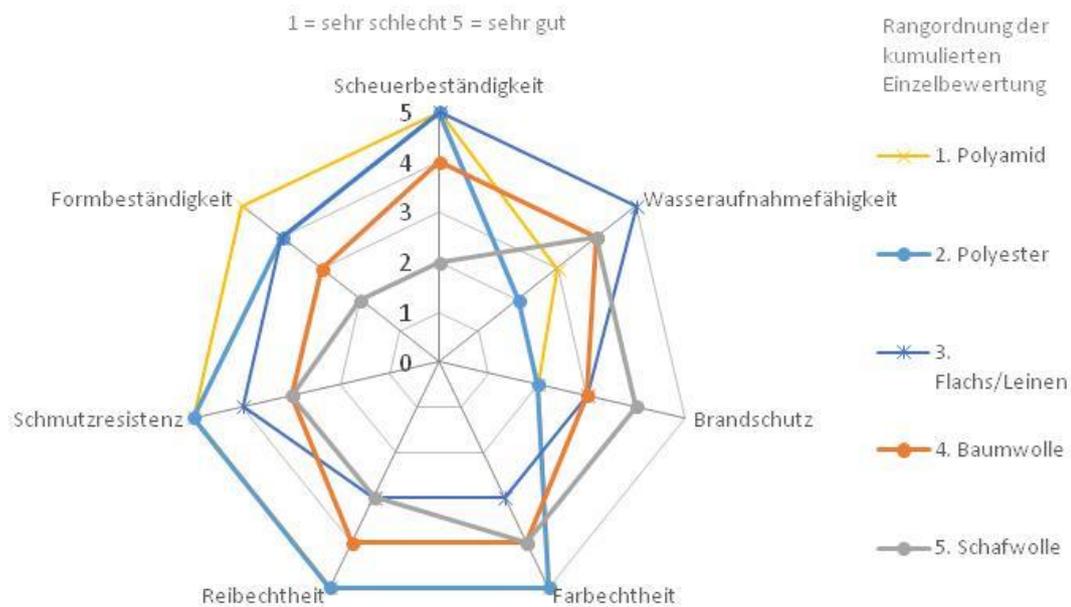


Abbildung 22: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien

Polyamid zeigt die beste Erfüllung der Anforderungen als Sitzbezug in öffentlichen Verkehrsmitteln. Sehr gute Eigenschaften bezüglich Scheuer- und Formbeständigkeit, Schmutzresistenz und Farbechtheit zeichnen diesen petrochemischen Kunststoff aus. Flachs/Leinen und Polyester werden hingegen einige Male lediglich als ausreichend oder schlecht beurteilt. Baumwolle und Schafwolle zeigen durchgehend bescheidene funktionelle Eigenschaften. Vor allem schlechte Schmutzresistenz der Baumwolle oder geringe Scheuerbeständigkeit der Schafwolle beeinflussen die Praxistauglichkeit.

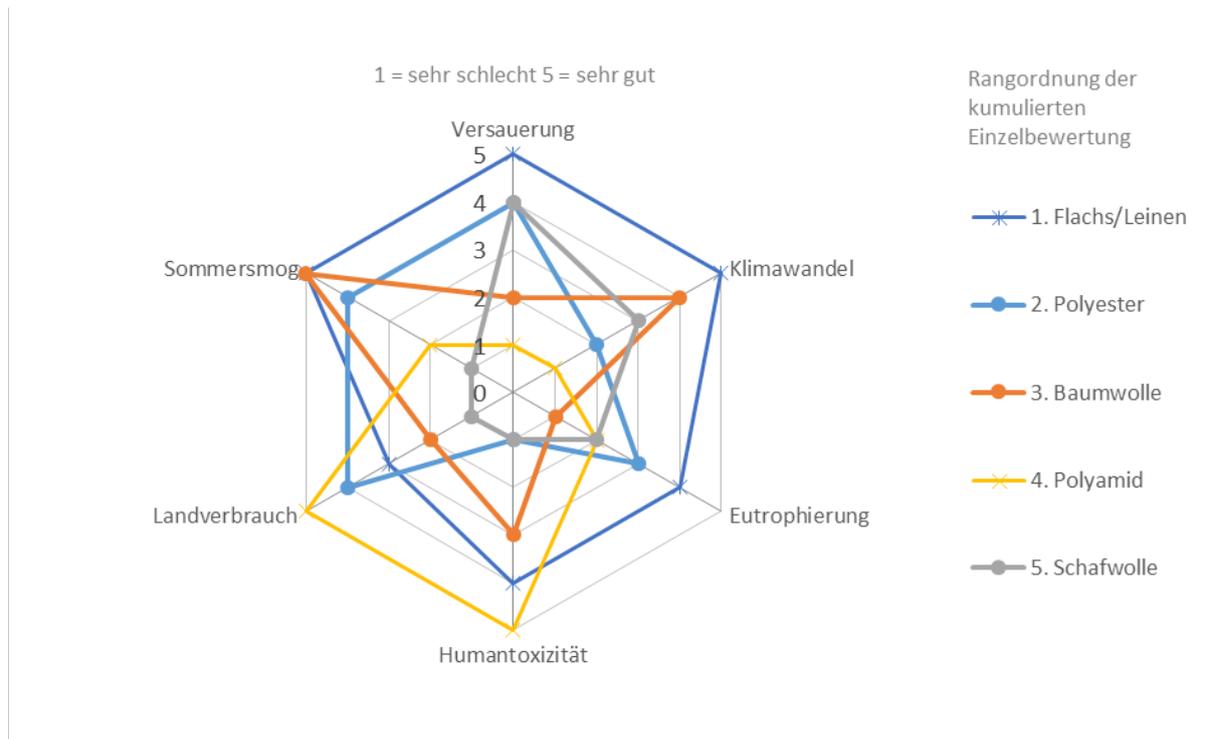


Abbildung 23: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien

In Abbildung 23 zeigt sich ein gewissermaßen uneinheitliches Abbild der ökologischen Bewertung, was auf heterogene LCA-Faktoren hindeutet. Flachs/Leinen erzielt das mit Abstand beste Ergebnis, wobei die sehr gute Performance hinsichtlich Sommersmog, Versauerung, Klimawandel und Eutrophierung speziell zu nennen ist. Die beiden petrochemischen Stoffe Polyester und Polyamid folgen auf den Plätzen zwei und drei, jedoch mit deutlich kleinerer Fläche als Flachs/Leinen. Der sehr guten Performance des Polyamids bezüglich Humantoxizität und Landverbrauch stehen sehr schlechte Eigenschaften bezüglich Versauerung und Klimawandel gegenüber. Polyester ist vor allem bezüglich der Humantoxizität und Klimawandel als schlecht bzw. sehr schlecht eingestuft. Baumwolle und Schafwolle zeigen gesamt betrachtet eine schlechtere ökologische Performance. Vor allem beim Landverbrauch und der Eutrophierung zeigen die in der Landwirtschaft erzeugten Materialien negative ökologische Auswirkungen.

