GEMEINSAM RECYCELN.
GEMEINSAM WERTE SCHAFFEN.
forum-rezyklat.de

Erfassung von faserbasierten Verpackungen mit Barriere und ihre Rolle zur Steigerung der Recyclingfähigkeit

Ergebnisdokument Fachpaket 2 | Arbeitspaket 4

2025 / 2026

Inhaltsverzeichnis

Glossar **3**

1 Kontext und Einleitung **4**
1.1 Hintergrund und Zielsetzung 4
1.2 Thematische Fragestellungen 5
1.3 Abgrenzung 5

2 Status quo der Erfassung faserbasierter Verpackungen mit Barriere **6**
2.1 Relevante Akteure 6
2.2 Aktuelle Erfassungsströme: PPK versus LVP 6
2.3 Herausforderungen: Paperisation, Unwissen, Verwirrung und wirtschaftliche Fehlanreize 6

3 Regulatorischer Rahmen und stoffliche Herausforderungen **8**
3.1 Die 95-5-Regel: Herkunft und aktuelle Bedeutung 8
3.2 Die PPWR als regulatorischer Dreh- und Angelpunkt 8
3.3 Störstoffe und Substances of Concern (SoC) im Altpapierkreislauf 9
3.4 PFAS als Beispiel für ungelöste Stoffdefinitionsfragen 9
3.5 Kennzeichnung und Verbraucherhinweise 10

4 Analyse der Recyclingfähigkeit und Systemgrenzen **11**
4.1 PPK versus Verbundverpackungen: Systemische Unterschiede 11
4.2 Lebensmitteltauglichkeit von Rezyklaten und mikrobiologische Belastung 11
4.3 Analog zu CosPaTox: Die Papertox-Methodik als Lösungsansatz 12
4.4 Sortierung als ergänzender Lösungsansatz 12

5 Handlungsempfehlungen **13**
5.1 Beibehaltung der 95-5-Regel mit Einzelnachweis 13
5.2 Empfehlungen zur Entsorgungszuordnung nach Verpackungstyp 14
5.3 Dreistufiges Forschungsprogramm zur Lebensmitteltauglichkeit 14
5.4 Verwertung europäischer Rezyklate zur Sicherung der Rohstoffautonomie 14

6 Ausblick und Zukunftstrends **16**
6.1 Optimierung bestehender Sammelstrukturen 16
6.2 Multisensorik und KI-gestützte Sortierung 16
6.3 Regulatorische Harmonisierung auf europäischer Ebene 16

7 Fazit **17**

8 Quellenverzeichnis **18**

Glossar

AP - Arbeitspaket

BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung

CosPaTox - Konsortium für Kosmetik, Verpackung und Toxikologie

DPP - Digitaler Produktpass

EPR - Extended Producer Responsibility (Erweiterte Herstellerverantwortung)

IAS - Intentionally Added Substances (Beabsichtigte zugesetzte Stoffe)

LIBS - Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (Laser-Emissionsspektroskopie)

LVP (Abfall) - Leichtverpackungsabfall

NIAS - Non-Intentionally Added Substances (Nicht beabsichtigt zugesetzte Stoffe)

NIR / MIR - Nahinfrarot- / Mittelinfrarotspektroskopie

örE - Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger

PFAS - Per- oder polyfluorierte Substanzen

PPK - Papier, Pappe, Kartonage

PPWR - Packaging and Packaging Waste Regulation (EU-Verpackungsverordnung)

REACH - REACH-Verordnung (EG) 1907/2006 (Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)

SoC - Substances of Concern (Besorgniserregende Stoffe, als Teil der EU Ökodesign Verordnung)

SUPD - „Single Use Plastics Directive" (Einwegkunststoffrichtlinie)

TF – Total Fluorine Value (Gesamtfluorgehalt)

TOF - Total Organic Fluorine (Gesamter organischer Fluorgehalt)

1 Kontext und Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Das Arbeitspaket 4 (AP 4) 'Recyclingfähigkeit von Faser-Verpackungen mit Barrieren' ist Teil des Fachpakets 2 'Technologie und Recyclingfähigkeit' des Forum Rezyklat. Es hat sich im Jahr 2025 und 2026 mit der Fragestellung beschäftigt, inwieweit im Rahmen der haushaltsnahen Sammlung eine Verbesserung hinsichtlich Ausbeute und Qualität von Rezyklaten in Deutschland und europäischen Ländern mit vergleichbarer Entsorgungsinfrastruktur erzielt werden kann.

Ziel der Arbeit war die Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Sekundärrohstoffgewinnung, basierend auf der Qualität und Quantität von Fasern und Barrierematerialien. Die Ausgestaltung dieser Empfehlungen ist eng mit der praktischen Umsetzung der PPWR verknüpft, die künftig durch weitere Rechtsakte präzisiert wird.

Insoweit beschäftigt sich dieses Arbeitspaket sowohl mit konkreten praktischen Auswirkungen der PPWR, zum Beispiel welche Materialien in Verbundverpackungen verwendet werden dürfen, als auch mit bislang wenig beleuchteten Fragestellungen wie der mikrobiologischen Belastung von Verpackungen.

Die erarbeiteten Empfehlungen zielen darauf ab, die haushaltsnahe Erfassung und Aufbereitung faserbasierter Verpackungen mit Barrieren zukunftssicher auszugestalten.

Konkret geht es um:

- die **Qualitätssicherung des PPK-Stroms** durch die Beibehaltung der 95/5-Regel und nachweisgestützte Ausnahmeregelungen,
- die **eindeutige Entsorgungszuordnung** (PPK vs. LVP) anhand transparenter Kriterien zu Fasergehalt, Trennbarkeit und Anhaftungen,
- die **Gewährleistung der Lebensmitteltauglichkeit** über ein dreistufiges Forschungsprogramm (u. a. Messung der Oberflächenkeimzahl und NIAS-Beherrschung im Papertox-Ansatz), sowie
- die **Einbindung von Maschinen- und Anlagenbauern** zur Erschließung fortschrittlicher Sortier- und Aufbereitungstechnologien.

