

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - KFE gGmbH

Rezy-Spezi – Identifikation von **Rezy**klateinsatzpotenzialen durch Analyse
allgemeiner Normen und herstellere**spezifischer** Anforderungen in
verschiedenen Anwendungsbereichen

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 37823/01-31
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 31.12.2023

von Antonia Ivanda, Dr. Hermann Achenbach, Dr. Thomas Hochrein, Prof. Dr. Martin Bastian
und Andreas Bastian



Projektpartner:

Andreas Bastian
Geschäftsführer und Managing
Director

plastship GmbH
Auf der Lind 10
65529 Waldems

bastian@plastship.com
06126 – 58 980 12

Bezugsquelle des Forschungsberichts:

Dr. Hermann Achenbach
Bereichsleiter Nachhaltigkeit und
Kreislaufwirtschaft

Antonia Ivanda M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der
Forschergruppe
Nachhaltige und zirkuläre Produkte

SKZ - KFE gGmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg

h.achenbach@skz.de
0931 4104-266

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
Glossar	9
Zusammenfassung	10
1. Einleitung	13
2. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens	15
3. Methodik	16
3.1. Methodik zur empirischen Studie	17
3.2. Technische Umsetzung einzelner Ergebnisse in einem Online-Tool	19
4. Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten	21
4.1. Hemmnisse in Bezug auf den Rezyklateinsatz	21
4.2. Stand des Rezyklateinsatzes	22
4.3. Analyse des Rezyklateinsatzes und erste Relevanzeinordnung der Kunststoffanforderungen 25	
4.3.1. Herausforderungen der Anwendung „Kunststoffrohr“	26
4.3.2. Herausforderungen der Anwendung „Automotive“	30
4.3.3. Herausforderungen der Anwendung „Geokunststoffe“	31
4.3.4. Herausforderungen der Anwendung „Fenster“	33
4.3.5. Herausforderungen der Anwendung „Lebensmittelkontakt“	34
4.3.6. Herausforderungen der Anwendung „Verpackung gefährlicher Güter“	35
4.3.7. Herausforderungen in weiteren Anwendungen	37
4.4. Analyse der gesellschaftlichen Akzeptanz zum Rezyklateinsatz	37
4.4.1. Methoden und Instrumente	37
4.4.2. Hypothesenbildung	38
4.4.3. Ergebnisse der Akzeptanz-Umfrage	44
4.4.4. Fazit	49
4.5. Einsatzhindernisse von Sekundärkunststoffen und Bewertung der Einsatzpotenziale	50
4.5.1. Diskussion der Erkenntnisse aus der Industrie-Umfrage	54
4.5.2. Relevanzeinordnung der erarbeiteten Kunststoff- und Kunststoffproduktanforderungen	57
4.6. Ergebnisse der Recycling-Umfrage	58
5. Synthese	63
6. Branchenübergreifende Handlungsempfehlungen	68
7. Transferaktivitäten	70
8. Literaturverzeichnis	71

9. Anhang.....	74
9.1. Fragestellungen für die SKZ internen Experten-Interviews.....	74
9.2. Identifikation und Beurteilung bestehender herstellerspezifischer Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten	75
9.3. Analyse der gesellschaftlichen Akzeptanz über den Rezyklateinsatz in Kunststoffprodukten 78	
9.3.1. Vorstudie zur Bestimmung der Variablen „Wertigkeit“:.....	78
9.3.2. Ergebnisse der Akzeptanz-Umfrage aus MS Forms.....	81
9.4. Fragebogen der Recycling-Umfrage zum Thema Rezyklateinsatzpotenziale.....	90
9.5. Pressemitteilung zum Projektstart, Quelle: Plastverarbeiter 29.3.2022.....	91
9.6. Erstellte Pressemitteilung zur Toolbereitstellung im Mai 2024	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Produktbeispiele mit Rezyklateinsatz nach Knappe et al. (2021)	25
Tabelle 4-2: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen zu Kunststoffrohren und Kunststoffrohrsystemen.....	27
Tabelle 4-3: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen zu Geokunststoffen.....	31
Tabelle 4-4: Migrationsgrenzwerte für den Kunststoff PET, definiert durch die EU-Verordnung Nr. 10/2011 – Materialien und Gegenstände aus Kunststoff	34
Tabelle 4-5: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen und Richtlinien zu Verpackungen gefährlicher Güter.....	35
Tabelle 4-6: Produktauswahl zur Analyse der Akzeptanzbewertung.....	38
Tabelle 4-7: Indikator Interesse – Frage 1.....	40
Tabelle 4-8: Indikator Umweltbewusstsein.....	42
Tabelle 4-9: Bewertung der Rezyklateinsatzpotenziale auf Produktebene durch Experteneinschätzungen aus der Kunststoffindustrie	51
Tabelle 4-10: Übersicht der Relevanzeinordnungen einiger beschriebener Kunststoff- und Kunststoffprodukthanforderungen nach der Einschätzung von Kunststoffexperten bezüglich der Einsatzpotenziale von Rezyklaten	57
Tabelle 4-11: Ausgewählte Parameter die für den Einsatz von Sekundärkunststoffen in definierten Branchen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.....	58
Tabelle 5-1: Bewertung der Produkte nach Bedeutung der Optik für die Verbraucher	65
Tabelle 5-2: Zusammenfassung der Einsatzhemmnisse, -potenziale und limitierende Faktoren von Rezyklaten und sich hieraus direkt ergebende Handlungsempfehlungen für die Erhöhung von Rezyklatmengen in Industriebranchen.....	68
Tabelle 6-1: Durchgeführte Transferaktivitäten in Rezy-Spezi.....	70
Tabelle 7-3: Wertigkeit ausgewählter Produkte	78
Tabelle 7-4: Bewertung der Produkte nach Berührungshäufigkeit.....	78
Tabelle 7-5: Bewertung der Produkte nach Bedeutung der Optik.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Vorgehensweise in der Bearbeitung von Rezy-Spezi.....	16
Abbildung 3-2: Kategorisierung der Tätigkeitsbereiche der vorliegenden Arbeit	16
Abbildung 3-3: Bezug der durchgeführten Interviews und Umfragen zu den Arbeitspaketen	17
Abbildung 3-4: Zusammenführung der betrachteten Fokusfelder bzw. Arbeitsphasen in dem Forschungsprojekt Rezy-Spezi.....	19
Abbildung 3-5: Zusammenführung der angebotenen Rezyklate, mit gehandelten Polymertypen nach Produktbranche.....	20
Abbildung 4-1 Prozess zur Geruchsreduzierung der Erema Group GmbH, eigene Darstellung angelehnt an (14)	22
Abbildung 4-2: Art und Größenordnung der Verwertung bzw. Beseitigung der Kunststoffabfälle in Deutschland für 2021 nach Conversio 2022	23
Abbildung 4-3: Branchenbezogener Rezyklateinsatz in Deutschland 2021	24
Abbildung 4-4: Untersuchte Normen, Standards und Richtlinien.....	26
Abbildung 4-5:Indikator Alter.....	39
Abbildung 4-6: Indikator Bildungsstand – Schulabschluss	39
Abbildung 4-7: Indikator Bildungsstand – Berufsausbildung	40
Abbildung 4-8: Indikator Berufstätigkeit – Kunststoffbezug.....	40
Abbildung 4-9: Indikator Häufigkeit der Informationsbeschaffung – Frage 3	40
Abbildung 4-10: Indikator Art der Informationsbeschaffung.....	41
Abbildung 4-11: Indikator Grad der Informationsbeschaffung.....	41
Abbildung 4-12: Kommunikation der Informationen.....	41
Abbildung 4-13: Indikator Ernährung.....	42
Abbildung 4-14: Indikator Kennzeichnung – Etikettierung	42
Abbildung 4-15: Indikator Kennzeichnung – Transparenz	43
Abbildung 4-16: Indikator Bedenken	43
Abbildung 4-17: Indikator Preissteigerung.....	43
Abbildung 4-18: Indikator Material.....	43
Abbildung 4-19: Indikator Haptik, Optik und Geruch.....	44
Abbildung 4-20: Ergebnisse zur Hypothese 1.....	45
Abbildung 4-21: Ergebnisse zur Hypothese 2.....	46
Abbildung 4-22: Ergebnisse zu Hypothese 3	47
Abbildung 4-23: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufabsicht bei Geruchsverschlechterung durch Rezyklateinsatz.....	47
Abbildung 4-24: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufintention bei Verschlechterung der Optik durch Rezyklateinsatz	48

Abbildung 4-25: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufintention Verschlechterung der Haptik durch Rezyklateinsatz.....	48
Abbildung 4-26 Ergebnisse zu Hypothese 4	49
Abbildung 4-27: Verkaufte Rezyklatmengen in t/a (links) und in % (rechts) je Branche der befragten Recyclingunternehmen	59
Abbildung 4-28: Verteilung der Belieferungsmenge je Branche, 100 % bezogen auf die Gesamttonnage an Rezyklaten in der Branche	60
Abbildung 4-29: Prozentuelle Steigerung der zulieferbaren Rezyklatmenge je Branche in Abhängigkeit der Anforderungsänderungen bezogen auf die Gesamttonnage	61
Abbildung 4-30: Hochrechnung der Umfrageergebnisse auf den europäischen Rezyklatmarkt.....	62
Abbildung 5-1: Schema zur Bewertung der Einsatzpotenziale von Rezyklaten unter Berücksichtigung von Produkthanforderungen und weiteren Projekterkenntnissen.....	63
Abbildung 5-2: Akzeptanz der Endverbraucher bezüglich einer Preiserhöhung von rezyklatbasierten Produkten.....	66
Abbildung 9-1: Prozentuale Antwortverteilung zur Berührungshäufigkeit Quelle: Microsoft Forms ..	79
Abbildung 9-2: Prozentuale Antwortverteilung zur Bedeutung der Optik.....	80
Abbildung 9-3: Umfrage Ergebnisse Seite 1, Interesse	81
Abbildung 9-4: Umfrage Ergebnisse, Seite 2 Microsoft Forms, Informiertheit.....	82
Abbildung 9-5: Umfrage Ergebnisse, Seite 3 Microsoft Forms, Transparenz und nachhaltiger Lebensstil.....	83
Abbildung 9-6: Umfrage Ergebnisse, Seite 4, Microsoft Forms, Kaufentscheidung	84
Abbildung 9-7: Umfrage Ergebnisse, Seite 5, Microsoft Forms, Kaufentscheidung	85
Abbildung 9-8: Umfrage Ergebnisse, Seite 6, Microsoft Forms, Kaufentscheidung	86
Abbildung 9-9: Umfrage Ergebnisse, Seite 7, Microsoft Forms, Kaufentscheidung	87
Abbildung 9-10: Umfrage-Ergebnisse, Seite 8 aus MS Forms, Bedenken bezgl. Kontaminationen und Alterskategorien	88
Abbildung 9-11: Umfrage Ergebnisse, Seite 9 Microsoft Forms, Berufung.....	89

Abkürzungsverzeichnis

APQP	Advanced Product Quality Planning
ARD	Internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
DEBIT	Deutsches Institut für Bautechnik
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse
IUBH	International University of Applied Science Bad Honnef
KDB	Kunststoffdichtungsbahnen
LDPE	Low density polyethylene
MFR	Melt Flow Rate
MSA	Measurement System Analysis
M1	Umfassende Übersicht bestehender Einschränkungen von Rezyklaten für einzelne Anwendungen sowie eine Zusammenstellung deren derzeit bestehenden Beschränkungs- bzw. Ausschlussgründe
M2	Umfassende Anwendungs- bzw. produktspezifische Relevanzeinordnung von Einschränkungsgründen für den Rezyklateinsatz
M3	Überblick zu aktuell verfügbaren Rezyklatqualitäten und -mengen
M4	Umfassende anwendungsspezifische Ausweisung noch nicht berücksichtigter Rezyklateinsatzpotenziale
M5	Fertiggestelltes und bereitgestelltes Tool
M6	Breite Bekanntmachung des Tools und der Projektergebnisse
M7	Fertiggestellter Abschlussbericht
PA	Polyamid
PCR	Post Consumer Rezyklat
PIR	Post Industrial Rezyklat
PLA	Polylactid
PP	Polypropylen
PPAP	Production Part Approval Process
PVC	Polyvinylchlorid
SPC	Statistical Process Control
TL	Technische Lieferbedingungen
TP	Technische Prüfvorschriften

Typ ERM _a	Werkstoff, bestehend aus ungebrauchten PVC-U-Profilen einschließlich Abschnittmaterial, die ursprünglich von einem anderen Hersteller als demjenigen produziert wurden, der die Wiederverarbeitung vornimmt
Typ ERM _b	Werkstoff, bestehend aus ungebrauchten PVC-U-Profilen, unabhängig davon, wo sie ursprünglich hergestellt wurden.
Typ RM _a	Werkstoff, bestehend aus gebrauchten PVC-U-Profilen, unabhängig davon, wo sie ursprünglich hergestellt wurden.
UBA	Umweltbundesamt
UL	Underwriters Laboratories
VDA	Verband der Automobilindustrie

Glossar

Charge von Recycling-Kunststoffen	Eine festgelegte Menge homogenen Werkstoffs von höchstens 25 Tonnen mit bekannten Parametern (Schmelzindex, Dichte, Streckspannung).
Mahlgut	Wird durch Mahlen von Kunststoff gewonnen. Mahlgut hat unterschiedliche und unregelmäßige Teilchengrößen von 2 mm bis 5 mm und kann Staubanteile enthalten.
MFR	Wert, der sich auf die Viskosität einer aufgeschmolzenen Masse bezieht, die bei einer festgelegten Temperatur mit einem bestimmten Gewicht durch eine Düse gedrückt wird. Wird in g/10 min angegeben.
Neumaterial	Kunststoffe in Form von beispielsweise Granulat, die noch nicht verwendet worden ist oder noch keinem anderen. Verarbeitungsverfahren als dem zu ihrer Herstellung erforderlichen ausgesetzt war, und der keine Umlaufmaterialien oder Rezyklate beigemischt wurden.
Regranulat	Wird aus Mahlgut über einen Schmelzprozess als Granulat gewonnen. Regranulat hat gleichmäßige Korngröße und keinen Staubanteil und ist problemlos verarbeitbar.
PC-Rezyklat	Post-Consumer Rezyklat. Aufbereitete Kunststoffabfälle aus dem Endkundenbereich.
PI-Rezyklat	Post-Industrial Rezyklat Aufbereitete Kunststoffabfälle aus der Fertigung.
Rezyklat	Material aus thermoplastischen Produkten, die gereinigt und zerkleinert oder zermahlen worden sind. Unter diese Bezeichnung fallen sowohl Post-Consumer als auch Post-Industrial Rezyklate.
Sekundärkunststoffe	Überbegriff aller Kunststoffe, die eine zweite Verarbeitung durchlaufen haben. Unter Sekundärkunststoffen zählen somit Umlaufmaterial, PC-Rezyklat, PI-Rezyklat und Recompounds.
Umlaufmaterial	Material innerhalb der Produktion. Kunststoff aus zurückgewiesenen ungebrauchten Produkten oder Verschnitten, die in Werken hergestellt und aufbewahrt wurden, die derselben juristischen Person gehören und von ihr betrieben werden.

Zusammenfassung

Durch den zunehmenden Einsatz von Kunststoffen steigt weltweit der Verbrauch natürlicher Ressourcen und die Menge an Kunststoffabfällen. Dem kann entgegengewirkt werden, indem ausrangierte Kunststoffprodukte aufbereitet und als Rezyklate für die Produktion neuer Produkte genutzt werden.

Im Rahmen des Projekts „Rezy-Spezi“ wurden im Bereich der Kunststoffprodukte werksspezifische Standards und allgemeine Normen bezüglich Einsatzbeschränkung von Sekundärkunststoffen identifiziert und analysiert. Mit Hilfe von Onlinebefragungen und Experteninterviews wurden Beschränkungsgründe identifiziert und nach ihrer Relevanz für die Erfüllung der Produktfunktion klassifiziert. Anschließend wurden Änderungsempfehlungen definiert, um Hemmnisse für den Einsatz von Sekundärkunststoffen abzubauen und diesen dadurch zu erhöhen. Ziel war die Entwicklung eines nutzerfreundlichen digitalen Online-Tools, in dem Einsatzgebiete branchenspezifisch für Sekundärkunststoffe aufgezeigt werden, die bislang noch durch Standards und weitere Spezifikationen blockiert sind, aber vor dem Hintergrund der inzwischen verbesserten Rezyklatqualitäten für den Einsatz erschlossen werden könnten. Das Online-Tool ist auf der [plastship-Homepage](https://plastship.com/branchen-umfrage) für Akteure der gesamten Kunststoffbranche zur Verfügung gestellt und kann unter folgendem Link abgerufen werden: <https://plastship.com/branchen-umfrage>.

Zur Erarbeitung der Einsatzpotenziale von Rezyklaten, wurde zunächst eine Vorstudie durchgeführt, die einen grundlegenden Überblick über die Einsatzmengen und deren Hemmnisse von Rezyklaten ermöglicht. So wurden laut der Conversio-Studie (2022) von den ermittelten 5,67 Mio. t Kunststoffabfällen im Jahr 2021, 1,96 Mio. t einer werkstofflichen, <0,03 Mio. t einer rohstofflichen und 3,66 Mio. t einer energetischen Verwertung bzw. 0,03 Mio. t einer Deponierung zugeführt (1).

Materialspezifische Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten ergeben sich laut Recherchen unter anderem durch mechanische Eigenschaften und Farbe sowie Geruch (2). Dennoch wurden auch hier Möglichkeiten entwickelt, um beispielsweise die Geruchsqualität der Rezyklate zu erhöhen. Es bestehen z. B. Verfahren, bei denen Schleppmittel in Einsatz kommen, die anschließend aus der Schmelze unter Vakuum verdampfen und auf diese Weise geruchsemitterende Substanzen entfernen (3). Bei einem anderen Verfahren werden zwei Prozesse zur Geruchsminderung kombiniert (siehe Abbildung 4-1). Alternativ sind auch Additive zur Geruchsminderung im Einsatz (4). Im Zuge einer Umfrage mit Endverbrauchern wurde in der vorliegenden Arbeit deutlich, dass die empfundene Wertigkeit eines Produkts einen großen Einfluss auf die Kaufentscheidung hat. Eine Änderung oder das Auftreten eines unangenehmen Geruchs wirkt sich am negativsten auf die Kaufentscheidung der Endverbraucher aus. Grundsätzlich konnte durch eine Befragung gezeigt werden, dass sich ca. 93 % der befragten Endverbraucher eine transparentere Kommunikation zwischen Industrie und Verbrauchenden wünschen. Weitere 84 % forderten eine deutlichere Kennzeichnung von Kunststoffprodukten aus Rezyklat.

Die Arbeiten der vorliegenden Studie gliedern sich in einen empirischen Teil, der Umfragen und Interviews umfasst, und einen technischen Teil, der den Aspekt der Toolentwicklung beinhaltet. Weitere Informationen wurden durch Recherchen und Literaturarbeiten gewonnen.

Normen und Standards wurden auf Produkthanforderungen untersucht, die nicht in direkter Verbindung mit der Produktfunktionalität stehen und dementsprechend ein Änderungspotenzial aufweisen, um so den Rezyklateinsatz in diesen Produktgruppen zu etablieren oder zu erhöhen. Eine häufig beschriebene Kunststoffanforderung, die sowohl in Normen beschrieben als auch von Befragten aus der Kunststoffindustrie genannt wurde, ist die Farbanforderung an das Material. Für die Sicherstellung der Produktfunktion ist die Farbe kein entscheidender Faktor. Aus diesem Grund wurden Farbanforderungen in der vorliegenden Arbeit als „anpassungsfähig“ beurteilt. Verschiedene

Untersuchungen befragter Personen zeigten, dass Kunststoffrezyklate RAL-Bereiche einhalten können. Werden Farbspektren ermöglicht könnten befragte Recyclingunternehmen in Angebot für die Branche Elektronik um 26 %, Automotive um 17 %, für die Baubranche um 10 % und für die Verpackungsindustrie sogar um 74 % erhöhen. Eine Hochrechnung dieser Ergebnisse auf Basis einer PlasticsEurope-Studie würde den europäischen Rezyklatmarkt für Verpackungen von ursprünglich 8,5 % (2022) auf 15 % erhöhen (5). Im Bereich Automotive würde sich die Rezyklatmenge von 2,9 % auf 3,6 % und im Bauwesen von 18,1 % auf 20,0 % erhöhen. Für die Elektronikbranche bedeutet dies eine Steigerung von ursprünglich 3,6 % auf 4,0 %.

Weitere Einschränkungen für den Einsatz von Rezyklaten konnten zusätzlich aus den durchgeführten Umfragen und Interviews mit Kunststoffexperten aus den Bereichen Forschung und Prüfung, Recycling und Unternehmen der verarbeitenden Industrie identifiziert werden. Daraus wurden Einsatzpotenziale erarbeitet, die bei angepassten Produkthanforderungen realisierbar wären. Könnten beispielsweise Anforderungen an die Dimensionierung von Bauteilen angepasst werden, wäre der Einsatz von Rezyklaten bei gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften denkbar. So würde sich, laut befragter Recyclingunternehmen, das Rezyklatangebot für die Branche Verpackung um 41 %, für den Bereich Elektronik und Elektrogeräte (E&E) um 21 %, im Bauwesen um 65 % und im Automobilsektor um 51 % erhöhen. Verglichen mit der europäischen Rezyklatquote würde dies für die Branche Verpackung eine Steigerung auf 12,0 %, für die Baubranche auf 29,8 % und für die Automobilbranche auf 5 % bewirken. Im Bereich E&E würde die neue Rezyklatquote 4,4 % betragen.

Ein häufig diskutiertes Hemmnis für den Recyclingprozess und den Einsatz von Rezyklaten sind heterogene Abfallströme, die häufig aus Kunststoffverbunden bestehen und die am Ende der Nutzungsphase nicht trenn- und damit auch nicht recyclebar sind. Durch die Vielzahl an Kunststoffsorten innerhalb einer Anwendungsbranche und deren Vermischung bei der Entsorgung, können geforderte polymerspezifische Eigenschaften der Industrie nur schwer oder gar nicht mit Rezyklaten umgesetzt werden. Durch angepasste Additivierungen von Homo-Kunststoffen könnten laut Umfrageergebnisse in einigen Produktbereichen dieselben Anforderungen wie mit Verbundkunststoffen erreicht werden. Folglich wurde untersucht, inwiefern Rezyklateinsätze je Anwendungsbranche gesteigert werden können, wenn sich Kunststoffproduktbranchen auf die Nutzung von drei Kunststoffsorten beschränken würden, und somit die Kunststoffvielfalt reduzieren. Laut befragter Recyclingunternehmen könnte die Rezyklatmenge besonders in der Verpackungs- und Automobilindustrie um über 50 % erhöht werden. Das würde bedeuten, dass die Rezyklatquote bezogen auf den europäischen Markt für diese Branchen von ursprünglich 8,5 % (für den Verpackungssektor) auf 13,1 % und von 2,9 % (für den Automobilsektor) auf 5,5 % steigen könnte.

Darüber hinaus würden Preisanpassungen das Angebot an Rezyklaten in der Automobilindustrie um durchschnittlich 77 %, im Baugewerbe um 68 % und in der Verpackungsindustrie um 75 % erhöhen, wenn die Produkthanforderungen unverändert blieben. Bezogen auf den europäischen Rezyklateinsatz, würde dies für die Automobilbranche eine Rezyklatquote von 6,0 %, für das Bauwesen auf 30,0 % und für die Verpackungsindustrie eine Erhöhung des Rezyklateinsatzes auf 14,8 % ergeben. Preisanforderungen von Rezyklaten liegen meist weit unter dem der Neuware. Die Herkunft sowie Verarbeitungsprozesse von Rezyklaten unterscheidet sich jedoch deutlich von der Neuware-Herstellung und -Verarbeitung. Aus diesem Grund sollten Preise von Rezyklaten nicht direkt an die Neuwarenpreise gekoppelt und getrennt betrachtet werden.

Die im Rahmen der Recycling-Umfrage analysierten Produkthanforderungen zur potenziellen Rezyklatsteigerung, sind jeweils einzeln zu betrachten. Eine Aufsummierung der Rezyklatsteigerungspotenziale im Fall der einzelnen Anpassungen der Kunststoffanforderungen kann nicht vorgenommen werden. Da nicht untersucht wurde, inwiefern sich die Produkthanforderungen gegenseitig beeinflussen und wie sich das auf die theoretische Mengensteigerung auswirken würde.

Bei der Entwicklung und Herstellung von Kunststoffprodukten und Bauteilen sollten Produkthanforderungen nach ihrem Beitrag zur Sicherstellung der Produktfunktion bewertet und eingeordnet werden. Produkthanforderungen, die nicht der Funktion dienen, sind zu hinterfragen.

Es ist notwendig Kunststoffabfälle als Wertstoffe zu betrachten, die nach entsprechender Aufbereitung in Zukunft wieder verwendet werden.

1. Einleitung

Rezy-Spezi ist ein von der DBU gefördertes Forschungsprojekt, welches das Unternehmen plastship GmbH zusammen mit dem SKZ von Januar 2021 bis Dezember 2023 bearbeitet hat. Hierbei wurden noch nicht erschlossene Einsatzpotenziale von Sekundärkunststoffen untersucht, beschrieben und Handlungsempfehlungen für die Kunststoffbranche formuliert. Teilergebnisse der Arbeiten wurden in einem Online-Tool für die Öffentlichkeit bereitgestellt, sodass Akteure der Kunststoffindustrie darauf zugreifen und profitieren können.

Grundlage für dieses Forschungsprojekt war die jahrzehntelange Fokussierung auf die Produktion von hochwertigen Neuwere Kunststoffen und die daraus resultierenden Spezifikationen und Standards für Kunststoffe und Kunststoffprodukte. Rezyklate galten in der Vergangenheit als minderwertig und wurden daher oft vernachlässigt. Der Trend zur Kreislaufwirtschaft nimmt zwar branchenübergreifend zu, muss jedoch noch einige Hemmnisse zu überwinden. So müssen Spezifikationen und Standards an Rezyklate angepasst werden.

2021 betrug die Kunststoffproduktion allein in Deutschland ca. 10,7 Mio. t und übertraf das Niveau der Produktionsmenge des Jahres 2019 um 4,0 % (1). Europa im Allgemeinen beteiligt sich mit etwa 20 % an der weltweiten Kunststoffproduktion und ist somit gesamtgenommen auf Platz zwei der Produzenten (6). Die Nutzung von Kunststoffen und das daraus resultierende Aufkommen an Kunststoffabfällen wird auch künftig weiterhin steigen (7). Blicke die derzeitige Rezyklatrate in Europa unverändert, würden sich die Emissionen bei der derzeitigen wirtschaftlichen Entwicklung bis 2050 auf über 200 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr, fast verdoppeln und damit weit über den Werten liegen, die mit den Verpflichtungen der EU im Rahmen des Pariser Abkommens vereinbar sind (7). Darüber hinaus emittieren Kunststoffabfälle in großen Mengen in die Umwelt. Über den Fluss Jangtse in China gelangen beispielsweise jährlich ca. 33.000 t Kunststoffmüll in die Meere (8). Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzungen durch Kunststoffe sind Probleme, die aus der heutigen linearen Vorgehensweise der Wirtschaft resultieren. Um den Verbrauch endlicher Rohstoffe zu reduzieren, bedarf es einer Kreislaufführung, die den gesamten Lebenszyklus eines Produktes berücksichtigt.

Die EU-Kommission fordert daher im Rahmen des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft insbesondere einen erhöhten Wiedereinsatz von Sekundärkunststoffen. So sollen Auswirkungen auf die Umwelt und den Klimawandel vermieden bzw. minimiert werden (9). Enkvist und Klevnäs (2018) beschreiben in ihrer Studie, dass werkstoffliches Recycling von Kunststoffen, gegenüber der Herstellung von neuem Kunststoff bis zu 90 % der CO₂-Emissionen einsparen kann (7). Neben der Senkung des Primärrohstoffbedarfs ist dies einer der Gründe, warum die Verwendung recycelter Kunststoffe ökologisch vorteilhaft ist. Außerdem können neue Arbeitsplätze geschaffen, Material eingespart, Preisschwankungen gedämpft und damit das Wirtschaftswachstum gefördert werden (10). Folglich könnten Unternehmen bis zu 600 Mio. Euro einsparen während gleichzeitig Treibhausgase reduziert werden (10).

Gesellschaftlicher Druck und politische Veränderungen hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft, zwingen die Kunststoffindustrie und die Abfallwirtschaft die Dringlichkeit zu strukturellen Veränderungen in der Produktion. So wurden 2021 in Deutschland insgesamt 5,67 Mio. t Kunststoffabfälle gesammelt. Davon wurde ein Großteil der energetischen Verwertung zugeführt (3,66 Mio. t) und ca. 1,96 Mio. t mechanisch recycelt. Der Einsatz von Rezyklat und die Wiederverwendung von Nebenprodukten in der Kunststoffverarbeitung betrug 2021 in Deutschland ca. 2,3 Mio. t. Im Vergleich zum Jahr 2019 erhöhte sich die Menge um ca. 17 % (1). Laut dem Bündnis Circular Plastics Alliance sollen 2025 EU-weit 10 Mio. Tonnen Kunststoffrezyklate für neue Produkte eingesetzt werden (11). Um dieses Ziel zu erreichen, müssen vorhandene Hemmnisse überwunden werden. Neben technischen und wirtschaftlichen Hemmnissen sind Qualitätsbedenken gegenüber dem Einsatz von Rezyklaten immer noch verbreitet, obwohl sich in den letzten Jahren die Qualität verfügbarer

Sekundärkunststoffe deutlich verbessert hat. So könnten heute viele Rezyklate aufgrund ihres Eigenschaftsprofils grundsätzlich 1:1 als Ersatz für Neuware eingesetzt werden (12). Rezy-Spezi hat daher zum Ziel in enger Zusammenarbeit mit Unternehmen der Kunststoffbranche, allgemeine Normen, Richtlinien und Werkstandards kritisch zu überprüfen, gegebenenfalls Änderungsempfehlungen zu beschreiben und mögliche Einsatzpotenziale von Sekundärkunststoffen zu identifizieren.

2. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die vorliegende Studie zielt darauf ab, die in Abschnitt 1 beschriebenen Problemstellungen anzugehen und den Einsatz von Sekundärkunststoffen zu fördern. Für den Einsatz von Sekundärware in verschiedenen Anwendungsbereichen müssen werksspezifische bzw. allgemeine Standards erfüllt werden. In Gesprächen mit Experten aus der Kunststoffindustrie wurde festgestellt, dass Sekundärkunststoffe von vornherein für den Einsatz in Produkten ausgeschlossen werden, obwohl Qualitäten vorhanden sind, die die Funktionalität und Sicherheit dieser Produkte gewährleisten könnten. Qualitätsanforderungen in Normen und Werkstandards können aus unterschiedlichen Gründen sehr hochgesetzt sein, obwohl sie für die Produktfunktionalität nicht zwingend erforderlich sind. Die Ziele der vorliegenden Forschungsarbeit waren zum einen, festgeschriebene Produkthanforderungen zu ermitteln und diese den Eigenschaften verfügbarer Sekundärkunststoffe gegenüberzustellen, um so deren mögliche Einsatzpotenziale zu identifizieren und Handlungsempfehlungen zu formulieren. Anschließend wurden einzelne Ergebnisse der Studie transparent in Form eines digitalen Online Tools (zu finden unter <https://plastship.com/branchen-umfrage>) bereitgestellt. Eine genauere Beschreibung hierzu befindet sich in Abschnitt 3.2. Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse und bereitgestellten Informationen sollen nachhaltig eine Veränderung der in den Normen und Werkstandards beschriebenen Kunststoffanforderungen bewirken. So sollen mittelfristig neue Zulassungen von Rezyklaten in Produkten erreicht werden.

3. Methodik

Abbildung 3-1 zeigt den grundlegenden Ablauf von Rezy-Spezi in chronologischer Reihenfolge.

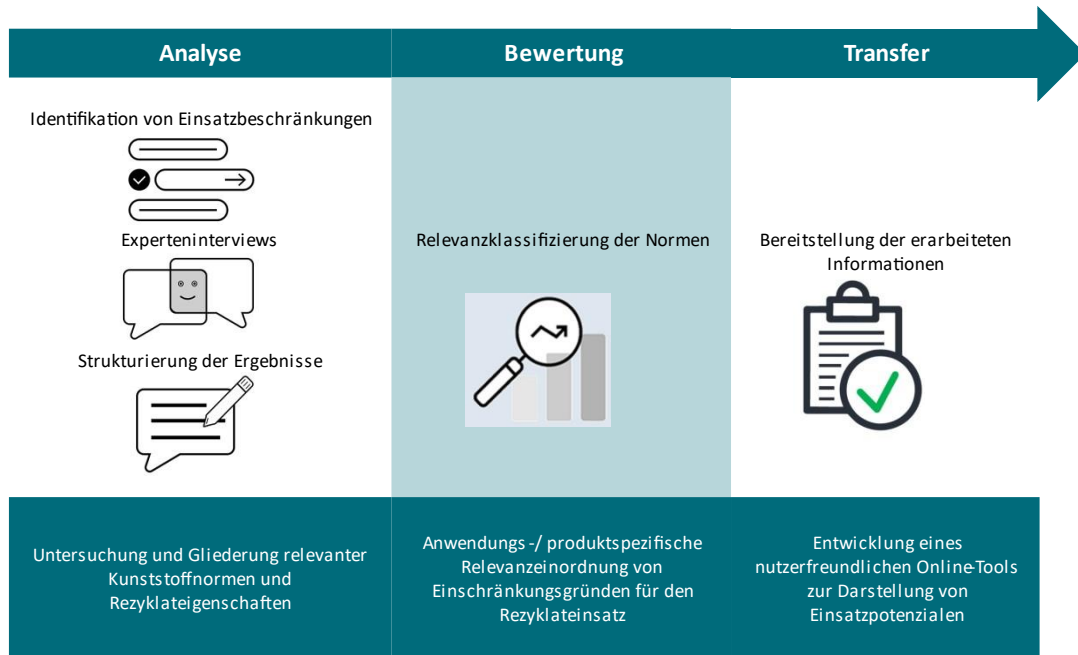


Abbildung 3-1 Vorgehensweise in der Bearbeitung von Rezy-Spezi

Die vorliegenden Arbeiten gliedern sich in einen empirischen und einen technischen Teil. Der empirische Teil umfasst Umfragen und Interviews, während der technische Teil die Entwicklung des Onlinetools zum Gegenstand hat (siehe Abbildung 3-2). Weitere Informationsbeschaffungen basieren auf Recherchetätigkeiten und Literaturarbeiten. Der Arbeitsplan gliedert sich in die Arbeitspakete (AP) AP 1 Anforderungsanalyse, AP 2 Relevanzeinordnung, AP 3 Rezyklat-Angebot, AP 4 Potenzialbewertung, AP 5 Toolentwicklung, AP 6 Transfer und AP 7 Projektkoordination und Dokumentation. AP 1-4 sind somit Teil der empirischen Studie.

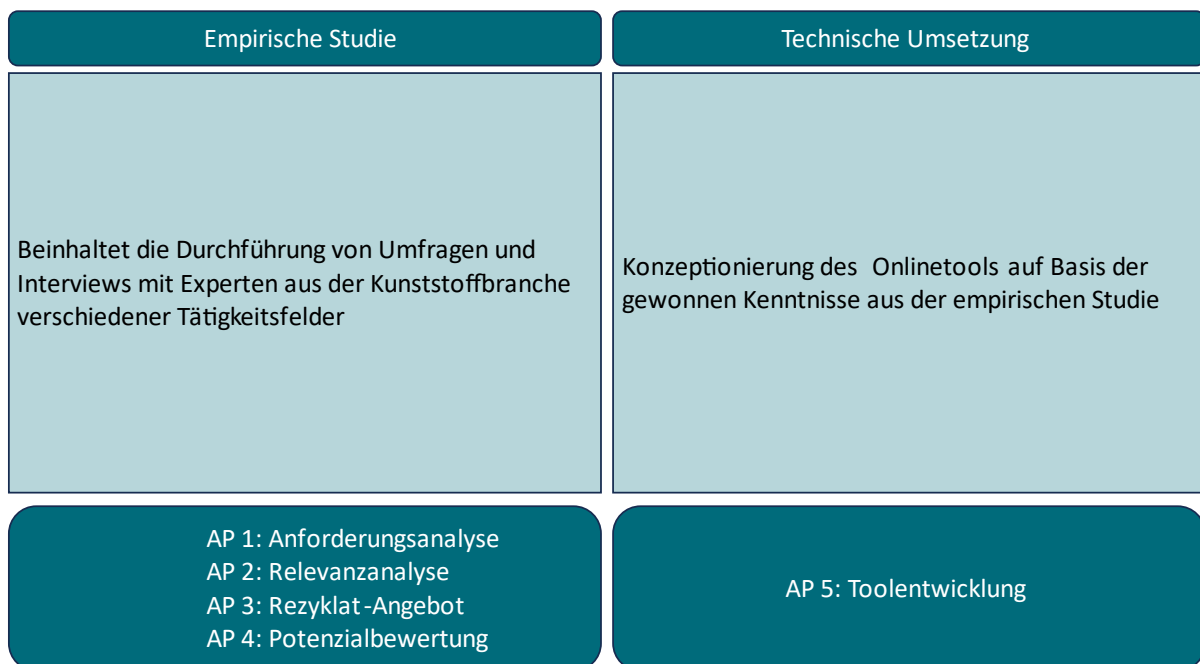


Abbildung 3-2: Kategorisierung der Tätigkeitsbereiche der vorliegenden Arbeit

Im folgenden Abschnitt werden die durchgeführten Arbeiten und Tätigkeiten genauer beschrieben und auf die im Projektantrag definierten Arbeitspakete bezogen. Im Laufe des Projekts hat sich eine dynamische Arbeitsweise ergeben, die eine parallele Bearbeitung der Arbeiten aus verschiedenen Arbeitspaketen erforderte.

3.1. Methodik zur empirischen Studie

Zu Beginn wurde eine Desktop-Recherche durchgeführt, vgl. Abbildung 3-3. Diese diente als Basis für die weiteren Tätigkeiten im Projekt. Ziel dieser Vorstudie war es, einen grundlegenden Überblick zu den Einsatzhemmnissen von Rezyklaten zu schaffen (siehe Abschnitt 4.1) und zu verstehen, wie hoch die Einsatzmenge von Rezyklaten in bestimmten Produktbranchen derzeit ist (siehe Abschnitt 4.2). Aufbauend darauf wurden Fragebögen für Online-Umfragen und Interviews mit Experten aus der Industrie und Forschung konzipiert.