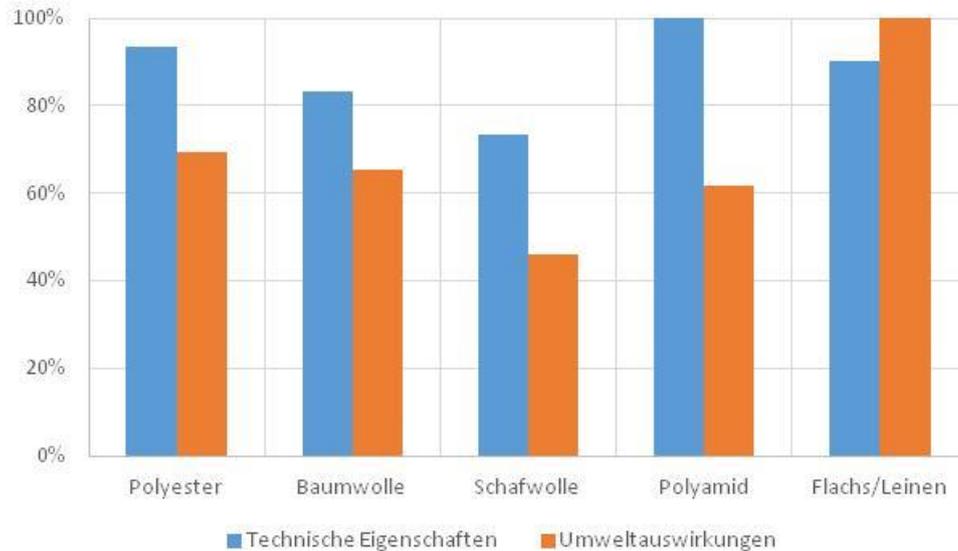


Abbildung 24: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln geeigneten Materialien

Die Summe beider Balken bringt deutlich die gute Eignung von Flachs/Leinen für Sitzbezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln zum Ausdruck. Die Abstände der orangen Balken, welche das anteilige Erreichen des von Flachs/Leinen erzielten Wertes darstellt, zeigen eindeutig die Vorteile dieser Naturfaser aus ökologischer Sicht. Insgesamt ergeben sich damit sehr gute Substitutionspotentiale dieser Naturfaser für den Einsatz als Sitzbezüge im öffentlichen Bereich. Polyamid, welches in der Praxis häufig verwendet wird, zeigt hingegen große Performanceunterschiede hinsichtlich der funktionellen und ökologischen Eigenschaften.

4.3.3 Sitzbezüge in Personenkraftwagen

Analog zu den Sitzbezügen im öffentlichen Verkehrsbereich wurden hier neben Polyamid (PA) und Polyester (PES) ebenfalls modifizierte Viskose sowie auch Leder in die Untersuchung aufgenommen.

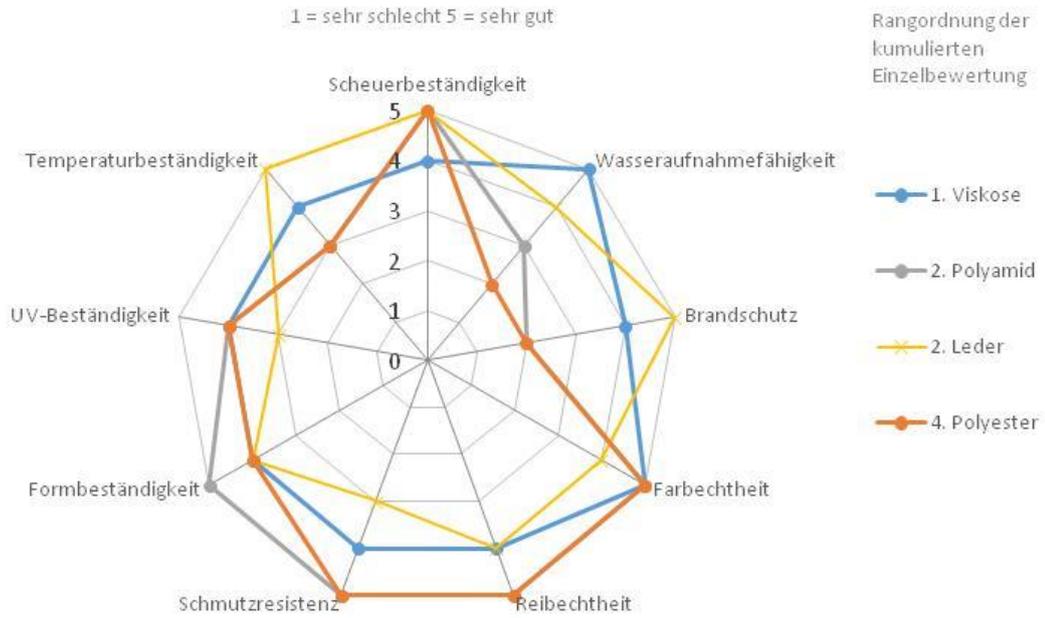


Abbildung 25: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

Vergleicht man die Größe der erzeugten Polygone mit anderen Anwendungen, so wird hier deutlich, dass alle hier untersuchten Materialien generell eine gute funktionale Performance haben und als Einsatzstoffe für Autositzbezüge in Frage kommen. Viskose, Polyamid und Leder sind bei diesem Vergleich an führenden Positionen, wobei Polyester insgesamt gesehen, ebenfalls eine gute Performance aufweist (siehe Abbildung 25).