1.2 Thematische Fragestellungen

Thematisch ergeben sich folgende Fragestellungen rund um die Erfassung von haushaltsnahen Verpackungsabfällen:

- Welche Bedeutung hat die Abfallerfassung in Deutschland bzw. der EU für PPK-Verbunde?
- Welche Faktoren der Erfassung beeinflussen ein hochqualitatives Recycling von Verpackungsabfällen?
- Gibt es einen präferierten Verarbeitungsweg für PPK-Verbunde, um qualitativ und quantitativ die bestmöglichen Rezyklate zu erhalten?
- Wie wird der Altpapierstrom durch die gesteigerte „Paperisation“ und durch Verbundverpackungen beeinflusst?

Diese Fragen werden aufgegriffen und mittels Darstellung des Status quo der Erfassung beantwortet. Dabei geht es sowohl um die planmäßige Sammlung über den Gelben Sack als auch um die tatsächliche Sammlung über Gelben Sack, Blaue Tonne und Fehlwürfe in brauner und schwarzer Tonne.

1.3 Abgrenzung

Im Hauptfokus stehen die Aspekte der **Sammlung** und **Erfassung**, während Aspekte des Designs und der Sortierung faserbasierter Verpackungen mit Barriere sowie die Entwicklung von Kennzeichnungssystemen nicht Gegenstand dieser Arbeit sind. Das Thema wurde ausgewählt, da andere Prozessschritte der Abfallwertschöpfungskette, wie das Design for Recycling (recyclinggerechte Gestaltung) oder die Sortierung, bereits in früheren Phasen des AP umfassend behandelt wurden.

Es muss jedoch vermieden werden, dass Endverbraucherinnen und Endverbraucher, wie im Falle von Kunststoffen und den Berichten über deren energetische Verwertung, das Vertrauen in das hochwertige Recycling von PPK-Verpackungen verlieren.

2 Status quo der Erfassung faserbasierter Verpackungen mit Barriere

2.1 Relevante Akteure

Die relevanten Akteure im Erfassungssystem sind:

- **Inverkehrbringer** (Produzenten): Hersteller von Verpackungen und verpackten Waren, die über die Systemteilnahme (z. B. duales System) die Erfassungsinfrastruktur mitfinanzieren.
- **Konsumenten/Endverbraucher**: Agieren als erste Sortierinstanz im Recyclingprozess.
- **Kommunen** im Rahmen der kommunalen Mitbenutzung der Blauen Tonnen.
- **Duale Systeme**: Organisation der Sammlung von faserbasierten Verpackungen, die typischerweise beim Endverbraucher anfallen.
- **Erfasser** (Entsorger): Öffentlich-rechtliche und privatwirtschaftliche Entsorgungsträger, die die Sammlung durchführen.
- **Gesetzgeber**: Nationaler und europäischer Regulierungsrahmen (VerpackDG, PPWR) als normativer Treiber.

2.2 Aktuelle Erfassungsströme: PPK versus LVP

Die rechtlichen Grundlagen für die getrennte Sammlung sind im Verpackungsrecht-Durchführungsgesetz (VerpackDG) verankert. Nach § 38 VerpackDG[1] sind beim privaten Endverbraucher als Abfall anfallende restentleerte Verpackungen einer vom gemischten Siedlungsabfall getrennten Sammlung zuzuführen. Die Ausgestaltung erfolgt gemäß § 40 Abs. 1 VerpackDG in enger Abstimmung mit den vorhandenen Sammelstrukturen des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers (örE) in deren jeweiligem Gebiet (§ 27 Abs. 1 VerpackDG). Dabei wird üblicherweise zwischen drei Hauptkategorien differenziert: Behälterglas-, PPK- und LVP-Sammlung.

Das Gesetz unterscheidet systematisch zwischen zwei Hauptsammelwegen:

- Der Sammelstruktur für die getrennte Erfassung von Papier, Pappe und Karton (§ 28 Abs. 2 VerpackDG), in Deutschland typischerweise die Blaue Tonne.
- Der Sammlung von restentleerten Kunststoff-, Metall- und Verbundverpackungen (§ 42 Abs. 2, 3, § 32 Abs. 2 VerpackDG), in Deutschland der Gelbe Sack bzw. die Gelbe Tonne (LVP-Strom).

In der Praxis werden faserbasierte Verbundverpackungen planmäßig über den Gelben Sack erfasst, gelangen aber durch Fehlwürfe auch in die Blaue Tonne sowie zu kleineren Teilen in braune und schwarze Tonnen.[2]

2.3 Herausforderungen: Paperisation, Unwissen, Verwirrung und wirtschaftliche Fehlanreize

Durch strengere Vorgaben gegenüber Kunststoffen hat sich der Trend der „Paperisation“ entwickelt. Paperisation ist eine Antwort der Industrie auf die bekannten negativen Auswirkungen durch Kunststoffe, die in der Umwelt landen.[3,4]

Dabei geht es darum, den Einsatz von (flexiblen) Kunststoffverpackungen möglichst zu reduzieren und ihn durch flexible PPK- Verbundverpackungen zu ersetzen, bzw. grundsätzlich den Anteil von faserbasierten Materialien gegenüber Kunststoffen zu erhöhen. Diese Entwicklung verfolgt die Ziele den Bezug fossiler Rohstoffe und Gefahren für Umwelt, Mensch und Tiere zu reduzieren.

[1] Gesetz zur Anpassung des Verpackungsrechts und anderer Rechtsbereiche an die Verordnung (EU) 2025/40 (VerpackDG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 17. Juli 2026
[2] Fabian, Matthias; Umweltbundesamt (UBA): „Umweltgerechte Entsorgung faserbasierter Verpackungen in Deutschland.”, 2025
[3] Two Sides, „Was ist „Paperisation“?”, https://de.twosides.info/UK/was-ist-paperisation/
[4] Europäische Kommission, „Threats to marine ecosystems from plastic waste vary across the world’s oceans” *https://environment.ec.europa.eu/news/threats-marine-ecosystems-plastic-waste-vary-across-worlds-oceans-2026-06-25_en*

Da es in vielen Anwendungen nicht möglich ist Kunststoff 1:1 durch Papier zu ersetzen, gibt es, wie in Abschnitt 4.1 ersichtlich, verschiedene Verbundlösungen, die dem Problem entgegenwirken sollen. Somit kann aus Kunststoffverpackungen oft eine Verbundverpackung mit vielen Materialien werden, die unterschiedliche Anforderungen an den Recyclingprozess stellen.