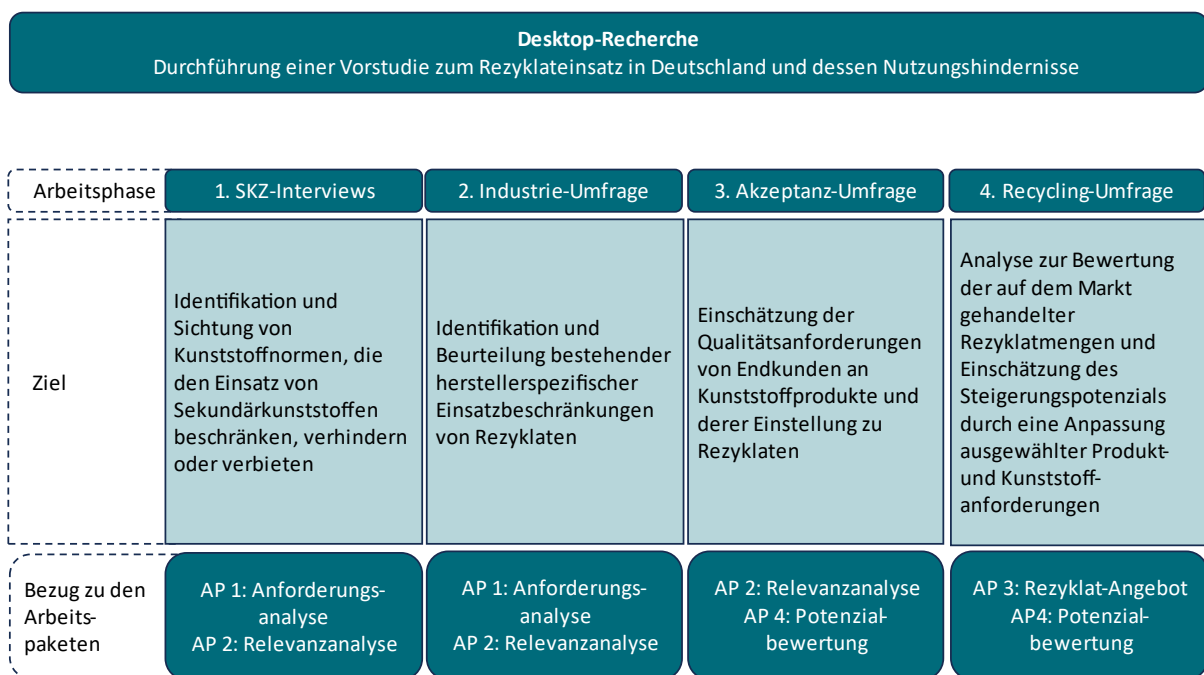


Abbildung 3-3: Bezug der durchgeführten Interviews und Umfragen zu den Arbeitspaketen

Auf die Desktop-Recherche folgend, gliedert sich das Projekt in 4 Arbeitsphasen. Arbeitsphase 1 umfasst die SKZ-Interviews mit Kunststoffexperten aus den Bereichen *Forschung, Prüfung und Produktzertifizierung*. Die Interviews wurden vor Ort durchgeführt und bezogen sich auf die Produktbereiche „Kunststoffrohre“, „Geokunststoffe“, „Fenster“, „Formen- und Werkzeugbau für die Automobilindustrie“ sowie „Abfall- und Wertstoffbehälter“. Im ersten Schritt sollten hierbei gängige Standards für Kunststoffprodukte, die den Einsatz von Sekundärkunststoffen beschränken, verhindern oder verbieten identifiziert werden. Hiermit wurde ein umfassender Überblick über normenbezogene Richtlinien und Standards geschaffen, die Kunststoffe und Kunststoffprodukte für ihren normengerechten Einsatz erfüllen müssen. Gleichzeitig sollten die befragten Experten eine Einschätzung über die Notwendigkeit der einzelnen Produkthanforderungen abgeben. Diese Arbeiten beziehen sich auf die Arbeitspakete *AP 1 Anforderungsanalyse* und lieferten eine erste Einschätzung zur Einordnung der Relevanz beschriebener Produkthanforderungen (*AP 2 Relevanzeinordnung*).

Arbeitsphase 2 umfasst eine Online-Umfrage über Microsoft Forms sowie durchgeführte Experteninterviews mit Akteuren aus der kunststoffverarbeitenden Industrie.

Die ausgearbeitete Online-Umfrage wurde an 140 Industrieakteure verschiedener Kunststoffprodukterzeuger versendet. Insgesamt gab es 21 Rückmeldungen, die ausgewertet werden konnten. Im Anhang (Abschnitt 9.2) sind die formulierten Fragen zur Umfrage dargestellt. Durch die Umfragen konnten weitere Normen, die einer Kreislaufwirtschaft entgegenstehen, identifiziert, analysiert und zusammengefasst werden. Bei der Untersuchung der Normen wurde insbesondere der

Anwendungsbereich der Norm, dort beschriebene Aussagen zum Rezyklateinsatz sowie allgemeine Kunststoffanforderungen herausgearbeitet. So wurden mehrere Normen aus 5 verschiedenen Produktbereichen analysiert und zusammengefasst. Daraus ergaben sich Fragestellungen, die im Zuge weiterer Interviews diskutiert werden konnten.

Es wurden insgesamt 17 Interviews mit Experten aus verschiedenen Anwendungsbereichen bzw. Wertschöpfungsstufen durchgeführt. Darunter Akteure aus Recyclingunternehmen, aus Unternehmen der Kunststoffverarbeitung sowie aus Unternehmen der Verarbeitung von Kunststoffprodukten. Ziel war es, bestehende herstellereinspezifische Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten zu identifizieren und zu beurteilen. Zusätzlich wurden die eingesetzte Rezyklatmengen abgefragt, um so einen Überblick über den derzeitigen Rezyklateinsatz in den jeweiligen Branchen zu erhalten.

Umweltbewusstsein, Klimaschutz, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft sind nicht nur politische Themen, sondern haben in den letzten Jahren auch einen hohen gesellschaftlichen Stellenwert erlangt. Unklar ist weiterhin, wie sich diese Entwicklung auf das Konsumverhalten der Bevölkerung im Bereich der Kunststoffprodukte auswirkt. Im Laufe der geführten Experteninterviews konnte zudem eine deutliche Unsicherheit bezüglich der Endkundenanforderung an Kunststoffprodukte festgestellt werden. Unternehmen argumentierten ihre hohen Qualitätskriterien und damit verbundenen Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten unter anderem häufig durch Anforderungen von Verbrauchenden. Um dieses Einsatzhindernis in der vorliegenden Studie bewerten und gewichten zu können, musste daher zunächst untersucht werden, welche Einstellung Verbraucher bezüglich des Einsatzes von Rezyklaten in Kunststoffprodukten haben. Aus diesem Grund wurde im Projektverlauf eine Studie zur gesellschaftlichen Akzeptanz des Einsatzes von Rezyklaten durchgeführt. Hierbei wurden Einsatzhindernisse aus Sicht der Verbraucher beleuchtet. Ziel war insbesondere auch, Unternehmen eine Studie zu bieten, die die Anforderungen ihrer Endkunden offenlegt und somit mögliche Unsicherheiten diesbezüglich beseitigt. Damit wurde in Arbeitsphase 3 eine Einschätzung und Bewertung der gesellschaftlichen Akzeptanz des Rezyklateinsatzes in Kunststoffprodukten vorgenommen.

In Arbeitsphase 4 wurde eine Umfrage mit Recyclingunternehmen durchgeführt. Die Umfrage diente der Bewertung der Einsatzpotenziale von Sekundärkunststoffen in ausgewählten Industriebranchen mit Berücksichtigung von bestimmten Lockerungen beschriebener Produkthanforderungen. Damit konnten Steigerungspotentiale ausgewählter Branchen in Bezug auf einzelne Anpassungen der Produkthanforderungen aufgezeigt und Maßnahmen zur Förderung des Rezyklateinsatzes abgeleitet werden. Die Umfrage wurde mit Microsoft Forms erstellt und ist in deutscher- und englischer Version per E-Mail an 231 Recyclingunternehmen mit Sitz in Europa versandt worden. Auswertbare Rückmeldungen kamen von 33 Unternehmen. Mit Hilfe der Befragung wurde untersucht, welche zusätzlichen Mengen die Recyclingunternehmen in bestimmte, vorher definierte Branchen zusätzlich liefern könnten, wenn einzelne Parameter (Farbanforderungen, Kunststoffvielfalt, Preis und Sicherheitspuffer) keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen würden. Die ausgewählten Parameter beziehen sich auf vorher erarbeitete Einsatzhindernisse von Sekundärkunststoffen, die durch Befragungen von verschiedenen Kunststoffexperten als veränderbar oder nicht für die Erfüllung der Produktfunktionalität und -sicherheit notwendig, eingestuft wurden.

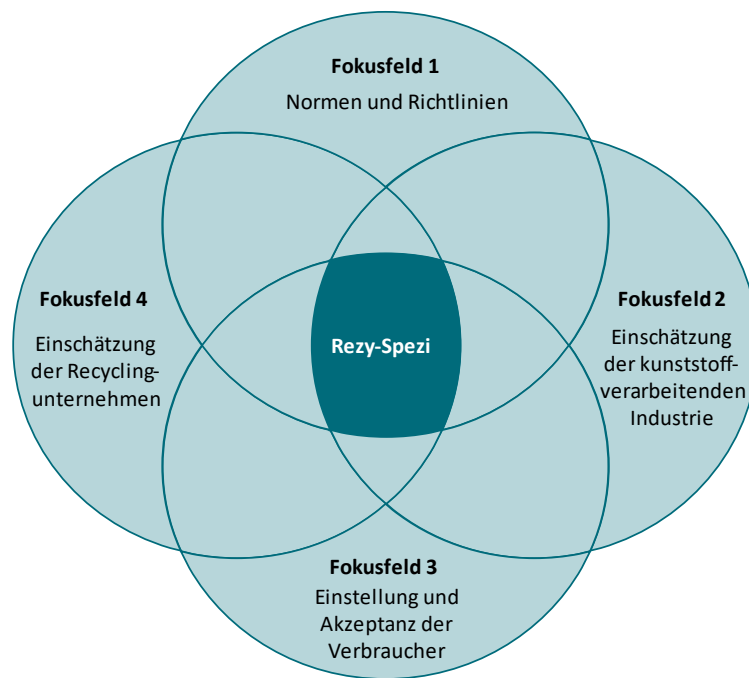


Abbildung 3-4: Zusammenführung der betrachteten Fokusfelder bzw. Arbeitsphasen in dem Forschungsprojekt Rezy-Spezi.

Abbildung 3-4 zeigt graphisch welche Fokusfelder / Arbeitsphasen in Rezy-Spezi adressiert wurden. Durch die Zusammenführung der Einzelergebnisse konnte ein umfassendes Bild über die Nutzungshindernisse von Rezyklaten und dessen Einsatzpotenziale gewonnen werden. Die Synthese der gewonnenen Erkenntnisse bildet den Abschluss der Arbeit (siehe Abschnitt 5).

3.2. Technische Umsetzung einzelner Ergebnisse in einem Online-Tool

Im Anschluss zur empirischen Studie erfolgte die technische Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse (siehe Abbildung 3-2 – rechts) in Form eines digitalen Tools, das offen für Akteure der Kunststoffbranche auf der Homepage des Unternehmens plastship GmbH über den Link <https://plastship.com/branchen-umfrage> zugänglich gemacht wurde.

Das Tool beschreibt zusammengefasst die aus den Umfragen und Interviews erarbeiteten Einsatzpotenziale von Rezyklaten bei

1. Wegfall/ Lockerung der Farbanforderungen,
2. Einschränkungen in der Kunststoffvielfalt,
3. Akzeptanz eines höheren Preises von Rezyklaten und
4. Minderung der Sicherheitspuffer in Kunststoffbauteilen,

ohne dabei die funktionale Produkthanforderung zu beeinträchtigen.

Für die Konzeption des Online-Tools wurde eine Hochrechnung der Ergebnisse aus der Recycling-Umfrage mit Daten von Plastics Europe durchgeführt (5). Dadurch können die Auswirkungen der erarbeiteten Potenziale auf den europäischen Rezyklatmarkt beziffert und die zukünftige Entwicklung des Rezyklateinsatzes im Gesamtmarkt bewertet werden. Die Basis der Analyse bilden somit Dokumentationen und Daten von Plastics Europe sowie der Circular Plastics Alliance. Zusätzlich wurden für verschiedene Polymere relevante Anwendungsbereiche identifiziert und aktuelle Rezyklat-Einsatzquoten ermittelt. In der Vorrecherche wurden die Anwendungsbereiche für bestimmte Polymere identifiziert und die erarbeiteten Einsatzpotenziale branchenbezogen in Relation zu den gehandelten Rezyklaten, aufgeschlüsselt nach Polymertypen, gesetzt (siehe Abbildung 3-5).

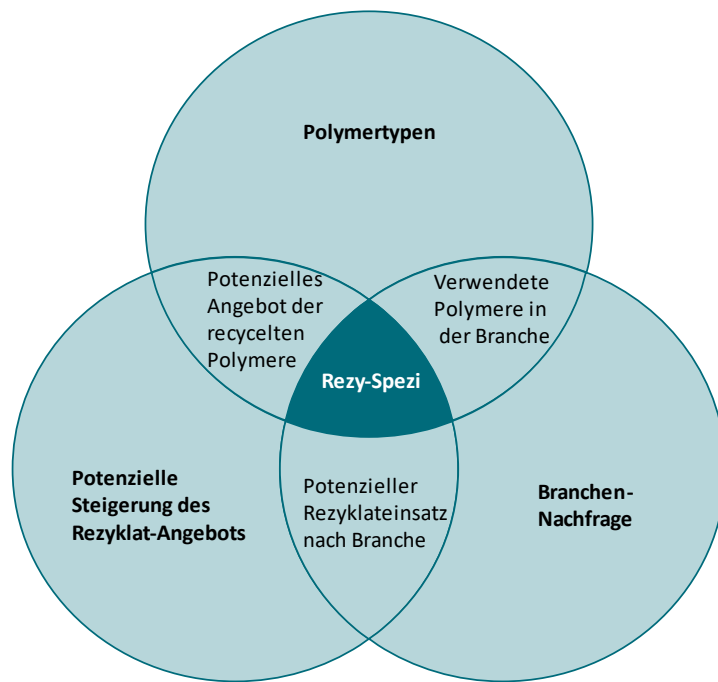


Abbildung 3-5: Zusammenführung der angebotenen Rezyklate, mit gehandelten Polymertypen nach Produktbranche.

Auf Basis der ermittelten Daten und der identifizierten Anwendungsbereiche wurde das Zukunftsszenario entwickelt. Es wurde untersucht, wie die Einsatzquoten von Rezyklaten aussehen könnten, wenn bis 2030 insgesamt 10 Millionen Tonnen Rezyklate eingesetzt werden. Um einen Zielkorridor für diese Vision zu definieren, wurde die aktuelle Verteilung des Rezyklateinsatzes analysiert und durch Hochrechnung der Mengen in den jeweiligen Branchen in die Zukunft projiziert.

In einem weiteren Schritt wurden, die Jahreskapazitäten der Recyclingunternehmen, die an der Branchenumfrage teilgenommen haben, mit den Ergebnissen der Umfrage abgeglichen, um die Plausibilität und Verlässlichkeit der Umfrageergebnisse zu validieren. Die Daten und Ergebnisse wurden in einem interaktiven Excel-Tool aufbereitet. Das Tool ermöglicht eine individuelle Auswahl von Branchen und Szenarien und liefert spezifische Datensätze, die Aufschluss über potenzielle Steigerungen des Rezyklateinsatzes geben. Die Ergebnisse wurden anschließend von Softwareexperten des Projektpartners plastship in einem Online-Tool veröffentlicht.

Weitere Informationen sowie die Hochrechnung der Ergebnisse aus der Umfrage zum Recycling befinden sich in Abschnitt 4.6.

4. Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten genauer beschrieben und diskutiert. Vorab sollen die Hürden und der Status Quo des Rezyklateinsatzes zusammenfassend beschrieben werden, um so die heutige Problematik bzw. ungenutzte Potenziale in Bezug auf die Verwendung von Sekundärkunststoffen zu verdeutlichen.

4.1. Hemmnisse in Bezug auf den Rezyklateinsatz

Um einen umfassenden Überblick über die bestehenden Restriktionen für Rezyklate für einzelne Anwendungen sowie eine Zusammenstellung ihrer derzeit bestehenden Beschränkungs- bzw. Ausschlussgründe in AP 1, erarbeiten zu können, war es notwendig, die Hemmnisse für den Rezyklateinsatz grundlegend zu beleuchten. Die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Abschnitt tragen somit auch zur Erreichung des Meilensteins (M1) bei. Zusätzlich soll im folgenden Abschnitt auf Potenziale im Bereich der technischen Möglichkeit und industriellen Entwicklung aufmerksam gemacht werden (M4), da dies ebenfalls Aussagen über die Entwicklung des Rezyklateinsatzes in der Industrie ermöglicht.

Aus Umweltsicht bietet Recycling viele Vorteile. Durch die Einsparung an Neuware werden natürliche Ressourcen geschont. Zusätzlich können bei kurzen Transportwegen zwischen Endverbraucher sowie Sortier- und Verarbeitungsbetrieb CO₂-Emissionen reduziert werden. Allerdings kann durch das Recycling von Altkunststoffen auch die Qualität des Kunststoffes gegenüber Neuware negativ beeinflusst werden. Hiervon betroffen sind u.a. mechanische Eigenschaften sowie Farbe und Geruch (2). Gründe hierfür sind u. a. die Vermischung vieler Kunststoffe, Degradierung der Polymerketten durch ein erneutes Aufschmelzen, Alterung des Kunststoffes und Verunreinigungen. Ein weiteres Problem ist die mangelnde Verfügbarkeit an Rezyklaten guter, konstanter Qualität (2). Hierzu hat das SKZ im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte bereits Experteninterviews mit Akteuren aus der Kunststoffindustrie geführt. Aus diesen Interviews geht hervor, dass der Mangel an verfügbaren Mengen in entsprechender Qualität eine entscheidende Rolle für die Nichtbeschaffung und Nichtverwendung von Rezyklaten spielt. Darüber hinaus sind es spezifische Kundenanforderungen, die der Verwendung von Rezyklat im Weg stehen.

Bei einer Gegenüberstellung des Forschungsstandes der Wissenschaft mit dem Stand der industriellen Praxis, zeigt sich eine Diskrepanz. Ursachen sind zum einen, dass die Forschungsprojekte noch nicht auf industrielle Maßstäbe übertragbar sind, oder technologische Möglichkeiten aus dem Bereich der Forschung noch nicht wirtschaftlich sind (2). Beispielsweise ist es durch eine verbesserte Sensorik und eine Heißwäsche mit Tensiden oder Lösemitteln möglich, Farb- und Geruchsprobleme weitgehend zu eliminieren. Da dies für die Verarbeiter hohe Investitions- und laufende Betriebskosten durch hohen Energie-, Wasser- und Betriebsstoffeinsatz bedeuten würde, bleibt das Umweltentlastungspotential ungenutzt. Hier sind weitere Entwicklungen zur Verringerung des Energie-, Wasser- und Betriebsstoffeinsatzes nötig (2). Der Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch Verunreinigungen, thermischen, mechanischen und chemischen Abbau kann jedoch durch die Zugabe von Additiven entgegengewirkt werden. Diese sollten auf die Anwendungen abgestimmt sein (4). Neuere industrielle Erkenntnisse zeigen, dass ein Upcycling von Polyolefinen mit innovativen Stabilisatoren möglich ist. Das Unternehmen Brüggemann forschte z. B. an drei neuen Additiven zur verbesserten Stabilisierung von Polyolefin-Rezyklaten. So wurde gezeigt, dass der Stabilisator Typ TP-R8895 aufgrund seines erhöhten Säurefängergehalts für das Recycling von Polypropylen aus Batteriekästen geeignet ist. Ein weiteres Additiv (BRÜGGOLEN® TP-R2162) eignet sich besonders für das Recycling von Polyethylen. Es enthält eine neue Reparaturtechnologie, die speziell für LLDPE-Rezyklate für die Folienextrusion geeignet ist. Dadurch wird eine erhöhte Anfangsfestigkeit erzielt und es treten deutlich weniger Fehler in der Folie auf. Laborversuche zeigen, dass bereits ein Anteil von 0,3 % zu einer Steigerung der Zugfestigkeit um etwa 25 % und der Reißdehnung um etwa 10 % führt. Durch

die Reparatur der Polymerketten wird laut Hersteller nahezu die Qualität von Neuware erreicht (13). Dieses Beispiel zeigt, wie sich der Einsatz von Rezyklaten künftig entwickeln kann. Nicht nur aus Sicht der Normen und Werkstandards können Anpassungen vorgenommen werden, auch die Qualität der auf dem Markt verfügbaren Rezyklate steigt durch Forschungsinnovationen und technische Entwicklungen, wie z. B. mit verbesserten Sammelsystemen bzw. Rezyklatverarbeitungen. Es ist wichtig, diese Innovationen zu berücksichtigen und Anforderungsprofile für Kunststoffprodukte hierauf abgestimmt zu überarbeiten.

Eine Geruchsveränderung tritt auf, da im Kunststoffabfallgemisch enthaltene Verunreinigungen wie beispielsweise Holz-, Papier- oder Lebensmittelrückstände bei der Extrusion verbrennen und sich der durch die chemische Veränderung entstehende Geruch auf den Kunststoff überträgt (14). Zur weitestgehenden Geruchsneutralisierung wurden verschiedene Verfahren entwickelt mit dem Ziel, diese Rückstände zu entfernen. Bei einem Verfahren wird ein Schleppmittel eingearbeitet, welches anschließend aus der Schmelze unter Vakuum verdampft wird und auf diese Weise geruchsemitternde Substanzen entfernen kann (3). Bei einem anderen Verfahren werden zwei Prozesse zur Geruchsminderung kombiniert (siehe Abbildung 4-1). Alternativ sind auch Additive zur Geruchsminderung im Einsatz (4).

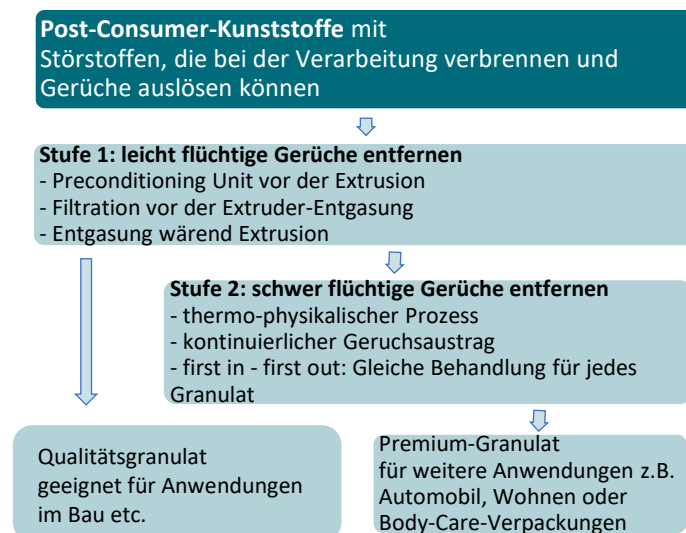


Abbildung 4-1 Prozess zur Geruchsreduzierung der Erema Group GmbH, eigene Darstellung angelehnt an (14)

Knappe et al. (2021) kommen zu dem Ergebnis, dass sich mit steigendem Aufwand und damit steigenden Kosten Probleme, wie die Abnahme der mechanischen Eigenschaften, unangenehme Gerüche und ungleichmäßige Farben zum größten Teil beseitigen lassen. In diesem Fall würde jedoch die Wirtschaftlichkeit des Rezyklat-Geschäfts weiter belastet werden. Um wirtschaftlich agieren zu können, müssen die Kosten solcher Prozesse an die Verbraucher weitergegeben werden (2).

Hier stellt sich die Frage, ob die Verbraucher bereit sind, die Kosten mitzutragen oder aber Einschränkungen bei Farbe und Geruch zu akzeptieren. In Abschnitt 4.4 wird dieses Themenfeld näher betrachtet.

4.2. Stand des Rezyklateinsatzes

Die in AP 3 definierte Marktrecherche zum aktuell vorliegenden Angebot von Rezyklaten, basiert aufgrund der mangelnden Informationstransparenz diverser Rohstoffbörsen, auf einer Literaturrecherche (M3). Weiterhin wurden die in AP 5 beschriebenen Interviews mit Experten aus dem Bereich Recycling zur Analyse der künftig möglich verfügbaren Rezyklatmenge, durch die Recycling-Umfrage durchgeführt (siehe Abschnitt 0).

Laut der Conversio-Studie (2022) wurde von den ermittelten 5,67 Mio. t Kunststoffabfällen im Jahr 2021 1,96 Mio. t einer werkstofflichen, <0,03 Mio. t einer rohstofflichen und 3,66 Mio. t einer

energetischen Verwertung bzw. 0,03 Mio. t einer Deponierung zugeführt (1). Abbildung 4-2 macht deutlich, wie hoch die Anteile der jeweiligen Verwertungsart bzw. der Beseitigung von Kunststoffabfällen im Jahr 2021 waren. Zu erkennen ist, dass die energetische Verwertung mit ca. 64,4 % bezüglich der Abfallbehandlung immer noch dominiert. Die Abfallherkunft in der werkstofflichen Verwertung teilt sich auf in 1,78 Mio. t Post-Consumer-Abfälle und 0,18 Mio. t Post-Industrial-Abfälle (1).

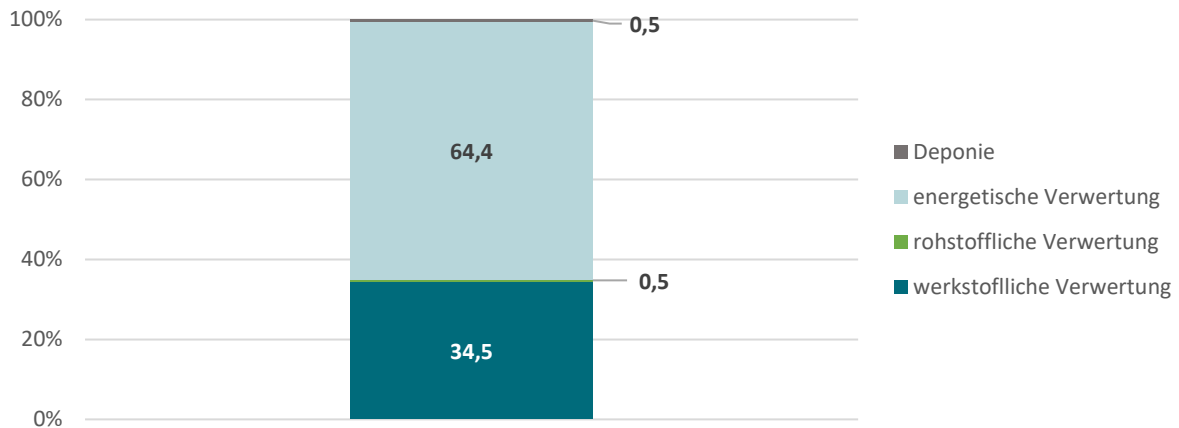


Abbildung 4-2: Art und Größenordnung der Verwertung bzw. Beseitigung der Kunststoffabfälle in Deutschland für 2021 nach *Conversio 2022*

Abbildung 4-3 unterteilt die Rezyklateinsatzgebiete nach Kunststoffbranchen und nennt Beispielprodukte. Zusätzlich werden den einzelnen Branchen und Produkten Rezyklatanteile zugewiesen, die sich entweder auf die verarbeitete Branchenmenge oder das gesamte eingesetzte Rezyklat in Deutschland beziehen. Zu sehen ist, dass überwiegend in den Bereichen Verpackung, Bau und Gartenbau, bzw. Land- und Forstwirtschaft Rezyklate eingesetzt werden. Der hohe Anteil im Bausektor ist darauf zurückzuführen, dass farbliche, geruchliche und mechanische Probleme durch den Einsatz von Rezyklaten im Außenbereich oder bei Anwendungen ohne hohe mechanische Anforderungen gelöst werden. Der hohe Rezyklatanteil der Branche Verpackungen ist auf etablierte Sammelsysteme zurückzuführen, die zu einer großen Sortenreinheit und damit hoher Rezyklatqualität führen. Zusätzlich wird ein erhöhter Reinigungs- und Sortieraufwand betrieben, um die Qualität zu steigern.

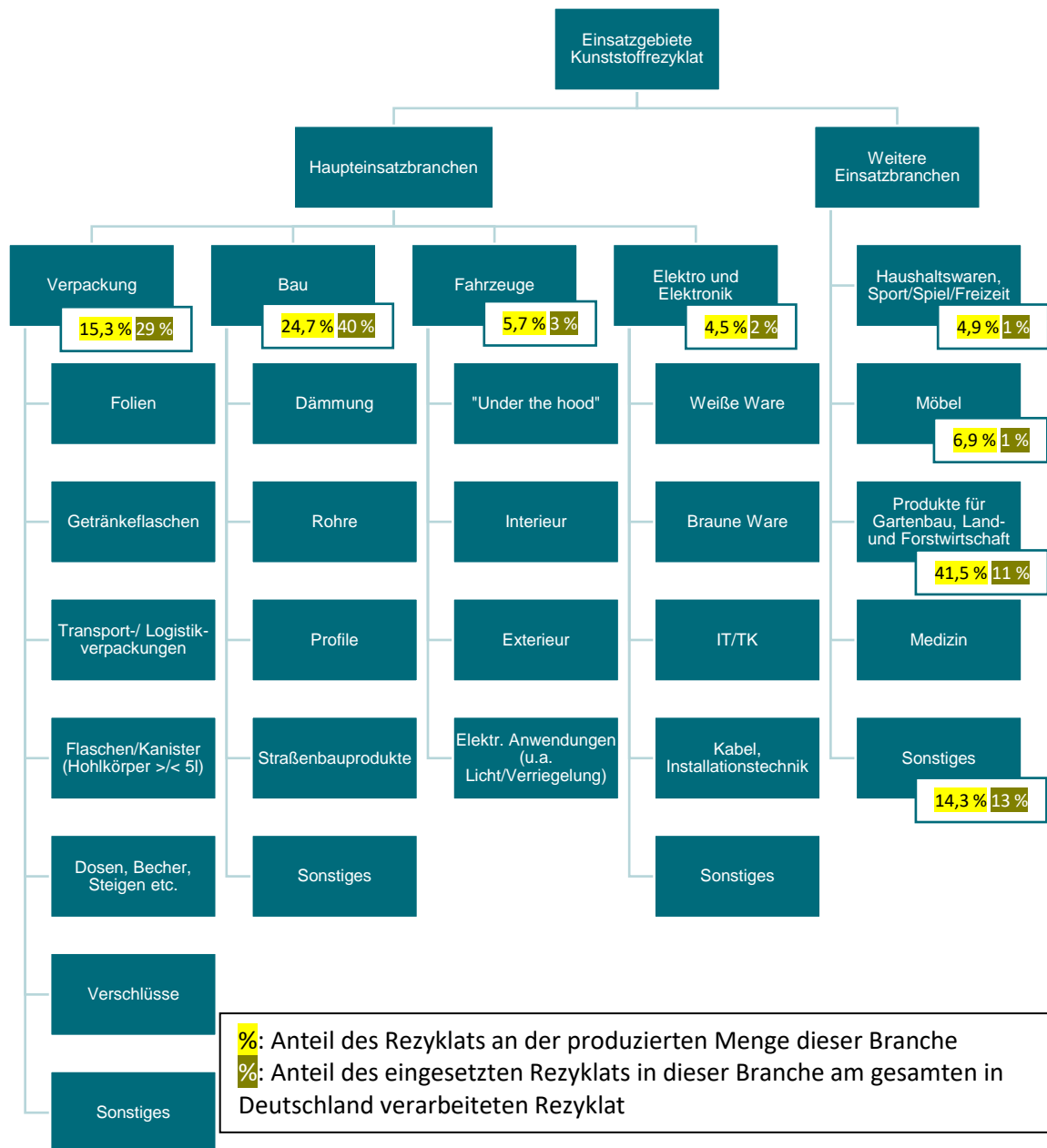


Abbildung 4-3: Branchenbezogener Rezyklateinsatz in Deutschland 2021

Tabelle 4-1 zeigt konkrete Produkte, die vollständig oder teilweise aus Rezyklat bestehen. Auch hier zeigt sich, dass Kunststoffabfälle aus sortenreineren Sammlungen zu höheren Anteilen als Substitutionsmaterial für Neuware dienen können. Allerdings ist ein Rezyklateinsatz auch immer abhängig von den Anforderungen an das spezielle Produkt. Zudem ist nicht immer sichergestellt, dass das Rezyklat die gestellten Anforderungen erfüllen kann. Grund dafür sind potenziell schwankende Eigenschaften der Rezyklate.

Um solche hohen Rezyklatanteile in Produkten mit hohen optischen und geruchlichen Anforderungen zu erreichen, muss die industrielle Praxis in den Bereichen Sortierung, Verwertung und Rezyklateinsatz verbessert werden. Um neben steigender Qualität auch ökologisch und ökonomisch zu wirtschaften, bedarf es laut Knappe et al. (2021) weiterer Innovationen und Optimierungen (2). Da die Hersteller von Kunststoffprodukten davon ausgehen, dass ihre Kunden hohe Anforderungen an ihre Produkte stellen, stellen diese auch hohe Anforderungen an die Rezyklatqualität. Die Kundenanforderungen werden auch als Argument genutzt, um auf Rezyklate zu verzichten. Da ein gesellschaftlicher Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit zu beobachten ist, sollte die Einstellung der Endverbraucher erfasst und berücksichtigt werden. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 4.4 näher betrachtet.

Tabelle 4-1: Produktbeispiele mit Rezyklateinsatz nach Knappe et al. (2021)

	Kunststoff- sorte / Rezyklat	Einsatz- bereich	Produkt	Rezyklat- anteil in %	Rezyklatherkunft nach Herstellerangaben
1	PE / PP	Verpackungen	Wasch-/Reinigungs- mittelflaschen	30 bis 100	Verpackungsabfälle aus dem dualen System
2	PET	Verpackungen	PET-Getränkeflaschen	50 bis 100	PET aus Flaschensammlung
3	PE / PP	Garten	Blumenkästen / Blumentöpfe	100	Überwiegend Verpackungsabfälle aus dem dualen System
4	ABS	Haushalt	Gehäuse von Lochern	80	Post-Consumer- Kunststoffe
5	PC / PET	Elektrogeräte	Kunststoffgehäuse von Druckern / Kopierern	40	PET-Flaschen und recyceltes Polycarbonat
6	PP oder ABS	Elektrogeräte	Kunststoffgehäuse von Staubsaugern	55	Post-Consumer ABS, HIPS und PP aus EAG- Kunststoffen

Weitere Hemmnisse für den Rezyklateinsatz wurden in der vorliegenden Studie durch Umfragen und Interviews mit Industrieakteuren und Kunststoffexperten identifiziert und anschließend im Verlauf der Projektbearbeitung analysiert und bewertet.

4.3. Analyse des Rezyklateinsatzes und erste Relevanzeinordnung der Kunststoffanforderungen

Im Rahmen der *Desktop-Recherche* wurden bestehende Einschränkungen bezüglich des Sekundärkunststoffeinsatzes für verschiedene Anwendungen gesichtet und zusammengestellt. Darauf aufbauend wurden in den Arbeitsphasen 1 und 2 SKZ-interne Experten-Interviews und Onlinebefragungen in den Kunststoffproduktbereichen „Kunststoffrohre“, „Geokunststoffe“, „Fenster“, „Formen- und Werkzeugbau für die Automobilindustrie“, „Abfall- und Wertstoffbehälter“, sowie „Spritzgussteile aus dem Pharma- und Medizinbereich“ durchgeführt. Anhand der durchgeführten SKZ-Befragungen konnten erste Herausforderungen bezüglich des Rezyklateinsatzes in Kunststoffprodukten identifiziert, Normen identifiziert und gesichtet und weiterführende Fragestellungen erarbeitet werden. Sekundärkunststoffe werden in Normen je nach Zusammensetzung oder Herkunft unterschiedlich bezeichnet. Die Definitionen gängiger Bezeichnungen von Sekundärmaterialien kann im Glossar nachgelesen werden. Abbildung 4-4 zeigt Normen, Richtlinien und Standards, die im Projekt beleuchtet und eingeordnet wurden.

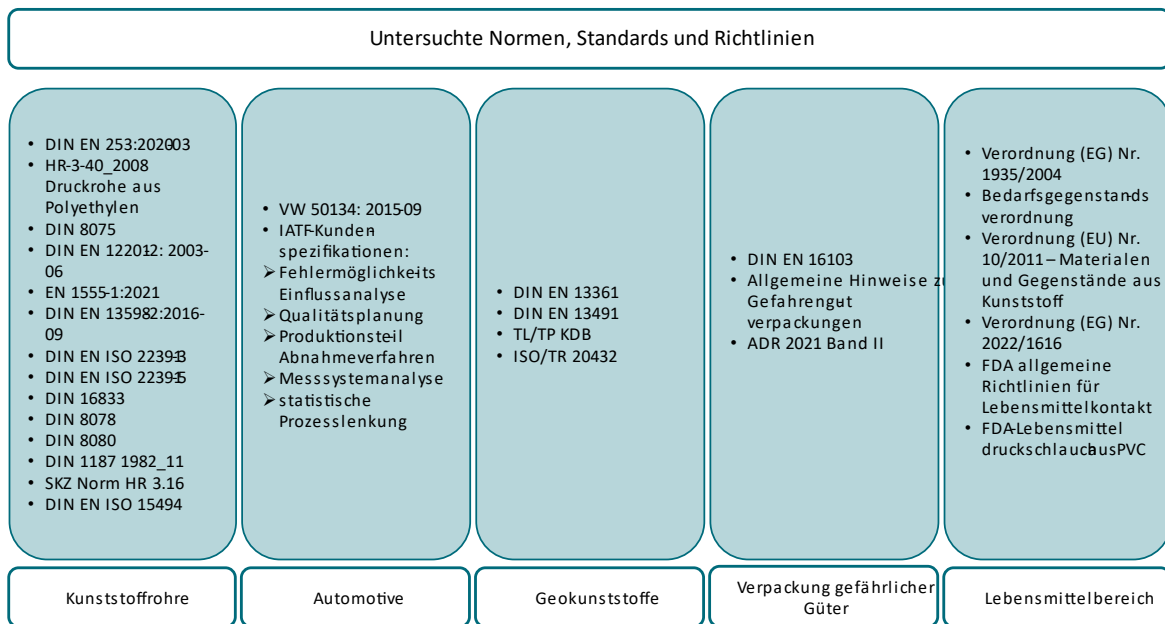


Abbildung 4-4: Untersuchte Normen, Standards und Richtlinien

Im Folgenden soll näher auf die einzelnen Produktgruppen und die erarbeiteten Erkenntnisse aus dem Normenbereich eingegangen werden, um so im Verlauf der Studie beschriebene Anforderungen nach ihrer Relevanz zu bewerten und nicht erschlossene Einsatzpotenziale von Sekundärkunststoffen aufzudecken. Abschnitt 4.3.1 bis Abschnitt 4.3.7 liefern eine Übersicht bestehender Einschränkungen von Rezyklaten für einzelne Anwendungen sowie eine Zusammenstellung derzeit bestehender Beschränkungs- bzw. Ausschlussgründe und trägt somit zur Erreichung des Meilensteins (M1) bei.

Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-5 geben einen Überblick über die darin beschriebenen Anforderungen und den Einsatz von Sekundärkunststoffen bzw. den darin beschriebenen Richtlinien (M1) sowie eine erste Einordnung der Relevanz der beschriebenen Anforderungen für die Sicherstellung der Produktfunktion (M2).

Eine weitere Relevanzeinordnung der Kunststoffanforderungen erfolgt in Abschnitt 4.5.2. Hierbei werden auch die Experten-Einschätzungen zu den Einsatzpotenzialen von Rezyklaten (aus Abschnitt 4.5) berücksichtigt.