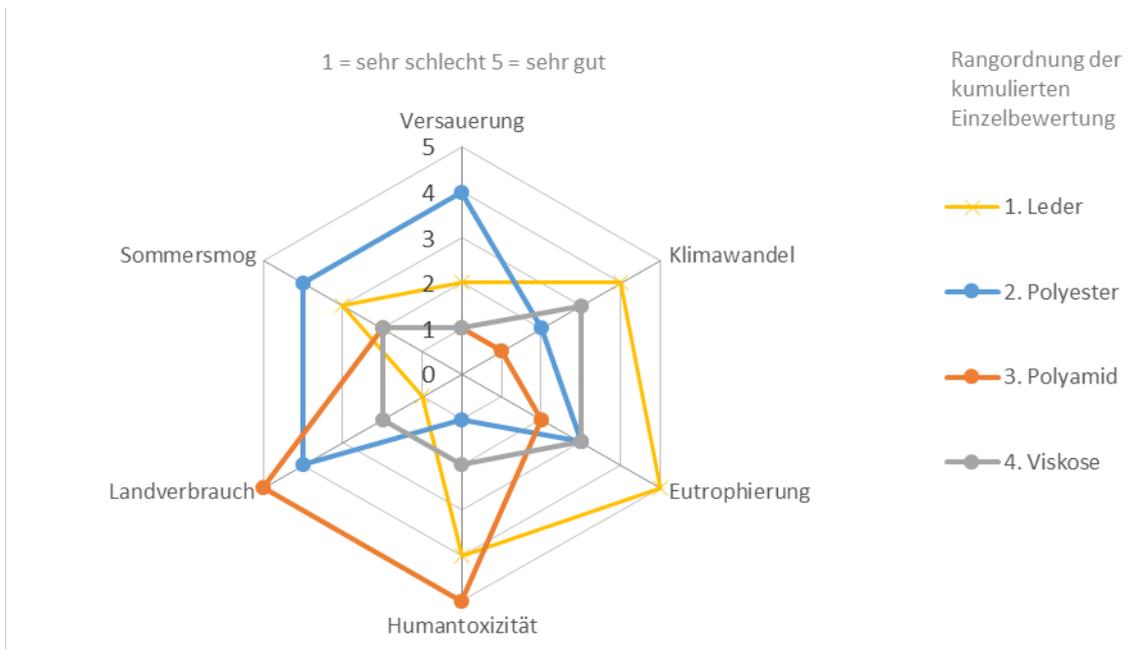


Abbildung 26: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

Die in Abbildung 26 dargestellten ökologischen Eigenschaften zeigen für alle Materialien relativ viele Punkte in Nähe des Diagramm-Mittelpunkts, was vergleichsweise schlechtere Eigenschaften bedeutet. Durch sehr gute Bewertungen des Leders bei den Aspekten Versauerung und Klimawandel erreicht dieses Material die beste Gesamtbewertung. Polyester und Polyamid, welche beide petrochemischer Herkunft sind, liegen knapp dahinter, da sie bei Klimawandel und Eutrophierung höhere Belastungen aufweisen. Es wurde in Kapitel 4.3.1 bereits die höhere ökologische Belastung von Viskose durch den konventionellen Viskose-Prozess angeführt, die auch aus dieser Abbildung ersichtlich wird. Neue Viskose-Prozesse führen hier zu einer deutlichen Verringerung der Belastungen.

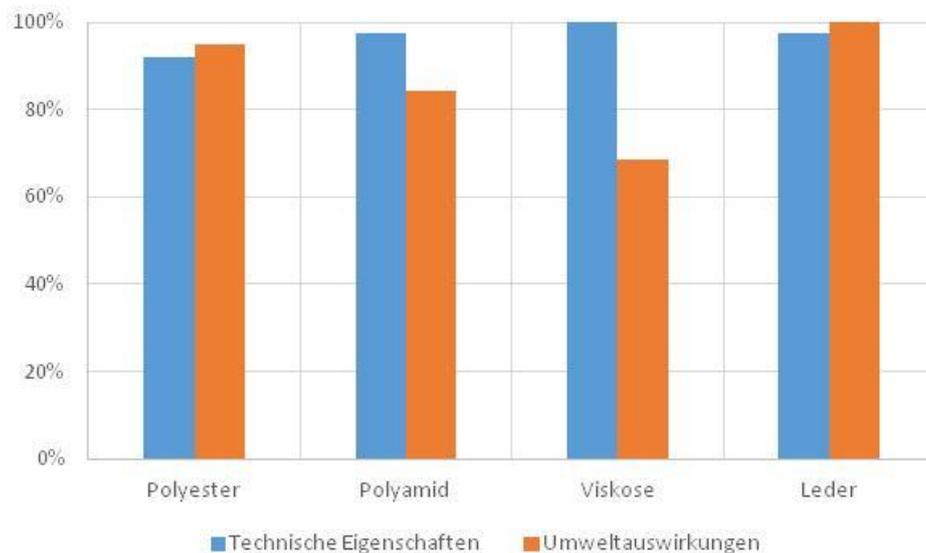


Abbildung 27: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Sitzbezüge in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

In Abbildung 27 wird deutlich, dass sich die Materialien bezüglich der funktionalen Performance nur relativ wenig voneinander unterscheiden. Anders verhält es sich bei den Umweltauswirkungen, wo Leder mit knappem Abstand vor Polyester die Bewertung anführt. Deutlich zeigt sich hierbei ebenfalls die derzeit noch höhere Belastung der Viskose, die bei Einsatz von neuen Fasern (Tencel- oder Modal) deutlich verringert werden kann und somit ein vielversprechendes Substitutionspotential darstellt.

4.3.4 Innenausstattung von Personenkraftwagen

Kunststoffe in nicht textiler Form wie Polyurethan (PU), Polypropylen (PP) und naturfaserverstärkte Kunststoffe (WPC) wurden für die Anwendung als Innenausstattung von PKWs in diesem Kapitel untersucht.