Auch die PPWR greift diese Ziele auf, was wiederum Folgeprobleme mit sich bringt. Das aktuelle System ist mit der Verpackungskomplexität überfordert.

Verbraucher können Barrieren, die einen Massenanteil von mehr als 5 % aufweisen, oft nicht erkennen, was zu Fehlsortierungen führt. In der Diskussion um die Reinheit des PPK-Stroms wird daher die Beibehaltung der 95/5-Regel als notwendiger Standard für die Blaue Tonne betont, um Verunreinigungen zu minimieren (siehe Kapitel 5.1.). Die Verunreinigungen führen zu höheren Reject-Raten bei Papiermühlen. Parallel dazu ist bereits jetzt ein starker Rückgang grafischer Papiere festzustellen, was die gesamte Qualität des Altpapierrecyclings gefährdet, da immer mehr gesammeltes Altpapier aus Verpackungen besteht.[5,6]

Ebenso belasten Lebensmittelanhaftungen die Qualität erheblich (siehe Details in Abschnitt 4.2). Somit würde eine Aufweichung der 95/5-Grenze den Recyclingerfolg durch zusätzliche Verschmutzung weiter verschlechtern. Ein weiteres Folgeproblem sind die, auch durch die vorher genannten Gründe, steigenden Netto-Kosten für EPR-Gebühren als auch eine starke Unterbeteiligung von PPK-Verbundverpackungen am dualen System. Die Umstände der PPK-Verbundverpackungen bedeuten höhere Kosten für die Sortierung, Verwertung und bei der Systembeteiligung somit auch deutlich höhere Kosten als reine PPK-Verpackungen.

Das spiegelt auch die steigende Diskrepanz bei den Lizenzentgelten wider. Die Substitution von Kunststoff durch faserbasierte Materialien wird durch signifikant niedrigere Lizenzentgelte für Papier im Vergleich zu Kunststoffen begünstigt. Diese ökonomische Anreizstruktur spiegelt jedoch nicht die tatsächlichen, komplexeren Prozesskosten in der Sortierung und Verwertung von PPK-Verbundverpackungen wider. Wenn also PPK-Verbundverpackungen als PPK-Verpackungen lizenziert werden, führt diese Situation zu einer systemischen Schieflage, bei der die Systembeteiligungsentgelte die realen Kosten der Entsorgungsinfrastruktur für den wachsenden Strom der PPK-Verbundverpackungen nicht decken.

Deshalb ist es wichtig einen funktionierenden Vollzug zu haben, um sowohl die Unterbeteiligung als auch die Fehleinordnungen von PPK-Verbund- als PPK-Verpackung zu vermeiden und folglich die Kosten für Systembeteiligung senken zu können. „

[5] EUWID, „Altpapieraufkommen weiter rückläufig”, 2026, https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/altpapieraufkommen-weiter-ruecklaeufig-230626/
[6] UBA, „Altpapier”, 2025, https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#vom-papier-zum-altpapier

3 Regulatorischer Rahmen und stoffliche Herausforderungen

3.1 Die 95-5-Regel: Herkunft und aktuelle Bedeutung

Die 95-5-Regel wurde ursprünglich im deutschen Verpackungsgesetz zur Definition von Verbundverpackungen verwendet: Verpackungen, bei denen eine Hauptmaterial-Komponente einen Massenanteil von 95 % überschreitet und nicht per Hand getrennt werden kann, galten nicht als Verbundverpackung. Mit der Novellierung von 2021 wurde diese Definition in Angleichung an Unionsregulatorik angepasst.[7]

Seit dem 12.08.2026 gilt europaweit die Definition der PPWR[8] (Artikel 3, Absatz 24) für Verbundverpackungen, die im Unterschied zur Definition des VerpackDG eine „Ausnahme von Etiketten, Firnissen, Farben, Druckfarben, Klebstoffen und Lackierungen“ für die Bemessung der 5-Massenprozent-Grenze des Nicht-Haupt Verpackungsmaterials macht. Dadurch sollte theoretisch die Anzahl der Verbundverpackungen abnehmen und die nach Gesetz erlaubte Anzahl an PPK-Verbundverpackungen in der Blauen Tonne steigen, ohne eine Anpassung des Schwellenwertes von 5 % vorzunehmen.

In der Praxis hat sich eine Maßgabe von 95 % Faser zu 5 % Barriere als Zielwert etabliert. Trotz dieses Maßstabes bedeutet ein Faserstoffanteil von über 95 % nicht automatisch eine gute Recyclingfähigkeit. Bei Verpackungen mit Barriere hängt der Verwertungserfolg von der Art der Beschichtung bzw. Laminierung - in der Regel mit Polymeren - sowie von der Menge der Produktanhaftungen ab.

Papiermühlen in Deutschland weisen typische Reject-Quoten zwischen 1,5 % und 3 %[9] auf, was nicht automatisch einem Faserertrag von 95 % entspricht. Die Reject-Quote (auch Rejektrate) bezeichnet im Papierrecycling den prozentualen Anteil an Reststoffen und Nicht-Papier-Bestandteilen (Rejekten), die im Laufe der Altpapieraufbereitung und Zerfaserung aus dem Prozess aussortiert werden.

3.2 Die PPWR als regulatorischer Dreh- und Angelpunkt

Die ab 12. August 2026 geltende Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) stellt klar, in welchem Verhältnis Bestandteile einer Verpackung zueinanderstehen müssen, um als Verbundverpackung definiert zu werden. Der Rechtsrahmen umfasst zum Beispiel, aber nicht abschließend:

- Art. 5 PPWR (ab 2026): Stoffbeschränkungen für Schwermetalle und PFAS.
- Art. 12 PPWR (ab 2028): Kennzeichnung (Materialzusammensetzung und Entsorgungsweg).
- Art. 6 PPWR (ab 2030): Recyclingfähigkeit (Mindestanforderung 70 %).

Für die praktische Umsetzung sind noch viele Änderungen (29 Delegierte Rechtsakte) zu erwarten. Zertifikate als Nachweis der Konformität könnten womöglich die Zuordnung zum Entsorgungsweg und dadurch bedingt die Höhe der Systembeteiligung bestimmen.