4.3.1. Herausforderungen der Anwendung „Kunststoffrohr“

Kunststoffrohre werden nach drucktragenden und drucklosen Rohren unterschieden. Drucktragende Rohre unterliegen hohen Qualitätsanforderungen wie z. B. der Produktlanglebigkeit von 100 Jahren. Aus diesem Grund besteht in dem Bereich eine Rezyklateinsatzbeschränkung. Grundsätzliche Bedenken bestehen vor allem in der Chargenschwankung bei Rezyklaten sowie aufgrund der in hoher Frequenz benötigten Prüfungen und Zertifizierungen, die mit hohen Kosten und zeitlichem Aufwand verbunden sind. Im Bereich der drucklosen Mehrschichtrohrsysteme sehen Experten jedoch Potenzial für einen wachsenden Rezyklateinsatz (Industrie-Umfrage, 2022). So wurde im Zuge der ersten Umfrage z. B. folgende anonyme Expertenmeinung aus dem Bereich Rohrherstellung eingeholt:

„Für drucklose Rohrleitungen und Verbindungselemente sind im Prinzip Recycling-Kunststoffe zugelassen. Auch hier gibt es jedoch technische Aspekte, die im Hinblick auf systemische (Norm-) Anforderungen und gleichbleibende Werkstoffqualität / Charakteristika über Kunststoffbatches zu berücksichtigen sind. Abweichungen führen zu einer möglichen Abschwächung der Produkt-Performance.“

Hinsichtlich alter PVC-Rohre besteht ein hohes Potenzial für ein produktspezifisches Recyclingsystem. Alte PVC-Rohre sind allerdings bleistabilisiert. Seit dem Jahr 2020 verbietet die europäische Union den

Einsatz von bleihaltigen Rezyklaten, weswegen hierfür weitere Lösungen gefunden werden müssten (Ergebnis eines SKZ-Experteninterviews 2022 mit SKZ - Testing GmbH).

Eine häufig in Normen beschriebene Anforderung verschiedener Kunststoffrohrsysteme lautet wie folgt (15–19):

„Die Rohre/Formteile müssen frei von Blasen, Lunkern und Inhomogenitäten sein, die die Funktion beeinträchtigen. Die Farbe der Rohre muss durchgehend gleichmäßig sein. Die Rohre/Formteile müssen eine glatte Innen- und Außenfläche haben. Geringfügig wellige Rillen und dadurch bedingte Unregelmäßigkeiten in der Wanddicke sind zulässig, soweit die Nennwanddicke nicht unterschritten wird. Rohre/Formteile müssen in der Norm beschriebene Festigkeitsanforderungen erfüllen.“

Inwiefern Sekundärkunststoffe durch Inhomogenitäten und Unregelmäßigkeiten in der Wanddicke, die Funktion des Produkts beeinträchtigen bzw. die Nennwanddicke beeinflussen, muss individuell geprüft werden. Diese Anforderungen können durch eine geeignete Rezyklat-Auswahl sowie der beigefügten Rezyklat-Menge beeinflusst werden, was somit den Rezyklat-Einsatz vorzeitig nicht ausschließen muss (Ergebnis eines SKZ-Experteninterview 2022 mit SKZ - Testing GmbH). Schwieriger umzusetzen ist die beschriebene Farbanforderung. Rezyklate können aufgrund möglicher Materialmischungen oder Verunreinigungen Farbdifferenzen innerhalb einer Charge aufweisen, was dazu führt, dass die Einhaltung gewisser Farbspektren möglich ist, nicht jedoch eine genau definierte RAL-Farbe. Dies ist auch der Grund warum Rezyklate häufig schwarzgefärbt sind. Im Bereich der Anpassung von Anforderungen bezüglich der Farbgebung sehen befragte Kunststoffexperten ein hohes Änderungspotenzial, da hierbei die Funktion des Endprodukts nicht beeinflusst wird. Änderungspotenziale werden in der vorliegenden Forschungsarbeit in Abschnitt 4.5 genauer untersucht.

Im weiteren Verlauf wurden die in der Abbildung 4-4 beschriebenen Normen genauer analysiert. Tabelle 4-2 gibt einen Überblick zu den darin beschriebenen Anforderungen zu Kunststoffrohren und Kunststoffrohrsystemen und den Einsatz von Sekundärkunststoffen bzw. den darin beschriebenen Richtlinien (M1) sowie eine erste Einordnung der Relevanz der beschriebenen Anforderungen für die Sicherstellung der Produktfunktion (M2). Eine weitere Relevanzeinordnung der Kunststoffanforderungen erfolgt in Abschnitt 4.5.2. Hierbei werden auch die Experten-Einschätzungen zu den Einsatzpotenzialen von Rezyklaten (aus Abschnitt 4.5) mitberücksichtigt, da die Aufdeckung weiterer Änderungspotenziale auch eine Überarbeitung der Relevanzeinordnung bedarf.

Tabelle 4-2: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen zu Kunststoffrohren und Kunststoffrohrsystemen

Beschreibung zum Einsatz von Sekundärkunststoffen	Anforderungen aus der Norm	Einordnung der Relevanz der Anforderungen zur Erfüllung der Produktfunktion
DIN EN 253:2020-03 Fernwärmerohre – Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze – werkmäßig gefertigte Verbundrohrsysteme		
<ul style="list-style-type: none"> - nur sauberes, nicht abgebautes, wieder aufgearbeitetes Material aus eigener Produktion des Herstellers 	<ul style="list-style-type: none"> - Ummantelungsmaterial muss schwarz gefärbtes neues oder aufgearbeitetes PE sein - PE-Werkstoff muss nach EN ISO 9080 geprüft werden und mind. PE80-Werkstoff klassifiziert sein - Rußgehalt von 2,5 +/- 0,5 %; fein dispergiert - MFR unter der Prüfbedingung 5 kg, 190 °C, im Bereich von 0,2 < MFR ≤ 1,0 g/10 min 	<ul style="list-style-type: none"> - Definierte Farbanforderungen werden als „nicht relevant“ eingeschätzt - Materialspezifische mechanische Anforderungen müssen durch Prüfverfahren mit Rezyklaten getestet werden - Durch weitere Prüfverfahren könnte der Einsatz von externem

	<ul style="list-style-type: none"> - Schwarz gefärbte PE-Werkstoffe, deren MFR um nicht mehr als 0,5 g/10 min voneinander abweichen, gelten als miteinander verschweißbar <p>Wärmebeständigkeit: muss bei der Prüfung nach EN ISO 11357-6 bei 210 °C mind. 20 min betragen</p>	<p>Sekundärmaterial ermöglicht werden, da die erforderliche Qualität, nicht zwingend vom eigenen Produktionsabfall abhängt</p>
<p>HR-3-40_2008 Druckrohe aus Polyethylen – Rohre für den Transport von flüssigen Medien</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Werkstoffe unkontrollierter Zusammensetzung oder Regenerate dürfen nicht verwendet werden - es darf nur Neumaterial oder Umlaufmaterial der gleichen Type verwendet werden - Verbot aufgrund von Druckstabilität - Verbot aufgrund von Langlebigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Dauerbetriebstemperatur von 20°C, Anwendungsgebiete mit konstanten Betriebstemperaturen (bis max. 40 °C) - maximal zulässiger Betriebsdruck MOP beträgt je nach eingesetztem Werkstoff und Dimensionierung nicht mehr als 25 bar - Beständigkeit des eingesetzten Werkstoffes, gegenüber dem zu transportierenden Medium - DIN 8075 und DIN EN 12201-2: 2003-06 sind verpflichtend 	<ul style="list-style-type: none"> - Beständigkeit und weitere mechanische Eigenschaften von Rezyklaten, können durch Anpassungen in der Dimensionierung und weiteren Prüfverfahren getestet werden - Zusammensetzungen können durch Rezyklatdatenblätter abgedeckt werden. - Beschriebene Kunststoffanforderungen bezüglich mechanischer Eigenschaften werden als „sehr relevant“ eingeschätzt
<p>DIN 8075 Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Kunststoffgranulat oder Pulver, welches noch nicht verwendet worden ist oder noch keinem Neubearbeitungsverfahren als dem zur Herstellung erforderlichen ausgesetzt war - kein Umlaufmaterial, Rücklaufmaterial oder Rezyklat darf beigemischt sein - Verbot aufgrund von Druckstabilität - Verbot aufgrund von Langlebigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Dichte > 930 kg/m³ - Rußdispersion (für schwarze Formmassen) Klasse < 3 - Pigmentdispersion (für schwarze Formmassen) Klasse < 3 - MFR 0,20-1,4 g/10 min (Materialien 0,15 g/10 min < MFR < 0,20 g/10 min können verwendet werden, in diesem Fall ist die Verschweißbarkeit zu überprüfen. - Der niedrigste MFR-Wert sollte nicht kleiner als 0,15 g/10 min sein 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Anforderungen zu den mechanischen Eigenschaften sind für die Erfüllung der Produktfunktion relevant - Durch Prüfverfahren und flexibler Rohrdimensionierung könnte die Eignung von Sekundärkunststoffen gegeben sein
<p>DIN EN ISO 15494 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen – Polybuten (PB), Polyethylen (PE), Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT), vernetztes Polyethylen (PE-X), Polypropylen (PP)</p>		

<ul style="list-style-type: none"> - Die Verwendung von Umlaufmaterial, ist zulässig, davon ausgenommen ist PE-X. - Rücklaufmaterial und Rezyklat dürfen nicht verwendet werden 	<p>Polybuten (PB) für industrielle Anwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - erforderliche Mindestfestigkeit (MRS) von PB beträgt 12,5 MPa - Pigmentdispersion < Grad 3 - Rohrleitungsteile aus PE sollten vorzugsweise aus schwarzer Formmasse hergestellt werden. Andere Farben sind zwischen Hersteller und Anwender oder entsprechend nationalen Vorschriften zu vereinbaren. - Thermische Stabilität bei der Zeitstand-Innendruckprüfung bei 110 °C: Kein Versagen während der Prüfdauer - Die Farbe muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden <p>Polyethylen (PE 80 und PE 100) für industrielle Anwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Mindestfestigkeit:</u> darf bei 80 °C bei t < 5 000 h kein Abfallen in der Regressionskurve auftreten. PE 63 > 6,3 MPa PE 80 > 8,0 MPa PE 100 > 10,0 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> - Kunststoffanforderungen bezüglich der mechanischen Eigenschaften werden als relevant eingeschätzt - Die Verwendung von Rücklaufmaterial und weiteren externen Sekundärkunststoffen könnten durch Informationstransparenz und weiteren Prüfverfahren ermöglicht werden. Die Relevanz der Verwendung von eigenem Umlaufmaterial zur Erfüllung der Produktfunktion wird als „nicht unbedingt erforderlich“ eingestuft
---	---	---

DIN EN 13598-2:2016-09 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 2: Anforderungen an Einsteigschächte und Kontrollschächte

<ul style="list-style-type: none"> - Definiert Bedingungen unter denen die Verwendung von externen Werkstoffen, die kein Neumaterial sind, zulässig sind 	<ul style="list-style-type: none"> - Es dürfen bis zu 100 % Werkstoffe, die kein Neumaterial sind, verwendet werden - Mindestanforderungen des Werkstoffs muss erfüllt sein - Rückverfolgbarkeit und Transparenz muss gegeben sein - maximaler Anteil von externen Werkstoffen (kein Neumaterial) muss in der Qualitätsdokumentation angegeben sein - Erfüllung der in der Norm beschriebenen Produkthanforderungen müssen eingehalten werden - Lieferant (des Sekundärmaterials) muss gewährleisten, dass sein 	<ul style="list-style-type: none"> - Es ist keine Relevanzeinordnung von Kunststoffanforderungen notwendig, da die Norm übergeordnete Bedingungen für den Rezyklateinsatz beschreibt
---	---	---

	Qualitätsplan den entsprechenden Anforderungen nach EN ISO 9001 entspricht oder zumindest nicht weniger streng ist	
--	--	--

Wie in Tabelle 4-2 zu erkennen ist, wird der Einsatz von Sekundärkunststoffen in den Normen im Bereich Kunststoffrohre explizit definiert. Teilweise wird der Einsatz von Regeneraten oder Umlaufmaterial vorab ausgeschlossen. Grund hierfür ist beispielsweise die Sicherstellung einer hohen Temperaturstabilität des Kunststoffs (20). Grundsätzlich ist eine bekannte Zusammensetzung des verwendeten Materials in den meisten Normen zwingend erforderlich. Normen wie z. B. EN 13598-2:2016-09 beschreiben, dass die Rückverfolgbarkeit und Transparenz für den Einsatz von Sekundärkunststoffen notwendig sind. Dies macht deutlich, wie dringlich eine transparente Kommunikation und Informationsweitergabe bezüglich der Rezyklatherstellung und -verarbeitung ist. Wäre das Wissen über die Zusammensetzung und Verarbeitungsart extern bezogener Rezyklate, Regranulate oder Rücklaufmaterialien vorhanden, könnten diese ebenfalls in Betracht gezogen werden.

4.3.2. Herausforderungen der Anwendung „Automotive“

Im Zuge der Onlineumfrage mit Industrie-Akteuren (Arbeitsphase 2 – Industrieumfrage) wurden im Automobilbereich Kundenspezifikationen als Hindernis für den Einsatz von Sekundärkunststoffen beschrieben. Besonders die in dieser Branche weit vertretende Norm IATF 16949 spricht sich indirekt gegen einen Rezyklateinsatz aus. Sie ist basierend auf ISO 9001 und ist speziell auf die Automobilindustrie zugeschnitten und enthält Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem (21, 22). Ein wichtiger Aspekt ist die Verbesserung der System- und Prozessstabilität und vor allem Erhöhung der Kundenzufriedenheit. Um Letzteres zu erreichen, werden in sogenannten Referenzhandbüchern Kundenspezifikationen definiert. Im Folgenden sind Beispiele für Referenzhandbücher genannt und kurz beschrieben:

- APQP: Beschreibt ein Projektmanagement, bestehend aus 5 Projektphasen
- PPAP: Produktionsteilabnahme-Verfahren; wird angewendet, ein Produkt beim Kunden bemustert wird.
- MSA: Messsystemanalyse; statistische Methoden, aus denen ausgewählt werden muss, wenn Prüfmittel, die während der Fertigung eingesetzt werden, qualifiziert werden müssen (= Nachweis der Eignung des eingesetzten Prüfverfahrens)
- FMEA: Fehlermöglichkeitseinflussanalyse
- SPC: Sammlung statistischer Methoden, um nachzuweisen, dass der entwickelte Produktionsprozess fähig ist
- VDA-Bände

Während das Ziel der FMEA u.a. darin besteht, fehlerfreie und sichere Ware auszuliefern, fokussiert sich das PPAP vor allem auf das Design des Kunden. Im Zentrum der IATF 16949 steht nicht die Entdeckung, sondern die Vermeidung von Fehlern. Dies stellt insbesondere im Bereich des Recyclings ein wesentliches Hemmnis für den Rezyklateinsatz dar. Der Einsatz von Rezyklat wird im Vorfeld aufgrund von Unsicherheiten ausgeschlossen. Potenziale des Rezyklateinsatzes werden nicht genauer untersucht, da die Norm nicht darauf ausgelegt ist, Fehler durch Prüfverfahren zu erkennen und zu verbessern. Im weiteren Projektverlauf wurden Interviews mit Recyclingunternehmen durchgeführt, die u. a. die Automobilbranche beliefern. Es wurde untersucht, welche Anforderungen an Rezyklate im Vergleich zur Neuware im Automobilbereich gestellt werden und unter welche Umstände Potenziale für den Einsatz von Rezyklaten in der Automobilindustrie geschaffen werden können. Im Zuge

mehrerer Interviews mit Recycling-Experten zeigte sich ein großes Einsatzpotenzial für Rezyklate im Bereich der nicht-sicherheitsrelevanten Bauteile. Insbesondere Stoßfänger eignen sich laut mehreren Recyclingbetrieben besonders gut für den Rezyklateinsatz. Aber auch bei nicht sichtbaren Bauteilen werden z. B. unverhältnismäßig hohe Farbanforderungen genannt, die den Einsatz von Rezyklaten verhindern. Hier gilt es, die Zweckmäßigkeit dieser Anforderungen unternehmensübergreifend zu hinterfragen und gezielte Anforderungen an Rezyklate zu definieren. In einem Fallbeispiel eines befragten Unternehmens wurde der Einsatz von PCR-Rezyklat in sichtbaren Bauteilen erprobt. Es konnte gezeigt werden, dass Rezyklate bestimmte Farbbereiche erfüllen und daher bei der Verwendung von Sekundärmaterialien Kompromisse im Farbspektrum (Farbintervalle) eingegangen werden müssen. Im Vergleich zur Neuware, die einen exakten Farbton treffen kann, liegt der Fokus beim Einsatz von Rezyklaten auf Grenzbereichen in der Farbgebung. Ein weiterer Recycling-Experte berichtet in einem Interview:

„Kunden und Produzenten müssen verstehen, dass Rezyklate von Abfällen stammen. Diese Abfälle kann jedes Unternehmen selbst steuern, indem bereits beim Produktdesign und der Logistik der später entstehende Abfall berücksichtigt wird.“

Weiterhin wurde des Öfteren von einer fehlenden Bereitschaft der kunststoffverarbeitenden Industrie zur Veränderung gesprochen. Im Idealfall sollen Rezyklate dieselben Standards wie Neuware erfüllen. Laut Expertenbefragung ist es jedoch möglich, auch Rezyklate mit geringerer Qualität als der Neuware einzusetzen, wenn die Bauteile durch andere Bauteile gestützt werden. Weitere Erkenntnisse im Bereich des Rezyklateinsatzes in der Automobilindustrie werden in Abschnitt 4.5 erläutert.

4.3.3. Herausforderungen der Anwendung „Geokunststoffe“

Grundsätzlich ergibt sich die Einschränkung des Rezyklateinsatzes bei Geokunststoffen aus der Forderung nach einer Nutzungsdauer von 100 Jahren. Die geforderte Nutzungsdauer und die damit verbundene Anforderung an Beständigkeit und Dauerhaftigkeit ergibt sich daraus, dass Geokunststoffe im Schadensfall nicht einfach ausgetauscht werden können. Hingegen können Sekundärkunststoffe und Post Consumer Rezyklate bei Anwendungen mit einer kürzeren Nutzungsdauer von 5 Jahren eingesetzt werden. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) zertifiziert beispielsweise Geokunststoffprodukte mit einer Lebensdauer von 5 Jahren, auch mit einem Rezyklatanteil von bis zu 5 %.

Tabelle 4-3 gibt einen Überblick über die in den gesichteten Normen zu Geokunststoffen beschriebenen Anforderungen:

Tabelle 4-3: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen zu Geokunststoffen

Beschreibung zum Einsatz von Sekundärkunststoffen	Anforderungen aus der Norm	Einordnung der Relevanz der Anforderungen zur Erfüllung der Produktfunktion
DIN EN 13361 Geosynthetische Dichtungsbahnen - Eigenschaften, die für die Anwendung beim Bau von Rückhaltebecken und Staudämmen erforderlich sind		
- Umlaufmaterial (RWM) darf ohne Einschränkung verwendet werden, wenn der Ausgangsgrundstoff den Anforderungen entspricht und kein Pelletieren im	Produkte mit einer Nutzungsdauer von bis zu 5 Jahren PCM und PIM dürfen verwendet werden, - Erwartete Dauerhaftigkeit für 5 Jahre in natürlichen Böden mit $4 \leq \text{pH} \leq 9$ und Bodentemperaturen $\leq 25 \text{ °C}$	- Aufgrund der Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren, werden die beschriebenen Kunststoffanforderungen als relevant eingestuft

<p>Aufbereitungsprozess erfolgt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ein Produkt, welches PCM (en: post-consumer material) (Rezyklat) oder PIM (en: post-industrial material) (Regenerat) enthält, darf nur für eine Mindestnutzungsdauer von 5 Jahren als ausreichend dauerhaft erachtet werden, unter der Voraussetzung, dass keine biologisch abbaubaren Werkstoffe enthalten sind. 	<p>Andere Anwendungen und Nutzungsdauern von 25 Jahren und 50 Jahren</p> <p>Umlaufmaterial darf verwendet werden,</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erwartete Dauerhaftigkeit für (Nutzungsdauer angeben, 25 oder 50 Jahre) in natürlichen Böden mit $4 \leq \text{pH} \leq 9$ und Bodentemperaturen $\leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ <p>Multikomponentenprodukte dürfen verwendet werden,</p> <ul style="list-style-type: none"> - Für die aufgebrachte Folie, Beschichtung oder Membran wird in natürlichen Böden mit $4 \leq \text{pH} \leq 9$ und Bodentemperaturen $\leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ eine Dauerhaftigkeit für (Nutzungsdauer angeben) erwartet“ <p>Prüfungen für PE-Typen der GBR-P (geosynthetische Kunststoffdichtungsbahn):</p> <ul style="list-style-type: none"> - PE-HD: $\geq 0,940 \text{ g/cm}^3$ PELLD: $0,919 \text{ g/cm}^3$ bis $0,939 \text{ g/cm}^3$ 	
<p>DIN EN 13491 Geosynthetische Dichtungsbahnen - Eigenschaften, die für die Anwendung beim Bau von Tunneln und damit verbundenen Tiefbauwerken erforderlich sind</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Umlaufmaterial (RWM) darf ohne Einschränkung verwendet werden, wenn der Ausgangsgrundstoff den Anforderungen entspricht und kein Pelletieren im Aufbereitungsprozess erfolgt - Ein Produkt, welches PCM (en: post-consumer material) (Rezyklat) oder PIM (en: post-industrial material) (Regenerat) enthält, darf nur für eine Mindestnutzungsdauer von 5 Jahren als ausreichend dauerhaft erachtet werden, unter der Voraussetzung, dass 	<p>Produkte mit einer Nutzungsdauer von bis zu 5 Jahren</p> <p>PCM und PIM dürfen verwendet werden,</p> <p>Erwartete Dauerhaftigkeit für 5 Jahre in natürlichen Böden mit $4 \leq \text{pH} \leq 9$ und Bodentemperaturen $\leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - PC-Rezyklate sind für eine Nutzungsdauer von bis zu 5 Jahren erlaubt. Die beschriebenen Kunststoffanforderungen sind aufgrund von Witterungen während der Nutzungsphase relevant

keine biologisch abbaubaren Werkstoffe enthalten sind.		
TL/TP KDB gelten für die Lieferung und Prüfung von KDB und Profilbändern zum Einsatz bei Abdichtungssystemen von Straßentunneln		
<ul style="list-style-type: none"> - Es dürfen nur Originalrohstoffe mit dokumentierter, nachgewiesener Zusammensetzung, Herkunft und homogenen Eigenschaften verwendet werden. Die Zugabe von Produktionsrückständen desselben Werkstoffes (Eigenrezyklat) ist bis zu 10 % der Masse zulässig. Für Kunststoffschutzbahnen ist auch ein höherer Anteil an Recyclingwerkstoffen zugelassen 	<ul style="list-style-type: none"> - Die KDB müssen die Anforderungen nach DIN EN 13491 und den in TL/TP KDB beschriebenen Anforderungen in Tabelle 1 erfüllen - Die Profilbänder müssen die Anforderungen und den in TL/TP KDB beschriebenen Anforderungen in Tabelle 2 erfüllen <p>Es dürfen nur KDB sowie die zugehörigen Profilbänder auf Polyolefinbasis (FPO) oder aus Polyvinylchlorid (PVC-P) verwendet werden</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Profilbänder sollen die gleiche Formmassenzusammensetzung wie die KDB aufweisen 	<ul style="list-style-type: none"> - Die beschriebene Maximalvorgabe von 10 % Eigenrezyklat, ist nicht in allen Fällen zur Erfüllung der Produktfunktion relevant, da diese abhängig von der Qualität der verwendeten Sekundärkunststoffe ist. Die beschriebene Anforderung könnte durch Prüfungen der Rezyklateignung auf einzelne Fallbeispiele angepasst werden und ist nicht zwingend für die Produktfunktion erforderlich
ISO/TR 20432 Richtlinien zur Bestimmung der Langzeitfestigkeit von Geokunststoffen zur Bodenverstärkung		
<ul style="list-style-type: none"> - Es muss eine explizite Erklärung abgegeben werden, dass kein Rezyklat (PCR) verwendet wurde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lebenszeit des Produkts liegt bei 50 bis 100 J. - Abbaurate der Produkte muss bekannt sein, sonst kann die Lebensdauer nicht vorhergesagt werden - PET-Geokunststoffe: Testdauer von mindestens 10 Jahren bei einer Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren - Polyolefine: Längere Testdauer möglich aufgrund der im Kunststoff enthaltenden Antioxidantien 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund der Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren werden die beschriebenen Kunststoffanforderungen als relevant eingeschätzt

Da durch weitere Umfragen und Interviews während der Projektdurchführung, der Fokus auf andere Produktbranchen gelegt wurde, wurden keine weiteren Erkenntnisse im Bereich der Geokunststoffe gesammelt.

4.3.4. Herausforderungen der Anwendung „Fenster“

Laut SKZ-Experten aus dem Unternehmensbereich *Fensterprüfung* ist Recyclingmaterial im Fenster bereits am Markt etabliert. Dennoch treten Hemmnisse auf, die mit dem Mangel an verfügbarem Material in ausreichender Qualität begründet werden. Außerdem limitieren derzeit weitere EU-Regelwerke einen breiteren Einsatz von Sekundärkunststoffen. So beschreibt die Norm EN 12608-1,

dass die Profiloberfläche durch eine mind. 0,5 mm Neuwarenschicht abgedeckt sein muss (23). Die Verwendung von wiederverwerteten Werkstoffen (z. B. ungebrauchte PVC-U-Profile) ist nur auf nicht-sichtbaren Oberflächen zulässig. Daraus ergibt sich die Frage, ob durch eine angepasste Additivierung der Sekundärmaterialien auch UV-beständige Materialien für die Oberflächennutzung hergestellt werden können bzw. ob bereits verfügbare Altfensterprodukte und andere Rezyklate auf dem Markt sind, die diese Anforderungen erfüllen. Laut der Norm DIN EN 12608 müssen sowohl UV-beständiges als auch UV-unbeständiges Neuwarematerial den in der Norm beschriebenen Anforderungen entsprechen.

Im Projektverlauf wurde die Anwendung von Kunststofffenstern aufgrund weiterführender Erkenntnisse in anderen Produktbereichen nicht näher betrachtet.

4.3.5. Herausforderungen der Anwendung „Lebensmittelkontakt“

Für Lebensmittelkontaktmaterialien als Fertigerzeugnis gibt es in Deutschland keine Zulassungspflicht. Rezyklate müssen jedoch auf Ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit hin überprüft und zugelassen werden. Hierfür stehen verschiedene Richtlinien und Verordnungen zur Verfügung.

Mithilfe der Bedarfsgegenständeverordnung werden die Voraussetzungen für Bedarfsgegenstände, insbesondere für Lebensmittelbedarfsgegenstände geregelt. Sie legt fest, welche bedenklichen Stoffe höchstens an den menschlichen Körper oder das Lebensmittel abgegeben werden dürfen. Im Bereich der Kunststoffe (z. B. Kunststoffverpackung eines Lebensmittels) muss beispielsweise sichergestellt werden, dass der Stoff Triclosan (CAS Nr. 0003380-34-5) nicht im Kunststoff enthalten ist. Zugelassene Stoffe und die erlaubten Konzentrationen werden in der Bedarfsgegenständeverordnung in Anlage 14 beschrieben (24). Des Weiteren gibt die europäische Verordnung (EU) Nr. 10/2011 – Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, Migrationsgrenzwerte für verschiedene Kunststoffe vor (25). Für PET gelten zum Beispiel folgende Grenzwerte:

Tabelle 4-4: Migrationsgrenzwerte für den Kunststoff PET, definiert durch die EU-Verordnung Nr. 10/2011 – Materialien und Gegenstände aus Kunststoff

Substanz	Menge	Einheit
Barium	1	mg/kg Lebensmittel oder Lebensmittelstimulanz
Kobalt	0,05	
Kupfer	5	
Eisen	48	
Lithium	0,6	
Mangan	0,6	
Zink	25	

Bariumstearat wird häufig als Gleitmittel in der Kunststoffverarbeitung bzw. Bariumsulfat in einigen Branchen wie z. B. der Rohrherstellung als mineralischer Füllstoff verwendet. Für den Einsatz von Rezyklat im Lebensmittelverpackungsbereich können kritische Kunststoffe, unter Berücksichtigung der Migrationsgrenzwerte, ausgeschlossen werden. Gleichzeitig bietet dies auch eine Orientierung zu produktbereichspezifischen Potenzialen für den Einsatz von Sekundärkunststoffen. Des Weiteren würden geschlossene Kreisläufe wie das PET-Pfandsystem von Getränkeflaschen eine Nutzung von Rezyklaten in Lebensmittelbereichen maximieren.

Mithilfe der neuen europäischen Verordnung (EG) Nr. 2022/1616 soll das Recycling von Kunststoffen für den Kontakt mit Lebensmitteln zukünftig genauer definiert werden (26). Es werden verschiedene Registrierungs- und Informationspflichten für beispielsweise Manager von Recyclingsystemen, Entwickler einer neuartigen Technologie oder Recycler festgelegt. Der Fokus liegt zum Schutz der menschlichen Gesundheit auf der Dekontaminierung, die Art des Abfalls und dessen Herkunft wird dabei nicht berücksichtigt. Die Verwendung von gemischten Abfällen bzw. des gelben Sacks ist demzufolge ebenfalls möglich, es dürfen jedoch keine gefährlichen Abfälle enthalten sein bzw. weitere Abfallfraktionen müssen abtrennbar sein. Die Dekontaminierung soll sichergestellt sein, indem in

einem einzigen Recyclingbetrieb ein Rezyklat entsteht, das lebensmitteltauglich ist. Folglich soll die Charge einem einzigen Betrieb zugeordnet werden können, um so die Rückverfolgbarkeit des Rezyklats zu gewährleisten. Um die Entwicklung im Bereich der Rezyklataufbereitung in hohen Qualitäten zu fördern, können laut Verordnung neuartige Technologien vor der eigentlichen Zulassung auf den Markt gebracht werden.

Die größte Schwierigkeit beim Einsetzen von Rezyklaten und anderen Sekundärkunststoffen im Lebensmittelverpackungsbereich ist insbesondere die Undurchsichtigkeit der Rezyklatzusammensetzung und geringe Rückverfolgbarkeit. Aus diesem Grund muss vor der Verwendung dieser Sekundärkunststoffe jede Charge einzeln geprüft werden, was mit hohem Aufwand und Kosten verbunden ist. Ist eine Rückverfolgbarkeit möglich, kann die Prüfung der Rezyklate ggf. minimiert werden, was die Kosten senkt und folglich den Rezyklateinsatz in der Anwendung „Lebensmittelverpackung“ erhöhen könnte.

4.3.6. Herausforderungen der Anwendung „Verpackung gefährlicher Güter“

Es wurden Normen und Richtlinien aus dem Bereich Verpackung gefährlicher Güter gesichtet. Hierbei wurden die allgemeinen Hinweise zu Gefahrgutverpackungen, die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (ADR 2021 Band II) und die Norm EN 16103 genauer beleuchtet (27, 28).

Tabella 4-5: Kurzbeschreibung ausgewählter Normen und Richtlinien zu Verpackungen gefährlicher Güter.

Beschreibung zum Einsatz von Sekundärkunststoffen	Anforderungen aus der Norm	Einordnung der Relevanz der Anforderungen zur Erfüllung der Produktfunktion
Allgemeine Hinweise zu Gefahrgutverpackungen		
<ul style="list-style-type: none"> - Kein Verbot von Sekundärkunststoffen beschrieben - Aus Recycling-Kunststoffen hergestellte Verpackungen müssen mit „REC“ gekennzeichnet werden - Verpackungen mit dem Symbol „REC“ können nicht erneut als Rezyklat eingesetzt werden (Einmal-Nutzung von Recyclingmaterial) 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Anforderungen an die Verpackungen sind vom Gefahrengrad der Stoffe und der daraus resultierenden Verpackungsgruppe (I, II oder III) abhängig. - Verpacker muss die Verträglichkeit von Füllgut und Verpackungswerkstoff sicherstellen - Die Beständigkeitsprüfungen dürfen nur von geeigneten Prüfstellen durchgeführt werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Kennzeichnung von Verpackungen mit dem Symbol „REC“ ist für die Erfüllung der Funktionalität der Verpackung nicht relevant und verhindert den erneuten Rezyklateinsatz im Vorhinein. Im Vordergrund sollten die mechanischen Eigenschaften der Rezyklate stehen - Anforderungen bezüglich der Beständigkeit und Verträglichkeit sind relevant
ARD 2021 Band II		

<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von Recycling-Kunststoff möglich - Aus Recycling-Kunststoffen hergestellte Verpackungen müssen mit «REC» gekennzeichnet sein 	<p>Fässer und Kanister aus Kunststoff:</p> <ul style="list-style-type: none"> - es darf kein gebrauchter Werkstoff außer Produktionsrückstände oder Kunststoffgranulat aus demselben Fertigungsverfahren verwendet werden. - Verpackung muss ausreichend widerstandsfähig sein - Beständigkeit gegenüber Alterung und Qualitätsverlust durch Füllgut oder durch UV-Strahlung <p>Kunststoffkanister:</p> <ul style="list-style-type: none"> - werden Recycling-Kunststoffe verwendet, müssen diese regelmäßig bei der zuständigen Behörde, im Zuge eines anerkannten Qualitätssicherungsprogramms, geprüft und die Eigenschaften dokumentiert werden. <p>Kunststoffgewebe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine Beschreibung zu Recycling-Kunststoffen <p>Kunststofffolie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine Beschreibung zu Recycling-Kunststoffen 	<p>Fässer und Kanister aus Kunststoff</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anforderung, die die Nutzung von Umlaufmaterial beschreibt, ist nicht zwingend für die Funktion des Endprodukts relevant. Mit weiteren Prüfverfahren wäre das Einsetzen von externem Rezyklat möglich <p>Kunststoffkanister</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anforderung ist relevant
---	---	--

DIN EN 16103 - Verpackung - Verpackungen zur Beförderung gefährlicher Güter - Recycling-Kunststoffe

<ul style="list-style-type: none"> - Industrieverpackungen dürfen unter bestimmten Bedingungen recycelt und für die Verpackung gefährlicher Güter eingesetzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> - legt Anforderungen und Prüfverfahren für die Herstellung von Recycling-Kunststoffen für die Verwendung als Verpackung zur Beförderung gefährlicher Güter fest - enthält Leitlinien für Verfahren, die bei der Zulassung der Verwendung von Recycling-Kunststoffen einzuhalten sind - Sammlung ist auf Industrieverpackung zu beschränken - Verpackungen müssen Hinweise auf vorherigen Inhalt, Kennzeichnung gefährlicher Güter, internationalen Materialschlüsselsymbol sowie 	<ul style="list-style-type: none"> - Verpackungen müssen Hinweise auf vorherigen Inhalt und Kennzeichnung gefährlicher Güter wird als relevant eingeschätzt - Monat und Jahr der Herstellung der Verpackung wird als nicht relevant eingeschätzt - Die Sammlung auf Industrieverpackung ist für die Schließung von Kreisläufen wichtig. Die Beschränkung darauf schließt potenzielle Rezyklate anderer Branchen, die die Produkthanforderungen erfüllen könnten, jedoch aus. Hier sollten ebenfalls die
--	---	--

	Monat und Jahr der Herstellung aufweisen	mechanischen Eigenschaften im Fokus stehen
--	--	--

Wie in Tabelle 4-5 zu erkennen ist, spielt die Rückverfolgbarkeit von Kunststoffabfällen auch im Verpackungsbereich eine entscheidende Rolle. Sind vorherige Inhalte unbekannt, können Rezyklate nicht verwendet werden und das Einsatzpotenzial bleibt unerschlossen. Laut Expertenbefragung im Bereich Rezyklathandel ist die aktuelle Einsatzmenge von Rezyklaten in diesem Bereich gering, da Anforderungen und das Niveau der Prüfverfahren zu hoch sind. Notwendige Materialvorbehandlungen für Non-Food-Verpackungen sollten einheitlich definiert werden. In Deutschland gelten beispielsweise Verpackungen für Pflanzenschutzmittel als gewaschen, wenn diese mindestens dreimal ausgewaschen wurden. Anschließend können diese dann in andere Produktbereiche eingesetzt werden. Weiterhin sind vorherige Inhalte alter Industrieverpackungen kaum bekannt (Ergebnis des Interviews mit plastship GmbH, 2023). Dies zeigt, dass neben der Rückverfolgbarkeit auch die Transparenz und die Schließung von Kreisläufen, entscheidend für die Steigerung des Rezyklateinsatzes sind.

4.3.7. Herausforderungen in weiteren Anwendungen

Weitere Industriezweige wie die Medizintechnik, die Pharmaindustrie oder auch der Bereich Mülltonnen und Abfallbehälter wurden in die Online-Befragung einbezogen. Aufgrund geringer Rezyklateinsatzpotenziale (z. B. im medizinischen Bereich) oder bereits hoher Ausschöpfung (z. B. Abfallbehältnisse) wurde diese Anwendung für die fortlaufende Projektdurchführung vernachlässigt.

Grundsätzlich könnten weitere Forschungsprojekte mit dem Schwerpunkt einer Prüfung von mechanischen Eigenschaften von Rezyklaten auf Basis von Normanforderungen den Einsatz von Sekundärkunststoffen in verschiedenen Produktbereichen in nicht erschlossene Bereiche etablieren.

4.4. Analyse der gesellschaftlichen Akzeptanz zum Rezyklateinsatz

Wie bereits in Abschnitt 3.1 erwähnt, wurde die gesellschaftliche Akzeptanz des Rezyklateinsatzes in Kunststoffprodukten untersucht. Häufig wird die Reglementierung des Einsatzes von Rezyklaten durch werkspezifische Qualitätskriterien von Kunststoffprodukt- und Bauteilerzeugern damit begründet, dass die hohen Qualitätsanforderungen der Endkunden nichts anderes zulassen. Bauteil- und Produkthersteller wollen den Anforderungen des Endkunden entsprechen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Zu untersuchen war, inwiefern Verbraucher tatsächlich für die Limitierung des Rezyklateinsatzes mitverantwortlich sind. Ziel dieser Arbeit war es daher, zu überprüfen, welche Erwartungen Endverbraucher an Kunststoffprodukte haben und inwiefern Rezyklaterhöhungen in Produkten vom Endverbraucher akzeptiert werden. Somit sollten kundenbegründete Unsicherheiten bezüglich des Rezyklateinsatzes in Kunststoffprodukten seitens der Industrie mit aufgestellten Hypothesen überprüft werden. Diese Hypothesen wurden mit Hilfe eines Fragebogens überprüft. Der erstellte Fragebogen inklusive der Auswertung der Ergebnisse über MS Forms befindet sich im Anhang unter Abschnitt 9.3.2.

4.4.1. Methoden und Instrumente

Für die Konstruktion des Fragebogens galten sozialwissenschaftliche Grundlagen zur Erstellung wissenschaftlicher Umfragen als Orientierung, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Hierzu wurden auf Grundlage der zuvor ermittelten Einsatzhindernisse von Rezyklaten und der zu untersuchenden Forschungsfrage Hypothesen aufgestellt. Diese enthalten Konzepte, welche durch einzelne Variablen operationalisiert und durch Fragen gemessen wurden. Die Fragen wurden zur thematischen Gliederung in Blöcken zusammengefasst und in eine Online-Umfrage über MS Forms eingepflegt. In der Umfrage wurde beachtet, dass durch die Aktivierung bestimmter Themen bei vorangegangenen Fragen die Antworten beeinflusst, werden können. Außerdem wurde mit einfachen und leicht verständlichen Fragen begonnen, um die Nervosität und Unsicherheit der befragten Person zu minimieren und so die Abbrecherquote zu verringern. Im mittleren Teil des Fragebogens wurden

komplexere Fragen gestellt. Abgeschlossen wurde mit sozio-demographischen Fragen, um Hypothesen, die bestimmte Personengruppen unterschieden, zu testen. Um von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit, also die Gruppe, die im Rahmen der jeweiligen Studie untersucht wird, schließen zu können, erfolgte eine Zufallsauswahl. Die Teilnehmerzahl der in Microsoft Forms durgeführten Umfrage betrug 158.

