

Seminar
Rezyklat – eine echte Alternative

Recycling & Rezyklateinsatz



KUNSTSTOFF
INSTITUT
LÜDENSCHIED



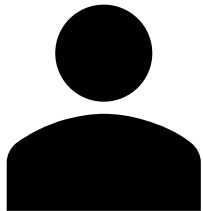
Name

Position/
Abteilung

Unternehmen

Erwartungen

...



Tätigkeiten im
Bereich Recycling/
Rezyklateinsatz



Einführung in das Thema Recycling & Rezyklat

- ▶ Begriffsdefinitionen im Bereich Recycling
- ▶ Politische & regulatorische Rahmenbedingungen
- ▶ Marktsituation

Ressourcenschonung durch den Einsatz von Rezyklat

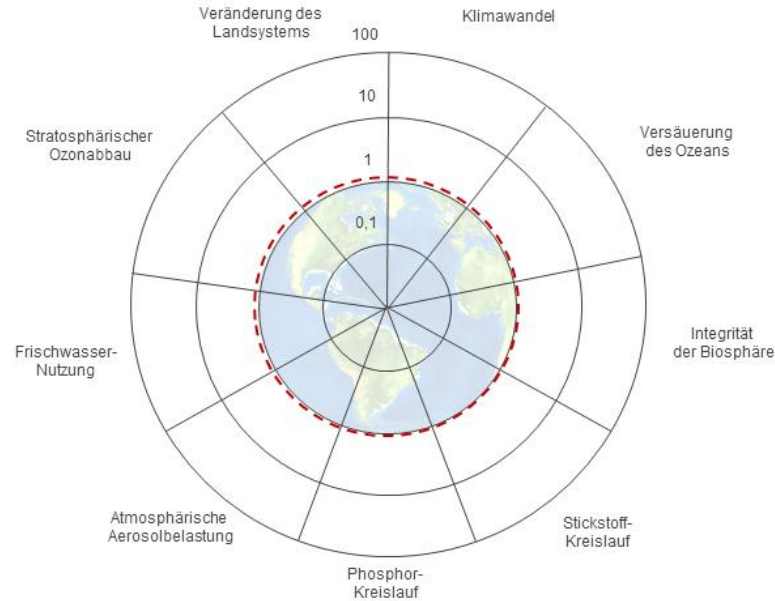
- ▶ Struktur & Aufbau der Kunststoffe
- ▶ Degradation von Kunststoffen
- ▶ Einsatz von Recyclingmaterial