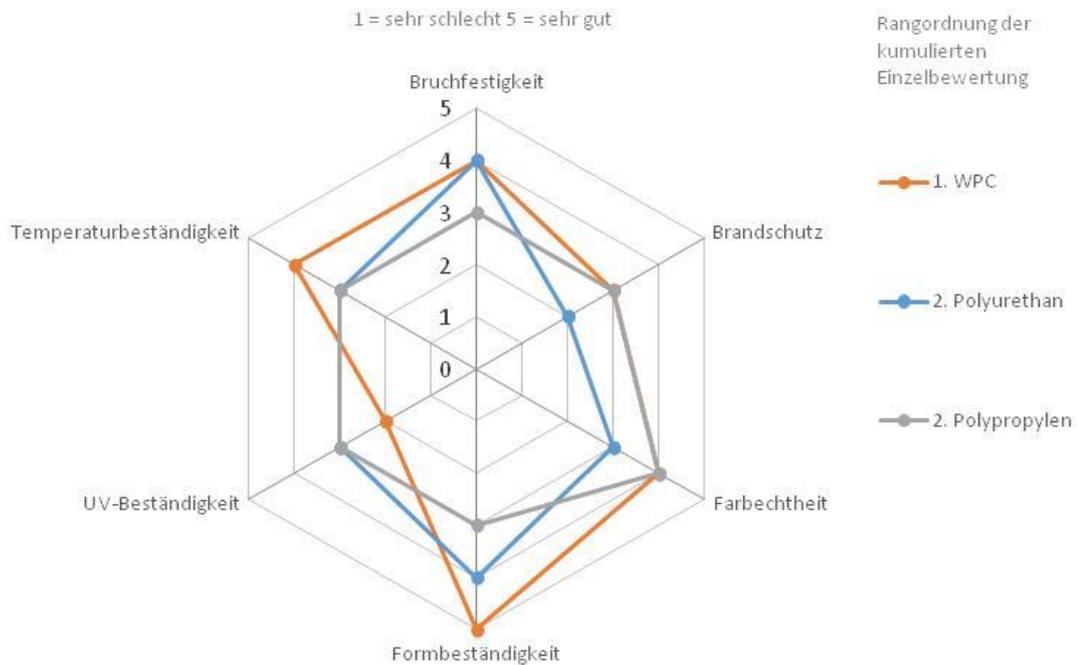


Abbildung 28: Bewertung der funktionalen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

Abbildung 28 zeigt, dass naturfaserverstärkte Kunststoffe in funktionaler Hinsicht die beste Bewertung erreichen. Gute, beziehungsweise sehr gute Eigenschaften haben WPCs hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit, Bruchfestigkeit, Farbechtheit und Formbeständigkeit, wobei die hingegen nicht unwesentliche Eigenschaft der UV-Beständigkeit bei diesem Verbundwerkstoff als schlecht einzustufen ist. PU und PP liegen dahinter gleichauf in diesem Anwendungsbereich, wobei beide Stoffe größtenteils gute bis ausreichende Bewertungen bei den einzelnen Anforderungen erzielen.

Bei der ökologischen Bewertung zeigt Polypropylen bei den einzelnen Belastungen meist eine relativ gute und in diesem Fall insgesamt die beste ökologische Performance (vgl. Kap. 3.3.3). Naturfaserverstärkte Kunststoffe (WPC) haben bei den Attributen Versauerung, Klimawandel, Landverbrauch und Eutrophierung die Bewertung „sehr gut“, liegen bei der Humantoxizität aber deutlich schlechter. Polyurethan weist eine deutlich kleinere Fläche auf als WPCs, die vor allem durch schlechte Bewertung bei Sommersmog und Klimawandel verursacht wird (siehe Abbildung 29).

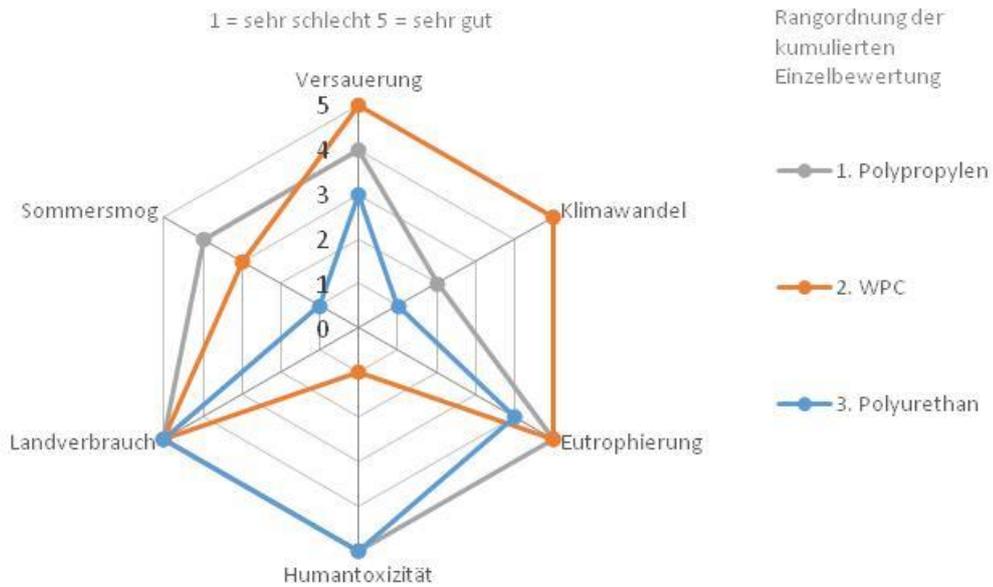


Abbildung 29: Bewertung der ökologischen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

Gesamt betrachtet weist WPC hinsichtlich der technischen Eigenschaften die besten Funktionen auf und zeigt gleichzeitig die annähernd beste ökologische Performance aller Werkstoffe, die für die Autoausstattung in Frage kommen. Polypropylen ist insgesamt sehr ähnlich beurteilt, besitzt allerdings etwas schlechtere funktionale Eigenschaften. Im Gegensatz dazu zeigt Polyurethan die höchsten Umweltbelastungen bei gleichzeitig schlechteren technischen Funktionen. Somit wird im Bereich der Autoinnenausstattung den naturfaserverstärkten Kunststoffen zunehmende Bedeutung bei der zukünftigen Wahl der Materialien zukommen.