Um von den Hypothesen zu den Fragen zu gelangen, mussten diese operationalisiert, d. h. messbar gemacht werden. Die Gestaltung des Operationalisierungsprozesses ist vielfältig (29). Es wurde eine freie Interpretation der dimensional Analysis nach Kromrey durchgeführt. Dabei werden die Dimensionen Variablen und Indikatoren genannt. Die Indikatoren sind durch Korrespondenzregeln mit den Variablen verbunden (30). Die Indikatoren werden durch Items (Fragen) getestet. Hierfür werden die Item-Kategorien (Antwortmöglichkeiten) jeweils passend für die Items ausgewählt.

Die zu untersuchende Grundgesamtheit wurde als „deutsche Bevölkerung, die regelmäßig / gelegentlich Kunststoffprodukte für den alltäglichen Gebrauch einkauft“ definiert. Als Umfragemethode wurde eine quantitative Umfrage gewählt. Um das Akzeptanzobjekt „Rezyklateinsatz“ greifbar zu machen, wurde die Kaufentscheidung bezüglich konkreter Produkte untersucht. Die Produkte wurden aus den Branchen „Verpackung“, „Bau“, „Automotive“, „Elektronik“, „Garten“, „Haushaltswaren“ und „Sport und Freizeit“ abgeleitet. Conversio Market & Strategy liefert bereits teilweise konkrete Produktbeispiele (1). Diese wurden übernommen und ergänzt. Bei der Produktauswahl wurde darauf geachtet, dass es sich um Alltagsprodukte handelt, die grundsätzlich ein Rezyklateinsatzpotenzial aufweisen. Darüber hinaus wurde der Fokus auf Produkte gelegt, die im Haushalt eingesetzt werden, sichtbar und nur schwer durch andere Materialien ersetzbar sind. Über die Auswahl der Produkte wurden Aussagen über die Abhängigkeit der Akzeptanz von Faktoren wie Einsatzort und Verwendung der Produkte getroffen (siehe Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Produktauswahl zur Analyse der Akzeptanzbewertung

Branche		Produktbeispiel	Quelle
Verpackung		Shampoo	Nach Conversio
Bau		Fensterprofile	
Fahrzeug	Interieur	Armaturen	
	"Under the hood"	Motorenauskleidung	
Elektronik		Staubsauger	
Garten		Blumentopf (Übertopf)	
Haushaltswaren		Wäschekorb	
		Mülltonne (Außenbereich)	
		Mülleimer (Innenbereich)	
		Kleiderbügel	
Sport/Spiel/Freizeit		Fernseher	Nach VuMA
		Radio	
		Smartphone	
		Desktop PC	
		PC-Monitor	

4.4.2. Hypothesenbildung

Um Hypothesen zur Akzeptanz von Rezyklateinsatz bei Kunststoffprodukten aufstellen zu können, wurde untersucht, was Verbrauchende allgemein als ausschlaggebend für ihre Kaufentscheidung empfinden. Auf Basis dieser Vorrecherche zur gesellschaftlichen Einstellung im Bereich Nachhaltigkeit und klimarelevante Themen wurden eigene Hypothesen aufgestellt und untersucht.

Hypothese 1:

Eine Studie der International University of Applied Science (IU) ergab, dass sich junge Menschen und Personen mit einem höheren Bildungsabschluss mehr für Klimaschutz engagieren (31). In einer Studie von Capgemini (2020) gaben 72 % der 25- bis 35-Jährigen an, dass es sie glücklich macht, nachhaltige Produkte zu kaufen (32). Bezüglich des Alters wurde daher folgende Hypothese formuliert:

Hypothese 1: „Die Akzeptanz von rezyklatbasierten Produkten ist bei den unter 30-jährigen am größten.“

Hypothese 1 enthält als Variabel das „Alter“. Das „Alter“ wird durch keine weiteren Indikatoren beschrieben und kann daher direkt mit dem passenden Item abgefragt werden (vgl. Abbildung 4-5). Die Antwortklassen weisen Abstände von 10 Jahren auf. Nur in der Gruppe der 20 bis 30-jährigen wurde eine weitere Unterteilung vorgenommen, um eventuell differenzierte Ergebnisse, aufgrund des möglichen Lebenswandels zwischen Ausbildung/ Studium und Berufstätigkeit, zu erhalten. Die Frage und Antwortmöglichkeiten lauten:



Abbildung 4-5: Indikator Alter

Hypothese 2:

Hinsichtlich des Umweltbewusstseins gaben in einer durch das Umweltbundesamt durchgeführten Umweltbewusstseinsstudie 2020 47 % der Befragten an, sich „ziemlich stark“ für die Themen Klimaschutz und Klimawandel zu interessieren. Darüber hinaus fühlten sich 52 % der Teilnehmer „gut informiert“ zu den Themen Klimaschutz und Klimawandel (31). Die Informiertheit lässt sich über die Indikatoren „Bildungsstand“, „Berufstätigkeit“ und „Interesse“ sowie über die „Häufigkeit“ und die „Art“ der Informationsbeschaffung beschreiben, da angenommen wurde, dass Personen, die sich häufiger informieren und mehrere Informationsquellen nutzen, informierter sind. Die Bildung betreffend wurde Hypothese 2 noch um die Berufstätigkeit und das Interesse erweitert. Dies lässt sich damit begründen, dass Personen, die in ihrem Beruf mit Kunststoffen konfrontiert werden, sich besser mit diesen auskennen. Gleiches lässt sich für Personen annehmen, die sich für Recycling oder verwandte Themen, wie beispielsweise Mülltrennung und -vermeidung interessieren.

Hypothese 2: „Je informierter eine Person ist, desto höher ist die Akzeptanz.“

Der Indikator „Bildungsstand“ wurde über zwei Items ermittelt. Er setzt sich aus dem Schulabschluss und der Berufsausbildung zusammen:

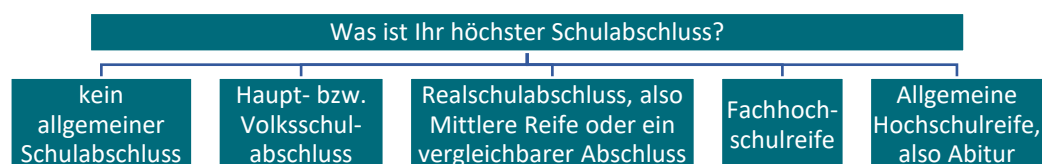


Abbildung 4-6: Indikator Bildungsstand – Schulabschluss

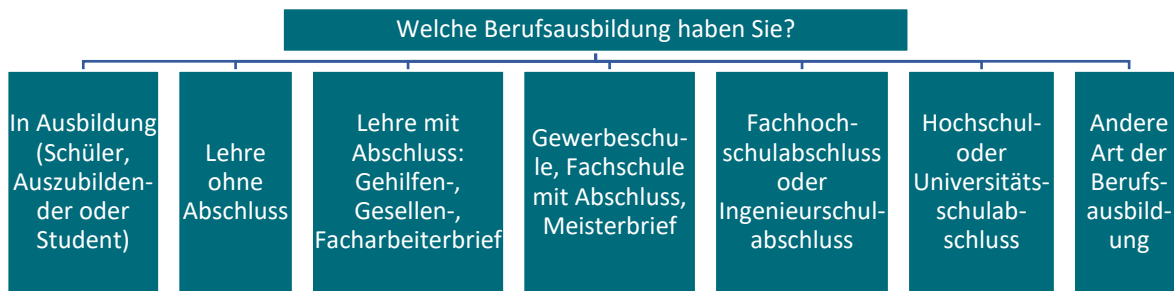


Abbildung 4-7: Indikator Bildungsstand – Berufsausbildung

Für den Indikator „Berufstätigkeit“ sind vor allem die Berührungspunkte mit Kunststoffen im Beruf oder der Ausbildung entscheidend. Er wurde mit folgendem Item abgefragt:

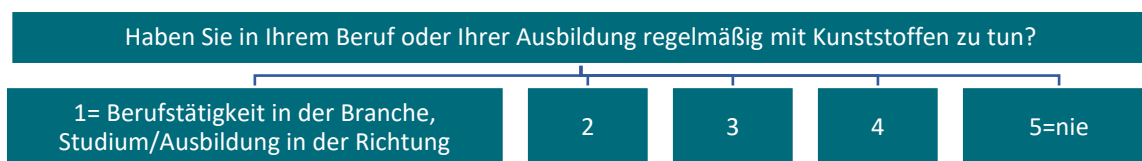


Abbildung 4-8: Indikator Berufstätigkeit – Kunststoffbezug

Wie in der Bevölkerungsumfrage von BMUV und UBA dargelegt, steigt das Interesse an nachhaltigen Themen wie Klima- und Umweltschutz (33). Um zu überprüfen, ob den durchschnittlichen Verbraucher auch verwandte Themen wie Recycling und Kreislaufwirtschaft interessieren, wurden diese Themen mit einer Likert-Skala abgefragt.

Tabelle 4-7: Indikator Interesse – Frage 1

Wie stark interessieren Sie sich für die folgenden Themen?	Sehr stark	Stark	Teils, teils	Weniger stark	Gar nicht	Weiß nicht/ keine Angabe
Klimaschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Klimawandel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Umweltschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kreislaufwirtschaft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nachhaltigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Recycling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Für den Indikator „Häufigkeit der Informationsbeschaffung“ wurde ebenfalls eine sechsstufige Antwortskala gewählt:

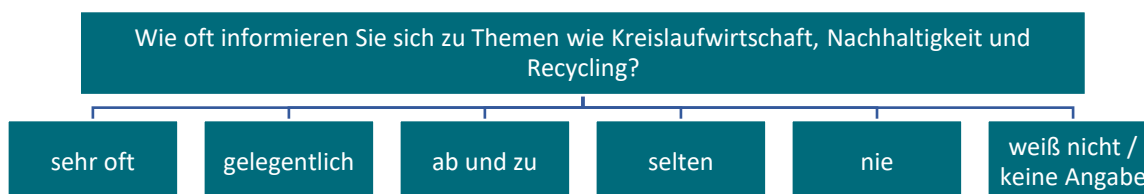


Abbildung 4-9: Indikator Häufigkeit der Informationsbeschaffung – Frage 3

Der Indikator „Art der Informationsbeschaffung“ sollte Aufschluss darüber geben, über wie viele und welche Medien Informationen bezogen werden.



Abbildung 4-10: Indikator Art der Informationsbeschaffung

Für den Indikator „Grad der Informiertheit“ war es nicht möglich, die tatsächliche Informiertheit einzubeziehen, da dies voraussetzen würde, den Wissensstand der Befragten abzufragen. Dies hätte den Umfang dieser Studie überschritten, daher wurde ersatzweise die gefühlte bzw. empfundene Informiertheit abgefragt, wohl wissend, dass diese subjektiv ist.

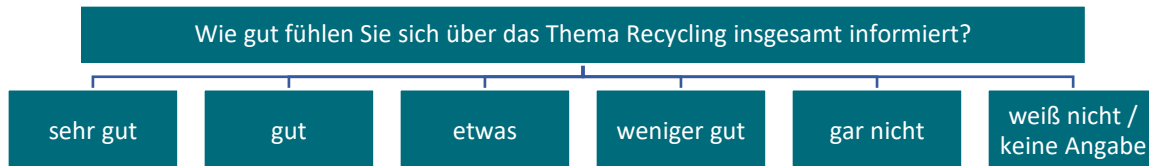


Abbildung 4-11: Indikator Grad der Informationsbeschaffung

Laut einer von Ipsos durchgeführten Studie werden Unternehmen, die nachhaltig agieren, von 76 % der deutschen Bevölkerung bevorzugt (34). Den Indikator „Kommunikation der Informationen“ betreffend, wurde, unabhängig davon, wie gut man sich informiert fühlt, ob eine transparentere Kommunikation zum Thema Recycling gewünscht ist. Durch die steigende Transparenz wird die Bevölkerung besser informiert, was zur Aufklärung der Bevölkerung führt. Idealerweise führt die bessere Aufklärung zu einer Zunahme nachhaltiger Entscheidungen, was sich auch auf Kaufentscheidungen auswirken könnte.

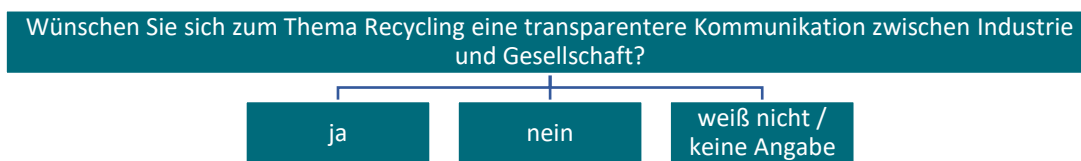


Abbildung 4-12: Kommunikation der Informationen

Hypothese 3:

Neben den Tatsachen, dass jüngere Personen und Personen mit einer höheren Bildung häufiger nachhaltige Produkte kaufen, zeigt sich, dass es einen großen Anteil der Menschen glücklich macht, nachhaltige Produkte zu kaufen (32) und, dass diese trotz eines höheren Preises für den Kauf in Erwägung gezogen wurden (31). Knapp 65 % der Befragten einer Studie der International University of Applied Science (IU) gaben an, dass sie bereit seien, für nachhaltige oder klimafreundliche Produkte mehr Geld auszugeben (31). Beinahe die Hälfte der Befragten wäre bereit, bis zu 20 % mehr für nachhaltig erzeugte Produkte zu bezahlen. Aus dieser Bereitschaft und dem hohen Umweltbewusstsein (33) wurde Hypothese 3 formuliert:

Hypothese 3: „Personen, die einen nachhaltigen Lebensstil führen, sind eher bereit, ein Kunststoffprodukt aus Rezyklat zu kaufen.“

Hypothese 3 enthält als Variablen den nachhaltigen Lebensstil und die Kaufbereitschaft, welche eher als „in Erwägung ziehen“ eines Kaufs verstanden wird. Es wurde angenommen, dass Personen Kunststoffprodukte aus Rezyklat eher für einen Kauf in Erwägung ziehen, wenn sie eine positive Einstellung gegenüber dem Einsatz von Rezyklat haben. Weiterhin wurde angenommen, dass Personen mit einem höheren Umweltbewusstsein eher zu einem nachhaltigeren Lebensstil neigen. Als letzter Indikator bezüglich der Variable nachhaltiger Lebensstil wurde die „Ernährung“ gewählt, da in einer Statista-Umfrage fast 42 % der Befragten angaben, dass sie auf Fleisch verzichten, um etwas Gutes für die Umwelt zu tun (35). Die Ernährung kann als ein Beispiel für umweltfreundliches Handeln gesehen

werden, daher wäre es vorstellbar, dass Personen, die bereit sind, freiwillig ihre Ernährung umzustellen, auch bereit sind, ihr Kaufverhalten bei Alltagsprodukten umzustellen:

Tabelle 4-8: Indikator Umweltbewusstsein

Wie stehen Sie zu den folgenden Aussagen:	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Teils, teils	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Weiß nicht/ keine Angabe
Ich mache mir Sorgen über Umweltprobleme durch Plastik in der Umwelt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es beunruhigt mich, wenn ich daran denke, welche Umweltverhältnisse wir zukünftigen Generationen hinterlassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jede/r Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard anzupassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Für den Indikator „Ernährung“ wurden aus der Ernährungsumfrage 2019 von Veganz (36) eine Frage sowie die Antwortkategorien abgeleitet:

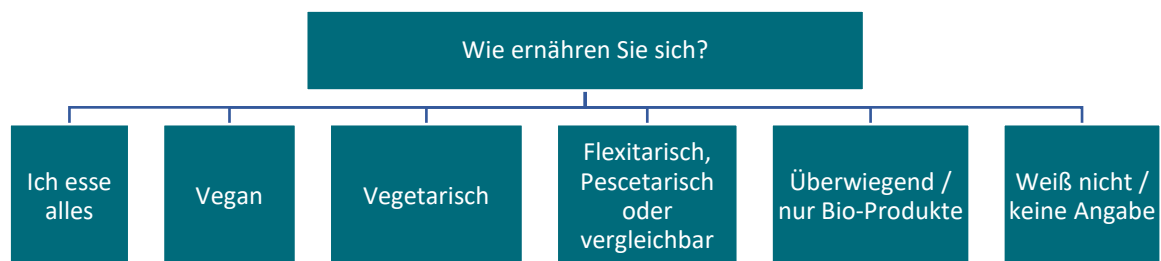


Abbildung 4-13: Indikator Ernährung

Die Kaufbereitschaft, die hier als „in Erwägung ziehen“ eines Kaufes verstanden wurde, wird durch diverse Indikatoren beeinflusst. Zum einen ist anzunehmen, dass Personen, die eine ausgeprägtere Einstellung, sowohl positiv als auch negativ, gegenüber Rezyklateinsatz haben, häufiger auf die „Kennzeichnung“ von Rezyklateinsatz bei Produkten achten. Des Weiteren ist es möglich, dass Personen, die „Bedenken“ bezüglich des Rezyklateinsatzes haben, eine niedrigere Bereitschaft haben, ebensolche Produkte zu kaufen. Es sollte erhoben werden, ob und wie häufig Personen auf Etiketten achten, die auf einen Rezyklateinsatz hinweisen und ob sie sich eine deutlichere Kennzeichnung von Produkten mit Rezyklateinsatz wünschen:



Abbildung 4-14: Indikator Kennzeichnung – Etikettierung

Wünschen Sie sich eine deutlichere Kennzeichnung von Produkten bezüglich des Rezyklateinsatzes?



Abbildung 4-15: Indikator Kennzeichnung – Transparenz

Der Indikator „Bedenken“ wurde ebenfalls mit zwei Items ermittelt. Es sollte erfragt werden, ob Bedenken vorliegen und wenn ja, um welche Bedenken es sich handelt. Hierbei sollten Unsicherheiten transparent aufgedeckt werden. Dafür wurde ein Filter eingerichtet, so dass die zweite Frage nur gezeigt wurde, wenn die erste mit „ja“ beantwortet wurde. Die zweite Frage wurde offen, aber als nicht erforderlich gestellt. So hatten die Teilnehmenden die Option zu wählen, ob sie ihre Bedenken konkretisieren oder nicht.

Haben Sie Bedenken bezüglich Verunreinigungen/Kontaminationen durch den Rezyklateinsatz in Kunststoffprodukten im "Non-Food Bereich"?



Wenn Sie Bedenken haben, welche sind das?



Abbildung 4-16: Indikator Bedenken

Die Entwicklung der Antwortskala zum Indikator „Preissteigerung“ orientierte sich an der Studie der internationalen Hochschule Bad Honnef IUBH (31). Dort lagen die meisten Antworten im Bereich unter 20 %, deshalb wurde dieser Bereich für die Umfrage weiter untergliedert:

Wie hoch dürfte die Preissteigerung eines Kunststoffprodukts mit Rezyklatanteil (> 90 %) gegenüber einem herkömmlichen Kunststoffprodukt sein, sodass Sie es zum Kauf in Betracht ziehen würden?



Abbildung 4-17: Indikator Preissteigerung

Da für den Indikator „Material“ Verpackungen aus Kunststoff als nicht sehr nachhaltig empfunden wurden (37), ist es sinnvoll zu überprüfen, ob diese Einstellung grundlegend im Material begründet ist oder in der Anwendung. Verpackungen nehmen eine Art Sonderstellung unter den Kunststoffprodukten ein, aufgrund der häufigen Nennung in den Medien und weil sie schnelllebigere Produkte sind. Deswegen wurde die empfundene Nachhaltigkeit von Materialien, die in Alltagsprodukten eingesetzt werden, unabhängig von der Anwendung untersucht. Die Teilnehmer wurden gebeten, die Materialien nach empfundener Nachhaltigkeit zu ordnen:

Welche Materialien empfinden Sie als besonders nachhaltig?



Abbildung 4-18: Indikator Material

Hypothese 4:

Da sich Rezyklate gegenüber Neuware u.a. in den Bereichen Geruch, Optik und Haptik unterscheiden können, wurde überprüft, ob die Kaufintention ausgewählter Produkte mit der unterschiedlichen Wertigkeit variiert. Unter der Annahme, dass die Wertigkeit die Kaufentscheidung beeinflusst, wurde folgende Hypothese formuliert:

Hypothese 4: „Je höher die Wertigkeit eines Produkts ist, desto seltener entscheiden sich Käufer für Kunststoffprodukte aus Rezyklat.“

Hypothese 4 enthält die Variablen Wertigkeit und Kaufintention. Die Kaufintention wurde mit den Indikatoren „Haptik“ und „Optik“, sowie dem „Geruch“ erhoben. Hierfür wurden die Teilnehmer zu einer bestimmten Produktauswahl gefragt, ob sie sich vorstellen könnten, diese trotz Einschränkungen zu kaufen:

Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Bei genauerer Betrachtung stellen Sie **Schlieren auf der Oberfläche** fest. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Bei genauerer Betrachtung stellen Sie einen **unangenehmen Geruch** fest. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Als Sie es **anfassen**, nehmen Sie eine **veränderte Haptik** wahr. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

Würde ich auf jeden Fall kaufen

Würde ich eher kaufen

Würde ich vielleicht kaufen

Würde ich eher nicht kaufen

Würde ich auf keinen Fall kaufen

weiß nicht / keine Angabe

Abbildung 4-19: Indikator Haptik, Optik und Geruch

Die Variable Wertigkeit wurde im Rahmen einer kleineren Vorstudie als empfundene Wertigkeit ausgewählter Produkte erfragt. Da sich, neben den mechanischen Eigenschaften, vor allem Geruch, Optik und Haptik durch den Einsatz von Rezyklaten in Kunststoffprodukten verändern können, ist es sinnvoll die Wertigkeit anhand dieser Faktoren zu bestimmen (2). Für den Geruch wurde nach Einsatzort (Innen- oder Außenbereich) unterschieden. Zur Bestimmung der empfundenen Wertigkeit bezüglich Haptik und Optik wurde untersucht, wie wichtig das Aussehen der in Tabelle 4-6 dargestellten Produkte ist und wie häufig Befragte damit in Berührung kommen. An der Vorstudie nahmen 16 Personen teil. Die Ergebnisse aus MS Forms sowie dessen Übertragung in Zahlwerte befinden sich im Anhang unter Abschnitt 9.3.

4.4.3. Ergebnisse der Akzeptanz-Umfrage

Aufgrund der in den letzten Jahren stark veränderten Einstellung des Endverbrauchers zum Thema Nachhaltigkeit wurde angenommen, dass sich diese auch auf den Rezyklateinsatz erstreckt. Um dies zu belegen und die Unsicherheiten auf Seiten der Produkthersteller zu minimieren, wurde eine Akzeptanzbewertung für Kunststoffprodukte aus recyceltem Material durchgeführt. Nachfolgend werden die Ergebnisse aus der Akzeptanz-Umfrage im Hinblick auf die aufgestellten Hypothesen untersucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse der 158 Antworten auf die Umfrage dargestellt.

Hypothese 1

Hypothese 1 besagt, dass die Akzeptanz bei den unter 30-jährigen am höchsten ist. Die Akzeptanz wurde hierzu gegen das Alter in einer Kastengrafik aufgetragen (siehe Abbildung 4-20):

Hypothese 1: „Die Akzeptanz ist bei den unter 30-jährigen am größten.“

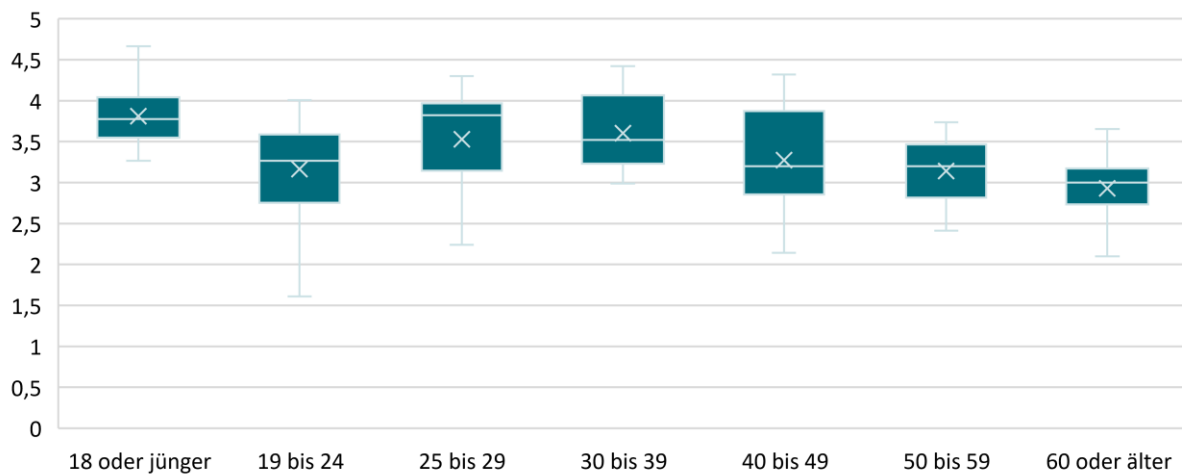


Abbildung 4-20: Ergebnisse zur Hypothese 1

Die arithmetischen Mittelwerte je Altersgruppe sind als Kreuz, die Medianwerte als Strich innerhalb des Balkens dargestellt. Der Balken beschreibt den Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Die Minimal- und Maximalwerte der Gesamtakzeptanz je Kastengrafik sind durch Striche außerhalb der Balken dargestellt. Es wurde aus allen Altersgruppen ausreichende Teilnehmerzahlen erreicht (genauere Informationen befinden sich im Anhang unter Abbildung 9-10). Hier gilt es zu beachten, dass ein Viertel der Teilnehmer der Altersgruppe „19 bis 24“ angehört.

Wird die Gruppe „18 oder jünger“ vernachlässigt, ergibt sich eine Normalverteilung mit einem Maximum in der Gruppe „25 bis 29“. Vergleicht man hingegen die arithmetischen Mittelwerte, liegt das Maximum in der Gruppe „30 bis 39“. Wird die Gruppe „18 oder jünger“ miteinbezogen, wird klar, dass es keine lineare Beziehung zwischen Alter und Akzeptanz gibt.

Bei einem Vergleich der Mittelwerte ist die Akzeptanz in der Gruppe „18 oder jünger“ am größten. Dieses Ergebnis kann mit der generellen Sensibilisierung der jüngeren Generation, ähnlich wie bei Themen des Klimaschutzes, z. B. durch die Bewegung „Fridays for Future“, in Zusammenhang gebracht werden.

Die Ergebnisse können Hypothese 1 nicht eindeutig belegen. Insbesondere die geringe Akzeptanz der Gruppe der 19 bis 24-Jährigen im Vergleich zur Gruppe der 30 bis 39-Jährigen steht dem entgegen. Für eine weitergehende Untersuchung ist es sinnvoll, eine größere Stichprobe zu wählen und die Akzeptanz durch weitere Indikatoren zu ermitteln.

Hypothese 2

Laut Hypothese 2, ist die Akzeptanz höher, wenn die Informiertheit höher ist. Die Informiertheit wird aus den Fragen 1, 3, 4, 5, 6, 18, 19 und 20 ermittelt (siehe Abschnitt 9.3.2). Vor der Auswertung mussten die Daten bereinigt und aufbereitet werden. Im Zuge der Aufbereitung wurden die Daten kodiert, d. h. es wurden ihnen Zahlen zugeordnet. Dies ist notwendig, um statistische Verfahren anwenden zu können (38). Für die Fragen 4 und 19 musste aufgrund der Antwortkategorien eine gesonderte Kodierung vorgenommen werden. Aus Frage 4 wurde aus der Art der Informationsbeschaffung die Qualität und die Menge der beschafften Informationen ermittelt. Die Menge wird aus der Anzahl der Nennungen bestimmt. Für die Qualität der Medien wurde eine Reihenfolge festgelegt, die auf Sachlichkeit und der Schwierigkeit, in diesem Medium zu veröffentlichen, basiert. „Fachzeitschriften“ werden mit einer fünf kodiert. Es folgen „Tageszeitungen“, „Nachrichten“, „YouTube, Podcast“ und „Social Media“ in absteigender Reihenfolge. Bei Frage 19 wird „Hochschul- oder Universitätsabschluss“ als höchster Abschluss angesehen. Es folgen „Fachhochschulabschluss oder Ingenieurschulabschluss“, „Gewerbeschule, Fachschule mit Abschluss, Meisterbrief“, „Lehre mit Abschluss: Gehilfen-, Gesellen-, Facharbeiter-brief“ und „In Ausbildung

(Schüler, Auszubildender oder Student)“ in absteigender Reihenfolge. Eine „Lehre ohne Abschluss“ und „Andere Art der Berufsausbildung“ fließen nicht in die Bewertung ein. Da eine Mehrfachnennung möglich war, wird die jeweils höchste Berufsausbildung zur Berechnung der Informiertheit gewählt. Zur Berechnung der Informiertheit wird der Mittelwert aus den Indikatoren gebildet.

Hypothese 2: „Je informierter eine Person ist, desto höher ist die Akzeptanz.“

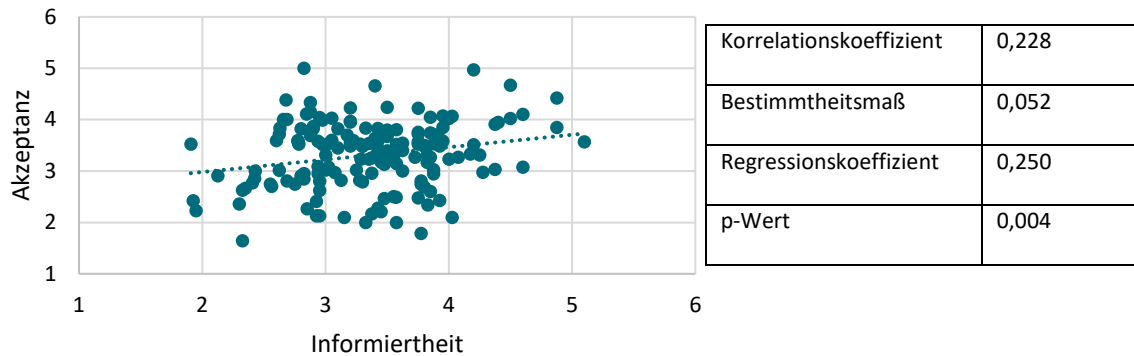


Abbildung 4-21: Ergebnisse zur Hypothese 2

In Abbildung 4-21 sind die Akzeptanz und die Informiertheit der Teilnehmer gegeneinander aufgetragen. Es zeigt sich, dass mit zunehmender Informiertheit auch die Akzeptanz steigt. Eine Betrachtung des Korrelations- und Regressionskoeffizienten liefert das gleiche Ergebnis. Da der p-Wert unter 0,05 liegt, kann der Zusammenhang zwischen Informiertheit und Akzeptanz als signifikant eingestuft werden. Allerdings kann aufgrund des Bestimmtheitsmaßes nur ein Anteil von 5 % der Variation der Akzeptanz durch die Unterschiede in der Informiertheit beschrieben werden ($R^2 = 0,05$). Um diese Hypothese stärker zu belegen, wäre es sinnvoll die tatsächliche Informiertheit zu erfragen. Hierfür bieten sich Wahr/Falsch-Fragen an. Dies hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit überstiegen.

Hypothese 3

Die in Hypothese 3 enthaltenen Variablen sind der „nachhaltige Lebensstil“ und die „Einstellungsakzeptanz“. Zur Messung der Akzeptanz wurden die in Abschnitt 4.4.2 unter Hypothese 3 beschriebenen Indikatoren verwendet. Der nachhaltige Lebensstil enthält als Indikator das „Interesse“ (welcher bereits mit Frage 1 abgedeckt wurde), „Umweltbewusstsein“ und „Ernährung“. Zur Untersuchung der Einstellungsakzeptanz wurde die Kaufbereitschaft von Verbrauchenden untersucht. Darüber hinaus wurde angenommen, dass sich eine erhöhte Kaufbereitschaft darin äußert, dass eine „Preissteigerung“ akzeptiert und das Material als nachhaltig empfunden wird, wobei die Preissteigerung betreffend eine weitere Untersuchung hinsichtlich des Einkommens durchgeführt werden müsste. Dies überschritt allerdings den Umfang dieser Arbeit. Die in der Umfrage ausgearbeiteten Fragen 8 bis 16 beziehen sich auf die Einstellungsakzeptanz.

Hypothese 3: „Personen, die einen nachhaltigen Lebensstil führen, sind eher bereit ein Kunststoffprodukt aus Rezyklat zu kaufen.“

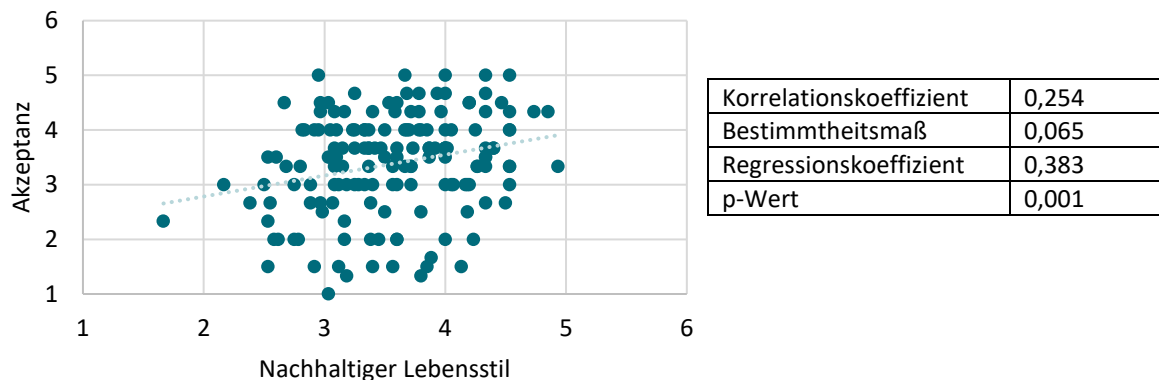


Abbildung 4-22: Ergebnisse zu Hypothese 3

In Abbildung 4-22 sind die Einstellungsakzeptanz und der nachhaltige Lebensstil gegeneinander aufgetragen. Es zeigt sich, dass mit zunehmendem nachhaltigem Lebensstil auch die Einstellungsakzeptanz zunimmt. Eine Betrachtung der Korrelation liefert das gleiche Ergebnis. Da der p-Wert unter 0,05 liegt, ist der Zusammenhang zwischen nachhaltigem Lebensstil auf die Einstellungsakzeptanz als signifikant zu bewerten. Allerdings können durch die Unterschiede im nachhaltigen Lebensstil nur ca. 6 % der Variation der Einstellungsakzeptanz erklärt werden. Auch im Falle der dritten Hypothese ist es sinnvoll, diese im Rahmen einer erneuten Studie zu testen. Es bietet sich an, speziell für die Einstellungsakzeptanz weitere Indikatoren zu erarbeiten, da eine enorme Streuung der Ergebnisse vorliegt.

Hypothese 4

Die Kaufintention der einzelnen Produkte wird bestimmt als Mittelwert der Kaufintention der Teilnehmer zu diesem Produkt. In Abbildung 4-25 sind die Kaufintention der Teilnehmer und die empfundene Wertigkeit der Produkte aufgetragen. Die Produkte wurden absteigend nach der Differenz von Kaufintention und Wertigkeit geordnet. Es wird nach Geruch, Optik, und Haptik unterschieden und nach Wert 5 (würde ich auf jeden Fall kaufen) bis Wert 0 (würde ich auf keinen Fall kaufen) ausgewertet.

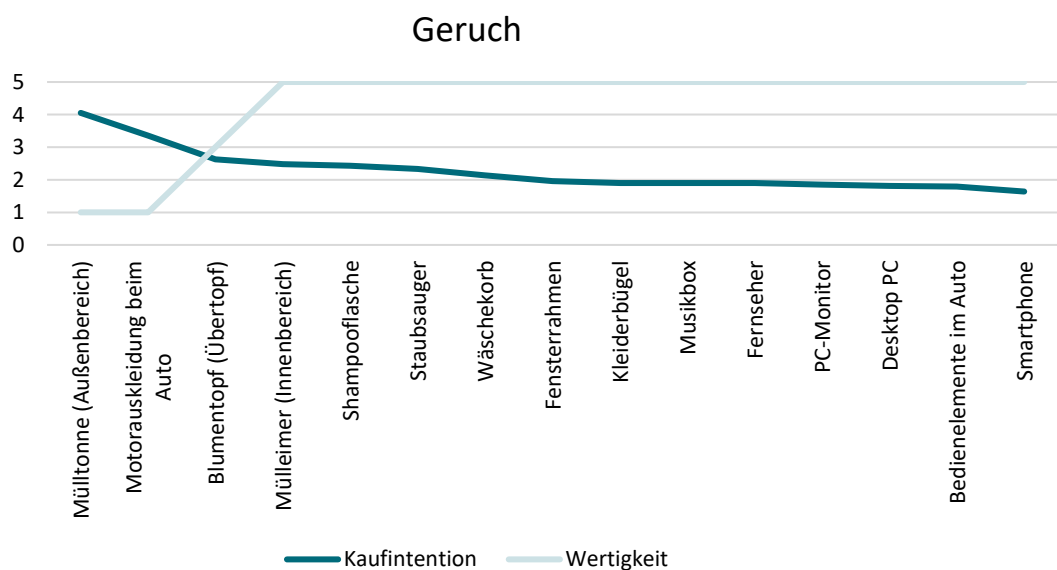


Abbildung 4-23: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufabsicht bei Geruchsverschlechterung durch Rezyklateinsatz

Für alle drei Faktoren gilt, dass mit steigendem Wert auch die Kaufabsicht sinkt. Beim Geruch (vgl. Abbildung 4-23) ist dieser Trend besonders stark ausgeprägt. Knapp die Hälfte der Produkte liegt unter dem Wert 2, was der Antwort „würde ich eher nicht kaufen“ entspricht.

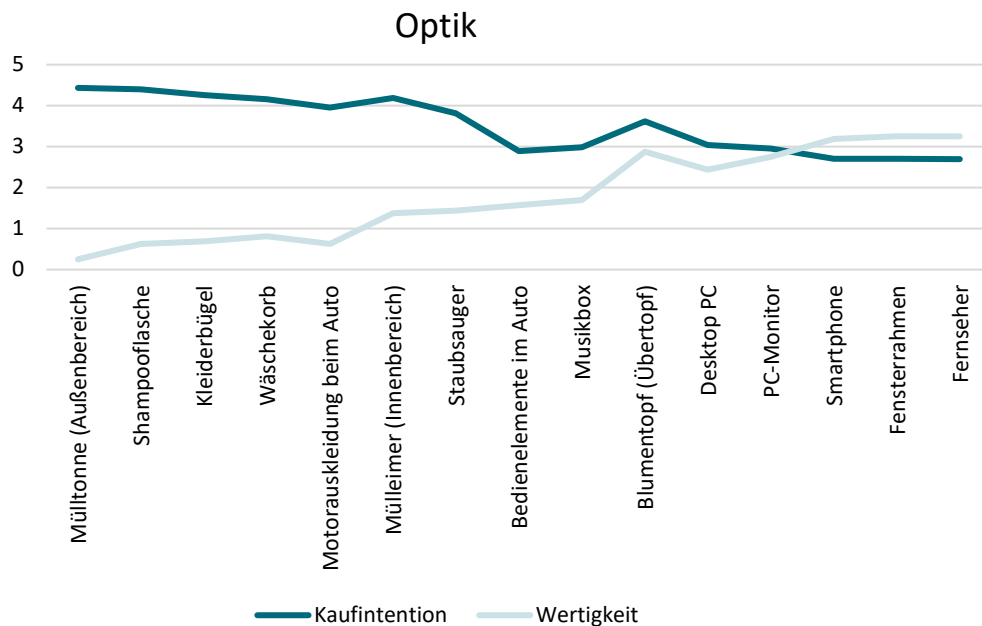


Abbildung 4-24: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufintention bei Verschlechterung der Optik durch Rezyklateinsatz

Auch die Optik (vgl. Abbildung 4-24) folgt diesem Trend, wobei es Fälle gibt, bei denen trotz steigender Wertigkeit auch die Kaufintention zunimmt.