Die PPWR enthält keine eigenständige Definition für 'Kunststoff', sondern verweist auf die Single-Use Plastics Directive (SUPD)[10] und die REACH-Verordnung[11]. Wenn ein Polymer als Hauptbestandteil eines Produktes fungiert, gilt dieses als Kunststoff - einschließlich modifizierter Biopolymere wie PLA und PHA. Die entscheidende

[7] Zentrale Stelle Verpackungsregister, „Information zum Umgang mit der Verbunddefinition”, 25.02.2021, https://www.verpackungsregister.org - Information zum Umgang mit der Verbunddefinition,
[8] VERORDNUNG (EU) 2025/40 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG
[9] Umweltbundesamt, Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung Informationssammlung über Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung der kommunalen Abfallbewirtschaftung und dafür geeignete Technologien und Ausrüstungen
[10] RICHTLINIE (EU) 2019/904 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt - Einwegkunststoffrichtlinie (SUPD)
[11] VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES
RATESvom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission

Ausnahme bilden nicht-chemisch-modifizierte natürliche Polymere wie reine Cellulose. Diese könnten beispielsweise als Barriere für faserbasierte Verpackungen eingesetzt werden, wodurch sich auf der einen Seite die Recyclingfähigkeit verbessern könnte und auf der anderen Seite die Kompostierbarkeit gesteigert oder erst ermöglicht wird.

3.3 Störstoffe und Substances of Concern (SoC) im Altpapierkreislauf

Im Kontext des Altpapierkreislaufs werden sogenannte Substances of Concern (SoC) in drei Kategorien unterschieden[12]:

- **Störstoffe**: Reduzieren die Produktivität in Papierherstellung und Papierverarbeitung. Unterschieden wird nach Größe in kolloidale Störstoffe, Mikrostörstoffe, Makrostörstoffe und sekundäre Störstoffe.
- **Recyclingkontaminanten**: Übergang auf Lebensmittel und Reduzierung der Papierqualität. Wichtige Beispiele: Einzelstoffe wie Bisphenol A, Stoffgruppen wie PFAS und Mikroplastik.
- **Mikrobiologische Belastung**: Durch potenziell humanpathologische Keime mit Risiko der Verkeimung von Lebensmitteln.

3.4 PFAS als Beispiel für ungelöste Stoffdefinitionsfragen

PFAS (per- und polyfluorierte Alkylverbindungen) illustrieren exemplarisch die offenen Fragen bei der Umsetzung der PPWR. Ein harmonisiertes Testverfahren zur Bestimmung von PFAS in Lebensmittelverpackungen existiert zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht. Additive wie fluoridhaltige Salze (z. B. CaF2) oder Calciumcarbonat, das zu Minderbefunden in der TF-Analytik führen kann, können den TF-Wert beeinflussen. Unter den Begriff PFAS fallen verschiedenste organische Verbindungen, die nicht alle einheitlich mit der gleichen Prüfmethodik analysiert werden können. Deshalb wird auf Quantifizierungsmethoden zurückgegriffen, bei denen der Gesamtfluoranteil (TF) und organische Fluorgehalt (TOF) bestimmt wird, um zu überprüfen, ob die geforderten Grenzwerte in Artikel 5 Abs. 5 der PPWR eingehalten werden. Aufgrund der nicht normierten Messmethodik gibt es für die Bestimmung des TOF-Wertes eine große Streuung in den Analyseergebnissen.

Die Praxis dieses Grenzwertproblems verdeutlichen Untersuchungen von PROPAKMA. Bei einem gezielten, beabsichtigten Einsatz von PFAS als Barriereadditiv (Intentionally Added Substances, IAS) werden typischerweise hohe Werte von 1.000 bis 2.000 mg/kg TOF gemessen. Konträr dazu stehen unbeabsichtigte Einträge oder Hintergrundkontaminationen (Non-Intentionally Added Substances, NIAS), die sich im Bereich von ca. 50 mg/kg TOF bewegen. Da dieser NIAS-Wert exakt an der Schwelle, der nach PPWR vorgeschlagenen Konformitätsgrenze liegt, wird deutlich, wie sensibel die analytische Unterscheidung zwischen beabsichtigtem Barriereeinsatz und unvermeidbarer Prozess- bzw. Recyclingkontamination im Altpapierkreislauf ist.[13]

Nach den Leitlinien der EU-Kommission zur PPWR wird ein stufenweiser Ansatz zur Überprüfung der PFAS-Konformität empfohlen.[14] Liegt der gemessene Gesamtfluorgehalt (Total Fluorine (TF)) unter 50 mg/kg (50 ppm), könnte diese Verpackung als konform betrachtet werden. Liegt er darüber, soll mit einer geeigneten Methodik (z. B. Pyrolyse-GC/MS (Gaschromatografie/Massenspektrometrie) nachgewiesen werden, dass der TOF-Wert unterhalb von 50 mg/kg (50 ppm) liegt.

Neben der vorgeschlagenen Prüfmethodik können auch Lieferantenerklärungen über die absichtliche oder nichtabsichtliche Zugabe von PFAS und Risikoanalysen über PFAS-Belastungen in Verpackungen herangezogen werden, um das Risiko für PFAS-Grenzwertüberschreitungen abzuschätzen.

[12] Dr. Krolle, Arne; Dr. Spies, Alena, PROPAKMA Vortrag im Forum Rezyklat, März 2026
[13] Dr. Krolle, Arne; Dr. Spies, Alena, PROPAKMA Vortrag im Forum Rezyklat, März 2026
[14] Leitlinie der EU-Komission, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=PI_COM:C(2026)3702.

3.5 Kennzeichnung und Verbraucherhinweise

Der Verbraucher fungiert als erste Instanz der Sortierung im Recyclingprozess. Die verpflichtende Harmonisierung der Kennzeichnungssymbole durch die PPWR (Art. 12, ab 2028) wird zu einer verbesserten Verbraucherorientierung beitragen. Möglicherweise werden diese Symbole auch auf den Sammelbehältern selbst angebracht. Initiativen wie 'Mülltrennung wirkt' bekämpfen bereits hartnäckige Mythen über die Entsorgungswirtschaft wie „Es wird doch sowieso auf einen Haufen gekippt und anschließend verbrannt oder nach Fernost verschifft“. Ungeachtet der tatsächlichen Ausgestaltung harmonisierter Kennzeichnungen bleiben Kampagnen und Werbemittel, die auf korrekte Abfalltrennung hinweisen, unabdingbar. Der Einfluss auf Quantitäten und Qualitäten von Rezyklaten kann zu diesem Zeitpunkt hier jedoch nicht beziffert oder hinterfragt werden.