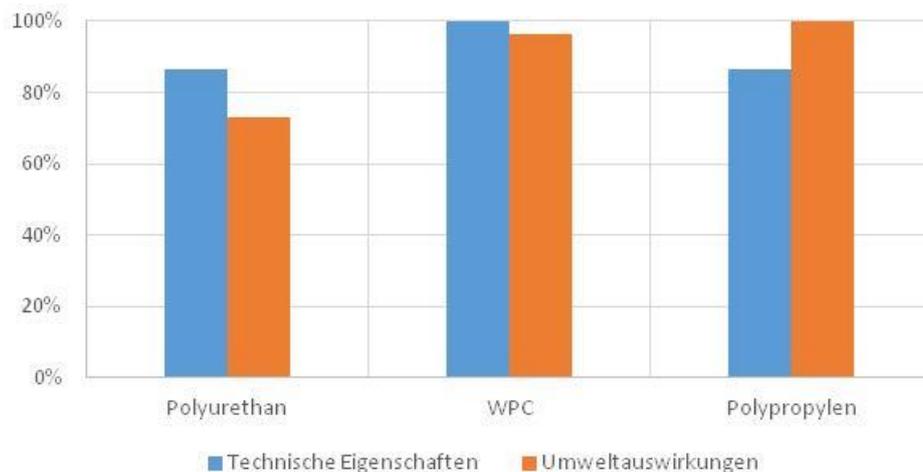


Abbildung 30: Vergleich der funktionalen und ökologischen Eigenschaften der für Innenausstattung in Personenkraftwagen geeigneten Materialien

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Zuge dieses Projektes wurden ausgewählte Anwendungsbereiche im Verpackungs- und Textilbereich hinsichtlich der derzeit verwendeten Materialien sowie möglicher biobasierter Substitutionsprodukte untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei vor allem auf der Betrachtung der funktionalen Äquivalenz sowie auch der ökologischen Eigenschaften der Produkte, um nachhaltigere Produkte mit vergleichbaren funktionalen Eigenschaften identifizieren zu können. Letztlich werden die vielversprechendsten Substitutionspotentiale in den jeweiligen Anwendungsbereichen dargestellt sowie der noch vorhandene Forschungsbedarf und Hemmnisse aufgezeigt.

Die Ergebnisse zeigen generell, dass einige in dieser Arbeit untersuchte biogen-basierte Materialien sowohl aus funktionaler als auch ökologischer Sicht den konventionellen Materialien gleichwertig sind, und daher für Substitutionen gut geeignet wären. Der Biokunststoff Polyethylenfuranuat (PEF), der vor allem für Getränkeverpackungen und Haushaltsbehälter eingesetzt werden kann, zeigt in diesen beiden Anwendungsbereichen auch die besten funktionalen Eigenschaften, lediglich der Preis und die derzeit noch geringen Produktionsmengen wirken der Praxistauglichkeit noch stark entgegen. Bei den ökologischen Eigenschaften hat PEF ebenfalls durchaus Stärken und besitzt somit grundsätzlich ein sehr hohes Substitutionspotential. Darüber hinaus weist Polymilchsäure (PLA) insgesamt sehr niedrige Umweltbelastungen auf und zeigt speziell bei Haushaltsbehältern und auch Bechern und Schalen auch gute funktionale Eigenschaften. Die derzeit größten Herausforderungen für PLA sind vor allem die thermische Stabilität bei hohen Temperaturen sowie auch der noch zu hohe Preis. Weitere biogene Materialien mit vielversprechender Performance sind einerseits Polyhydroxyalkanoate (PHA), die im Bereich der Verpackungsbeutel sehr gute funktionale und ökologische Eigenschaften besitzen. Hier ist ebenfalls die breite und qualitätsgesicherte Verfügbarkeit am Markt das Haupthemmnis. Bei der Anwendung Einkaufssackerl bzw. Tragetaschen zeigen Naturfasern wie Hanf sehr gute Eignung und vergleichbare Werte zu den konventionellen Materialien sowohl bei technischen wie ökologischen Eigenschaften.

Bei näherer Betrachtung der Getränkeverpackungen fällt weiters auf, dass innerhalb des Materials Glas starke Unterschiede bei den ökologischen Eigenschaften vorliegen, je nachdem ob Einwegglas (schlechtesten Werte) oder Mehrwegglas (besten Werte) verwendet wird. Der Sachverhalt, dass ein Werkstoff bei mehrmaliger Verwendung seinen ökologischen Fußabdruck enorm reduzieren kann, birgt ebenso auch Möglichkeiten für andere Materialien. Polyethylen (PE) wird im Zuge dieses Projektes in vier verschiedenen Anwendungen beurteilt (Haushaltsbehälter, Einkaufssackerl, Verpackungsbeutel, Folien) und liegt vor allem in den technischen Kriterien, aber auch bei den ökologischen Kriterien im vorderen Bereich. Dies ist auf die langjährige Entwicklung und Optimierung des Produktionsprozesses zurückzuführen.

Ebenfalls nach dem Motto „Gutes besser machen“ besteht eine Möglichkeit darin, Polyethylen und Polypropylen, welches ebenfalls gute funktionelle und ökologische Bewertungen aufweist, durch Drop-in Lösungen den biogenen Anteil im Produkt zu erhöhen. Ob diese Werkstoffe jedoch gesamtheitlich betrachtet (über sämtliche Wirkungsindikatoren hinweg) eine bessere ökologische Performance aufweisen können als herkömmlich hergestelltes Polyethylen und Polypropylen, könnte in weiteren Arbeiten detailliert betrachtet werden. Diesbezügliche

Ökobilanzen zeigen jedenfalls durchaus unterschiedliche Effekte in den einzelnen Wirkungskategorien.

Polyethylenterephthalat (PET), welches vor allem in der Anwendung als Getränkeverpackung bekannt ist, weist durchaus gute funktionelle Eigenschaften auf. Bezüglich der ökologischen Performance kann dieser petrochemische Kunststoff allerdings nicht mit biobasierten Materialien sowie auch Polyethylen oder Polypropylen mithalten. Die in die Untersuchung mit einbezogenen Verbundmaterialien (Alu-PLA, PBAT-PLA und TPS-PBS) liegen hinsichtlich funktioneller und ökologischer Eigenschaften tendenziell unter dem Durchschnitt.