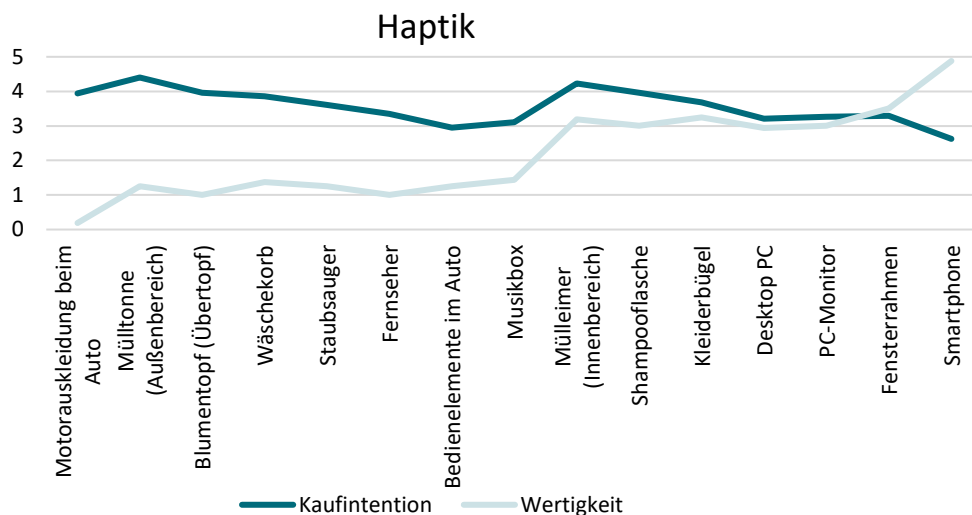


Abbildung 4-25: Wertigkeit der ausgewählten Produkte und Auswirkungen auf die Kaufintention Verschlechterung der Haptik durch Rezyklateinsatz

Ähnliches gilt für die Haptik (vgl. Abbildung 4-25). Im Zuge der Akzeptanz-Umfrage wurde der Einfluss von Inhomogenitäten im Produkt mit der Haptik dieser Produkte untersucht. Es wurden Fragen formuliert, die es ermöglichen zu beurteilen, inwiefern sich Veränderungen in der Haptik auf die Kaufentscheidung von Endverbrauchern auswirken. Wie in Abbildung 4-25 zu erkennen ist, liegt die empfundene Wertigkeit bezogen auf die Haptik für beispielsweise Produkte aus der Automobilindustrie wie „Bedienelemente im Auto“ bei dem Faktor 1,2 während „Motorauskleidungen“ mit 0,2 bewertet wurden. Dies entspricht der Bewertung „gar nicht“ für Faktor 0 bis „ein wenig wichtig“ für Faktor 1. Bei den meisten Beispielprodukten aus Abbildung 4-25 liegt die Wertigkeit deutlich unterhalb der Kaufintention. Eine Ausnahme stellen Kunststoffprodukte dar, die

von Endverbrauchern regelmäßig verwendet werden und häufig in Berührung stehen. In diesem Fall sinkt die Kaufintention, wenn die Wertigkeit im Bereich der Haptik steigt.

Die Gesamtkaufintention wurde als Mittelwert der Kaufintention zu den ausgewählten Produkten unter den Gesichtspunkten Optik, Geruch und Haptik berechnet. Da sich bereits bei den einzelnen Aspekten gezeigt hat, dass die Kaufabsicht mit steigendem Wert abnimmt, zeigt sich dieses Bild auch beim Vergleich der Gesamtkaufabsicht mit dem Gesamtwert. (siehe Abbildung 4-26).

Hypothese 4: „Je höher die Wertigkeit eines Produkts ist, desto seltener entscheiden sich Käufer für Kunststoffprodukte aus Rezyklat.“

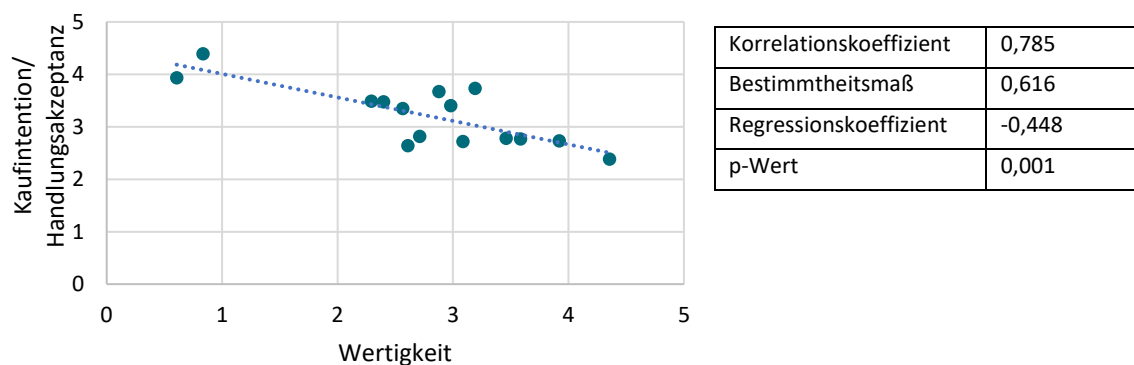


Abbildung 4-26 Ergebnisse zu Hypothese 4

Abbildung 4-26 zeigt, dass Hypothese 4 bestätigt werden kann. Der hohe Korrelations- und Regressionskoeffizient deuten auf einen starken linearen Zusammenhang hin. Der p-Wert liegt erneut unter 0,05, der Einfluss ist also signifikant. Durch die Unterschiede in der Wertigkeit können über 60 % der Variation der Kaufentscheidung erklärt werden. Zur weiteren Vertiefung wäre eine Analyse zielführend, bei der die empfundene Wertigkeit und die Kaufintention von allen Teilnehmern untersucht wird. Außerdem können in weiterführenden Studien zusätzliche Produkte ausgewählt werden, um ein breiteres Produktspektrum abzudecken.

4.4.4. Fazit

Mit der vorliegenden Akzeptanz-Umfrage wurde gezeigt, dass es zwar einen Zusammenhang zwischen den Variablen Informiertheit und nachhaltigem Lebensstil und der Akzeptanz gibt, diese Variablen aber den Einfluss auf die Akzeptanz nicht ausreichend erklären. Hierfür sind verschiedene Ursachen vorstellbar. Es ist möglich, dass die gewählten Indikatoren die Variablen ungenügend beschreiben oder, dass zu wenig Indikatoren ausgewählt wurden. In einer weiterführenden Studie sollten besonders für die Einstellungsakzeptanz weitere Indikatoren entworfen werden.

Die Informiertheit betreffend wurde bereits angemerkt, dass für eine höhere Aussagekraft die tatsächliche Informiertheit in einer weiterführenden Studie untersucht werden sollte. Um diese zu erhalten, bietet sich ein Fragebogen auf Basis von Aussagen an, die von den Teilnehmenden mit wahr oder falsch bewertet werden müssen. Des Weiteren sollte bei einer Wiederholung auf einen überregionalen Fragebogen gesetzt werden, um mögliche Unterschiede zwischen Regionen zu ermitteln.

Hypothese 4: „Je höher die Wertigkeit eines Produkts ist, desto seltener entscheiden sich Käufer für Kunststoffprodukte aus Rezyklat“ konnte bestätigt werden. Es wurde deutlich, dass die empfundene Wertigkeit eines Produkts einen großen Einfluss auf die Kaufentscheidung hat, falls durch Rezyklateinsatz die Qualität des Produkts abnimmt. Eine Änderung oder das Auftreten eines unangenehmen Geruchs wirkt sich am negativsten auf die Kaufentscheidung aus. In Abschnitt 4.1 wurde beschrieben, dass es bereits Verfahren zur Geruchsminderung gibt, dieser allerdings noch nicht vollständig entfernt werden kann.

Es hat sich gezeigt, dass es große Unterschiede zwischen den Produkten gibt, die sich v. a. durch den Einsatzort, die Sichtbarkeit und die Interaktionshäufigkeit begründen lassen. So wurde im Zuge der Wertigkeitsanalyse gezeigt, dass das Smartphone als hochwertigstes Produkt empfunden wird. Es folgen der Fensterrahmen und PC-Monitor. Die geringste Wertigkeit wiesen die Mülltonne und die Motorverkleidung im Auto auf. Genauere Informationen zur Auswertung einzelner Wertigkeiten der untersuchten Produkte finden sich im Anhang unter Abschnitt 9.3 in Tabelle 9-1. In einer aufbauenden Studie könnten weitere Produktbeispiele erarbeitet und in Produktkategorien eingeteilt werden, um Unterschiede auf Basis der Produktkategorien aufzuzeigen.

Eine Untersuchung des Zusammenhangs der Indikatoren auf die Akzeptanz ergab, dass das entwickelte Modell nicht ausreicht, um die Akzeptanz zu beschreiben. Zwischen „Interesse“, „Häufigkeit“ der Informationsbeschaffung und „Ernährung“ besteht ein signifikanter Zusammenhang zur Akzeptanz. Allerdings ist der Zusammenhang bei den Indikatoren „Häufigkeit“ und „Ernährung“ relativ gering. Dies zeigt erneut, dass in einer weiterführenden Studie weitere Indikatoren erarbeitet, werden sollten, um ein vollständigeres Bild der Akzeptanz zu erhalten.

Die vorliegende Studie liefert eine Momentaufnahme der Akzeptanz in der Gesellschaft. Mit einer weiterführenden Studie könnten sowohl die Veränderung der Akzeptanz über einen Zeitraum untersucht werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse des Fragebogens der Industrie klare Signale geben. 93 % der Befragten wünschten sich eine transparentere Kommunikation zwischen Industrie und Verbrauchern, weitere 84 % forderten eine deutlichere Kennzeichnung von Kunststoffprodukten aus Rezyklat. Bei den Fragen zu Konsumverhalten zeigte sich, dass eine nicht unerhebliche Unsicherheit vorliegt, die es durch gezielte Aufklärung und Information zu beseitigen gilt. Hierzu sollten in einer weiterführenden Studie Konzepte entwickelt werden. Als größte Herausforderung scheint die Information von Personen, die nicht informiert sind und sich nicht aktiv informieren. Grundsätzlich zeigte sich im Zuge dieser Umfrage der Trend, dass Käufer und Käuferinnen sich seltener für Kunststoffprodukte aus Rezyklat entscheiden, je höher die empfundene Wertigkeit eines Produkts ist.

4.5. Einsatzhindernisse von Sekundärkunststoffen und Bewertung der Einsatzpotenziale

Parallel zur Umfrage zur Einordnung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Rezyklaten in Kunststoffprodukten (siehe Abschnitt 4.4) wurde eine weitere Umfrage mit Kunststoff- und Produktexperten durchgeführt. Ziel war die Analyse von Einsatzhindernissen von Sekundärkunststoffen sowie deren Einsatzpotenzial in bestimmten Produktbereichen. Um die Einsatzpotenzial nach ihrer Umsetzbarkeit zu bewerten, fand parallel zu den Interviews auch eine Relevanzanordnung der beschriebenen Kunststoffanforderungen statt (M2).

Die Ergebnisse aus den in der Studie durchgeführten Umfragen und Experten-Interviews wurden zusammengetragen und thematisch eingeordnet. Zusätzlich zu weiteren Erkenntnissen aus dem Normenbereich konnten so auch Erkenntnisse aus der Praxis zusammengetragen werden.

Im Folgenden werden Einsatzhindernisse und -potenziale von Rezyklaten in bestimmten Produktbereichen und Branchen beschrieben. Diese wurden anhand von Befragungen und Interviews mit Personen aus der Recyclingbranche, der Kunststoffverarbeitung und von Produktherstellern ermittelt. Grundlegend konnten mehrere allgemeine Hürden identifiziert werden, die ein Einsetzen von Rezyklaten und anderen Sekundärkunststoffen in Produktbereichen erschweren. Am häufigsten wurden folgende Hindernisse genannt:

- Mangelndes Vertrauen in Qualität der Rezyklate
- Höherer Aufwand durch häufigere Durchführung von Qualitätsprüfungen
- Optische Qualitätsanforderungen im Vergleich zu Neeware-Produkten

- Kontinuierliche Verfügbarkeit von Rezyklaten in entsprechender Menge
- Risikobereitschaft des Produktherstellers ist gering

Sekundärkunststoffe unterliegen im Bereich der Anwendung in den meisten Fällen denselben Anforderungen wie Neuware-Kunststoffe. Dies ist jedoch aufgrund der Materialherkunft und der unterschiedlichen Materialverarbeitung laut Recyclingunternehmen keine optimale Herangehensweise. Für Rezyklate und weitere Sekundärkunststoffe müssten angepasste Anforderungen gelten und explizite Anwendungsbereiche beschrieben werden. Besonders im Automobilbereich werden Bauteilsicherheiten berücksichtigt, die häufig zu einem „Overdesign“ der Bauteile führen. Laut eines Interview-Partners aus der kunststoffverarbeitenden Industrie (Herstellung von Kunststoffbauteilen für die Automotive-Anwendung), wäre die Produktfunktionalität auch mit geringeren Anforderungen erfüllt. So könnten Spielräume bei gewissen mechanischen Eigenschaften (wie z. B. die Akzeptanz von einer um 20 % geringeren Zugfestigkeit) bei nicht-sicherheitsrelevanten Bauteile den Einsatz von Rezyklaten fördern.

Im Zuge der ersten externen Umfrage zum Thema „Identifikation und Beurteilung bestehender herstellereinspezifischer Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten“ wurde der aktuelle Einsatz von Sekundärkunststoffen der an der Umfrage beteiligten Unternehmen untersucht, Hindernisse erfragt und Potenziale bewertet. Unterschieden wurde in der Umfrage nach „Post-Industrial Rezyklat“, Post-Consumer-Rezyklat aus dem Food-Bereich“ und „Post-Consumer-Rezyklat aus dem Non-Food-Bereich“. An der Umfrage teilgenommen, haben besonders Unternehmen aus der kunststoffverarbeitenden Industrie und Produkthersteller. So wurden beispielsweise Unternehmen aus dem Bereich des Formen- und Werkzeugbaus für Automobil und Kosmetikindustrie und der Medizintechnik, der Herstellung hochwertiger Spritzgussbauteile, Rohrhersteller, Fensterhersteller und Hersteller von Verpackungen befragt. Die Umfrage fokussierte auf die aktuell verwendete Rezyklatmenge von Unternehmen und dessen Einschätzungen über die Notwendigkeit beschriebener Kunststoff-/Produktanforderungen bzw. dem Einsatzpotenzial von Rezyklaten in diesen Bereichen. Die Erkenntnisse und Experteneinschätzungen aus der Umfrage sind in Tabelle 4-9 dargestellt. Es werden je Produktbereich sowohl erarbeitete Hindernisse (M1) als auch Einsatzpotenziale für Rezyklate gegenübergestellt. Dies umfasst somit eine anwendungsspezifische Ausweisung noch nicht berücksichtigter Rezyklateinsatzpotenziale (M4). Eine Zeile in der Tabelle entspricht dabei jeweils einer Experteneinschätzung.

Tabelle 4-9: Bewertung der Rezyklateinsatzpotenziale auf Produktebene durch Experteneinschätzungen aus der Kunststoffindustrie

Aktueller Rezyklateinsatz	Hindernisse für den Einsatz von Sekundärkunststoffen	Bewertung der Einsatzpotenziale von Rezyklaten
Abdeckkappen für die Schraubenindustrie und Möbelbeschläge		
25 % PI-Rezyklat (Post-Industrial)	Keine normenbezogenen Standards, jedoch kundenspezifische Anforderungen die den Rezyklateinsatz verhindern. Produktanforderungen: Saubere glänzende Oberfläche	Potenzial für künftigen Rezyklateinsatz wird als gering bis mittelmäßig geschätzt.
Rohre aus dem Bereich der Trinkwasserversorgung		
Es wird kein Rezyklat verwendet.	Es gibt allgemeine Normen , die den Einsatz von Sekundärkunststoffen beschränken. Beschränkungsgründe sind vor allem Hygieneaspekte und die Langzeitfestigkeit (50+ Jahre)	Neuware zur Erfüllung der Funktionalität von Rohren und Fittings für industrielle Anwendungen wird als „ wenig notwendig “ eingeschätzt (Bezug zu EN ISO 15494)(19).
Produkt 1: PE-Fittings für Gas- und Wasserrohrleitungen		

Produkt 2: Sanitärarmaturen¹ Produkte 3: PE-Fittings für drucklos betriebene Abwasserrohrleitungen Produkt 4: Weitere Geräte¹		
Es wird kein Rezyklat verwendet	Kundenspezifikation fordern, dass ausschließlich Neumaterial eingesetzt wird. Beschränkungsgründe: <ul style="list-style-type: none"> - Hygieneanforderungen - Dauerhafte Innendruckbelastbarkeit (> 50 Jahre) - Systemische Vorgaben (PE-Klassifizierung, SDR) 	Das Rezyklateinsatz-Potenzial wird für alle 4 Produktgruppen als sehr hoch eingeschätzt.
1. Formstücke für PE-Druckrohrleitungen 2. Formstücke für drucklos betriebene PE-Rohrleitungen (Abwasser), Dachentwässerung, Kabelschutzrohre		
Es wird kein PCR-Rezyklat verwendet. Produkt 2 enthält jedoch PIR .	Einsatzbeschränkungen liegen in den hohen Anforderungen an die Werkstoffe im Hinblick auf ihren Einsatz in Gas- und Trinkwasserrohren mit einer erwarteten Nutzungsdauer > 100 Jahre Es gibt eine Reihe von Kunden-Spezifikationen , die ausdrücklich den Einsatz von Neumaterial fordern . Damit ist auch die Verwendung von internem Umlaufmaterial nicht zulässig.	Neuware ist für Produkt 1 notwendig und für Produkt 2 wenig notwendig . Künftig gibt es Einsatzquoten . Kein Rezyklat-Einsatzpotenzial für Produkt 1 , aber mittelmäßiges Potenzial für Produkt 2 .
Rohrsysteme mit PUR-Dämmung für die Nutzung der Fernwärme		
Es wird ca. 10 % Regenerat, aber nur recyceltes Eigenmaterial verwendet	Es darf nur wiederaufbereitetes Material aus eigener Produktion verwendet werden. Rezyklat aus externen Quellen ist nicht zulässig [Bezug auf EN 253].	Neuware-Kunststoff ist für die Erfüllung der Funktionalität gar nicht notwendig . Das Potenzial für den Rezyklateinsatz wird als sehr hoch eingeschätzt.
1. Rohre für den Heizungs- & Sanitärbereich 2. Rohre Automotive-Anwendungen 3. Kabelschutz für Heizung & Sanitär 4. Kontrollierte Wohnraumlüftung 5. Elektrokabelschutzrohre		
Für Produkt 2, 3 und 5 wird PIR Rezyklat verwendet.	Es gibt normenbezogene Beschränkungen Beschränkungsgründe: <ul style="list-style-type: none"> Mechanik, Trinkwasserverordnung Es gibt keine werkspezifischen Standards , die den Rezyklateinsatz verhindern Anforderungen die nicht mit Rezyklat erfüllt werden können:	Einschätzung für das Rezyklat-Einsatzpotenzial: Produkt 1 hohes Potenzial Produkt 2 mittelmäßiges Potenzial Produkt 3 hohes Potenzial Produkt 4 geringes Potenzial Produkt 5 hohes Potenzial

¹ Die Antwort wurde anonym abgegeben und nicht genauer spezifiziert.

	Verarbeitbarkeit (Viskosität); Sortenreinheit, Farbe	
Teile für Elektrogeräte¹		
40 % PIR-Einsatz	Anforderungen aus der Praxis: mechanische Stabilität der Produkte	Neuware ist für die Erfüllung der Funktionalität für Elektrogeräte wichtig (mittelmäßiges Potenzial für Rezyklateinsatz).
Primärpackmittel und Verabreichungssysteme für Pharmaka und Diagnostik		
eigenes Regenerat wird je nach Produkt bis zu 30 % verwendet. Kein externes Rezyklat.	Beschränkung durch: Mangel an Chargenrückverfolgbarkeit; Es gibt keine allgemeinen Normen , die den Einsatz von Sekundärstoffen beschränken. Es gibt keine werksspezifischen Standards , die den Einsatz von Sekundärstoffen beschränken.	Zur Erfüllung der Funktionalität wird Virgin-Kunststoff als notwendig angesehen.
PVC-Fensterprofile		
Es werden je nach Geometrie und Werkzeug zw. 30 und 60 % Rezyklat (PIR) eingesetzt.	Es gibt allgemeinen Normen , die den Einsatz von Sekundärstoffen beschränken [Bezug auf DIN 12608-1]. Beschränkungsgründe: Rheologisches Verhalten des Materials im Extrusionsprozess, UV-Stabilität und mechanische Eigenschaften des Profils	Zusätzliches Einsatzpotenzial für Rezyklate wird als „sehr hoch“ bis „gar nicht“ eingeschätzt.
Basismaterialien für die weitere Verwendung in		
1. Teppichböden 2. Automotive 3. Verpackungsmaterialien		
Abhängig von Produkteigenschaften wird bis zu 20 % PIR Rezyklat eingesetzt (in Produkt 1 und 2) und in Produkt 3 wird kein Rezyklat verwendet.	Es gibt keine allgemeinen Normen , die den Einsatz von Sekundärstoffen beschränken Einsatzbeschränkungen: mechanische Eigenschaften und Viskositätsanforderungen	Potenzial für Produkt 1 bis 2 wird als mittelmäßig eingeschätzt, Produkt 3 hat hohes Potenzial für Rezyklateinsatz.
Halbzeuge für die Anwendung in		
1. Automotive 2. Industrie 3. Consumer-Bereich 4. Medizin		
Rezyklateinsatz ist kundenabhängig und kann bis zu 50 % betragen. Für Produkt 1 und 2 wird PIR verwendet für Produkt 3 wird PCR eingesetzt. Produkt 4 kein Rezyklat.	Es gibt keine allgemeinen Normen und Werksstandards , die den Einsatz von Sekundärstoffen beschränken. Beschränkungen sind nicht eindeutig bekannt, jedoch im Consumer-Bereich: z.B. für Food-Contact- Anwendungen wird häufig nach	Für die Erfüllung der Funktionalität ist Virgin Kunststoff für alle Produkte gar nicht notwendig . Das Potenzial für Produkt 1 und 2 wird als sehr hoch eingeschätzt, für 3 mittelmäßig und für 4 gering .

	EU10/2011 sowie FDA-Konformität gefragt.	
Medizinprodukte für die folgenden drei Anwendungsfelder: 1. MD - Medical devices 2. IVD - In vitro Diagnostics 3. LS - Life Science		
Rezyklateinsatz (PCR) für 1., 2. und 3. sehr gering. „Es gibt jedoch viele Projekte für diverse Produkte (haben über 1000 Kunststoffprodukte) um diese nachhaltiger zu gestalten. Dort wurden bei ein paar wenigen auf Rezyklat umgestellt.“	Beschränkungsgründe: Produkt 1 und 2: bei Kontakt mit menschlichem Körper oder Proben von Menschen (Blut, Haare, usw.) darf keine Kontamination der Proben passieren, auch wenn die Proben über einen längeren Zeitraum gelagert werden. „ Grundsätzlich ist zu sagen, dass es auf die Anwendung ankommt. Bspw. manche Waste-Behälter könnten aus Rezyklaten hergestellt werden. <ul style="list-style-type: none"> - Lebensdauer des Produkts ist wichtiger Punkt. - Kontamination der Proben durch Migration durch den Kunststoff. - Neuware ist wichtig für die Erfüllung der Funktionalität der Produkte. Einsatzquoten müssen künftig erfüllt werden: Wir geben den Zulieferern zum Teil die Vorgabe , dass kein Rezyklat oder sogar keine Angüsse wieder verwendet werden dürfen.	Das Rezyklat-Einsatzpotenzial wird für Produkt 1 und 2 als mittelmäßig und für Produkt 3 als hoch eingeschätzt.

4.5.1. Diskussion der Erkenntnisse aus der Industrie-Umfrage

Die in der Tabelle 4-9 zusammengefassten Erkenntnisse aus der Industrie-Umfrage zeigen, dass sich die Experteneinschätzungen zu den Einsatzpotenzialen von Rezyklaten nicht immer mit den Anforderungen in den Normen oder Kundenspezifikationen decken. Im Rohrbereich beschreibt die Norm EN 253 (siehe auch Kapitel 4.3.1 Tabelle 4-2) „es darf nur wiederaufbereitetes Material aus eigener Produktion verwendet werden. Rezyklat aus externen Quellen ist nicht zulässig“ (40). Laut anonymer Experteneinschätzung ist der Einsatz von Neuware-Kunststoff im Bereich der Rohrsysteme für die Nutzung von Fernwärme, jedoch zur Sicherstellung der Funktionalität gar nicht notwendig und das Potenzial für den Rezyklateinsatz in diesem Bereich wird als sehr hoch eingeschätzt. Als maßgebliche Einschränkung des Rezyklateinsatzes wurde hier auf die Norm EN 253 verwiesen. Ein weiteres Beispiel aus der Industrie bezieht sich auf die Norm EN 15494 für Kunststoffrohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen (siehe auch Kapitel 4.3.1 Tabelle 4-2) (19). Hier wird der Einsatz von Sekundärkunststoffen auf die Verwendung von Umlaufmaterial beschränkt. Experten geben jedoch an, dass die Verwendung von Neuware-Kunststoffen zur Erfüllung

der Produktfunktionalität in diesen Bereichen wenig notwendig ist und das Einsatzpotenzial für Rezyklate als sehr hoch eingeschätzt wird. Im Bereich der Fenster, beschreibt die Norm EN 12608 eine Beschränkung des Einsatzes von Rezyklaten (23). Wie in Kapitel 4.3.4 nachgelesen werden kann, ist besonders die Sicherstellung der UV-Stabilität ein wichtiger Punkt in der Produkthanforderung. Befragte Experten schätzen das Einsatzpotenzial von Rezyklaten unterschiedlich ein. Mithilfe einer angepassten Additivierung könnten die Anforderungen in der Norm auch durch den Einsatz von Kunststoffrezyklate eingehalten werden [SKZ-Expertenbefragung, 2023]. Anonym befragte Produktspezialisten gehen davon aus, dass Post-Industrial-Rezyklate vermehrt Verwendung finden könnten. Klar ist jedoch, dass es im Branchenbereich „Kunststofffenster“ bereits etablierte Systeme gibt, die es ermöglichen, dass auch PCR-Rezyklate verwendet werden. Rewindo ist beispielsweise ein bundesweites Fenster-Rücknahme- und Aufbereitungssystem. Der geschlossene Produktkreislauf ermöglicht den Einsatz von Altfenstern in der Produktion, was somit den Rezyklateinsatz in der Branche erhöht. Dieses Beispiel zeigt, auch wenn Einsatzpotenziale für beispielsweise PC-Rezyklate in Produktbranchen als gering eingeschätzt werden, dennoch Möglichkeiten und Lösungen gefunden werden können, die das Einsetzen von Rezyklaten ermöglichen.

Des Weiteren ist in Tabelle 4-9 zu erkennen, dass besonders die Kundenspezifikationen und deren Anforderungen die Einsatzmenge von Rezyklaten bestimmen, vor allem in Bereichen, in denen keine normenbezogenen Vorgaben definiert sind. Kundenanforderungen unterliegen keinen Standards und werden auf unternehmensebene getroffen. Somit entstehen uneinheitliche Anforderungen an das Kunststoffmaterial. Diese Unregelmäßigkeit stellt ebenfalls ein Hemmnis für den Rezyklateinsatz dar. Recyclingunternehmen müssen so auf individuelle Kundenanforderungen eingehen und undurchsichtigen Standards entsprechen. So beschreiben anonym befragte Industrieakteure aus dem Produktbereich PE-Fittings für Rohrleitungen, dass kein Rezyklat aufgrund expliziter Kundenanforderungen verwendet wird, obwohl das Einsatzpotenzial von Rezyklaten als sehr hoch eingestuft wurde. Nach demselben Prinzip erfolgt die Argumentation im Bereich der Formstücke für druck- und drucklose Rohrleitungen. Der Einsatz von Neeware-Kunststoff wird durch eine Reihe von Kundenspezifikationen ausdrücklich gefordert, obwohl zumindest im Bereich der drucklosen Anwendung, Experten den Einsatz von Neeware als wenig notwendig einschätzen. Tatsächlich wurde auf künftige Rezyklateinsatzquoten in diesen Bereichen hingewiesen, was eine Überarbeitung von Kundenanforderungen erforderlich macht. Im Bereich der drucklosen Rohre hat sich der Einsatz von Sekundärkunststoffen in der Industrie teilweise etabliert. Verschiedene Rohrhersteller nutzen Sekundärkunststoffe in der Kernschicht der Rohre. Dennoch wurde im Zuge der Umfrage das Einsatzpotenzial von Rezyklaten im Bereich der Formstücke druckloser Rohrleitungen als mittelmäßig bewertet. Gleichzeitig könnte laut Experteneinschätzung der Einsatz von Sekundärkunststoffen in der Mittelschicht in Rohrsystemen bzw. eine Anpassung der Wandstärke sogar Rohrsysteme aus dem Druckbereich betreffen, da vor allem in die Mittelschicht die Faser des Rohrs nicht beansprucht wird. Die Diskrepanz zwischen den einzelnen Experteneinschätzungen und der zukünftig geforderten Rezyklatquote macht deutlich, wie wichtig es ist, die aktuellen Unsicherheiten in diesem Bereich durch weitere praxisorientierte Untersuchungen auszuräumen, da die Potenziale für den Einsatz von Sekundärkunststoffen grundsätzlich – auch mit der geforderten Rezyklatquote – gegeben sind und weiter ausgebaut werden müssen.

Darüber hinaus wird bei Vergleich der Experteneinschätzungen in Tabelle 4-9 deutlich, dass der Einsatz von Rezyklaten im selben Branchenbereich unterschiedlich bewertet werden kann. Ein Hersteller von Basismaterialien für den Automotive-Bereich bewertete das Einsatzpotenzial als mittelmäßig und die Verwendung von Neeware für die Erfüllung der Produktfunktion als notwendig, während ein anderer Hersteller von Halbzeugen für den Automotive-Bereich das Potenzial als sehr hoch einschätzt und die Verwendung von Neeware-Kunststoff für die Funktionalität der Produkte nicht notwendig sei. Beide

beziehen sich auf die geforderten Kundenspezifikationen. So beschreibt der Hersteller von Basismaterialien:

„Die Viskositäten und Fremdanteile im Rezyklat verhindern bei größeren Mengen der Zudosierung das Erreichen der Kundenspezifikation. Deshalb wird im Betrieb die Viskosität auf ein Maß ähnlich dem von Virgin-Material spezifiziert. Um Rezyklate einsetzen zu können muss im Vergleich zum Virgin-Material eine gleichbleibende Viskosität und der gleiche Schmelzpunkt sichergestellt, bzw. keine Fremdpolymerbestandteile vorhanden sein.“

Hierbei sollte in einer praxisorientierten Forschungsstudie mit ausgewählten Industriepartnern aus der Automobilbranche erprobt werden, bis zu welcher Menge, Rezyklate hinzudosiert werden können damit diese die geforderten Kunststoffspezifikationen erfüllen und welche Sekundärkunststoffe aus welchen Produktbranchen für den Einsatz im Automobil in Frage kommen.

Die unterschiedliche Bewertung der Einsatzpotenziale der Hersteller könnte außerdem auf die verschiedenen Anforderungen im Bereich der Innen- und Außenanwendung sowie sicherheitsrelevanter und nicht-sicherheitsrelevanter Bauteile im Automotivbereich zurückzuführen sein. So berichten gleich mehrere interviewte Kunststoffrecycler und Bauteilhersteller von überzogenen Anforderungen in der Automobilbranche. Neben den technischen Daten und Sicherheitsdatenblättern müssen Rezyklate mehrere Zertifikate aufweisen, die explizit auf die Automobilindustrie zugeschnitten wurden. In vielen Fällen haben die darin beschriebenen Anforderungen nichts mit der Funktion der Produkte zu tun. Kunststoffe für den Innenbereich unterliegen grundsätzlich höheren Anforderungen als Kunststoffe, die im Außenbereich eingesetzt werden. Im Innenraum werden Rezyklate aufgrund möglicher Geruchsemissionen nicht akzeptiert, während im Außenbereich eingesetzte Materialien eine bestimmte UV-Stabilität aufweisen müssen. Für den Einsatz von Rezyklaten gilt es, das Anforderungsprofil zu überarbeiten. Rezyklate sollten aufgrund ihres Ursprungs nicht 1:1 mit Neuware verglichen werden. Es wurde berichtet, dass die Farbqualität selbst bei nicht sichtbaren Bauteilen zu hoch angesetzt ist. Allein im Bereich der Schwarztöne sind mehr als 50 Schattierungen vorhanden, die mit Rezyklaten aufgrund ihrer Heterogenität im Einzelnen nicht erfüllt werden können. Folglich entsteht hier eine Nutzungshürde von Rezyklaten aufgrund von Farbanforderungen, die nichts mit der Produktfunktionalität gemein hat. Im Zuge der durchgeführten Interviews gaben befragte Recyclingunternehmen bekannt, dass grundsätzlich Rezyklate sowohl für den Einsatz im Innen- als auch im Außenbereich verwendet werden könnten. Hierbei müssten Rezyklate mehrere Prüfungen unterlaufen. Selbst der Einsatz von PC-Rezyklat kann unter bestimmten Voraussetzungen im Automobilbereich etabliert werden. Folglich müssten Automobile am Ende ihres Lebenszyklus demontiert und rückgebaut werden. Laut Recycler wird die Kennzeichnung „Design für Recycling“ nicht ausreichend befolgt. Eine Beschränkung der Automobilindustrie auf eine kleine Auswahl an Kunststoffsorten, würde das Recycling aufgrund homogener Stoffströme weiter voranbringen. Es ist bekannt, dass sich verschiedene Kunststoffverbunde nicht voneinander trennen lassen und somit ein Recycling nicht möglich ist. Es wurde berichtet, dass additiviertes Polypropylen in bestimmten Anwendungen, denselben Hitze- und Flammenschutz gewährleisten kann, wie nicht-trennbare Kunststoffverbunde. Recycler empfehlen den Einsatz von Kunststoffen auf ein paar ausgewählte, recyclingfähige Kunststoffarten zu beschränken und diese mit entsprechender Additivierung zu erweitern.

Als weiteres Hemmnis für den verstärkten Einsatz von Rezyklaten wurde in der Industriebefragung genannt, dass die in den letzten Jahren immer kürzer werdenden Produktentwicklungszyklen eine komplexe Materialauswahl verhindern (Quelle anonym). So hätten sich die Produktentwicklungszyklen von früher 3-5 Jahren auf heute ca. 48 Monate verkürzt. Hierdurch bestünde kaum noch zeitlicher Spielraum, um neben allem anderen was bei der Produktentwicklung zu tun ist, aufwändige Materialqualifikationstest durchzuführen. Daher greifen Entwickler auf bewährte Neuware zurück.

4.5.2. Relevanzeinordnung der erarbeiteten Kunststoff- und Kunststoffprodukthanforderungen

Abschnitt 4.5.2 befasst sich mit der Zusammenführung aller in der Studie erarbeiteter Kunststoff- und Kunststoffprodukthanforderungen und deren Relevanz zur Erfüllung der Produktfunktionalität. Tabelle 4-10 zeigt eine zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse und trägt somit zur Erreichung des beschriebenen Meilensteins (M2) aus AP2 bei. Die Einordnung der einzelnen Relevanzen erfolgte durch die Einschätzung von Produktexperten und kritischer Analyse von Normen, Richtlinien und Werkstandards. Zusätzlich sind in Tabelle 4-10 Handlungsempfehlungen beschrieben, die erläutern unter welchen Voraussetzungen Rezyklate in diesen Produktbereichen verwendet werden können, bzw. welche Einsatzpotenziale von Rezyklaten durch weitere Untersuchungen, die den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten, geprüft werden können. Weitere Handlungsempfehlungen die sowohl branchen- als auch produktübergreifend sind, und sich vor allem an allgemein gültige Produkthanforderungen richten, die in jeder Branche zu finden sind, werden in Tabelle 6-1 beschrieben.

Tabelle 4-10: Übersicht der Relevanzeinordnungen einiger beschriebener Kunststoff- und Kunststoffprodukthanforderungen nach der Einschätzung von Kunststoffexperten bezüglich der Einsatzpotenziale von Rezyklaten

Produktbereich	Beschriebene Anforderungen	Relevanzeinordnung	Handlungsempfehlungen
Kunststoff-fenster	Neuware in der Deckschicht von Fensterprofilen zur Gewährleistung der einheitlichen Farbe sowie UV-Stabilität.	Farbanforderungen sind zur Erfüllung der Produktfunktion nicht relevant , während beschriebene Anforderungen zur Sicherstellung der UV-Beständigkeit relevant sind.	Akzeptanz der Endverbraucher von rezyklatbasierten Farbabweichungen kann durch eine Marktstudie untersucht werden. Untersuchung von Auswirkungen einer gezielten Additivierung von rezyklatbasierten Kunststoffen auf die UV-Stabilität .
Druckstabile Kunststoff-rohrsysteme	Nutzung von Neuware für die Sicherstellung der Druck- und Langzeitstabilität.	Die Erfüllung von Druck- und Langzeitstabilität sind für die Produktfunktion relevant .	Nicht-druckrelevante Rohrschichten könnten durch eine angepasste Dimensionierung der Rohre aus Rezyklat bestehen.
Drucklose Kunststoff-rohrsysteme	In einigen Fällen beschränkt sich die Nutzung von Sekundärkunststoffen auf Umlaufmaterial (siehe Tabelle 4-2).	Die Beschränkung auf die Verwendung von Umlaufmaterial wird als nicht relevant eingeschätzt, da die Eignung von externen Sekundärmaterialien durch Prüfungen untersucht werden könnte.	Kreislaufschließungen durch branchenbezogene Sammelsysteme können die Rezyklatqualität weiter steigern.
Sicherheitsrelevante Bauteile der Automobil-industrie	Kunststoff-anforderungen sind von Kundenspezifikationen abhängig, die nicht einheitlich beschrieben sind.	Beschriebene Farbanforderungen werden für die Erfüllung der Produktfunktion als nicht relevant eingeschätzt. Der Einbezug von	Bei der Verwendung von Rezyklaten können Kompromisse im Bereich der Farbgebung gefunden werden (siehe Abschnitt 4.3.2).