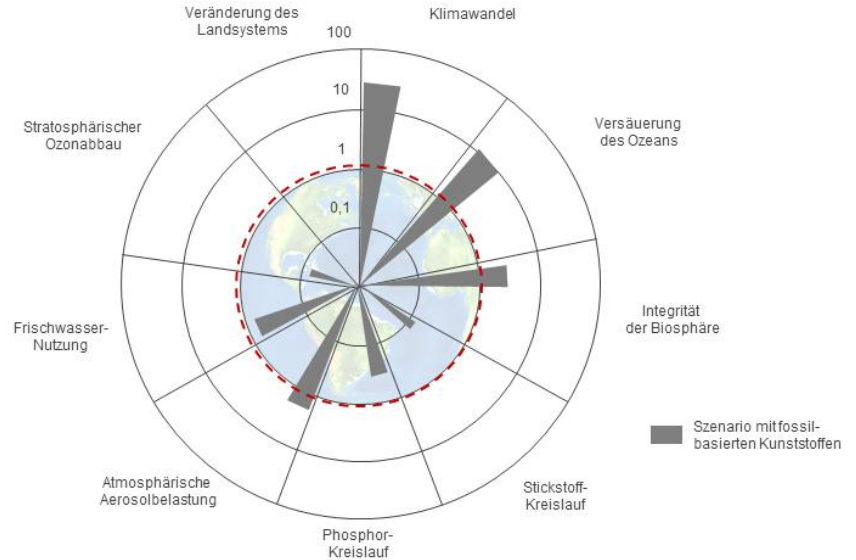
09 – 12 Uhr



Die neun Dimensionen der Planetaren Grenzen

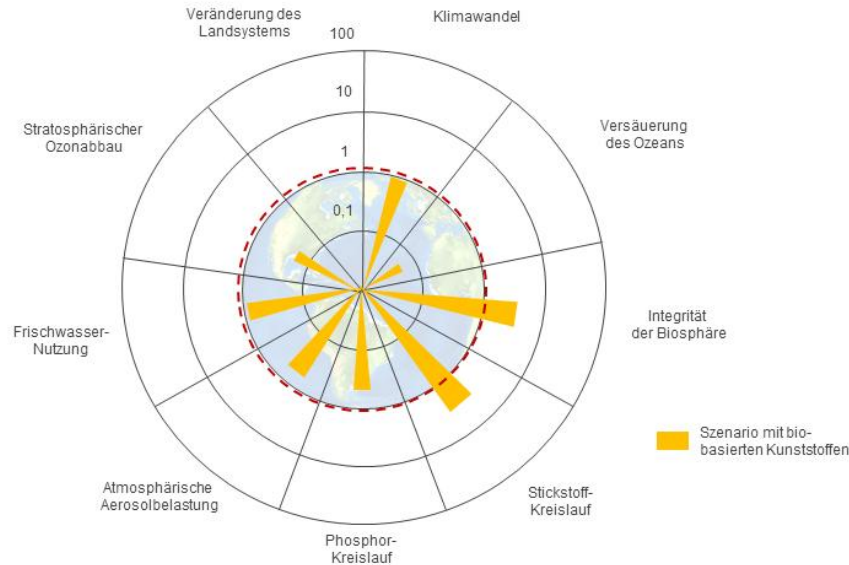


Die Kunststoffproduktion innerhalb der planetaren Grenzen: Wenn wir bis 2030 weiterhin fossilbasierte Rohstoffe verwenden

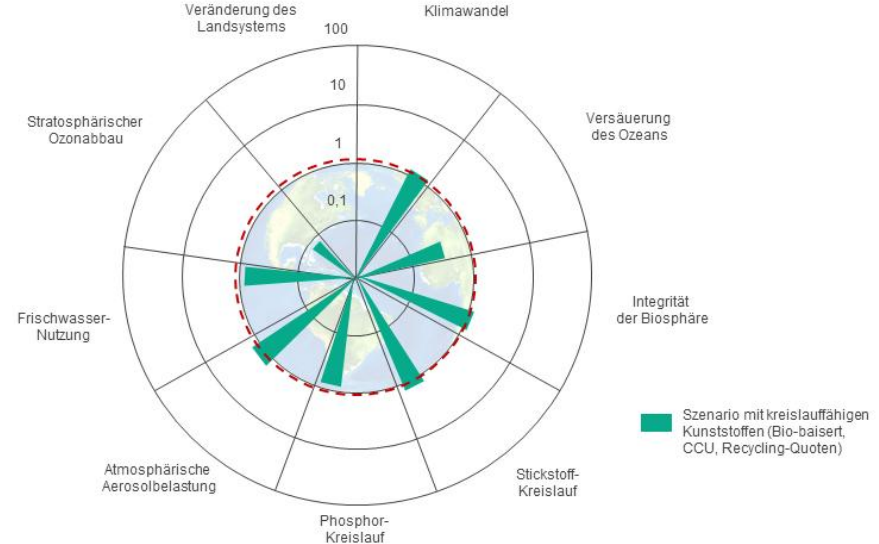


Warum Recycling?

Die Kunststoffproduktion innerhalb der planetaren Grenzen: Wenn wir bis 2030 auf **Biopolymere umsteigen...**

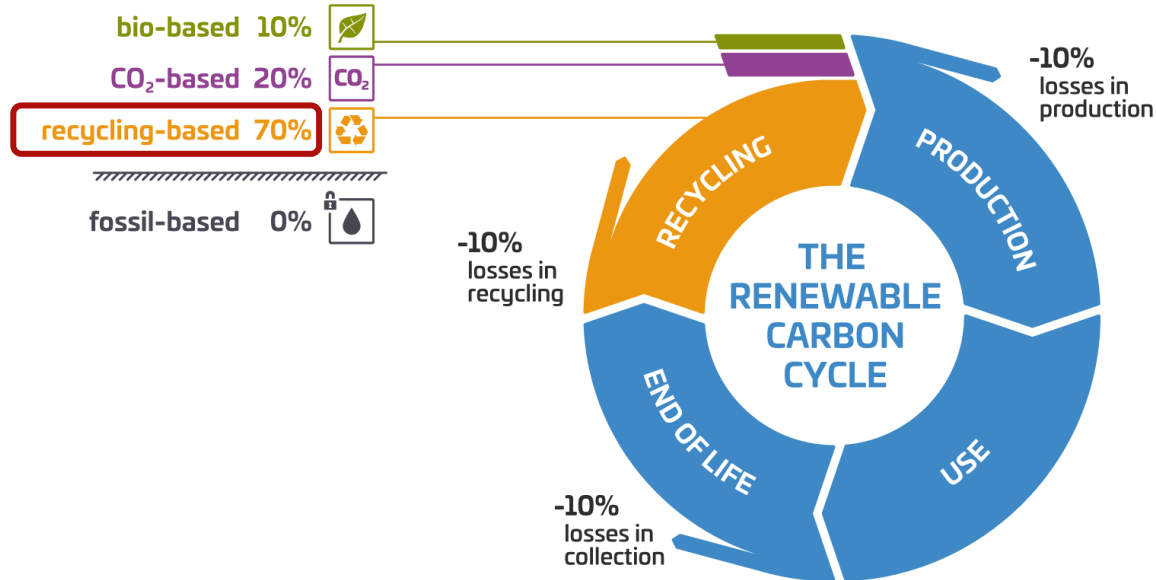


Die Kunststoffproduktion innerhalb der planetaren Grenzen: Wenn wir bis 2030 auf **kreislauffähige Polymere umsteigen...**



Warum Recycling?