4 Analyse der Recyclingfähigkeit und Systemgrenzen

4.1 PPK versus Verbundverpackungen: Systemische Unterschiede

Es gilt grundsätzlich zu unterscheiden, ob es sich um eine faserbasierte Verpackung ohne oder mit Barriere handelt. PPK-Verpackungen ohne funktionale Barriere können trotz vorhandener Additive über die Blaue Tonne entsorgt und recycelt werden, wobei beim Recycler typischerweise ein Output von etwa 90 % Faserertrag erreicht wird.[15]

Je nach Verbundtyp gestaltet sich die Frage nach der 'richtigen' Tonne im Sinne des Recyclingpotenzials komplex. Folgende Verbundtypen stellen jeweils unterschiedliche Anforderungen an Sortier- und Recyclingverfahren: FKN-Verpackungen, FE-Verbunde, ALU-Verbunde, Banderolen, leicht trennbare Verbunde, Kunststoffverbunde, Agglomerate, PPK mit Sichtfenstern, PPK mit Beschichtung sowie Lebensmittelverbunde.



Bildquelle: EnEWA, *https://www.ants.rwth-aachen.de/cms/iar/forschung/abgeschlossene-forschungsprojekte/~topbp/enewa/*

4.2 Lebensmitteltauglichkeit von Rezyklaten und mikrobiologische Belastung

Eine zentrale, bislang ungeklärte Frage ist, inwieweit aus faserbasierten Verbundverpackungen Rezyklate gewonnen werden können, die für eine erneute Verwendung im Lebensmittelkontakt geeignet sind. Die VO 1616/2022[16] schreibt für recycelten Kunststoff eine mikrobiologische Unbedenklichkeit vor - eine vergleichbare Bestimmung für papierbasierte Verpackungen existiert aktuell nicht.

Die mikrobiologische Belastung im Altpapierstrom ist grundsätzlich hoch. Messungen nach DIN ISO 8784-1:2016-05 (Gesamtkeimzahlbestimmung, Plattengussverfahren) ergeben typische Werte von 10^5 bis 10^7 aeroben Keimen und ca. 10^3 Hefen und Schimmelpilzen. Alternative Messmethoden zur Oberflächenkeimzahl zeigen Messwerte von unter 10^1 Keimen - die Messmethodik ist somit für die Risikobeurteilung entscheidend.

Die Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie e.V. (DGHM) hat für bestimmte Lebensmittel Richt- und Warnwerte festgelegt. Eine Verpackung darf nur verwendet werden, wenn es einen signifikanten Unterschied (ca. 10^3 Keime) zwischen der mikrobiellen Belastung der Verpackung und der des Lebensmittels gibt. Die Einführung eines Grenzwertes auf Basis der Gesamtkeimzahl (GKZ) durch das BfR XXXVI[17] ist dabei zu vermeiden;

[15] NABU, „Papierrecycling schont Ressourcen", *https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30392.html*
[16] Verordnung (EU) 2022/1616 der Kommission vom 15. September 2022 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
[17] Bundesinstitut für Risikobewertung, „Empfehlungen zu Materialien für den Lebensmittelkontakt", https://empfehlungen.bfr.bund.de/recommendations/360/pdf

stattdessen wird der Bedarf an einer praktikablen Messmethode für die Oberflächenkeimzahl betont (PROPAKMA, 03/2026).

Die insbesondere relevante XXXVI. Empfehlung (Stand 2025) des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) ist als bindendes Kriterium anzusehen: Entweder liegt die Zulassung für den späteren Einsatz des Rezyklats als Lebensmitteldirektkontakt vor oder nicht. Das BfR fordert vermehrt NIAS-Analysen. Um diese Kontaminanten effektiv aus dem Strom zu entfernen, reicht ein klassisches De-Inking-Verfahren allein oft nicht aus - Maschinenbauer und Anlagenhersteller müssen verstärkt in die Entwicklung einbezogen werden. Die gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Altpapier in Lebensmittelverpackungen werden maßgeblich durch die operative XXXVI. Empfehlung des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) bestimmt, welche die praktische Umsetzung der europäischen Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 darstellt und als europaweiter Standard gilt.[18] Im Oktober 2026 soll das BfR eine Aktualisierung der Empfehlung XXXVI veröffentlichen.

4.3 Analog zu CosPaTox: Die Papertox-Methodik als Lösungsansatz

Um das Vertrauen in den hochwertigen Recyclingkreislauf von PPK-Verpackungen zu sichern, wird die Übertragung der CosPaTox-Methodik auf den Papierstrom geprüft. Diese Methodik hat sich im Kunststoffbereich zur Risikominimierung bewährt und könnte bei Papier als 'Papertox- Ansatz' etabliert werden.

Das geplante Papertox- Projekt zielt auf eine Richtlinie bzw. Handlungsleitlinie ab, die den sicheren Einsatz von Post-Consumer-Rezyklaten aus papierbasierten Verpackungen für die Herstellung neuer Verpackungen im Lebensmittel- und Kosmetikbereich regelt. Die Methodik umfasst:

- Einhaltung rechtlicher Rahmenbedingungen inkl. der XXXVI. BfR-Empfehlung.
- Risikobewertung der SoC (Störstoffe, Recyclingkontaminanten, mikrobiologische Belastung).
- Unterscheidung der SoC-Kategorien und Probenahme-Strategien in Abhängigkeit von Materialströmen.
- Modellierung der Logistik und Prozesse, Prüfstrategien und Analytik.
- Qualitätsstufen und Einstufung in Anwendungsfälle (Lebensmitteldirekt-, Sekundärkontakt, Sonstige).
- Technologieneutralität: unabhängig von Sammelsystem, Trockensortierung und Zerfaserung.
- Begleitdossier als Handlungsleitfaden und wissenschaftliche Dokumentation.