	Grundsätzlich bestehen spezifische Anforderungen an Farbe und der Berücksichtigung von Sicherheitspuffern.	Sicherheitspuffern wird zwar als relevant eingeschätzt, ist jedoch je nach Bauteil anpassungsfähig .	Eine Reduzierung der Sicherheitspuffer bei „ Overdesignten “ Bauteilen könnte den Rezyklateinsatz ermöglichen.
Nicht-sichtbare Bauteile der Automobil-industrie	Kunststoff-anforderungen sind von Kundenspezifikationen abhängig, die nicht einheitlich beschrieben sind.	Beschriebene Farbanforderungen werden für die Erfüllung der Produktfunktion als nicht relevant eingeschätzt.	Bei der Verwendung von Rezyklaten können Kompromisse im Bereich der Farbgebung gefunden werden. Nicht-Sicherheitsrelevante Bauteile könnten durch umliegende Bauteile gestützt werden und somit den Rezyklateinsatz ermöglichen. Eine Kreislaufschließung durch die Rückführung von alten Automobilen erhöht weiterhin die Rezyklatqualität. Die Fokussierung auf ausgewählte Kunststoffsorten ermöglicht sortenreine Rezyklatströme .

Die in Tabelle 4-10 dargestellten Ergebnisse wurden anschließend im Zuge einer Recycling-Umfrage auf mögliche Erhöhungen der Rezyklatmenge je Branche untersucht (siehe Abschnitt 4.6).

4.6. Ergebnisse der Recycling-Umfrage

Im Rahmen von Rezy-Spezi wurde eine Branchenbefragung via MS Forms bei Recyclingunternehmen zum Thema Rezyklateinsatzpotenziale durchgeführt (siehe Arbeitsphase 4 in Abschnitt 3.1). Damit konnten Steigerungspotenziale der Branche in Bezug auf einzelne Parameter aufgezeigt und Maßnahmen zur Förderung des Rezyklateinsatzes abgeleitet werden. Mit Hilfe der Befragung wurde untersucht, welche zusätzlichen Mengen die Recyclingunternehmen in bestimmten, vorher definierten Branchen zusätzlich liefern könnten, wenn einzelne Parameter keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen (M2). Die ausgewählten Parameter beziehen sich auf vorher erarbeitete Einsatzhindernisse von Sekundärkunststoffen, die durch Befragungen von verschiedenen Kunststoffexperten als veränderbar oder nicht für die Erfüllung der Produktfunktionalität und -sicherheit als notwendig, eingestuft wurden (Erreichung von M2, siehe Tabelle 4-10 und Erreichung von M4, siehe Tabelle 4-9). Diese Parameter sind in Tabelle 4-11 dargestellt.

Tabelle 4-11: Ausgewählte Parameter die für den Einsatz von Sekundärkunststoffen in definierten Branchen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Parameter	Beschreibung der Parameter
1. Farbanforderungen	Die Steigerung der Menge in einer bestimmten Branche, wenn Farbanforderungen eine untergeordnete Rolle spielen.
2. Kunststoffvielfalt	Die Steigerung der Menge in einer bestimmten Branche, wenn die Verwendung auf drei spezifische Kunststoffarten beschränkt wird (geringere Heterogenität der Kunststoffe auf dem Markt).

3. Preis	Die Steigerung der Menge in einer bestimmten Branche, wenn der höhere Preis für Rezyklate in der gewünschten Qualität akzeptiert wird.
4. Dimensionierung	Die Steigerung der Menge in einer bestimmten Branche, wenn Sicherheitspuffer in den Endprodukten reduziert werden oder eine flexiblere Dimensionierung der Produktdicke möglich ist.

Die Auswahl der Produktbranchen ist analog zur Conversio-Studie von 2022 (1):

1. Verpackung
2. Elektronik und Elektrotechnik
3. Bauwesen
4. Automobilindustrie
5. Landwirtschaft
6. Andere

Die ausgearbeiteten Fragen zur Umfrage mit Recyclingunternehmen sind in Abschnitt 9.4 im Anhang zu finden. Basierend auf der Unternehmensgröße und deren Produktionskapazitäten spiegelt die erbrachte Rücklaufquote 10 % der Mengen des europäischen Rezyklat-Marktes wider. Befragte Personen konnten im Zuge der Umfrage angeben, welche Branchen sie in welchem Umfang aktuell beliefern (siehe Abbildung 4-28). Dadurch konnte ermittelt werden, welche Rezyklatmenge in Summe derzeit in welche Branche geliefert wird. Bei den Rezyklatsummen je Branche handelt es sich um errechnete Mittelwerte, die Ergebnisse sind in Abbildung 4-27 dargestellt.

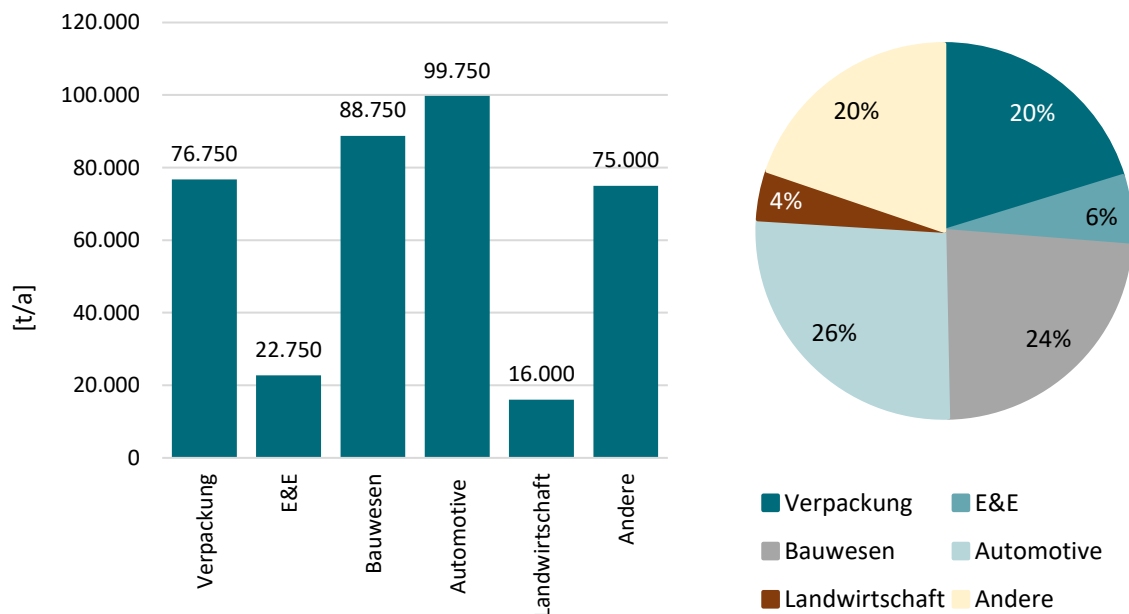


Abbildung 4-27: Verkaufte Rezyklatmengen in t/a (links) und in % (rechts) je Branche der befragten Recyclingunternehmen

Die Recyclingbetriebe, die an der Umfrage teilgenommen haben, beliefern in Summe zu einem höheren Umfang die Branchen „Verpackung“, „Bauwesen“ und „Automotive“. Die Angabe „Andere“ beinhaltet die Summe aus allen Branchen, die im Zuge der Umfrage nicht betrachtet wurden. 26 % der Gesamtsumme der Rezyklate fließt in die Branche Verpackungen. Dies spiegelt auch die Ergebnisse aus der Conversio-Studie aus dem Jahr 2021 wider, gemäß der die Verpackungsindustrie mit ca. 29 % der verfügbaren Rezyklatmenge in Deutschland beliefert wird. 20 % der Rezyklatmenge fließen in die Automobilindustrie und 24 % in das Bauwesen. Dieses Ergebnis weicht deutlich von der Conversio Studie 2021 (Automotive ca. 3 % und Bauwesen ca. 40 %) ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Befragung eine hohe Rücklaufquote von Unternehmen, die technische Rezyklate herstellen, zu verzeichnen war.

Abbildung 4-28 zeigt, in welcher Höhe die untersuchten Branchen von den befragten Recyclingunternehmen beliefert werden, sprich, in welcher Größenordnung sich die bezogene Rezyklatmenge je Branche aufteilt. Die Bezugsgröße ist die jeweilige Gesamttonnage der belieferten Rezyklate in der Branche (zu finden in Abbildung 4-27).

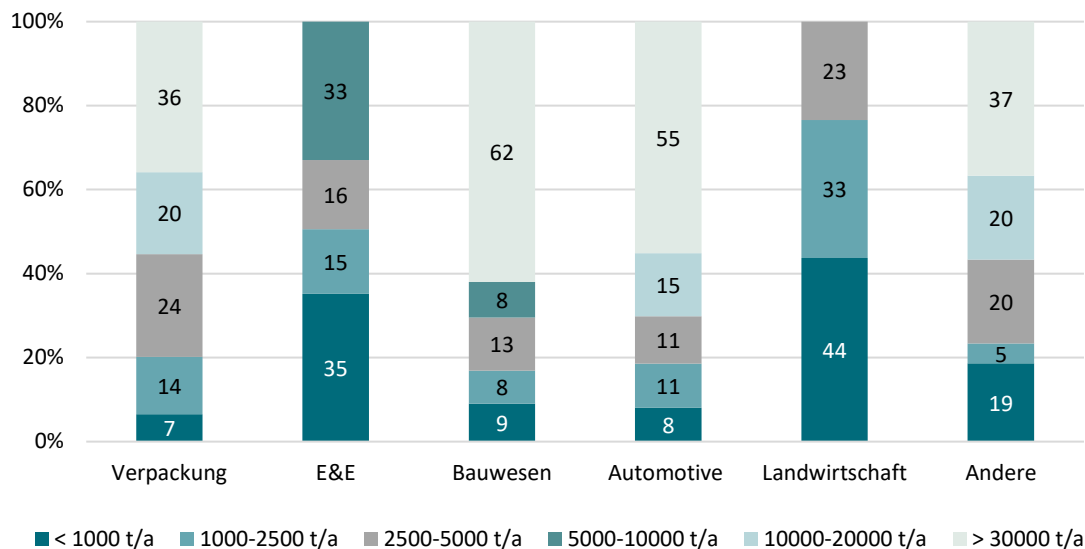


Abbildung 4-28: Verteilung der Belieferungsmenge je Branche, 100 % bezogen auf die Gesamttonnage an Rezyklaten in der Branche

Zu erkennen ist, dass vor allem die Bau- und Automobilindustrie sowie zu einem geringen Anteil die Verpackungsbranche, ihren Rezyklatbedarf vor allem mit höheren jährlichen Bezugsmengen (>30.000 t/a) decken. Dies kann damit zusammenhängen, dass generell höhere Chargen angefragt werden, um das Risiko von Chargenschwankungen zu verringern. Folglich finden Lieferungen <1.000 t/a nur selten statt. Hingegen machen kleinere Lieferungen (<1.000 t/a) im Bereich E&E mit 35 % und Landwirtschaft mit 44 % eine deutlich bedeutendere Summe aus.

Abbildung 4-29 gibt Auskunft über mögliche Rezykaterhöhungen je Branche, wenn gewisse Anforderungen nur noch eine untergeordnete Rolle spielen würden. Die Summe aus dem potenziellen Zuwachs und dem aktuellen Rezyklatangebot ergibt das theoretische Rezyklatangebot, wenn die Anforderungen an die Rezyklate angepasst werden.

Die Akzeptanz eines höheren Preises von Rezyklaten bei gewünschter Qualität stellt für den Einsatz in den meisten Branchen die größte Stellschraube dar. Werden Preiserhöhungen von Rezyklat beziehenden Unternehmen akzeptiert könnte dies in Summe die verfügbare Rezyklatmenge um über 50 % steigern. Im Rahmen der Befragung wurde eine zu starke Abhängigkeit des Rezyklatpreises vom Neuwarepreis festgestellt. Dies führt dazu, dass bei sinkenden Neuwarepreisen auch die Einsatzbereitschaft von Rezyklaten sinkt. Teilweise führt dies auch zu sinkenden Rezyklatpreisen, und somit werden diese Rezyklate unwirtschaftlich.



Abbildung 4-29: Prozentuelle Steigerung der zulieferbaren Rezyklatmenge je Branche in Abhängigkeit der Anforderungsänderungen bezogen auf die Gesamttonnage

Weiterhin können Anpassungen im Bereich der Dimensionierung gefolgt von Anpassungen in der Kunststoffvielfalt das Rezyklatangebot für die entsprechenden Branchen deutlich erhöhen. Ca. 1/3 der Befragten gaben an, ihr Rezyklatangebot für die Verpackungsbranche bzw. Landwirtschaftsindustrie um 10 % bis 20 % bei einer Anpassung der Kunststoffvielfalt bzw. Dimensionierung erhöhen zu können. Bezogen auf die Branchen E&E, Landwirtschaft bzw. Bauwesen führt eine Anpassung der Kunststoffvielfalt in den meisten Fällen zu einer Rezyklaterhöhung unter 10 %. Hingegen gaben für die Branche Automotive ca. 1/3 der Befragten an, dass sie ihr Rezyklatangebot um 20 bis 40 % bei einer Verringerung der Kunststoffvielfalt ausweiten könnten. Im Bereich der Dimensionierung unterschieden sich die Angaben der befragten Recyclingunternehmen deutlich voneinander. Recyclingbetriebe können ihr Angebot für die Branchen E&E sowie Automotive im Bereich von 10 bis 80 % erhöhen. Die unterschiedlichen Angaben sind durch verschiedene Aufbereitungsschwerpunkte sowie Kunststoffsorten der befragten Recyclingbetriebe zu erklären.

Bei einer Reduzierung der Anforderungen erwarten 1/3 der befragten Recyclingbetriebe eine Angebotssteigerung von 20 bis 40 % für die Verpackungs- und Automotivebranche. Für die Branche Bauwesen und Landwirtschaft gehen hingegen die meisten Befragten von einer geringeren Steigerung des Rezyklateinsatzes (<10 %) bei Farbanpassungen aus.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine höhere Preisakzeptanz von Rezyklaten in der gewünschten Qualität das Angebot für die meisten Branchen am stärksten erhöhen würde. Die Befragten berichteten, dass Rezyklate derzeit von Kunden als wesentlich günstiger angesehen werden als Neuware-Kunststoffe. Selbst minimale Preisschwankungen werden nicht akzeptiert. Oftmals dient der Einsatz von Rezyklaten lediglich dem Greenwashing, während der Preis im Hintergrund ausschlaggebend ist.

Weiterhin gaben Recycling-Experten im Zuge der Umfrage an, dass Rezyklate im Automotivebereich teilweise strikteren Anforderungen unterliegen als Neuwarematerial. Im Bereich Elektronik stellen Oberflächeneigenschaften häufig ein Hindernis für den Einsatz von Rezyklaten dar. Der Umfrage zufolge müssen Designer und Marketingabteilungen ihre Produkte besser auf die optischen Eigenheiten von Rezyklaten ausrichten, um den Einsatz von Rezyklaten zu fördern.

Darüber hinaus wurde auf die Monopolstellung der Teststation Underwriters Laboratories (UL) hingewiesen. UL ist eine unabhängige Organisation, die in den USA gegründet wurde und Produkte hinsichtlich ihrer Sicherheit untersucht und zertifiziert. Ein Monopol auf diesem Gebiet beeinflusst auch die Verfügbarkeit und die Preise von Rezyklaten. Laut Befragten gibt es einige europäische Institute, die ähnlich oder sogar gleich zertifizieren und prüfen. Umfangreichere Prüfmöglichkeiten würden sich folglich positiv auf das Angebot an Rezyklaten auswirken.

Für die Hochrechnung der Umfrageergebnisse auf den europäischen Markt und Darstellung der Einsatzpotenziale im Online-Tool wurden Daten aus der Studie „Plastics – the facts 2022“ von PlasticsEurope bezogen (5). In Abbildung 4-30 sind die aktuellen europäischen Rezyklatanteile je Branche den potenziellen neuen Rezyklateinsatzquoten gegenübergestellt, wenn die zuvor beschriebenen Anforderungen heruntergesetzt wären.

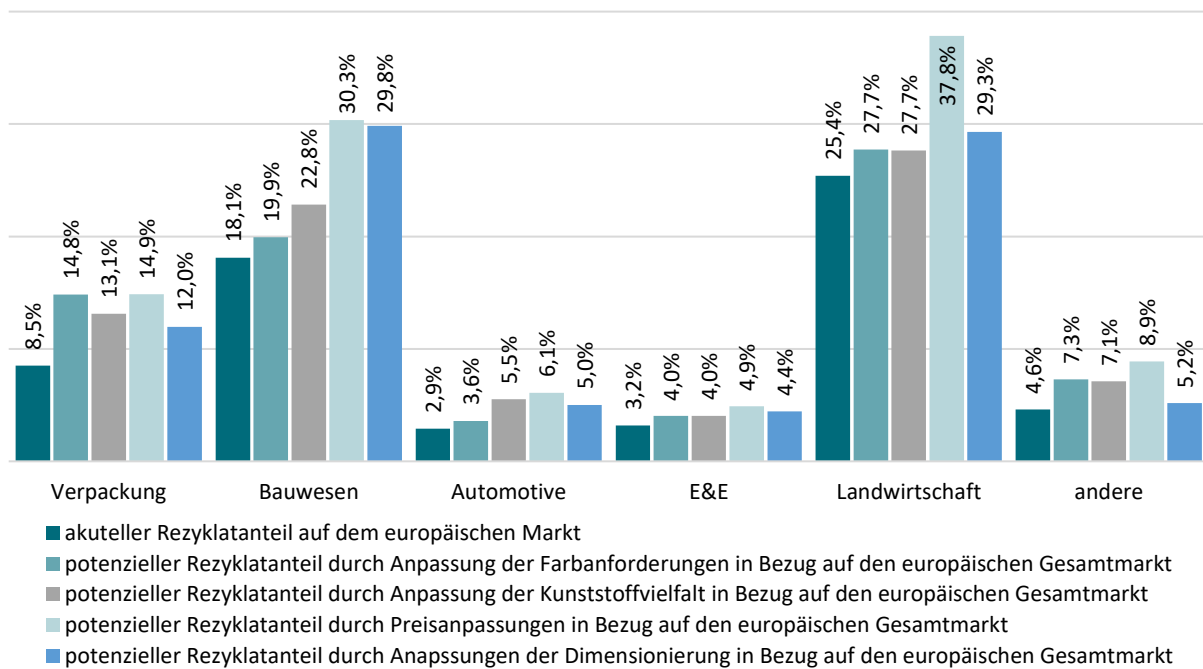


Abbildung 4-30: Hochrechnung der Umfrageergebnisse auf den europäischen Rezyklatmarkt.

Zu erkennen ist, dass Preisanpassungen je Branche das Rezyklatangebot am meisten erhöhen könnten. In der Automobilbranche würde sich die eingesetzte Rezyklatmenge sogar mehr als verdoppeln. Der Rezyklatzuwachs im Bereich Verpackung entspricht 6,4 %, für das Bauwesen 12, 2 % und für die Landwirtschaft 12,4 %. Sowohl die Anpassung von Dimensionierungen der Kunststoffprodukte bzw. einberechnete Sicherheitspuffer für Kunststoffbauteile, als auch die Reduzierung der Kunststoffvielfalt innerhalb der jeweiligen Branchen besitzt einen deutlichen Einfluss auf den potenziellen Rezyklatzuwachs. Im Bereich der Automobilindustrie könnten Beschränkungen der Kunststoffvielfalt zu einem Rezyklatzuwachs von 2,6 % führen. Dies entspricht beinahe einer Verdopplung der derzeitigen Einsatzmenge von Rezyklaten in dieser Branche. Im Bau- und Landwirtschaftssektor sowie im Bereich E&E weisen Anpassungen innerhalb der Dimensionierung von Kunststoffprodukten ebenfalls das zweitgrößte Rezyklatsteigerungspotenzial auf, während in der Verpackungsindustrie Farbanpassungen mit einem Quotenzuwachs von 6,3 % einen erheblichen Einfluss auf das Steigerungspotenzial der Rezyklatmenge besitzen.

5. Synthese

Im folgenden Abschnitt werden die Erkenntnisse aus den einzelnen Recherchen, Umfragen und Interviews zusammengeführt und diskutiert. Hieraus wurden Handlungsempfehlungen abgeleitet, die eine Steigerung des Rezyklateinsatzes je Branche, unter Einbezug aller Umfrageergebnisse forcieren sollen (siehe Abschnitt 6).

Mithilfe der Vorstudie zum aktuellen Rezyklateinsatz und grundlegenden Hemmnissen (beschrieben in Abschnitt 3.1, 4.1 und 4.2) konnten der Ist-Zustand des Rezyklateinsatzes und dessen Nutzungshemmnisse für einzelne Branchen ermittelt werden. Insbesondere die mechanischen Eigenschaften, die Farbe, der Geruch und die Verfügbarkeit in konstanter Qualität sind maßgebliche Entscheidungskriterien für den Einsatz von Rezyklaten. Durchgeführte Interviews mit Akteuren aus der kunststoffverarbeitenden Industrie haben ebenfalls ergeben, dass der Mangel an verfügbarer Menge in entsprechender Qualität eine entscheidende Rolle für den Einsatz von Rezyklaten spielt. Darüber hinaus wurden in den Interviews und Umfragen, strenge Kundenspezifikationen als häufige Ursache für den Einsatz von Neuware genannt (Arbeitsphase 1 und 2 in Abschnitt 3.1, 4.3 und 4.5). Weiterhin wurden die im Bereich der Normung beschriebenen Anforderungen an Kunststoffe und Kunststoffprodukte untersucht und bezüglich ihrer Notwendigkeit zur Erfüllung der Produktfunktion bewertet. Die in den Normen beschriebenen Anforderungen an Kunststoffe wurden dazu bestehenden Kundenspezifikationen gegenübergestellt, um so Zusammenhänge und Unterschiede zu erarbeiten.

Um die tatsächlichen Kundenanforderungen besser einschätzen zu können, wurde darüber hinaus eine separate Studie durchgeführt, in der die gesellschaftliche Akzeptanz von Rezyklaten in definierten Kunststoffprodukten messbar gemacht und bewertet wurde (Arbeitsphase 3 in Abschnitt 3.1 und 4.4). Weiterhin wurden die erarbeiteten Einsatzhindernisse von Rezyklaten zusammengetragen und mithilfe weiterer Experten-Interviews und -Umfragen nach ihrer Relevanz für die Erfüllung der Produktfunktionalität bewertet. Anschließend konnte im Zuge der Recycling-Umfrage (Arbeitsphase 4 in Abschnitt 3.1 und 0) die Steigerung der angebotenen Rezyklatmenge, unter Berücksichtigung vorher definierter Faktoren untersucht werden. Somit konnte beispielsweise gezeigt werden, dass sich die Verfügbarkeit von Rezyklaten in entsprechender Qualität verändern kann, wenn Anforderungen, die nicht an die Funktion des Produktes gebunden sind, gemindert werden. Aus dem Projektverlauf ergibt sich das in Abbildung 5-1 dargestellte Schema zur Bewertung der Einsatzpotenziale von Rezyklaten unter Berücksichtigung der Produkthanforderungen und weiterer Projekterkenntnisse.

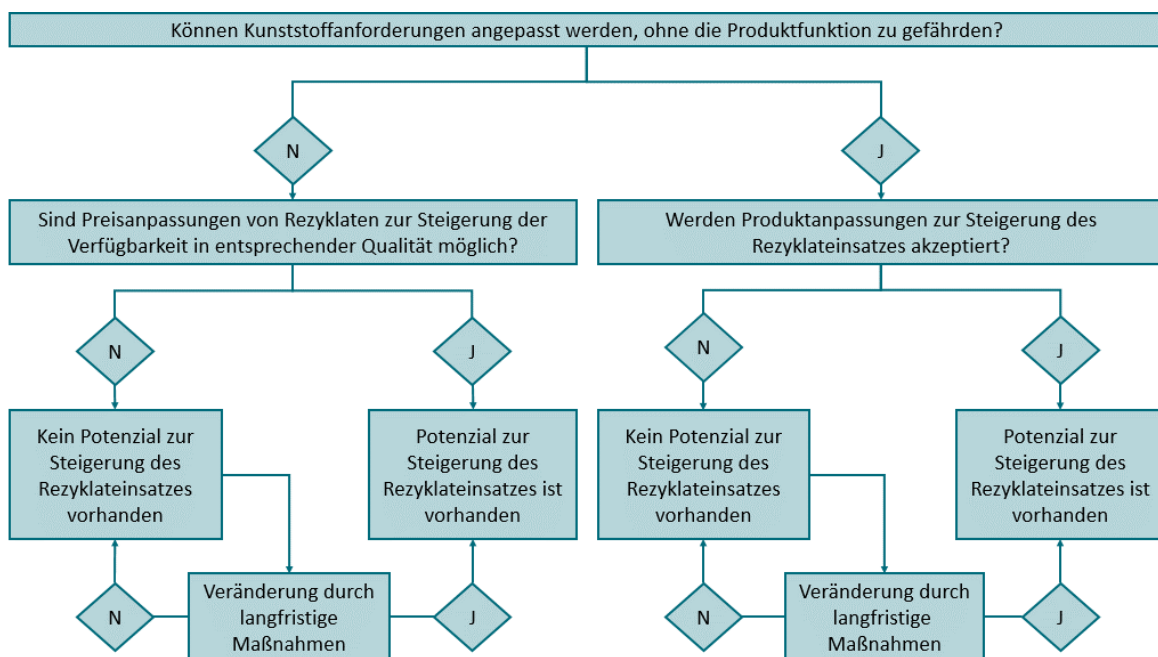


Abbildung 5-1: Schema zur Bewertung der Einsatzpotenziale von Rezyklaten unter Berücksichtigung von Produkthanforderungen und weiteren Projekterkenntnissen.

Im gesamten Projektverlauf wurden Kunststoffanforderungen untersucht, die prinzipiell veränderbar sind, ohne die Produktfunktionalität zu gefährden und zu einem erhöhten Rezyklateinsatz in der Branche führen können. Darüber hinaus können Anpassungen nicht nur auf Produktebene, sondern auch auf Systemebene durchgeführt werden. Das Feld „Veränderung durch langfristige Maßnahmen“ in Abbildung 5-1 beinhaltet Anpassungen aufgrund von langfristigen strukturellen Änderungen innerhalb einer Branche und branchenübergreifend (Systemebene). Diese können z. B. durch die weitgehende Etablierung von „Design for Recycling“, logistischen Lösungen im Bereich der Trennung und Sammlung von Kunststoffabfällen und in Form von Aufklärungsarbeiten im Bereich Recycling, Kreislaufwirtschaft und Ressourcenknappheit auf politischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Ebene realisiert werden. Die vorgelegte Studie konzentriert sich jedoch auf Anpassungen von Produkthanforderungen. Um eine plausible Synthese zwischen den Studienergebnissen zu ermöglichen, werden die Erkenntnisse aus den einzelnen Arbeiten in umgekehrter Reihenfolge betrachtet. Folglich werden im ersten Schritt die in Abschnitt 4.6 genutzten Parameter (Anpassungen der Anforderungen zur Rezyklatsteigerung) einzeln aufgeführt und mit den Ergebnissen aus den im Projekt durchgeführten Studien verglichen.

Optik

Die Bewertung der Optik erfolgte mit der Betrachtung von Farbanforderungen, deren mögliche Anpassungen und den darauffolgenden Einfluss auf das Rezyklatangebot und der -nachfrage. Während der Sichtung verschiedener Kunststoffnormen wurden beispielsweise in der Anwendung der Rohrsysteme eine durchgehend gleichmäßige Farbe der Rohre zur Erfüllung der Normanforderung beschrieben. In der Anwendung Automotive berichten befragte Recyclingbetriebe häufig von unverhältnismäßig hohen Farbanforderungen, selbst bei nicht-sichtbaren Bauteilen. Die Farbgebung allein steht jedoch in keinem Bezug zur Produktfunktionalität und spiegelt optische Anforderungen wider. Aus diesem Grund wurden für den weiteren Verlauf der Studie, Farbanforderungen mit einer geringen Relevanz für die Erfüllung der Produktfunktion bewertet und als „anpassungsfähig“ eingestuft. Anhand geführter Experten-Interviews konnte gezeigt werden, dass Rezyklate durchaus RAL-Bereiche einhalten können und somit in einem gewissen Farbspektrum eingesetzt werden können. Spielen Farbanforderungen für Rezyklate eine untergeordnete Rolle, so könnte laut Recycling-Umfrage das Rezyklatangebot für die Branche E&E um 26 %, Automotive um 17 %, für die Baubranche um 10 % und für die Verpackungsindustrie sogar um 74 % gesteigert werden. Deutlich zu erkennen ist das hohe Steigerungspotenzial in der Verpackungsbranche. Hohe Farbanforderungen für Verpackungen (z. B. im Bereich Transparenz) sind je nach Rezyklatherkunft und Sortenreinheit nur bedingt oder gar nicht umsetzbar. Folglich würde eine Festlegung auf ein bestimmtes Farbspektrum das Rezyklatangebot erweitern. Um die Umsetzbarkeit von Anforderungsänderungen umfangreich beurteilen zu können, wurden zu den Experten-Einschätzungen auch die Akzeptanz des Endverbrauchers bezüglich vorher definierter Produkthanpassungen untersucht (siehe Abschnitt 4.4). Hierbei wurde die gesellschaftliche Akzeptanz des Rezyklateinsatzes in der Branche Verpackung anhand des Beispielprodukts „Shampoo-Flasche“ evaluiert. Im Zuge der Akzeptanz-Umfrage wurde die Optik einer Shampoo-Flasche von Verbrauchern mit einer Wertigkeit von unter 1 (die Skala reicht bei aufsteigender Wertigkeit von 0 bis 5) bewertet (siehe Abbildung 4-24). Dies entspricht der Angabe, dass das Erscheinungsbild des Produkts „kaum bis gar nicht wichtig“ für die verbrauchende Person ist. Dementsprechend ist das Änderungspotenzial im Bereich Farbanforderungen im untersuchten Rahmen weiterhin vorhanden.

Für die gesellschaftliche Akzeptanzbewertung für Produkte der Automobilindustrie wurden im Abschnitt 4.4.3 als Beispiel für nicht-sichtbare Bauteile die „Motorauskleidung“ und für sichtbare Bauteile „Bedienelemente im Auto“ untersucht. Die Wertigkeit für die Motorauskleidung wurde mit 0,6 und die Bedienelemente (Armaturentafel) mit 1,7 bewertet. Anhand dieses Beispiels wird die Diskrepanz zwischen den Spezifikationen der Automobilindustrie und den Anforderungen der Endverbraucher sichtbar. Zu erkennen ist, dass die Bereitschaft zur Akzeptanz von rezyklatbasierten Bauteilen (vor allem im nicht-sichtbaren Bereich) von Endkunden durchaus gegeben sein könnte, während Recyclingunternehmen gleichzeitig von zu hohen Farbstandards der Automobilbranche im nicht-sichtbaren Bereich berichten. Die Untersuchung zeigt, dass die Ansprüche des Endkunden im

Automobilbereich mit weitaus geringeren Farbanforderungen erfüllt werden können. Folglich ist hier eine Anpassung der Anforderungen möglich und ein Änderungspotenzial zur Steigerung des Einsatzes von Rezyklaten vorhanden.

In der Anwendung Bauwesen wurde die Akzeptanz des Rezyklateinsatzes von Endverbrauchern mit dem Produktbeispiel „Fenster“ beurteilt. Mit einer Wertigkeit von über Faktor 3 wurden Fensterrahmen als ein sehr hochwertiges Produkt von Verbrauchern empfunden. Die Kaufintention von Fensterrahmen mit Einbußen in der Optik sinkt dadurch und liegt bei 2,7 (auf einer Skala von 0 bis 5 bei aufsteigender Kaufintention) (siehe Abbildung 4-24). Dennoch konnte sich der Rezyklateinsatz in der Anwendung „Fensterbau“ durchaus etablieren, ohne Einbußen zu riskieren. Häufig werden Rezyklate in der Kernschicht eines Fensterrahmens eingesetzt und mit einer Deckschicht aus Neuware überzogen. Diese Herangehensweise entspricht ebenfalls der in der Norm EN 12608-1 beschriebenen Anforderung, die besagt, dass die Profilerfläche durch eine mind. 0,5 mm Neuwareschicht abgedeckt sein muss. Gleichzeitig ermöglichen beispielsweise etablierte Sammel- und Recyclingsysteme wie „Rewindo“ eine konstante und sortenreine Rückführung von Fensterprofilen, was sich ebenfalls in der Qualität der Rezyklate widerspiegelt.

Die Akzeptanz von Rezyklaten in der Anwendung E&E wurde mit den in Tabelle 5-1 dargestellten Beispielprodukten untersucht. Bei diesen Produkten handelt es sich vor allem um Gegenstände, die häufig aktiv von Verbrauchern wahrgenommen und genutzt werden. Vor allem das Smartphone ist meist mehrmals täglich im Gebrauch. 25 % der Befragten gaben an, dass Ihnen die Optik des Smartphones „sehr wichtig“ ist, während ca.62,5 % die Optik als „etwas wichtig“ bewerteten. Generell beurteilten die Verbraucher die Optik dieser Beispielprodukte eher mit „etwas wichtig“ (zwischen 18,8 % und 68,8 %). Dies macht deutlich, dass Produkte (aus dem Bereich Elektronik), die häufig in direkter Verwendung mit den Verbrauchern stehen Potenziale für einen Rezyklateinsatz aufweisen, selbst wenn gewisse optische Anforderungen dann nicht ganz gegeben sein könnten. Im Zuge dieser Arbeit stellt die verarbeitende Kunststoffindustrie somit den limitierenden Faktor dar.

Tabelle 5-1: Bewertung der Produkte nach Bedeutung der Optik für die Verbraucher

Branche	Wie wichtig ist Ihnen das Aussehen folgender Produkte?	sehr wichtig	etwas wichtig	kaum wichtig	gar nicht wichtig
Automobil	Armaturentafel	6,3	31,3	31,3	31,3
	Motorauskleidung im Auto	6,3	6,3	12,5	75
Bauwesen	Fensterrahmen	31,3	50	18,8	0
Elektronik und Elektrogeräte	Desktop PC	12,5	56,3	12,5	18,8
	PC-Monitor	12,5	68,8	6,3	12,5
	Fernseher	25	62,5	12,5	0
	Smartphone	25	62,5	6,3	6,3
	Radio	18,8	18,8	18,8	43,8
Verpackung	Shampoo Flasche	0	6,3	43,8	50

Preisanpassungen

Während der Projektdurchführung wurde im Zuge verschiedener Umfragen mehrmals auf die Bedeutung des Rezyklatpreises hingewiesen. Befragte Recyclingunternehmen berichten von einer zu engen Preisverknüpfung zwischen Neuwarekunststoffen und recycelten Kunststoffen. Oftmals werden Rezyklate als „Ware zweiter Hand“ betrachtet, was die Preiserwartung weit unterhalb des Preises für Neuware drückt. Sowohl die Materialherkunft als auch die Aufbereitung sind hierbei jedoch nicht zu vergleichen. Das Bewusstsein darüber muss laut Experten-Befragungen in den Industriebranchen bekräftigt werden. Kunststoffverarbeitende Unternehmen müssen die Abfallentstehung in der Planung ihrer Unternehmenslogistik und Materialbeschaffung verstärkt etablieren. Sind Änderungen in den Produkthanforderungen nicht realisierbar, müssen Preisanforderungen angepasst werden, wenn Rezyklate eingesetzt werden sollen. Aus diesem Grund wurden Recyclingunternehmen gefragt,

inwiefern sie ihr Angebot für ausgewählte Branchen erhöhen könnten, wenn der Preis für Rezyklate eine untergeordnete Rolle spielt.

Allein durch Preisanpassungen, bei sonst gleichbleibenden Produkthanforderungen könnten befragte Recyclingunternehmen im Durchschnitt das Rezyklatangebot für die Branche Automotive um 77 %, für die Baubranche um 68 % und für die Verpackungsindustrie um 75 % erhöhen. Da Preisanpassungen ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen und deren Produkte sind, ist es wichtig zu wissen, wie Preisänderungen von Verbrauchenden im Zuge von rezyklatbasierten Produkten aufgefasst werden. Wie bereits in Abschnitt 4.4.2 erwähnt, gaben knapp 65 % der Befragten einer Studie der International University of Applied Science (IU) an, dass sie bereit seien, für nachhaltige oder klimafreundliche Produkte mehr Geld auszugeben. Beinahe die Hälfte der Befragten wäre bereit, bis zu 20 % mehr für nachhaltig erzeugte Produkte zu bezahlen (34). Bezogen auf die vorliegende Studie wurde untersucht, welche prozentuale Preissteigerung rezyklatbasierter Produkte (>90 %) Endverbraucher bereit wären zu akzeptieren, sodass ein Kauf in Betracht gezogen wird (siehe Abbildung 4-17). Laut Umfragen-Ergebnisse sind 46 % der Befragten bereit eine Preissteigerung zwischen 6-10 % zu akzeptieren, während 10 % der befragten Personen eine Preiserhöhung von 10 % akzeptieren würden. Etwa 9 % wären mit keiner Preissteigerung einverstanden und weitere 3 % würden sich bei einer Preissteigerung von über 21 % weiterhin für ein rezyklatbasierte Produkt entscheiden (siehe Abbildung 5-2).

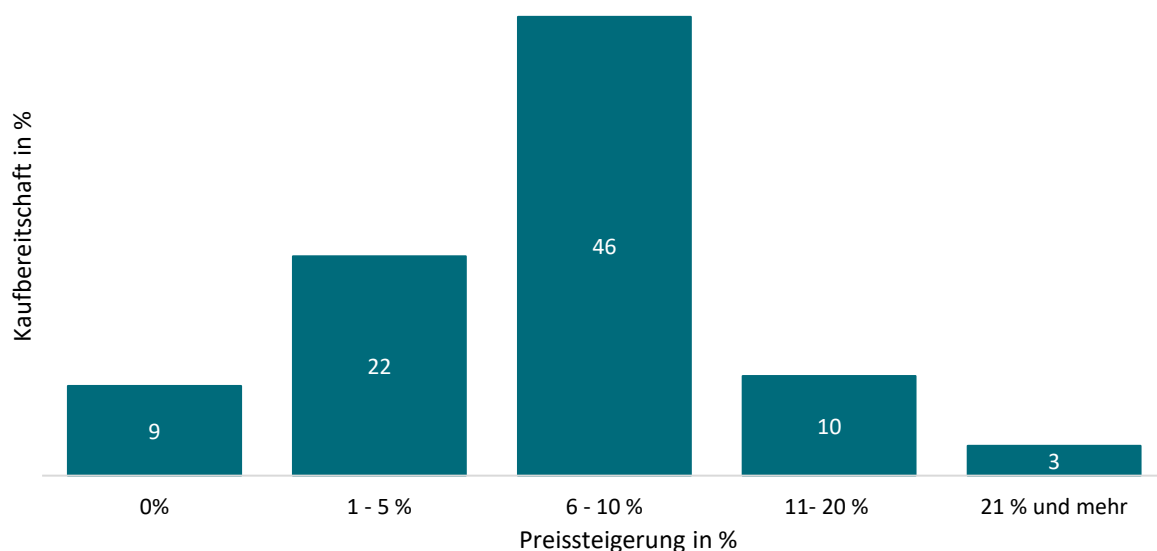


Abbildung 5-2: Akzeptanz der Endverbraucher bezüglich einer Preiserhöhung von rezyklatbasierten Produkten.

Zu erkennen ist, dass Recyclingbetriebe zwar ihr Angebot deutlich erhöhen könnten, wenn Preisanforderungen eine untergeordnete Rolle spielen würden, die Bereitschaft der Endverbraucher jedoch den limitierenden Faktor darstellt.