Zusammenfassend ist aus den Ergebnissen im Verpackungsbereich keine eindeutige Tendenz zu erkennen, dass biogene Materialien in jedem Fall eine bessere ökologische Performance aufweisen. Analog dazu weisen petrochemische Kunststoffe in den Untersuchungen mehrheitlich noch bessere funktionelle Eigenschaften auf, wobei in einigen Bereichen wie bei den Getränkeverpackungen und den Haushaltsbehältern eine annähernd funktionale Äquivalenz durch biobasierte Materialien erreicht werden kann und auch ökologische Vorteile generiert werden könnten. Bei den fossilen Kunststoffen wurden durch die langjährigen Entwicklungen die Verbesserungspotentiale in den wesentlichen Bereichen bereits ausgeschöpft. Die biogen-basierten Materialien befinden sich hingegen erst am Anfang ihrer Entwicklung, wodurch noch deutlich größerer Spielraum für Optimierungen vorhanden sein sollte. Darüber hinaus wären für eine umfassende ökologische Beurteilung und Bewertung der Materialien weitere Aspekte wie die biologische Abbaubarkeit oder die Ökotoxizität sowie auch die nachhaltige Bereitstellung der Rohstoffe und etwaige langfristige Folgeschäden von Umweltverschmutzungen mit einzubeziehen, die aber in diesem Rahmen nicht quantifiziert werden konnten. Ebenso wäre eine Gewichtung einzelner Umweltbelastungen aus der Sicht der aktuellen Situation möglich, was ebenfalls die Ergebnisse verändern würde.

Im Textilbereich können bei verschiedenen Anwendungen Materialien biogenen Ursprungs durchaus als funktionell nahezu gleichwertiger Ersatz angesehen werden, wobei insgesamt eine stärkere Streuung in den Ergebnissen als im Verpackungsbereich vorliegt, sowohl zwischen den Materialien als auch innerhalb der Materialien zwischen ökologischer und funktionaler Performance. Bei Betrachtung der einzelnen Anwendungsbereiche wird ersichtlich, dass unterschiedliche Werkstoffe als Substitutionsprodukte in Frage kommen.

Hanf weist insgesamt sehr gute ökologische Eigenschaften auf, besitzt allerdings für den betrachteten Anwendungsbereich Vorhänge und Gardinen deutliche Nachteile bei den funktionalen Eigenschaften. Dies betrifft beispielsweise hohe Lichtdurchlässigkeit, nur geringe Maßbeständigkeit sowie auch starke Neigung zum Knittern, wodurch sich diese Naturfaser nur bedingt für Substitutionen eignet. Im Gegensatz dazu stellt Flachs/Leinen bei Sitzbezügen in öffentlichen Bereichen eine weit bessere Alternative dar, da bei deutlichen ökologischen Vorteilen auch annähernd funktional äquivalente Eigenschaften erreicht werden. Baumwolle zeigt in dieser Analyse sowohl hinsichtlich der ökologischen als auch funktionalen Performance Nachteile gegenüber den anderen Materialien und ist somit in den betrachteten Anwendungsbereichen kein geeignetes Substitutionsprodukt. Viskose zeigt vor allem sehr gute technische Eigenschaften für Vorhänge und Sitzbezüge im öffentlichen Bereich, ist dafür jedoch von hohen Umweltbelastungen geprägt. Da die verwendeten Werte der Umweltbelastung den konventionellen Viskoseprozess betreffen, ist bei neuen Lösungsmittel-Verfahren mit deutlich niedrigeren Belastungswerten zu rechnen. Leder ist ein Naturmaterial, das vor allem für

Autositzbezüge zum Einsatz kommt und dabei sehr gute ökologische Eigenschaften besitzt und gleichzeitig auch über vergleichbare technische Eigenschaften der anderen Materialien verfügt.

Bei näherer Betrachtung des Anwendungsbereichs „Vorhänge“ zeigt sich, dass sowohl Viskose als auch Baumwolle dem erdölbasierten Polyester bei den technischen Eigenschaften kaum nachstehen. Bei den ökologischen Eigenschaften zeigen Viskose und Baumwolle aber klare Nachteile gegenüber Polyester. Flachs/Leinen zeigt eine gute funktionelle Performance bei Sitzbezügen im öffentlichen Bereich. Somit stellt dieses Material eine Alternative zu Polyamid und Polyester dar, wobei eine bessere ökologische Beurteilung zusätzlich für Flachs/Leinen spricht. Bei der Anwendung für Sitzbezüge in PKWs zeigen sowohl erdölbasierte als auch biogene Materialien durch gute beziehungsweise ausreichende funktionelle Eigenschaften ihr Potential. Konventionell hergestellte Viskose weist bei den Umwelteigenschaften Schwächen auf, die bei neuen Herstellverfahren deutlich geringer sein müssten. Leder zeigt insgesamt die niedrigsten Umweltbelastungen. Derzeit dominieren Kunststoffe bei der Innenausstattung von Personenkraftwagen. Bei dieser Anwendung wurden naturfaserverstärkte Kunststoffe (WPC) in die Untersuchung aufgenommen, die sich als etwa gleichwertig herausstellten. Dieser Verbundwerkstoff basiert allerdings noch vorwiegend auf petrochemisch hergestellten Kunststoffen.

Zusammenfassend zeigt sich bei Textilien, dass Naturfasern im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen generell niedrigere Umweltbelastungen aufweisen. Darüber hinaus können in allen Anwendungsbereichen mit Ausnahme der Vorhänge bereits annähernd funktional äquivalente Eigenschaften durch Naturfasern erreicht werden, wodurch insgesamt sehr vielversprechende Potentiale für einen verstärkten Einsatz von biobasierten Produkten in textilen Anwendungsbereichen vorliegen.