Die Ergebnisse der PROPAKMA-Studie im Auftrag des NABU (Krolle, 01.09.2025) bestätigen die Notwendigkeit eines solchen systemischen Ansatzes:

Sie betont, dass für die risikobasierte Bewertung von Rezyklaten im Lebensmittelkontakt insbesondere praxistaugliche Messmethoden für die Oberflächenkeimzahl (OKZ) etabliert werden müssen. Zudem zeigt die Studie auf, dass die Hürden der BfR-Empfehlung XXXVI bezüglich LVP-Stoffströmen durch gezielt definierte Spezialprozesse und ein begleitendes Monitoring überwunden werden können, um hochwertige Faserstoffkreisläufe für den Lebensmittelkontakt zu erschließen.[19]

4.4 Sortierung als ergänzender Lösungsansatz

Naturwissenschaft, innovative Messtechnologie und KI bilden die Grundlage, dass zukünftig immer mehr Produkte und Materialien durch schnelle Messverfahren - z. B. NIR, MIR, VIS, LIBS, Sniffing oder den Digitalen Produktpass (DPP) - auch in Abfallströmen identifiziert werden können.

Ergänzend rücken innovative Marker-Technologien in den Fokus: Die Nutzung von fluoreszierenden Tracern - unter zwingendem Verzicht auf seltene Erden - könnte künftig als Indikator dienen, um bestimmte Verpackungstypen oder Kontaminationen in Abfallströmen treffsicher zu identifizieren. Aktuelle Forschungsprojekte zum Altpapierkreislauf adressieren diese Fragestellungen systematisch (u. a. Recolap, EnEWA, Digitalisierungsprojekt KIBAPap). Die Factory-Automation-Konzepte erlauben dabei eine einstufige Sortierung in viele Fraktionen zu wirtschaftlichen Prozesskosten.

[18] Dr. Krolle, A., Studie Papierverbundverpackungen in der Kreislaufwirtschaft, PROPAKMA im Auftrag des NABU e.V., 01.09.2025, S. 42–43

[19] Dr. Krolle, A., Studie Papierverbundverpackungen in der Kreislaufwirtschaft, PROPAKMA im Auftrag des NABU e.V., 01.09.2025

5 Handlungsempfehlungen

5.1 Beibehaltung der 95-5-Regel mit Einzelnachweis

Ein reiner Stoffstrom ist Voraussetzung für eine langfristige Kreislauffähigkeit. Kontaminanten und Lebensmittelanhaftungen führen zu einem massiven Verlust der mechanischen Festigkeit von Recyclingfasern und verkürzen die Kaskadennutzung deutlich (siehe Abschnitt 4.2). Die Einhaltung der 95/5-Regel ist daher essenziell für die Reinheit der Blauen Tonne.

Aufgrund des stark abnehmenden Anteils an grafischen Papieren (Deinkingware) wird aktuell in Deutschland die Sortierung von Altpapier auf Artikelebene deutlich zurückgefahren. Ein großer Teil vom Altpapier wird direkt als Ballen verpresst und an die Papiermühlen für Wellpappenrohpapierherstellung geliefert. Da die Trockensortierung als Qualitätsfilter zunehmend entfällt, kann der Eintrag von Fehlwürfen und Störstoffen wie Glas oder Kunststoffen nicht mehr auf Sortierebene kompensiert werden. Umso wichtiger ist es daher, dass der Input aus dem Erfassungssystem selbst möglichst rein ist – was die Beibehaltung der 95/5-Regel für die Blaue Tonne zur unverzichtbaren Voraussetzung macht, um zu vermeiden, dass durch Verbunde noch mehr papierfremde Bestandteile in die Papierproduktion eingebracht werden, was wiederum automatisch zur Erhöhung der Rejektrate der Papiermühlen führen würde.

Eine Absenkung der 95/5-Grenze auf 90/10 oder gar 80/20 würde den Eintrag von Lebensmittelanhaftungen (Öle, Fette, Feuchte) in den Papierstrom der Blauen Tonne automatisch erhöhen. Denn damit würden vermehrt Verpackungen mit hohen Barriereanforderungen – wie sie im Zuge der Substitution von Kunststoff durch PPK-Verbunde zunehmend entstehen – in den blauen Erfassungsstrom gelangen.

Die Lebensmittelanhaftungen führen zum Beginn eines biologischen Zersetzungsprozesses, was die Recyclingfaserqualität z. B. im Bereich der mechanischen Eigenschaften verschlechtert und somit auf der einen Seite die Qualität des Recyclingpapiers reduziert und auf der anderen Seite die Menge an teuer zu entsorgenden Rejekten erhöht. Das macht das Papierrecycling zunehmend wirtschaftlich unattraktiver. Da die PPWR ab 2030 Recyclingfähigkeit für alle Verpackungen vorschreibt, werden konstruktionsbedingte Störstoffe in Verpackungen wie Wachse oder heißsiegelfähige Barriereschichten künftig weniger das Problem sein – umso mehr aber Lebensmittelreste, die beim Öffnen und Entleeren der Verpackung zurückbleiben. Ein sauberer PPK-Strom in der Blauen Tonne bleibt daher die entscheidende Voraussetzung für hochwertiges Papierrecycling. Im Jahr 2023 sind 7.850,8 kt Papier- und Kartonverpackungen in Deutschland angefallen. Davon wurden 7.179,0 kt stofflich verwertet, was 91,4 % entspricht.[20] Darin nicht enthalten sind die Verpackungen aus Papierverbunden oder etwa FKN.