Dimensionierung

Häufig werden in Normen und weiteren Standards Anforderungen an die Produktdimension beschrieben, für die die Verwendung von Neuware notwendig ist, um keine Schwankungen bezüglich der mechanischen Eigenschaften zu riskieren. Laut anonymisierter Expertise befragter Produktexperten aus dem Rohr- (Bauwesen) und Bauteilbereich (Automobilindustrie) können Rezyklate auch in kritischen Produktbereichen (z.°B. bei denen Druckanforderungen gelten, oder Sicherheiten addiert werden müssen) verwendet werden, wenn Spielräume innerhalb der Dimensionierung möglich sind. Beispielsweise könnte die Kernschicht von druckstabilen Rohren aus recycelten Kunststoffen bestehen, wenn Vorgaben zur Wanddicke bei der Nutzung von Sekundärkunststoffen angepasst werden. Anhand durchgeführter Interviews mit Experten aus Recyclingunternehmen wurde gezeigt, dass hohe Bauteilsicherheiten zu overdesignten Produkten

führen. Eine Anpassung der Wandstärke kann die Nutzung von sogar minderwertigen Rohstoffen bei gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften ermöglichen. Aus diesem Grund wurde im Zuge der Recycling-Umfrage aus Abschnitt 0 erfragt, wie sich das Rezyklatangebot verändern könnte, wenn allein die Anforderungen im Bereich der Dimensionierung eine untergeordnete spielen. Wie bereits in Abschnitt 0 dargestellt, kann die angebotene Rezyklatmenge in der Branche Verpackung um 41 %, im Bereich E&E um 21 %, im Bauwesen um 65 % und im Automobilsektor um 51 % erhöht werden. Zu erkennen ist, dass besonders im Bau- und Automobilbereich Einsatzpotenziale von Rezyklaten über 50 % steigen. Dies macht deutlich welche Auswirkungen die vorher beschriebenen Einsatzhindernisse im Bereich Dimensionierung haben. Den limitierenden Faktor im Bereich der Dimensionierung stellen somit normen- und werkseitig beschriebene Anforderungen dar. Eine Möglichkeit das Potenzial zu nutzen, wäre, die Einführung von Normen für rezyklatbasierte Produkte mit flexibler Dimensionierung für den Erhalt der mechanischen Eigenschaften im Produkt. Die Norm EN 13598-2:2016-09 aus dem Kunststoffrohrbereich (siehe Abschnitt 4.3.1) beschreibt beispielsweise unter welchen Bedingungen, die Verwendung von externen Werkstoffen, die kein Neumaterial sind, zulässig ist. Für eine Einhaltung künftiger Rezyklatquoten, wie es beispielsweise in der Automobilindustrie vorgesehen ist, sollten Normen definiert oder erweitert werden, die Ausnahmen bezüglich bestimmter Produkt- oder Kunststoffanforderungen ermöglichen, wenn Rezyklate in diesem Bereich verwendet werden sollen. Somit könnten neue Möglichkeiten entstehen, rezyklatbasierte Produkte mit gleichen Eigenschaften wie Neuwareprodukte anzubieten.

Aus der Akzeptanz-Umfrage (Arbeitsphase 4 aus Abschnitt 4.4) geht hervor, dass 32 % der Befragten sich oft oder gar immer für Produkte aus Rezyklat entscheiden. Weitere 23 % entscheiden sich teilweise bewusst für rezyklatbasierte Produkte, während 12 % mit „selten“ bzw. 15 % mit „nie“ die Umfrage beantwortet haben. Dies zeigt, dass ca. 1/3 der Befragten Rezyklatprodukte in ihrer Kaufentscheidung sogar bevorzugen. 84 % der Befragten wünschen sich eine deutlichere Kennzeichnung von Produkten aus Rezyklat. 93 % gaben an, dass ihnen eine transparentere Kommunikation zum Thema Recycling zwischen Industrie und Gesellschaft wichtig ist (siehe Abschnitt 9.3.2, Frage 6, 9 und 10). Diese Ergebnisse zeigen eindeutig, dass auch in der Gesellschaft das Thema Rezyklateinsatz angekommen ist, eine Transparenz hinsichtlich der Kommunikation fordert und rezyklatbasierte Produkte durchaus für einen großen Teil der Befragten attraktiv sind.

Kunststoffvielfalt

Ein häufiger Grund für die Ablehnung von Rezyklaten in der kunststoffverarbeitenden Industrie sind die chargenabhängigen Materialeigenschaften. Durch die Vielzahl an Kunststoffsorten innerhalb einer Branche und deren Vermischung bei der Entsorgung, können geforderte polymerspezifische Eigenschaften der Industrie nur schwer oder gar nicht mit Rezyklaten umgesetzt werden. Weiterhin werden materialbedingte Inhomogenitäten und Verunreinigungen auch im Bereich vieler Normungen nicht geduldet, sofern die Produktfunktion nicht gewährleistet werden kann (siehe Abschnitt 4.3). Inhomogenitäten und Verunreinigungen, die auf eine hohe Kunststoffvielfalt zurückzuführen sind, könnten durch die Fokussierung auf wenige Kunststoffsorten verhindert werden. Für Endverbraucher bedeutet dies eine mögliche Veränderung im Bereich des Produktdesigns. Eine Reduzierung heterogener Kunststoffströme innerhalb der Branchen, führt auch gleichzeitig zu einer Abnahme von Verunreinigungen durch Fremdkunststoffe und könnte somit das Angebot von Rezyklaten in gewünschter Qualität fördern. Aus diesem Grund wurden in Abschnitt 0 Recyclingunternehmen befragt, inwiefern sie ihr Angebot erhöhen könnten, wenn sich ausgewählte Branchen auf 3 Kunststoffsorten beschränken würden. Besonders in der Verpackungs- und Automobilindustrie würde diese Anpassung eine Erhöhung des Rezyklatangebots von über 50 % bewirken. Weiterhin berichten befragte Recyclingunternehmen, dass selbst PCR-Rezyklate in der Automobilindustrie genutzt werden können, wenn die Automobile am Ende der Nutzungsphase rückgebaut und innerhalb der Produktbranche rückgeführt werden. Eine Optimierung der Werkstoffströme (z. B. Reduzierung der Kunststoffvielfalt, Sortenspezifisches Trennverfahren von Kunststoffabfällen, Rückführsysteme nach der Nutzungsphase) führt zu höherer Rezyklatqualität und somit können auch mehr Rezyklate in unerschlossene Bereiche fließen. Verbundwerkstoffe aus z. B. PP und PLA können nicht voneinander getrennt werden. Der Einsatz dieser Kunststoffverbunde

behindern das Recycling, vor allem wenn sich weitere Stoffströme vermischen. Recyclingunternehmen appellieren daher, dass Branchen sich auf bestimmte Kunststoffe beschränken und diese über eine angepasste Additivierung ausbauen. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass additiviertes PP den Lärm- und Hitzeanforderungen sowie der geforderten Flammstabilität der Automobilindustrie entsprechen und somit Kunststoffverbunde ersetzen können (Quelle: anonymisierte Expertenbefragung aus dem Bereich PIR-Recycling).

6. Branchenübergreifende Handlungsempfehlungen

Die beschriebenen Einzelbeispiele und Erkenntnisse sowie deren gegenseitige Wechselwirkungen zeigen, dass die nicht vorrangig produktfunktionalen Einsatzhemmnisse durchaus durch umsetzbare Maßnahmen angepasst werden können und zu einer Erhöhung der verfügbaren Rezyklatmengen je Branche führen können. Hemmende Faktoren für die Steigerung des Rezyklateinsatzes treten auf unterschiedlichen Ebenen auf. Ein Vergleich der jeweiligen Befragungsergebnisse aus Abschnitt 5 zeigt, dass farbliche Anforderungen der kunststoffverarbeitenden Industrie den Einsatz von Rezyklaten in vielen Branchen verhindern, obwohl der Einsatz von Rezyklaten für die untersuchten Produktgruppen gesellschaftlich akzeptiert wäre. Tabelle 6-1 fasst die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Abschnitt 5 zusammen und formuliert Handlungsempfehlungen, um den Einsatz von Rezyklaten trotz bestehender Einsatzhemmnisse zu ermöglichen.

Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Einsatzhemmnisse, -potenziale und limitierende Faktoren von Rezyklaten und sich hieraus direkt ergebende Handlungsempfehlungen für die Erhöhung von Rezyklatmengen in Industriebranchen.

Einsatzhemmnisse	Einsatzpotenziale	Limitierende Faktoren	Handlungsempfehlung
Optische Anforderungen an Kunststoffprodukte			
Genau definierte Farbtöne auch im Bereich nicht-sichtbarer Kunststoffbauteile.	Rezyklatangebot für die Branche Automotive könnte um 17 %, für die Baubranche um 10 % und für die Verpackungsindustrie um 74 % gesteigert werden.	Farbansprüche der kunststoffverarbeitenden Industrie. Normanforderungen (homogene Farbe) bestimmter Produktbereiche.	Erweiterte Möglichkeiten bezüglich der erlaubten RAL-Bereiche und Farbspektren erhöhen das Rezyklatangebot. Branchenbezogene Sammelsysteme verringern die Heterogenität der Rezyklatströme.
Preisanpassungen von Recyclingmaterial			
Enge Preisverknüpfung zwischen Neuwarekunststoffen und recycelten Kunststoffen trotz unterschiedlicher Herkunft und Verarbeitung.	Preisanpassungen können das Rezyklatangebot für die Branche Automotive um 77 %, für die Baubranche um 68 % und für die Verpackungsindustrie um 75 % erhöhen.	Akzeptanz einer Preiserhöhung in der Gesellschaft: Ca. 46 % der Befragten sind bereit eine Preissteigerung zwischen 6-10 % zu akzeptieren. Weitere 13 % würden sogar noch mehr zahlen.	Preisentwicklung für Rezyklate sollte sich nicht an der von Neuware orientieren. Offenbar gibt es einen großen Anteil an Kunden, die bereit sind Mehrkosten in Kauf zu nehmen und die es gezielt gilt zu adressieren.
Dimensionierung von Kunststoffprodukten und -bauteilen			
Einhaltung mechanischer Eigenschaften bei gleichzeitiger Beschränkungen im	Anpassungen im Bereich der Dimensionierung können die Rezyklatmenge in	Normenspezifische Anforderungen und Produktspezifikationen der	Einführung und Anpassung von Normen für rezyklatbasierte Produkte mit flexibler Dimensionierung bei

Bereich der Produkt-dimensionierung	der Branche Verpackung um 41 %, im Bereich E&E um 21 %, im Bauwesen um 65 % und im Automobilssektor um 51 % erhöhen.	kunststoffverarbeitend en Industrie	gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften im Endprodukt.
Reduzierung der Kunststoffvielfalt innerhalb von Branchen			
Große Heterogenität im Rezyklatstrom durch Kunststoffvielfalt	Eine Fokussierung auf 3 Kunststoffsorten je Branche kann eine Rezyklaterhöhung von 54 % (Verpackung), 27 % (E&E), 26 % (Bauwesen), 63 % (Automotive) und 9 % (Landwirtschaft) bewirken.	Designanforderungen der kunststoff-verarbeitenden Industrie	Beschränkungen der Kunststoffsortenvielfalt je Branche und Spezialisierung auf die Ausarbeitung der Eigenschaften von einzelnen Kunststoffsorten durch eine angepasste Additivierung.

Um die in Tabelle 6-1 aufgezeigten Handlungsempfehlungen in die Umsetzung zu bringen, sehen die Autoren der Studie Industrie, Gesetzgeber und Forschung in der Pflicht. Folgende Maßnahmen sollten daher ergriffen werden:

- 1) Verstärkte öffentliche Förderung von Kooperationsprojekten zwischen Forschung und Industrie zur Entwicklung von Demonstratoren für die Kunststoffneuwaresubstitution in konkreten Produkten und Prozessen. Ausweitung der hierfür nötigen technischen Infrastruktur an F&E-Einrichtungen.
- 2) Verstärkte öffentliche Förderung der Wiederaufbereitung von Kunststoffabfällen durch die Erprobung neuer Rezepturen auf Basis verringerter Materialvielfalt und dem Einsatz von Additiven zur Erzielung der Passfähigkeit in bestimmten Anwendungen inklusive Erweiterung der technischen Infrastruktur an F&E Einrichtungen.
- 3) Gezielte anwendungsspezifische Initiativen durch Industrie und Normungsinstitutionen zur Weiterentwicklung bestehender Normen und Werksstandards mit dem Ziel, den bislang in einzelnen Produktgruppen blockierten Einsatz von Rezyklaten zu ermöglichen.
- 4) Den Herstellern von Kunststoffprodukten wird empfohlen, die Arbeitsprozesse bei der Produktentwicklung anders zu gestalten und längere Qualifikationstests für Rezyklatmaterialien zu ermöglichen, als sie derzeit in den verkürzten Produktentwicklungszyklen vorgesehen sind.
- 5) Verbindliche und langfristig verlässliche Vorgaben des Gesetzgebers für die Recyclingfähigkeit im Rahmen der weiteren Ausarbeitung der EU-Ökodesign-Verordnung.
- 6) Endkundenorientierte Aufklärungskampagnen zum Rezyklateinsatz in Kunststoffprodukten und die damit verbundenen optischen und haptischen Auswirkungen bzw. möglichen Preissteigerungen, verbunden mit produkt- und adressatenspezifischer vertiefter Akzeptanzforschung.

7. Transferaktivitäten

Um die Projektergebnisse verschiedenen Akteuren bekannt zu machen, wurden im Rahmen von AP6 vielfältige Transfermaßnahmen durchgeführt.

Tabelle 7-1: Durchgeführte Transferaktivitäten in Rezy-Spezi

Transferaktivität laut Arbeitsplan	Umsetzung
Pressemitteilung zum Projektstart	Die Pressemitteilung erfolgte zu Beginn des Projekts (siehe Abschnitt 9.5 im Anhang)
Aufbereitung der Ergebnisse in einem an die relevanten Akteure der Branche gerichteten Ergebnisbericht zu vorliegenden, weiteren Potenzialen des Rezyklateinsatzes	Das Dokument ist auf der Webseite des SKZ frei verfügbar gemacht (https://www.skz.de/forschung/projekt/rezy-spezi)
Eine Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift	Die Inhalte des Dokuments sind zusammengestellt, mit der Redaktion der Zeitschrift <i>Plastverarbeiter</i> für die Veröffentlichung abgestimmt und erscheinen in der diesjährigen Ausgabe 7/8 (Juli/August). Der fertige Artikel wird nachgereicht.
Bewerbung des Tools und der Ergebnisse im SKZ-Podcast	Das Tool konnte erst mit Abgabe des Projektberichts finalisiert werden. Die Aufnahme des SKZ Podcasts erfolgt im Mai 2024. Die Erstveröffentlichung der Podcastfolge geschieht zum SKZ Innovationstag Circular Economy am 25.06.2024.
Bewerbung der Ergebnisse und des Tools durch Pressemitteilungen und über Social Medikanäle des SKZ	Die PM ist erstellt und wird im Mai 2024 veröffentlicht, zusammen mit Social Media Posts (siehe Abschnitt 9.6 im Anhang)
Erstellung eines Policypaper mit Handlungsempfehlungen zur Beförderung des Rezyklateinsatzes auf Basis der gewonnen Erkenntnisse	Das Policy Paper ist auf der SKZ-Homepage veröffentlicht (https://www.skz.de/forschung/projekt/rezy-spezi)
Eine Abschlussveranstaltung für die Ergebnis- und Toolpräsentation mit vorgesehenen 50 Teilnehmer*Innen aus den Bereichen Kunststoffbranche, Forschung, Ministerien, weitere öffentliche Stellen (z. B. Umweltbundesamt)	Das Tool konnte erst mit Abgabe des Projektberichts finalisiert werden, sodass die Veranstaltung erst nachträglich durchgeführt werden kann. Der Termin der bereits konzeptionierten Onlineveranstaltung ist der 06.06.2024. Die Einladungen hierfür sind in KW 18 2024 versendet worden.
Kontinuierliche Bewerbung des Tools und Darstellung der Ergebnisse im Rahmen von SKZ-eigenen Seminaren, Tagungen und weiteren Bildungsveranstaltungen über die Projektlaufzeit hinaus	Erfolgt z. B. im Rahmen des Seminars Werkstoffkunde Rezyklate – Mechanisches Recycling am 21.11.2024 sowie auf dem SKZ Innovationstag Circular Economy am 25.06.2024.

8. Literaturverzeichnis

- [1] CONVERSIO. *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen*, November 2022.
- [2] FLORIAN KNAPPE, JOACHIM REINHARDT, BENEDIKT KAUERTZ. *Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes* [online]. *Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*.
- [3] Patent EP 1921108. Inventor: G. Schrader. 1921108.
- [4] R. PFAENDER. *Kunststoff Additive. Additive für das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen*: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016.
- [5] PLASTICSEUROPE. *Plastics – the Facts 2022* [online]. *Post-consumer recycled content in 2021*.
- [6] HUYSMAN, Sofie, Jonas de SCHAEPMEESTER, Kim RAGAERT, Jo DEWULF, and Steven de MEESTER. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste, pp. 46-54.
- [7] PER-ANDERS ENKVIST AND PER KLEVNÄS. *the circular economy a powerful force for climate mitigation* [online]. *Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. Available from:*
<https://materialeconomics.com/s//s.com/s/s.com//s//s.com/s/s.com/s//s.com/s/s.com/s//s.com/s/s.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1>.
- [8] SCHMÄING T, STEINLEIN T, GROTHJOHANN N. *Mikroplastik in den Meeren – eine Gefahr für Tiere und Menschen? Eine fachwissenschaftliche Problemanalyse inklusive Materialien für die unterrichtliche Nutzung* [online].
- [9] EU KOMMISSION. *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN. Investitionsplan für ein zukunftsfähiges Europa*, 2020.
- [10] KALMYKOVA, Yuliya, Madumita SADAGOPAN, and Leonardo ROSADO. *Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools* [online].
- [11] EUROPÄISCHE KOMMISSION. *Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU. Circular Plastics Alliance*.
- [12] APK-AG. *Neuware in Schrumpffolien ersetzen* [online]. *APK stellt Newcycling LDPE-Rezyklat vor. Available from:* <https://www.umweltwirtschaft.com/news/abfallwirtschaft-und-recycling/anlagen-und-einrichtungen-zur-rueckgewinnung-aufbereitung-und-rohstoffverwertung/APK-stellt-Newcycling-LDPE-Rezyklat-vor-Neuware-in-Schrumpffolien-ersetzen-22581>.
- [13] BRÜGGEMANN GMBH & CO. KG. *Upcycling von Polyolefinen durch Additive. EU-Recycling*.
- [14] EREMA. *Geruchsreduktion hoch zwei* [online]. *Post-Consumer-Rezyklate zur Geruchsverbesserung aufbereiten*.
- [15] DIN, *DIN 1187:1982-11*: Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-1187/1002180>.
- [16] DIN, *DIN 8078:2008-09*. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-8078/110444616>.
- [17] DIN, *DIN 8080:2009-10*: Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-8080/118824505>.

- [18] DIN, *DIN 16833:2009-09*. Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-16833/118825355>.
- [19] DIN EN ISO 15494:2019-01, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen - Polybuten (PB), Polyethylen (PE), Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT), vernetztes Polyethylen (PE-X), Polypropylen (PP) - Metrische Reihen für Anforderungen an Rohrleitungsteile und das Rohrleitungssystem (ISO 15494:2015)*. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-15494/296998575>.
- [20] DIN, *DIN 8075:2018-08*. Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-8075/290028088>.
- [21] TÜV, *IATF 16949*. Available from: <https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/management-service/pdf/automotive/whitepaper-de-iatf16949.pdf>.
- [22] DIN, *DIN EN ISO 9001:2015-11*. Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9001/235671251>.
- [23] DIN, *DIN EN 12608-1:2016-08*. Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-12608-1/240858125>.
- [24] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ. *Bedarfsgegenständeverordnung. BedGgStV*. 1997.
- [25] VERORDNUNG (EU) NR. 10/2011 DER KOMMISSION. *über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen*, 2011.
- [26] EU KOMMISSION. *Verordnung (EU) 2022/1616 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 282/2008*, 2022.
- [27] BUNDESAMT FÜR STRASSEN. *Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse. ARD Band II*, 2021.
- [28] DIN, *DIN EN ISO 16103:2021-12*. Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-16103/344728331>.
- [29] C. WEISCHER. *Sozialforschung*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft GmbH, 2007.
- [30] N. BURZAN, N. BAUR, J. BLASIUS. *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Indikatoren*. Wiesbaden: Springer VS, 2019.
- [31] IUBH INTERNATIONALE HOCHSCHULE. *news* [online] [viewed 13 April 2022]. Available from: <https://www.iu.de/news/iubh-studie-klimaschutz-bleibt-wichtigste-herausforderung-der-menschheit/>.
- [32] CAPGEMINI. *HOW SUSTAINABILITY IS FUNDAMENTALLY CHANGING CONSUMER PREFERENCES* [online]. 2020 [viewed 13 April 2022]. Available from: [HOW SUSTAINABILITY IS FUNDAMENTALLY CHANGING CONSUMER PREFERENCES](https://www.capgemini.com/en/press-releases/2020/04/how-sustainability-is-fundamentally-changing-consumer-preferences).
- [33] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV) and UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2020 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage* [online].
- [34] IPSOS. *Konsumenten erwarten nachhaltige Verpackungen* [online]. 2019 [viewed 2022]. Available from: <https://www.ipsos.com/de-de/konsumenten-erwarten-nachhaltige-verpackungen>.
- [35] STATISTA. *Wichtige Qualitätsmerkmale von Produkten in Deutschland im Jahr 2017*. Markenartikel Magazin.

- [36] VEGANZ GROUP AG. Veganz Ernährungsumfrage 2019.
- [37] SIMON-KUCHER & PARTNERS. AVAILABLE FROM: <https://www.simon-kucher.com/de/about/media-center/neue-studie-ueber-80-der-konsumenten-sind-bereit-fuer-nachhaltige-verpackungen-mehr-zu-zahlen>.
- [38] D. LÜCK, U. LANDROCK, N. BAUR, J. BLASIUS. *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Datenaufbereitung und Datenbereinigung in der quantitativen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH, ein Teil von Springer Nature, 2019.
- [39] STATISTA. *Weshalb versuchen Sie persönlich Fleisch bzw. tierische Produkte zu vermeiden?* [online] [viewed Juni 2022]. Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/486727/umfrage/gruende-fuer-die-reduzierung-des-fleischkonsums-in-deutschland/>.
- [40] DIN, *DIN EN 253:2020-03*: Beuth. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-253/309495925>.

9. Anhang

9.1. Fragestellungen für die SKZ internen Experten-Interviews

	Beschreibung
Normen (Mülltonnen)	<ul style="list-style-type: none"> • Mülltonnenprüfung: Anfrage von Normen und Werkstandards • Welche Anforderungen werden grundsätzlich an Mülltonnen gestellt • Aus welchem Grund werden Rezyklate nicht oder nur selten verwendet? • Gibt es Normen oder Werkstandards die den Einsatz von Rezyklat grundsätzlich ausschließen? • Welche Produktprüfungen werden grundsätzlich durchgeführt <ul style="list-style-type: none"> • Was muss ein Kunststoff mitbringen? • Kontakte zu Herstellern aus der Industrie / anderen Forschungsinstituten bzw. Experten
Normen (Rohre)	<ul style="list-style-type: none"> • recherchierte Normen durchsprechen • Welche Anforderungen werden an einzelne Rohre gestellt? • Welche Produktprüfungen werden grundsätzlich durchgeführt <ul style="list-style-type: none"> • Was muss ein Kunststoff mitbringen? • Einschätzungen zu Rezyklaten im Rohrbereich <ul style="list-style-type: none"> • Welche Art von Rezyklat könnte den heutigen Produkthanforderungen entsprechen • Gibt es Produkthanforderungen die vernachlässigt werden können bzw. überzogen sind? • Kontakte zu Rohrherstellern aus der Industrie/ weitere Forschungsinstitute und Experten
Normen (Geokunststoffe)	<ul style="list-style-type: none"> • Anfrage von Normen und Werkstandards • Welche Anforderungen werden grundsätzlich an Geokunststoffe (Bentonitmatten, Drainagematten, Dichtungsbahnen) gestellt. • Was muss ein Kunststoff mitbringen um als Geokunststoff Verwendung zu finden? • Welche Produktprüfungen werden grundsätzlich durchgeführt? • Gibt es Normen oder Werkstandards die den Einsatz von Rezyklat grundsätzlich ausschließen? <ul style="list-style-type: none"> • Wenn ja, welche? • Welche Rezyklat-Einsatzbeschränkungen sind bekannt? • Einschätzung zu Rezyklaten im Geokunststoff-Bereich • Welche Art von Rezyklat könnte den heutigen Produkthanforderungen entsprechen? • Gibt es Produkthanforderungen die vernachlässigt werden können bzw. die überzogen sind? • Kontakte zu Herstellern aus der Industrie/ weitere Forschungsinstitute und Experten
Fenster	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Normen und/ oder spezifische (in der Praxis betriebene) Standards sind bekannt, die den Rezyklateinsatz verhindern oder beschränken? <ul style="list-style-type: none"> • Was sind vor allem die heutigen Probleme beim Einsatz von Rezyklat im Fensterbereich? • Normen die den Einsatz von Rezyklaten klar definieren sind auch wünschenswert • Welche Rezyklateinschränkungen sind noch bekannt? (z. B. rein betrieblich, oder aus Erfahrungsgründen)

	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Anforderungen werden grundsätzlich an Kunststofffenster gestellt? <ul style="list-style-type: none"> • Was muss ein Kunststoff mitbringen, um im Fensterbereich Einsatz zu finden? • Welche Produktprüfungen werden grundsätzlich durchgeführt? • Einschätzungen zu Rezyklaten im Fensterbereich: <ul style="list-style-type: none"> • Worauf kommt es besonders an? • Welche Art von Rezyklat könnte den heutigen Produktanforderungen entsprechen? (PIR, PCR, eigene Produktionsabfälle etc.) • Gibt es normenbezogene Produktanforderungen, die vernachlässigt werden können bzw. überzogen sind? • Kontakte zu Herstellern aus der Industrie / weitere Forschungsinstitute und Experten für Interviews
--	--

9.2. Identifikation und Beurteilung bestehender herstellerspezifischer Einsatzbeschränkungen von Rezyklaten

1. Welche Produkte stellen Sie für welche Anwendungen her?

Produkt	Anwendungsbereich

2. Verwenden Sie für die Herstellung Ihrer Produkte recycelten Kunststoff?

Ja Nein

a. Wenn ja, wie hoch ist der Anteil im Produkt?

Produkt	Rezyklatanteil

3. Welche Rezyklatqualität wird für welches Produkt eingesetzt (PCR, PIR etc.)?

Bitte fügen Sie Ihre Produkte ein und kreuzen das entsprechende Feld mit „x“ an.

Produkt	Post Industrial Bereich	Post Consumer Non-Food Bereich	Post Consumer Food-Bereich
<i>z. B. Blasfolie</i>		x	

4. Gibt es allgemeine Normen z. B. DIN ISO die in Ihrem Bereich den Einsatz von Sekundärkunststoffen beschränken?

Ja Nein

a. Wenn ja, wie lauten diese für das jeweilige Produkt?

Produkt	Allgemeine Norm

5. Wissen Sie welche Kriterien diese Einsatzbeschränkung begründen?

Ja Nein

a. Wenn ja, bitte nennen sie die Einsatzbeschränkungen für das jeweilige Produkt

Produkt	Einsatzbeschränkung

6. Haben Sie zusätzlich werkspezifische Standards die das einsetzen von recyceltem Kunststoff verhindern?

Ja Nein

a. Falls ja, wie lauten diese für das jeweilige Produkt

Produkt	Werkspezifische Standards

b. Falls ja, wissen Sie welche Kriterien diese Einsatzbeschränkung begründen?

Ja Nein

c. Wenn ja, bitte nennen sie die Einsatzbeschränkungen für das jeweilige Produkt

Produkt	Einsatzbeschränkung

7. Falls keine niedergeschriebenen Standards bestehen, gibt es Anforderungen, die in der Praxis an Kunststoffprodukte gestellt werden, die den Einsatz von Rezyklat verhindern?

Ja Nein

- a. Wenn ja, wie lauten die Anforderungen für das jeweilige Produkt?

Produkt	Anforderungen die Rezyklateinsatz verhindern

8. Allgemein: Für wie dringlich halten Sie das Einsetzen von Virgin-Kunststoffen zur Erfüllung der Funktionalität Ihrer Produkte?

Gar nicht notwendig	Wenig notwendig	Mittelmäßig	Sehr wichtig

9. Müssen Sie in der Zukunft oder aktuell Einsatzquoten erfüllen, die durch in- oder externe Vorgaben behindert werden?

Ja Nein

- a. Wenn ja, welche Quoten sind das?

Produkt	Quoten

10. Wie schätzen Sie das Potenzial für den Einsatz von Rezyklaten in Ihren Produkten ein?

Bitte setzen Sie ein „x“ in das entsprechende Feld

Produkt	Hohes Potenzial	Mittleres Potenzial	Geringes Potenzial	Kein Potenzial

11. Freiwillige Kontaktangabe für Rückfragen

Unternehmen:

Telefon:

Adresse:

E-Mail:

Ansprechpartner:

9.3. Analyse der gesellschaftlichen Akzeptanz über den Rezyklateinsatz in Kunststoffprodukten

9.3.1. Vorstudie zur Bestimmung der Variablen „Wertigkeit“:

Tabelle 9-1: Wertigkeit ausgewählter Produkte

	Geruch	Haptik	Optik	Mittelwert
Mülltonne (Außenbereich)	1	1	0	1
Mülleimer (Innenbereich)	5	3	1	3
Armaturentafel	5	1	2	3
Motorauskleidung im Auto	1	0	1	1
Blumentopf (Übertopf)	3	1	3	2
Fensterrahmen	5	4	3	4
Desktop PC	5	3	2	3
PC-Monitor	5	3	3	4
Shampoo Flasche	5	3	1	3
Staubsauger	5	1	1	3
Wäschekorb	5	1	1	2
Fernseher	5	1	3	3
Smartphone	5	5	3	4
Radio	5	1	2	3
Kleiderbügel	5	3	1	3

Tabelle 9-2: Bewertung der Produkte nach Berührungshäufigkeit

Wie häufig berühren Sie folgendes Produkt?	mehrmals täglich	jeden oder jeden zweiten Tag	alle paar Tage	fast nie	Summe
Antworten in %	3	2	1	0	
Mülltonne (Außenbereich)	0	18,8	68,8	12,5	1
Mülleimer (Innenbereich)	43,8	25	25	6,3	2
Armaturentafel	6,3	25	18,8	50	1
Motorauskleidung im Auto	0	6,3	0	93,8	0
Blumentopf (Übertopf)	0	12,5	62,5	25	1
Fensterrahmen	50	31,3	6,3	12,5	2
Desktop PC	50	12,5	6,3	31,3	2
PC Monitor	37,5	31,3	18,8	12,5	2
Shampoo Flasche	6,3	87,5	6,3	0	2
Staubsauger	0	12,5	87,5	0	1
Wäschekorb	0	18,8	81,3	0	1
Fernseher	0	25	25	50	1
Smartphone	93,8	6,3	0	0	3
Radio	12,5	18,8	25	43,8	1
Kleiderbügel	37,5	37,5	25	0	2

1. Wie häufig berühren Sie folgendes Produkt ?

[Weitere Details](#)

■ mehrmals täglich
 ■ jeden oder jeden zweiten Tag
 ■ alle paar Tage
 ■ fast nie

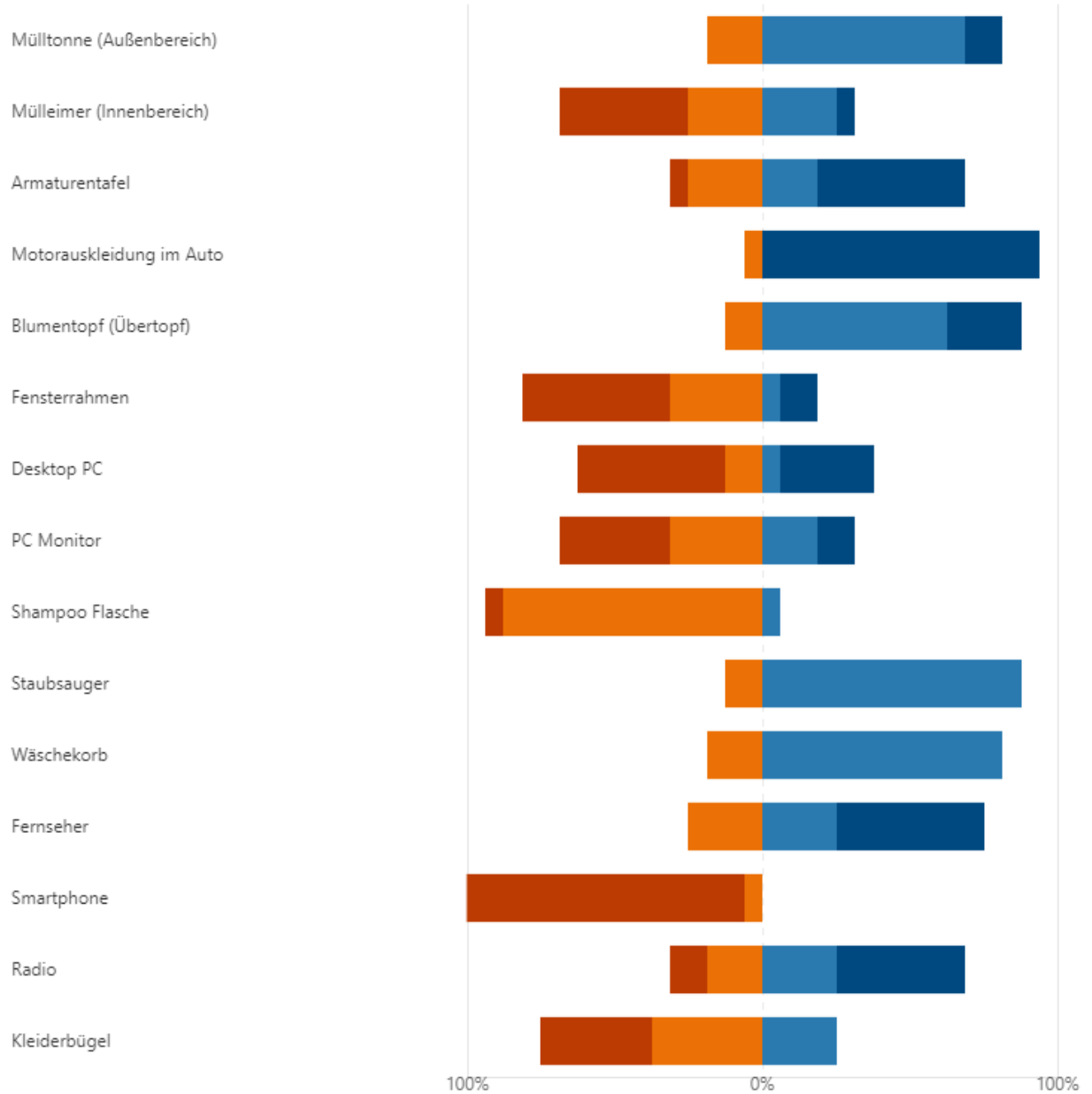


Abbildung 9-1: Prozentuale Antwortverteilung zur Berührungshäufigkeit Quelle: Microsoft Forms

2. Wie wichtig ist Ihnen das Aussehen folgender Produkte?

[Weitere Details](#)

■ sehr wichtig ■ etwas wichtig ■ kaum wichtig ■ gar nicht wichtig

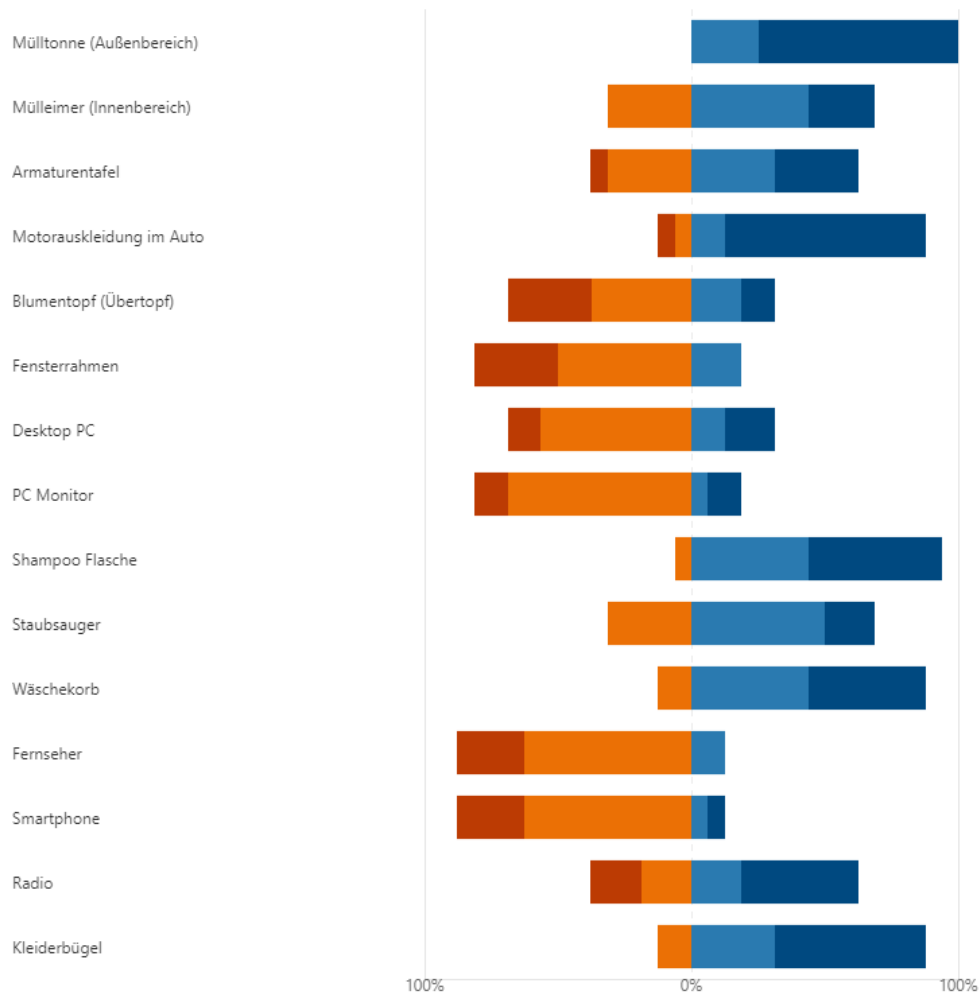


Abbildung 9-2: Prozentuale Antwortverteilung zur Bedeutung der Optik

Tabelle 9-3: Bewertung der Produkte nach Bedeutung der Optik

Wie wichtig ist Ihnen das Aussehen folgender Produkte?	sehr wichtig	etwas wichtig	kaum wichtig	gar nicht wichtig	Summe
Antworten in %	3	2	1	0	
Mülltonne (Außenbereich)	0	0	25	75	0
Mülleimer (Innenbereich)	0	31,3	43,8	25	1
Armaturentafel	6,3	31,3	31,3	31,3	1
Motorauskleidung im Auto	6,3	6,3	12,5	75	0
Blumentopf (Übertopf)	31,3	37,5	18,8	12,5	2
Fensterrahmen	31,3	50	18,8	0	2
Desktop PC	12,5	56,3	12,5	18,8	2
PC Monitor	12,5	68,8	6,3	12,5	2
Shampoo Flasche	0	6,3	43,8	50	1
Staubsauger	0	31,3	50	18,8	1
Wäschekorb	0	12,5	43,8	43,8	1
Fernseher	25	62,5	12,5	0	2
Smartphone	25	62,5	6,3	6,3	2
Radio	18,8	18,8	18,8	43,8	1
Kleiderbügel	0	12,5	31,3	56,3	1

9.3.2. Ergebnisse der Akzeptanz-Umfrage aus MS Forms

18.05.22, 07:45

Thema: Einsatz von recyceltem Kunststoff (Rezyklat) (2) (Bearbeiten) Microsoft Forms

Forms

? JK

Thema: Einsatz von recyceltem Kunststoff (Rezyklat)

158

Antworten

11:53

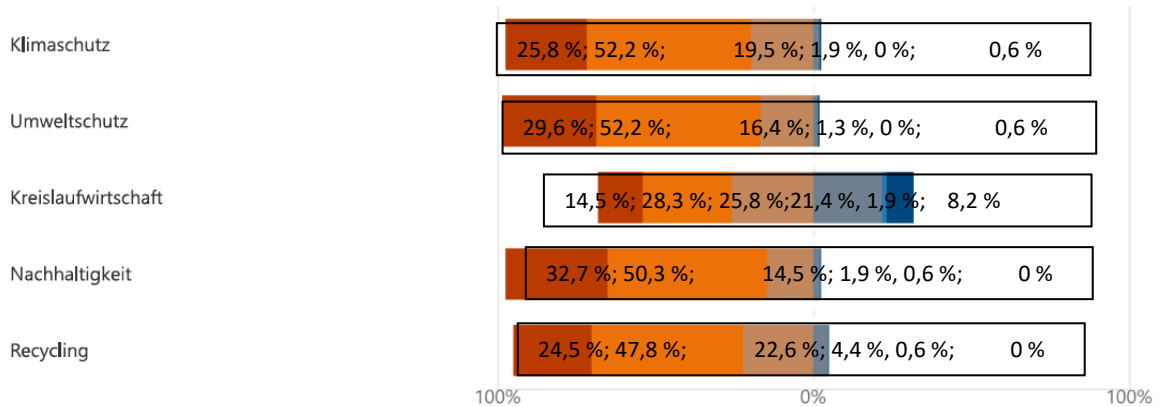
Durchschnittliche Zeit für das Ausfüllen

Aktiv

Status

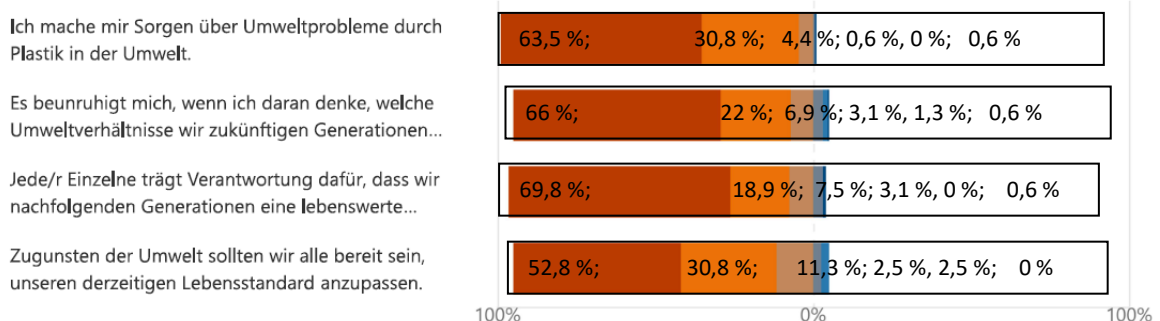
1. Wie stark interessieren Sie sich für die folgenden Themen?