5.2 Unsicherheitsfaktoren zur Interpretation der Ergebnisse

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass einerseits die zwei betrachteten Bereiche Verpackung und Textilien und andererseits auch innerhalb der Anwendungsbereiche relativ unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden. Dies betrifft vor allem Unterschiede der Materialien hinsichtlich der Bewertung auf funktioneller und ökologischer Basis. So ist einerseits die Bewertung der Materialien von der jeweiligen Anwendung abhängig, andererseits werden jene Attribute direkt wirksam, welche für jeden Anwendungsbereich festgelegt wurden. Konkret sind hierbei jene Eigenschaften gemeint, welche es für jeden Anwendungsbereich zu untersuchen galt. Thermische Verformbarkeit, Preis, Wasserbeständigkeit oder die Festigkeit zeigen hier exemplarisch, welche unterschiedlichen Eigenschaften bei den Werkstoffen bewertet wurden.

Ebenfalls entscheidend ist die Tatsache, dass alle untersuchten Eigenschaften dieselbe Gewichtung haben und es für ein bestimmtes Attribut keine Mindestanforderung gibt. Dieser Aspekt sollte stets beachtet werden, da es in der Praxis häufig Richtwerte für Eigenschaften gibt, die erreicht werden müssen oder nicht überschritten werden dürfen. Auch wenn ein Material gute bis sehr gute Eigenschaften für einen Anwendungsbereich vorweist, wird es, wenn es preislich in einem nicht wirtschaftlichen Rahmen liegt, nicht angenommen. Dieser Aspekt war in der vorliegenden Arbeit nicht vorrangig, da der Schwerpunkt auf vorliegenden Potenzialen und Anreizen für zukünftige Forschungsarbeiten lag.

Ein weiterer Aspekt den es durchaus zu beachten gilt, bezieht sich auf die Schwankungsbreite der verschiedenen Kennzahlen. Konkret gemeint sind hierbei einerseits die erhobenen

physikalischen und mechanischen Eigenschaften, andererseits der oftmals sehr breite Schwankungsbereich der ökologischen Kennzahlen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass LCA-Werte stark von dem Umfang und den Rahmenbedingungen der Betrachtung wie Produktionsland und -technologie abhängen. In Abbildung 31 ist dargestellt, welcher Schwankungsbereich für das Treibhauspotential im Zuge dieses Projektes, für unterschiedliche Kunststoffe vorliegt. Am Beispiel von Polyethylen (PE) kann man anhand der orangen Balken erkennen, dass der Wert für Treibhausgasemissionen um beinahe 4 kg CO₂equ schwankt. Die blauen Striche geben jenen Wert an, der für diese Untersuchung letztlich angenommen wurde und stellen die Lage des verwendeten Wertes innerhalb dieser Bandbreite dar.

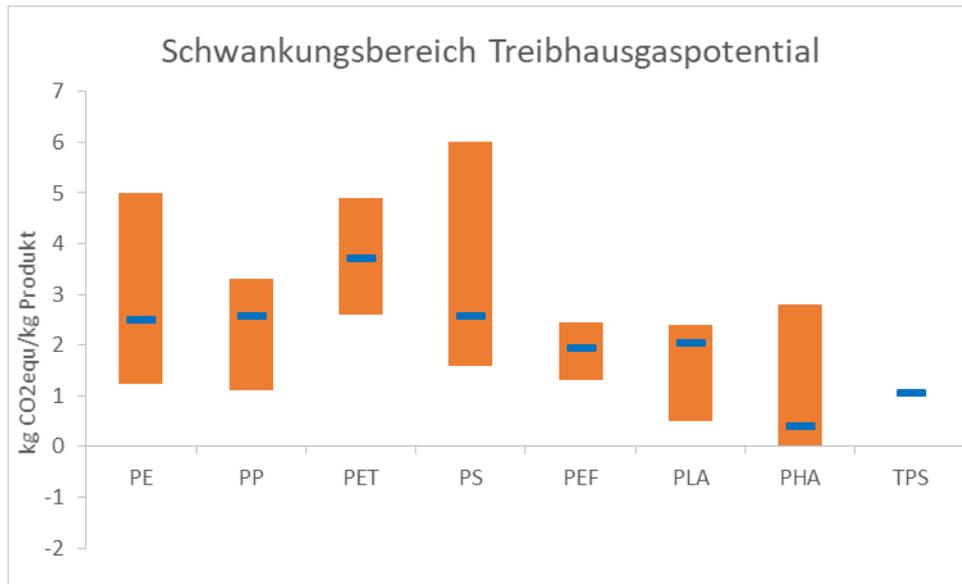


Abbildung 31: Darstellung des Schwankungsbereichs im Treibhauspotential bei Verpackungsmaterialien

Die Auswahl des konkreten Wertes der ökologischen Eigenschaften wurde durch Analyse der Einzelfaktoren und deren kritische Beurteilung getroffen. Dabei wurde für jeden ökologischen und funktionellen Wert eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt und überprüft, ob eine entsprechende Nachvollziehbarkeit der Werte gegeben ist. Das in Abbildung 31 angeführte Beispiel soll zeigen, dass die resultierenden Ergebnisse grundsätzlich sehr stark variieren können und von den entsprechenden Annahmen und Gegebenheiten abhängen.

5.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieses Projekt zeigt sehr deutlich, dass eine pauschale Aussage über die Substitutionsmöglichkeiten durch biobasierte Materialien schwer möglich ist, da sowohl die funktionale als auch ökologische Performance stark von den getroffenen Annahmen und Rahmenbedingungen abhängen. Dabei ist zu berücksichtigen, welche Eigenschaften für ein bestimmtes Produkt prägend sind, oder wo dieses Produkt unter welchen Bedingungen hergestellt wird. Es zeigt sich, dass biobasierte Materialien nicht generell eine reduzierte Umweltbelastung zur Folge haben, sondern dass diese von den Gegebenheiten (z.B. Energie- und Emissionsintensität der Herstellung) sowie auch den zu betrachtenden Umweltindikatoren (z.B. Klimawandel, Eutrophierung) abhängen. Zu erwähnen ist weiters, dass für eine vollständige Beurteilung von ökologischen Vor- bzw. Nachteilen einzelner Materialien auch etwaige langfristige Folgeschäden (z.B. Umweltkatastrophen wie Meeresverschmutzung) sowie die nachhaltige Bereitstellung der Rohstoffe mit einbezogen werden müssten.