Um den Stoffstrom der Blauen Tonne 'rein' zu halten, wird – wie bereits erwähnt – empfohlen, an der 95/5-Regel für die Blaue Tonne festzuhalten. Verpackungen mit einem Faserstoffanteil unter 95 % können ausnahmsweise dennoch für die Blaue Tonne zugelassen werden – vorausgesetzt ein Einzelnachweis bei einer neutralen Instanz (z. B. CEPI-Methode[21]) belegt, dass sie ohne Nachteile für die Rezyklatqualität in konventionellen Papiermühlen recycelt werden können. Technisch bedeutet das: Die Recyclingfähigkeit des PPK-Verbunds muss nach dem Mindeststandard der ZSVR mindestens 80 % betragen, was der Mindestfaserstoffausbeute der CEPI-Labormethode für konventionelle Papiermühlen entspricht. Bei Verpackungen mit Barrierematerialien – z. B. thermoplastischen Dispersionsbeschichtungen – schreibt der Mindeststandard die Durchführung einer analytischen Testmethode wie der CEPI-Labormethode verpflichtend vor. Erst wenn ein solcher Nachweis erbracht ist, darf ein Trennhinweis für das blaue System auf der Verpackung aufgebracht werden.

[20] Umweltbundesamt, „Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2023 Abschlussbericht", 2026, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/2026-05/66_2026_TEXTE.pdf

[21] CEPI, „Harmonised European laboratory test method to generate parameters enabling the assessment of the recyclability of paper and board products in recycling mills with conventional process (Part I)", Februar 2025, https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2025/02/Cepi-Test-Method-27.02_FINAL.pdf

5.2 Empfehlungen zur Entsorgungszuordnung nach Verpackungstyp

Maßgebliche Kriterien für die Zuordnung zum richtigen Verwertungsstrom:

- **PPK-Anteil**:
  - Mindestens 95 % = Blaue Tonne (PPK-Strom)
  - Unter 95 % = Gelbe Tonne (LVP-Strom), sofern kein Einzelnachweis vorliegt.
- **Art des Barrierematerials**: Trennbarkeit im Aufbereitungsprozess ist entscheidend. Leicht trennbare Verbunde können mittels Einzelnachweis abweichend bewertet werden.
- **Lebensmittelanhaftungen** erhöhen die Kontaminationsgefahr im PPK-Strom erheblich.
- **Kompostierbarkeit**: Kompostierbare Verpackungen (z. B. Tee-/Kaffeeverpackungen mit kompostierbarem Faserstoff und kompostierbarer Barriere) können dem Biomüll zugeführt werden; Trennhinweise sind entsprechend zu gestalten.
- **Störstoffe/SoC-Belastung**: Verpackungen mit nachgewiesener PFAS-Belastung über den Grenzwerten müssen gesondert bewertet werden.

5.3 Dreistufiges Forschungsprogramm zur Lebensmitteltauglichkeit

Im Kontext des vorangehenden Textes wird empfohlen, die Forschung im Bereich faserbasierter (Verbund-) Verpackungen zu vertiefen. Eine Möglichkeit, die genannten Herausforderungen proaktiv anzugehen, ist die Etablierung eines speziellen Konsortiums bzw. Arbeitskreises, mit einer dem zugrunde liegenden Forschungsarbeit. Denkbar ist ein dreistufiges Forschungsprojekt zur Erreichung der Lebensmitteltauglichkeit und zur Reduktion von Störstoffen, gegliedert in folgende methodische Schritte:

- **Mikrobiologie**: Entwicklung und Etablierung einer standardisierten Messmethode (teilweise bereits in Bearbeitung durch Institute wie Fraunhofer) zur Erfassung und Reduktion der Keimbelastung. Ziel: Vergleichsuntersuchung zur Bestimmung der geeigneten Messmethode für Oberflächenkeimzahlen bei papierbasierten Packstoffen.
- **Flüchtige Bestandteile** (NIAS): Identifikation von Störstoffen und Etablierung einer strengen Prozesskontrolle für die verarbeitende Industrie. Einbezug von Maschinenbauern und Anlagenherstellern zur Entwicklung mechanischer und verfahrenstechnischer Lösungen.
- **Lebensmitteldirektkontakt**: Ableitung von Parametern, um die strengen Schwellenwerte für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln zuverlässig einzuhalten. Berücksichtigung der EFSA-Logik und BfR XXXVI-Empfehlung.

Unabhängig von dieser konkreten Empfehlung ist im Kontext der Paperisation und steigender Verbundverpackungsabfälle eine Vertiefung des aktuellen Forschungsstands notwendig, was vor allem durch die PPWR und Novellierungen der BfR- Empfehlungen bekräftigt wird.

5.4 Verwertung europäischer Rezyklate zur Sicherung der Rohstoffautonomie

Neben ökologischen Zielen berührt die Schließung von Sekundärstoffkreisläufen zunehmend Fragen der gesellschaftlichen Sicherheit und europäischen Ressourcenautonomie. Bereits heute kann der Rohstoffbedarf der heimischen Papierindustrie nur durch den jährlichen Import von 2 bis 5 Millionen Tonnen Altpapier gedeckt werden[22]. Vor dem Hintergrund rückläufiger Mengen an klassischen grafischen Papieren wird die Erschließung neuer Faserquellen – wie hochwertig aufbereiteten Papierverbunden – zu einem strategischen Faktor für die Stabilität der europäischen Verpackungs- und Lebensmittelversorgung.

Die Diskussion um **„Rezyklate made in Europe"** unterstreicht dabei die Notwendigkeit, Recyclingkapazitäten und technologische Spezialprozesse innerhalb der Europäischen Union gezielt zu stärken und gegen Marktverwerfungen abzusichern. Die Vorgaben der PPWR zum 'Recycling at scale' schaffen hierfür den passenden rechtlichen

[22] https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#mgliche-schadstoffanreicherung-im-papier

Rahmen. Eine Verengung auf rein regionale Stoffströme greift zwar in einer globalisierten Wirtschaft zu kurz; eine nachhaltige Rohstoffautonomie setzt jedoch voraus, dass in Europa generierte Rezyklate strengen, harmonisierten Qualitäts- und Sicherheitsstandards (z. B. im Rahmen der Papertox-Methodik) unterliegen und bevorzugt in den europäischen Wertschöpfungskreislauf zurückfließen.

6 Ausblick und Zukunftstrends

6.1 Optimierung bestehender Sammelstrukturen

Kurzfristig liegt das größte Hebelpotenzial in der konsequenten Anwendung und Kommunikation der 95/5-Regel. Durch klare, harmonisierte Trennhinweise auf den Verpackungen - vorbereitet durch die PPWR-Kennzeichnungsanforderungen (Art. 12, ab 2028) - kann die Fehlwurfquote signifikant gesenkt werden. Die Integration faserbasierter Verbundverpackungen in bestehende Papiersammelsysteme ist sinnvoller als die Schaffung neuer Fraktionen.