■ sehr stark ■ stark ■ Teils, teils ■ weniger stark ■ gar nicht ■ weiß nicht / keine Angabe



2. Wie stehen Sie zu den folgenden Aussagen:

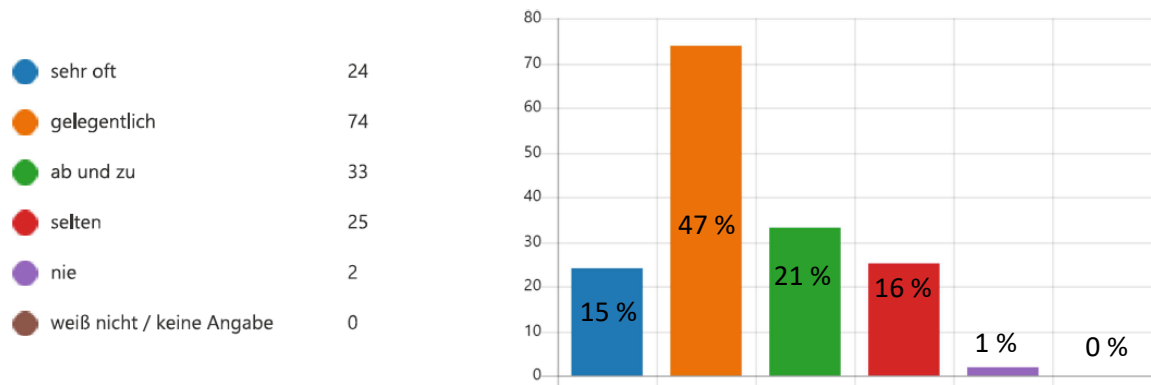
■ stimme voll zu ■ stimme eher zu ■ Teils, teils ■ stimme eher nicht zu ■ stimme überhaupt nicht zu
■ weiß nicht / keine Angabe



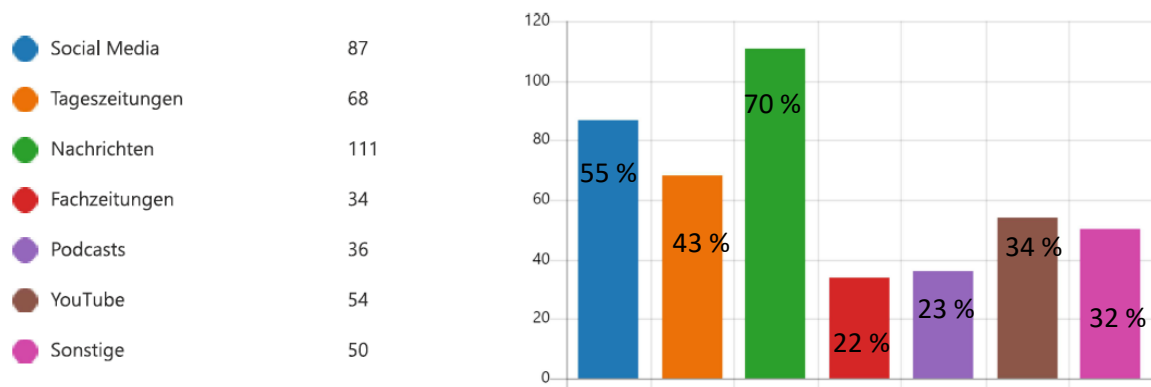
https://forms.office.com/Pages/DesignPage.aspx?origin=NeoPortalPage#Analysis=true&FormId=Ctk62IDFOka2n-P6lypSERcyOvUU_bVOgtVhd... 1/9

Abbildung 9-3: Umfrage Ergebnisse Seite 1, Interesse

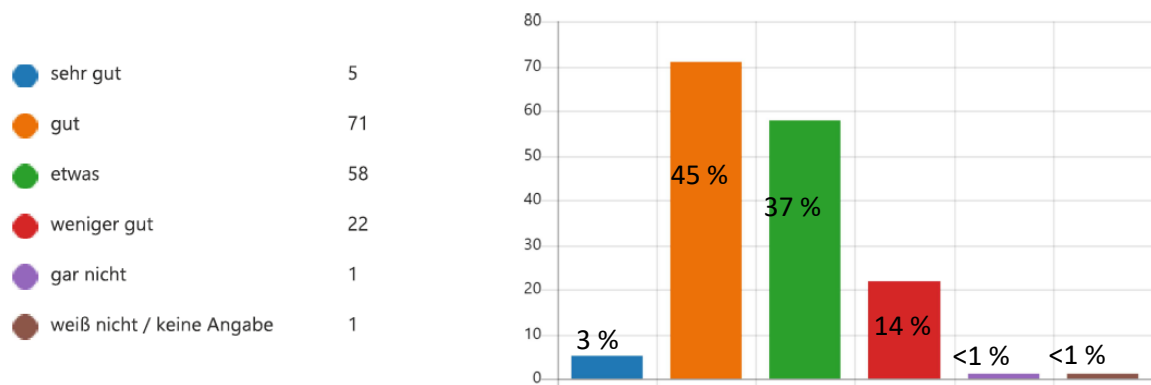
3. Wie oft informieren Sie sich zu Themen wie Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit und Recycling?



4. Wie informieren Sie sich über Themen wie Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit und Recycling?



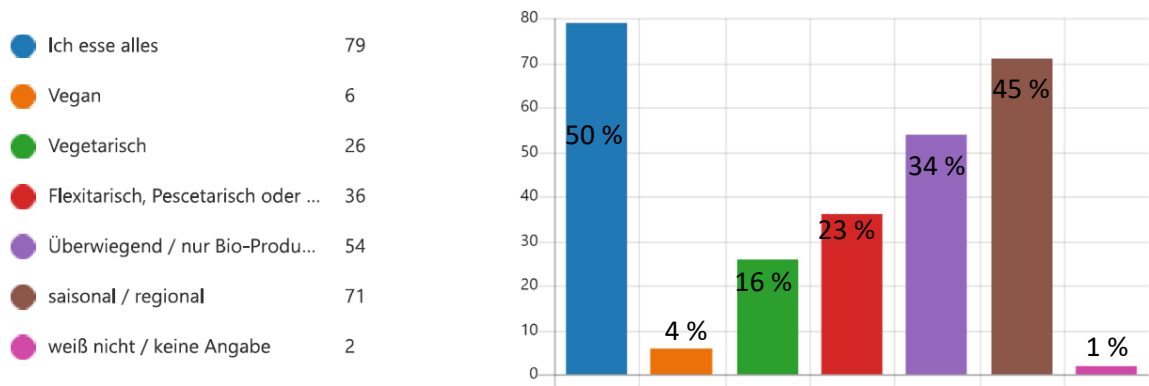
5. Wie gut fühlen Sie sich über das Thema Recycling insgesamt informiert?



6. Wünschen Sie sich zum Thema Recycling eine transparentere Kommunikation zwischen Industrie und Gesellschaft?



7. Wie ernähren Sie sich?



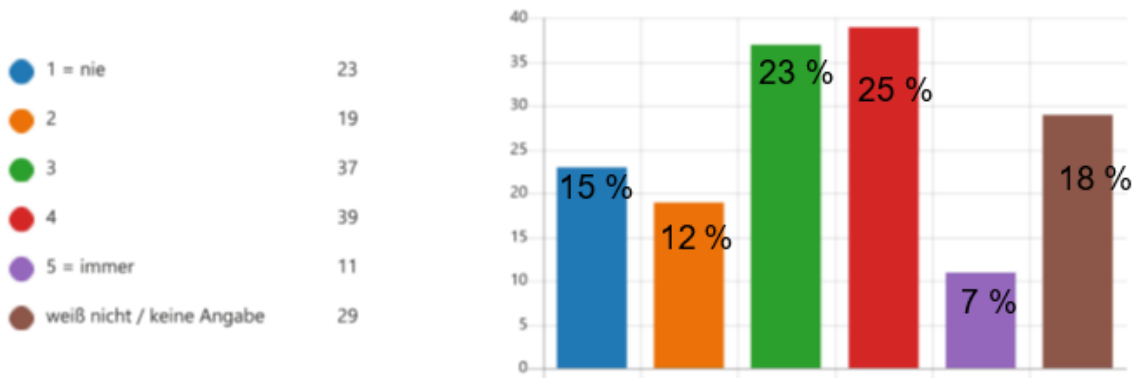
8. Welche Materialien empfinden Sie als besonders nachhaltig?

0% der Antwortenden (0 von 158) haben diese Frage richtig beantwortet.

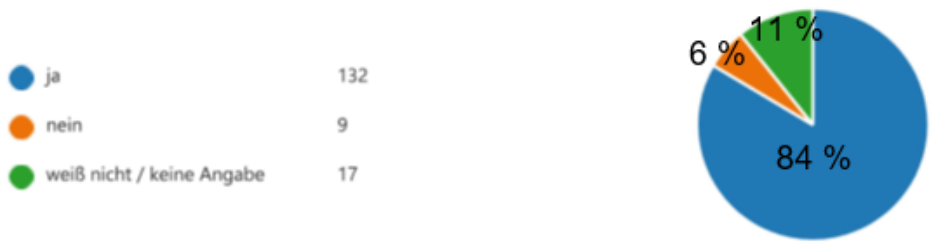


9. Nehmen Sie Stellung zu folgender Aussage:

Beim Einkaufen bevorzuge ich Produkte mit Etiketten, die auf Rezyklateinsatz hinweisen.



10. Wünschen Sie sich eine deutlichere Kennzeichnung von Produkten bezüglich des Rezyklateinsatzes?



11. Wie hoch dürfte die Preissteigerung eines Kunststoffprodukts mit Rezyklatanteil (> 90 %) gegenüber einem herkömmlichen Kunststoffprodukt sein, sodass Sie es zum Kauf in Betracht ziehen würden?

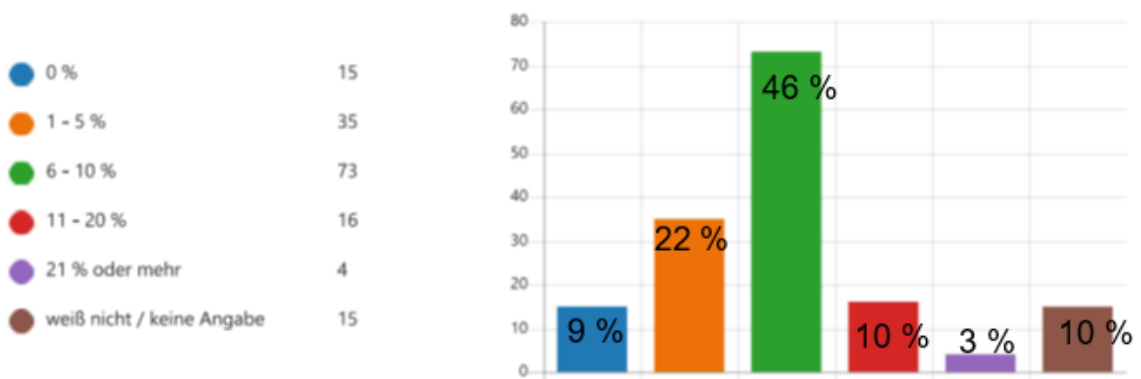


Abbildung 9-6: Umfrage Ergebnisse, Seite 4, Microsoft Forms, Kaufentscheidung

12. Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Bei genauerer Betrachtung stellen Sie **Schlieren auf der Oberfläche** fest. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

■ Würde ich auf jeden Fall kaufen
 ■ Würde ich eher kaufen
 ■ Würde ich vielleicht kaufen
 ■ Würde ich eher nicht kaufen
■ Würde ich auf keinen Fall kaufen
 ■ weiß nicht / keine Angabe

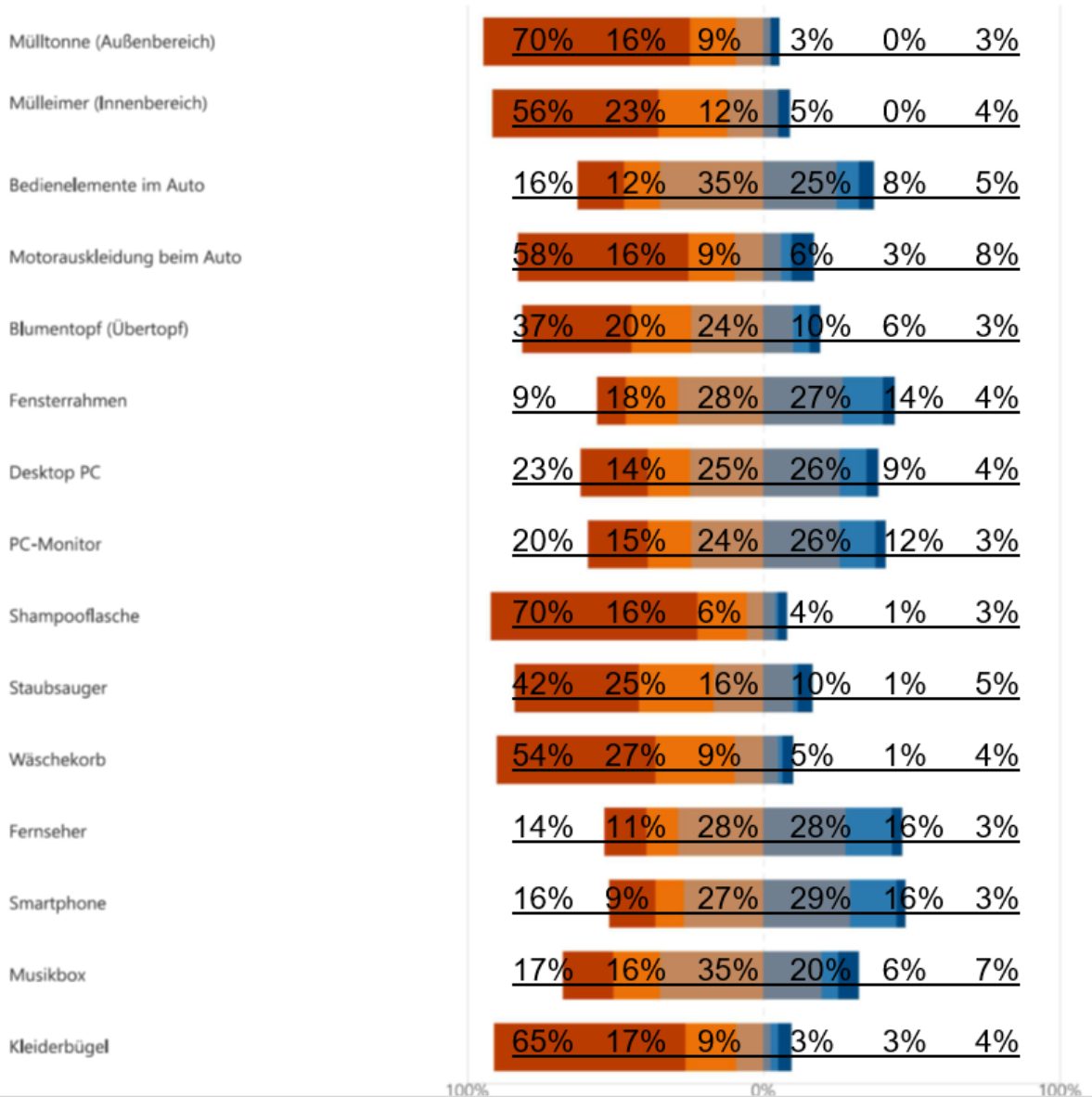


Abbildung 9-7: Umfrage Ergebnisse, Seite 5, Microsoft Forms, Kaufentscheidung

13. Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Bei genauerer Betrachtung nehmen Sie einen **unangenehmen Geruch** wahr. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

■ Würde ich auf jeden Fall kaufen
 ■ Würde ich eher kaufen
 ■ Würde ich vielleicht kaufen
 ■ Würde ich eher nicht kaufen
■ Würde ich auf keinen Fall kaufen
■ weiß nicht / keine Angabe

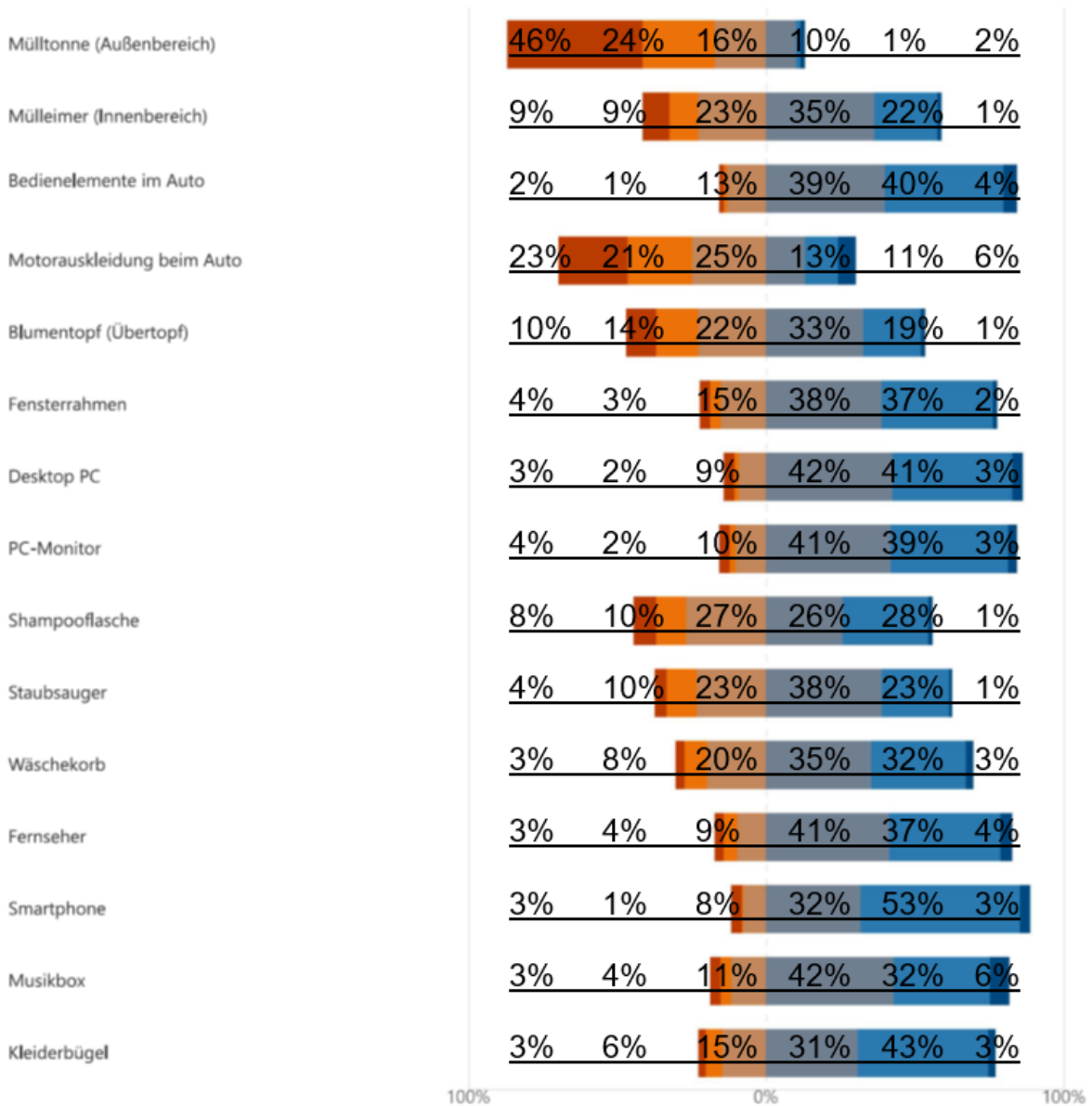


Abbildung 9-8: Umfrage Ergebnisse, Seite 6, Microsoft Forms, Kaufentscheidung

14. Stellen Sie sich vor, Sie wollen die folgenden Produkte kaufen. Als Sie es **anfassen** nehmen Sie eine **veränderte Haptik** wahr. Das Produkt ist mit "über 90 % Rezyklatanteil" gekennzeichnet. Würden Sie das Produkt kaufen?

■ Würde ich auf jeden Fall kaufen
 ■ Würde ich eher kaufen
 ■ Würde ich vielleicht kaufen
 ■ Würde ich eher nicht kaufen
■ Würde ich auf keinen Fall kaufen
 ■ weiß nicht / keine Angabe

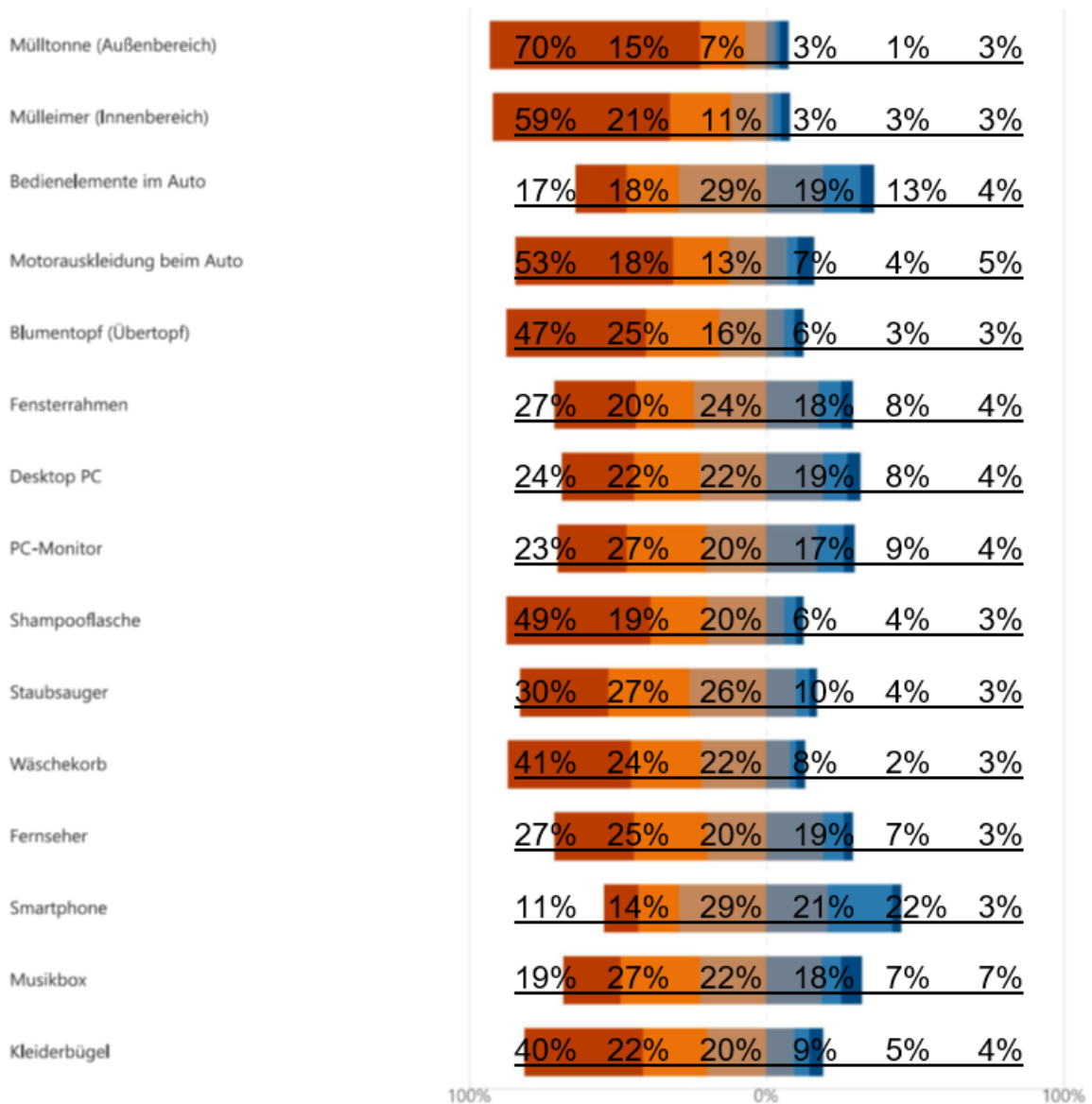


Abbildung 9-9: Umfrage Ergebnisse, Seite 7, Microsoft Forms, Kaufentscheidung

15. Haben Sie Bedenken bezüglich Verunreinigungen/Kontaminationen durch den Rezyklateinsatz in Kunststoffprodukten im "Non-Food Bereich" ?

● ja	21
● nein	95
● weiß nicht / keine Angabe	42



16. Wenn Sie Bedenken haben, welche sind das?

9
Antworten

Neueste Antworten

"Migration von Rückständen in das Produkt (Reinigungsmittel, Körperp...

1 Befragten (13%) antworteten **Eventuelle unverträgliche Stoffe** für diese Frage.

Duftstoffe Abreibungen
Gesundheitliche Schäden Recyclingprozess
Eventuelle unverträgliche Stoffe Schadstoffe
Mögliche enthaltene Giftstoffe Allgemeine Bedenken
Allergien Kontamination Langlebigkeit

17. Zu welcher der nachfolgenden Alterskategorien gehören Sie?

● 18 oder jünger	26
● 19 bis 24	40
● 25 bis 29	13
● 30 bis 39	15
● 40 bis 49	21
● 50 bis 59	24
● 60 oder älter	19

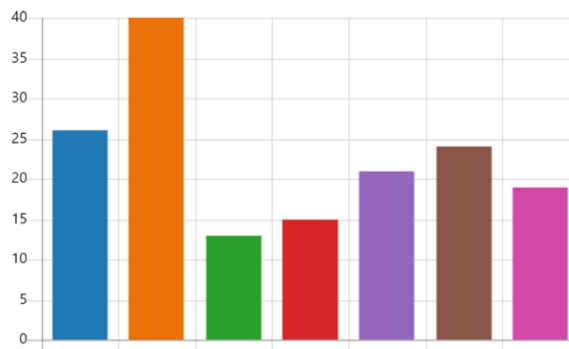
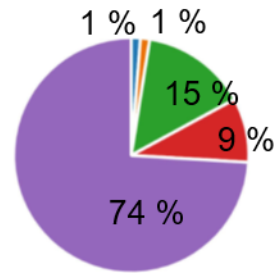


Abbildung 9-10: Umfrage-Ergebnisse, Seite 8 aus MS Forms, Bedenken bezgl. Kontaminationen und Alterskategorien

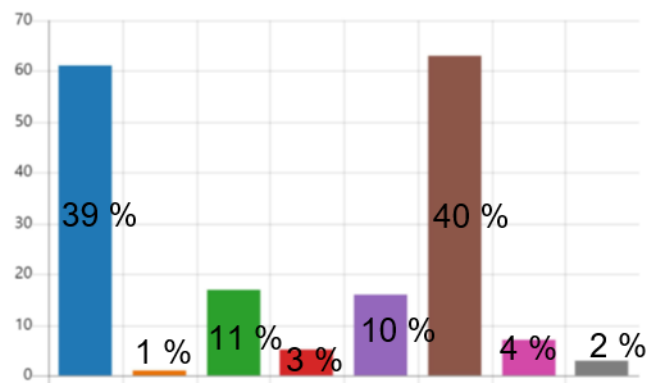
18. Was ist Ihr höchster Schulabschluss?

kein allgemeiner Schulabschlu...	2
Haupt- bzw. Volksschulabschl...	2
Realschulabschluss, also Middle...	23
Fachhochschulreife	14
Allgemeine Hochschulreife, als...	117



19. Welche Berufsausbildung haben Sie?

In Ausbildung (Schüler, Auszu...	61
Lehre ohne Abschluss	1
Lehre mit Abschluss: Gehilfen-...	17
Gewerbeschule, Fachschule mi...	5
Fachhochschulabschluss oder ...	16
Hochschul- oder Universitäts...	63
Andere Art der Berufsausbildu...	7
nichts davon	3



20. Haben Sie in Ihrem Beruf oder Ihrer Ausbildung regelmäßig mit Kunststoffen zu tun?

1= Berufstätigkeit in der Branc...	18
2	13
3	30
4	47
5 = nie	50

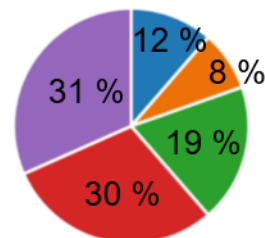


Abbildung 9-11: Umfrage Ergebnisse, Seite 9 Microsoft Forms, Berufung

9.4. Fragebogen der Recycling-Umfrage zum Thema Rezyklateinsatzpotenziale

1. Welche Rezyklatmenge wird derzeit durch Ihr Unternehmen an welche Branche geliefert? [Angaben in Jahrestonnen]

	<1000 t/Jahr	1000- 2500 t/Jahr	2500- 5000 t/Jahr	5000- 10000 t/Jahr	10000- 20000 t/Jahr	20000- 30000 t/Jahr	>30000 t/Jahr
Packaging							
Electronic and electrical Equipment (EE)							
Construction							
Automotive							
Agriculture							
Andere							

2. Wie schätzen Sie die Steigerung dieser Menge in bestimmter Branche ein, wenn Farbenforderungen eine untergeordnete Rolle spielen würden? (z. B. RAL-Bereiche wären zugelassen) z. B.: Wir könnten die Verkaufsmenge in der Automobilbranche um <10 % erhöhen. Im EE-Bereich würde es eine Steigerung um 20-40 % geben.

	<10 %	10-20 %	20-40 %	40-60 %	60-80 %	80-100 %	>100 %
Packaging							
Electronic and electrical Equipment (EE)							
Construction							
Automotive							
Agriculture							
Andere							

3. Wie schätzen Sie die Steigerung dieser Menge in bestimmten Branchen ein, wenn man sich bei der Nutzung auf 3 spezifische Kunststoffarten beschränken würde? (geringere Heterogenität der Kunststoffe auf dem Markt) Bitte machen Sie Angaben zu den relevantesten Branchen, die Sie beliefern!

	<10 %	10-20 %	20-40 %	40-60 %	60-80 %	80-100 %	>100 %
Packaging							
Electronic and electrical Equipment (EE)							
Construction							
Automotive							
Agriculture							
Andere							

4. Wie schätzen Sie die Steigerung dieser Menge in bestimmten Branchen ein, wenn der höhere Preis für Rezyklate in gewünschter Qualität akzeptiert wird? Bitte machen Sie Angaben zu den relevantesten Branchen, die Sie beliefern!

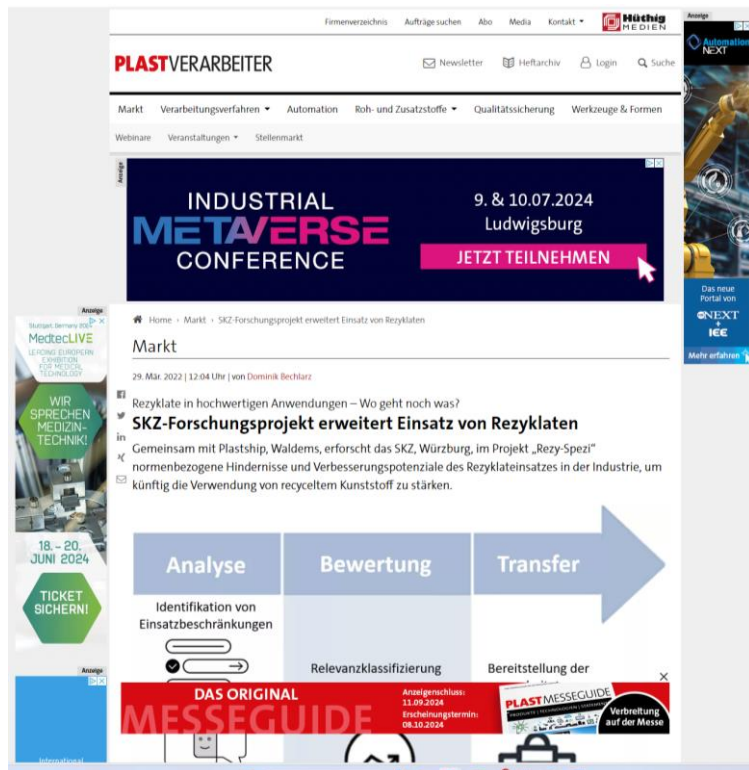
	<10 %	10-20 %	20-40 %	40-60 %	60-80 %	80-100 %	>100 %
Packaging							

Electronic and electrical Equipment (EE)							
Construction							
Automotive							
Agriculture							
Andere							

5. Wie schätzen Sie die Steigung dieser Menge in bestimmten Branchen ein, wenn Sicherheitspuffer in den fertigen Produkten herabgesetzt werden bzw. eine flexiblere Dimensionierung der Produktdicke möglich wäre? (z. B. Qualität des Bauteils kann durch Rezyklate erfüllt werden, wenn die Anforderungen an die Dimensionierung der Produkte angepasst werden) Bitte machen Sie Angaben zu den relevantesten Branchen, die Sie beliefern!

	<10 %	10-20 %	20-40 %	40-60 %	60-80 %	80-100 %	>100 %
Packaging							
Electronic and electrical Equipment (EE)							
Construction							
Automotive							
Agriculture							
Andere							

9.5. Pressemitteilung zum Projektstart, Quelle: Plastverarbeiter 29.3.2022



9.6. Erstellte Pressemitteilung zur Toolbereitstellung im Mai 2024

Headline

Projekt Rezy-Spezi – der Kumpel der Kunststoffindustrie für mehr Rezyklateinsatz

Subline

Forschungsprojekt des Kunststoff-Zentrum SKZ und der plastship GmbH identifiziert Potentiale für Recyclingmaterialien

Lead/Summary/Teaser

In einem gemeinsam mit der Firma plastship GmbH durchgeführten Forschungsprojekt ist es dem Kunststoff-Zentrum SKZ gelungen Hemmnisse für den Einsatz von Sekundärwerkstoffen der Kunststoffverarbeitung zu identifizieren und für die Industrie konkrete Handlungsvorschläge zu erarbeiten, um Rezyklatanteile zu erhöhen.

Text

Warum wird eigentlich nicht mehr Rezyklat eingesetzt und wie kann man den Einsatz von Sekundärwerkstoffen erhöhen? Mit dieser Frage beschäftigte sich von 2021 bis 2023 das von der deutschen Bundesstiftung Umwelt – DBU geförderte Projekt Rezy-Spezi. Im Rahmen des Projektes identifizierten das Kunststoff-Zentrum SKZ aus Würzburg und die plastship GmbH verschiedene Einsatzhindernisse von Sekundärwerkstoffen, die Potentiale, falls diese gelöst werden und erarbeitete Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung limitierender Faktoren.

Ein zu Grunde liegendes Problem sind häufig Qualitätsanforderungen in Normen und Werkstandards, die aus unterschiedlichsten Gründen sehr hoch angesetzt, obwohl diese für die vorrangige Produktfunktionalität oftmals nicht erforderlich sind. Im Zuge des Forschungsvorhabens ist es den Partnern gelungen verschiedene Einsatzpotentiale zu identifizieren, die einen verstärkten Einsatz von Sekundärmaterialien ermöglichen können, ohne die Produktperformance zu beeinträchtigen. „Ein Beispiel, das sich als wichtiger Faktor im Projekt herausgestellt hat sind strenge optische Anforderungen, so sind stellenweise Farbtöne genau definiert allerdings mitunter auch selbst in nicht sichtbaren Bereichen. Durch eine Erhöhung der zulässigen Farbspektren wäre eine Steigerung des Rezyklatangebotes in einzelnen Industriebereichen um bis zu 75% denkbar.“ erklärt Antonia Ivanda, Scientist am SKZ.

Die Ergebnisse der dreijährigen Untersuchungen wurden mittels Recherchearbeiten wie der Sichtung verschiedener Normen und Umfragen bzw. Experteninterviews ermittelt. Befragt wurden u.a. mehrere Kunststoffexperten und -expertinnen aus den Bereichen Forschung und Prüfung des SKZ, der kunststoffverarbeitenden Industrie, Recyclingunternehmen und auch Endverbraucher.

Im Zuge der Arbeit konnten verschiedenste Einsatzpotentiale und Handlungsgebiete identifiziert werden. Die Ergebnisse der Studie sind transparent online in einem digitalen Tool abrufbar (unter: <https://plastship.com/branchen-umfrage>).

„Wir sind aktuell an vielen verschiedenen Projekten beteiligt, die das Ziel haben die Kreislauffähigkeit von Kunststoffprodukten zu verbessern und beraten Unternehmen hinsichtlich der Transformation hin zu einer Kreislaufindustrie. Das Projekt Rezy-Spezi war hier wichtige Grundlagenarbeit, um die vielen Chancen zu erkennen und zu nutzen.“ sagt Hermann Achenbach, Bereichsleiter Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft am SKZ.