Insgesamt wurden trotz allem einige vielversprechende Anwendungsbereiche im Verpackungs- und auch Textilbereich identifiziert, in denen biobasierte Materialien zeitnah aussichtsreiche Substitutionspotentiale darstellen können. Dabei können einerseits die Umweltbelastungen reduziert werden und gleichzeitig müssen keine bzw. kaum Einschränkungen in den funktionalen Eigenschaften der Produkte in Kauf genommen werden. Für die Umsetzung dieser Potentiale benötigt es allerdings einerseits politische (z.B. Anreizsysteme) aber auch bewusstseinsbildende Maßnahmen, um vielversprechende Produkte den KonsumentInnen schmackhaft zu machen. Darüber hinaus kann weiterer Forschungsbedarf ermittelt werden, um den identifizierten funktionalen bzw. ökologischen Schwächen zu begegnen. In jenen Anwendungsbereichen, in denen zurzeit noch keine äquivalenten biobasierten Materialien zur Verfügung stehen, wäre kurz- bis mittelfristig vor allem der forcierte Einsatz von Drop-in Lösungen eine aussichtsreiche Lösung, da sie kaum Einschränkungen in den funktionalen Eigenschaften aufweisen. Eine Prüfung der damit in Verbindung stehenden Verbesserung der ökologischen Eigenschaften wäre im Einzelfall notwendig.

Die Arbeit zeigte in vielen Bereichen bessere Eigenschaften der konventionellen Materialien gegenüber biobasierten Substitutionslösungen. In jenen Bereichen, in denen biobasierten Produkten aus ökologischer Sicht der Vorrang zu geben ist, kann man daraus erkennen bei welchen Eigenschaften aus der Sicht der NutzerInnen mit Veränderungen zu rechnen ist. Diese Schwächen biobasierter Materialien bieten allerdings Entwicklungsanreize für Forschung und Wirtschaft, die zukünftig zu Verbesserungen bei den Anwendungsbereichen führen werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

BASF; 2016. Biodegradable compound for compostable film. Available at: [www. Ecovio.com](http://www.Ecovio.com)

Baum, P. and Engelmann, J.; 2001. Angewandte Makromolekulare Chemie. S.I.: Nachrichten aus der Chemie. Available at:

[https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Publikationen/Nachrichten aus der Chemie/PDFs/Trendberichte_2001/angewmak.pdf](https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Publikationen/Nachrichten_aus_der_Chemie/PDFs/Trendberichte_2001/angewmak.pdf) [10.10.2018].

Carus, M., Gahle, C., Pendarovski, C., Vogt, D., Ortmann, S., Grotenhermen, F., Breuer, T. and Schmidt, C.; 2008. Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Hürth: Gülzower Fachgespräche, Band 26.

Detzel, A., Kauertz, B. and Derreza-Greeven, C.; 2012. Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

Eberle, U.; 2010. Bekleidung und Umwelt. Berlin: WWF Deutschland. Available at:

[https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/PublikationenPDF/HG Bekleidung Umwelt BB JE 06 2010.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/PublikationenPDF/HG_Bekleidung_Umwelt_BB_JE_06_2010.pdf) [10.10.2018].

Frischenschlager, H., Reinberg, V. and Kisser, J.; 2018. Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Available at:

https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/schriftenreihe/201806_bbks-szenario.pdf

Futtero, s.a. PLA extrusion grade. Available at: www.materialdatacenter.com

Haudek, W. and Viti, E.; 1980. Textilfasern. Wien: Verlag Johann L. Bondi und Sohn.

IFBB Hannover; 2017. Biopolymers - facts and statistics. Hannover: Institute for Bioplastics and Biocomposites – Hochschule Hannover. Available at: https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter_broschueren/Biopolymers-Facts-Statistics_2017.pdf [10.10.2018].

Lenzing Aktiengesellschaft 2008. Verfügbar in:

https://www.lenzing.com/index.php?type=88245&tx_filedownloads_file%5bfileName%5d=fileadmin/content/PDF/04_Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsberichte/DE/Nachhaltigkeit_Broschuerere_2008_DE.pdf [10.12.2018].

Mieck, K., Beckmann, E., Ortlepp, G., Albrecht, W., Fuchs, F., Guobiao, J. and Gulich, B. 2012. Faserstoffe. In: Vliesstoffe: Rohstoffe, Herstellung, Anwendung, Eigenschaften, Prüfung. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Available at: https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527315195_c01.pdf

S.N.; s.a. Bangkok: PTT MCC Biochem Company Limited. Verfügbar in:

<http://www.pttmcc.com/files/3813/7706/6192/FZ71PD.pdf> [10.10.2018].

Roch, H.; 2012. Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Oberhausen: Fraunhofer Umsicht. Available at: <https://www.hamburg.de/contentblob/3923324/6d2cd68081bfe4ac2b3a28ea223d10b9/data/roch-nachwachsende-kunststoffe.pdf;jsessionid=E38147EFE0F1E13C676B5EF2AC742A2C.liveWorker2> [10.10.2018].

Strimitzer, L. and Höher, M. 2015. Biokunststoffe in Österreich – Ein Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz. Wien: BMLFUW.

S.N.; 2017. Technisches Datenblatt Polylactide (PLA). Aesch: Dimensions GMBH. Available at: https://www.swissfil.ch/wp-content/uploads/2017/06/TDS_SWISSFIL_PLA_DE.pdf [10.10.2018].

Thielen, M.; 2013. Biokunststoffe – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Available at: <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01.pdf> [10.10.2018].

Thyssenkrupp; 2009. Technische Kunststoffe im Überblick. Wien: Thyssenkrupp Plastics. Available at: https://www.thyssenkrupp-plastics.de/fileadmin/inhalte/07_Publikationen/06_Prospekte/0750_Techn_Kunststoffe_150dpi.pdf [10.10.2018].

Vossberg; 2013. Available at: <http://www.vossberg.de/lexikon/eigenschaften-von-wolle/> [10.10.2018].

Vossberg; 2014. Available at: <http://www.vossberg.de/lexikon/polyester/> [10.10.2018].

Wettlinger; 2012. Technische Kunststoffe. Wien: Wettlinger Kunststoffe Handelsges. m.b.H. Available at: <http://wettlinger.at/wp-content/uploads/2016/02/Katalog-Gr1-Technische-Kunststoffe.pdf> [10.10.2018].



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)