6.2 Multisensorik und KI-gestützte Sortierung

Mittelfristig wird man durch die Kombination unterschiedlicher Detektionstechnologien wie z. B. NIR/MIR-Spektroskopie, fluoreszierende Tracer-Technologien, Bilderkennung und anschließender Signalauswertung mittels KI in der Lage sein, faserbasierte Verbundverpackungen zuverlässig zu identifizieren und fraktionsspezifisch zu sortieren. Fehlwürfe werden beim Einsatz der Technologie nicht mehr zu dauerhaftem Qualitätsverlust führen, sondern können maschinell korrigiert werden.

6.3 Regulatorische Harmonisierung auf europäischer Ebene

Langfristig ist eine europaweit einheitliche Systematik für die Erfassung von PPK-Verbundverpackungen anzustreben. Die PPWR schafft hierfür die Grundlage. Eine schrittweise Angleichung der nationalen Sammelsysteme - hin zu einer klaren Unterscheidung zwischen PPK- und LVP-Strom auch in Ländern mit gemischter Wertstofferfassung - würde die Inputqualität für das Recycling europaweit verbessern. Berichte des Joint Research Center (JRC) deuten darauf hin, dass Mitgliedsstaaten im Vergleich zu EU-Vorgaben höhere Standards etablieren können, was als klare Marschrichtung zu verstehen ist.

7 Fazit

Die Analyse zeigt, dass eine Optimierung der Erfassung faserbasierter Verpackungen mit Barrieren einen systemischen Ansatz erfordert. Die zentrale Stellschraube liegt nicht in der Schaffung neuer Sammelfraktionen, sondern in der konsequenten Anwendung der 95/5-Regel, ergänzt durch ein transparentes Einzelnachweisverfahren für Verpackungen mit abweichender Zusammensetzung.

Die PPWR bildet hierbei den regulatorischen Rahmen für Recyclingfähigkeit und Kennzeichnung. Einheitliche Hinweise können das Sortierverhalten verbessern und das Vertrauen in das System stärken.

Ein wichtiges, bislang unterschätztes Thema ist die Sicherstellung der Lebensmitteltauglichkeit von Faserstoffrezyklaten. Die mikrobiologische Belastung im Altpapierstrom sowie das Fehlen einer normierten Messmethode für Oberflächenkeimzahlen bei papierbasierten Packstoffen sowie die Ermittlung von Recyclingkontaminanten machen ein strukturiertes Forschungsprogramm (Papertox-Ansatz) erforderlich. Maschinenbauer und Anlagenhersteller müssen dabei künftig stärker einbezogen werden.

Technologisch bieten innovative Sortierverfahren die Chance, Probleme zu lösen, die auf Ebene der Erfassung allein nicht vollständig beherrschbar sind. Die Branche sollte diese Entwicklungen aktiv begleiten und in die Weiterentwicklung der Entsorgungsinfrastruktur einbeziehen.

8 Quellenverzeichnis

[1] Gesetz zur Anpassung des Verpackungsrechts und anderer Rechtsbereiche an die Verordnung (EU) 2025/40 (VerpackDG) i. d. F. der Bekanntmachung vom 17. Juli 2026

[2] Fabian, Matthias; Umweltbundesamt (UBA): „Umweltgerechte Entsorgung faserbasierter Verpackungen in Deutschland.", 2025

[3] Two Sides, „Was ist „Paperisation"?", https://de.twosides.info/UK/was-ist-paperisation/

[4] Europäische Kommission, „Threats to marine ecosystems from plastic waste vary across the world's oceans" *https://environment.ec.europa.eu/news/threats-marine-ecosystems-plastic-waste-vary-across-worlds-oceans-2026-06-25_en*

[5] EUWID, „Altpapieraufkommen weiter rückläufig", 2026, *https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/altpapieraufkommen-weiter-ruecklaeufig-230626/*

[6] UBA, „Altpapier", 2025, *https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#vom-papier-zum-altpapier*

[7] Zentrale Stelle Verpackungsregister, „Information zum Umgang mit der Verbunddefinition", 25.02.2021, *https://www.verpackungsregister.org* - Information zum Umgang mit der Verbunddefinition

[8] VERORDNUNG (EU) 2025/40 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG

[9] Umweltbundesamt, Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung Informationssammlung über Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung der kommunalen Abfallbewirtschaftung und dafür geeignete Technologien und Ausrüstungen

[10] RICHTLINIE (EU) 2019/904 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt - Einwegkunststoffrichtlinie (SUPD)

[11] VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission

[12] Dr. Krolle, Arne; Dr. Spies, Alena, PROPAKMA Vortrag im Forum Rezyklat, März 2026

[13] Dr. Krolle, Arne; Dr. Spies, Alena, PROPAKMA Vortrag im Forum Rezyklat, März 2026

[14] Leitlinie der EU-Kommission, *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=PI_COM:C(2026)3702*

[15] NABU, „Papierrecycling schont Ressourcen", *https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/papier/30392.html*

[16] Verordnung (EU) 2022/1616 der Kommission vom 15. September 2022 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

[17] Bundesinstitut für Risikobewertung, „Empfehlungen zu Materialien für den Lebensmittelkontakt", https://empfehlungen.bfr.bund.de/recommendations/360/pdf

[18] Dr. Krolle, A., Studie Papierverbundverpackungen in der Kreislaufwirtschaft, PROPAKMA im Auftrag des NABU e. V., 01.09.2025, S. 42–43

[19] Dr. Krolle, A., Studie Papierverbundverpackungen in der Kreislaufwirtschaft, PROPAKMA im Auftrag des NABU e. V., 01.09.2025

[20] Umweltbundesamt, „Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2023 Abschlussbericht", 2026, *https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/2026-05/66_2026_TEXTE.pdf*

[21] CEPI, „Harmonised European laboratory test method to generate parameters enabling the assessment of the recyclability of paper and board products in recycling mills with conventional process (Part I)", Februar 2025, *https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2025/02/Cepi-Test-Method-27.02_FINAL.pdf*

[22] *https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#mgliche-schadstoffanreicherung-im-papier*