SCENARIO FOR THE PLASTIC INDUSTRY 2050



available at www.renewable-carbon.eu/graphics

© nova-Institute.eu | 2021

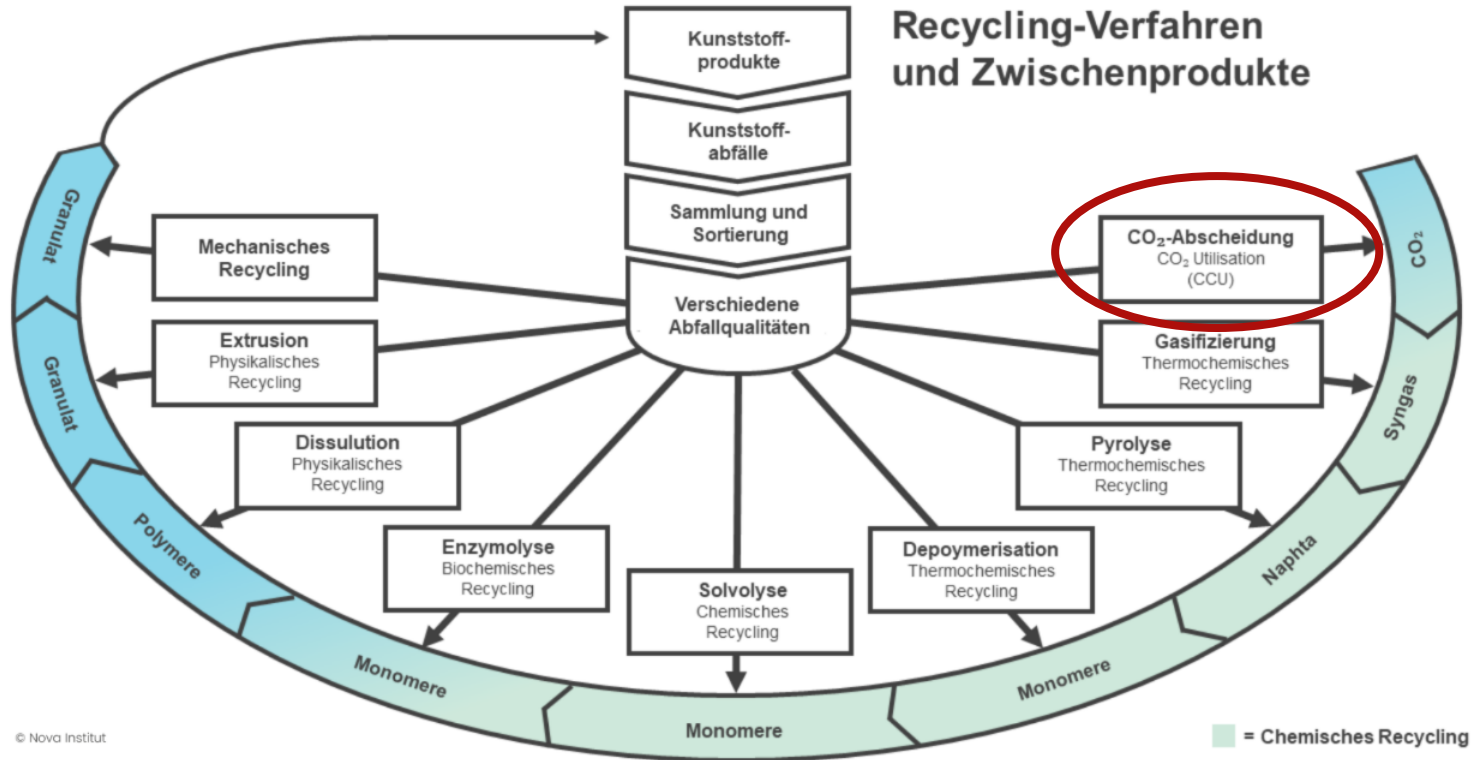
Begriffsdefinitionen im Bereich Recycling

Recycling

- ▶ Recycling beschreibt einen Prozess, bei dem Abfälle gesammelt, sortiert, gereinigt und in neue Produkte umgewandelt werden. Je nach Abfallqualität kommen verschiedene Recyclingverfahren zum Einsatz. Eine grundsätzliche Unterscheidung kann wie folgt vorgenommen werden:

	Werkstofflich	Rohstofflich
Vorgehen	Polymerketten bleiben weitgehend erhalten	Zersetzung der Polymerkette zu niedermolekularen Substanzen
Zwischenprodukt	Rezyklat oder Sekundärrohstoff (gelöst)	Monomer oder chemische Grundstoffe
Finales Produkt	Kunststoff-Rezyklat	Ausgangsmaterial für Kunststoff oder Chemikalien

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



© Nova Institut

Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Rezyklat - eine echte Alternative!

09/2026

| 9

Carbon Capture and Utilization

Umfasst die Abscheidung, den Transport und die anschließende Nutzung von Kohlenstoffverbindungen, meist in Form von Kohlendioxid (CO₂) oder Kohlenmonoxid (CO)

Oft wird unter CCU die Nutzung von gasförmigem CO₂ verstanden. Dieses kann fossilen Ursprungs sein oder aus der Atmosphäre stammen.

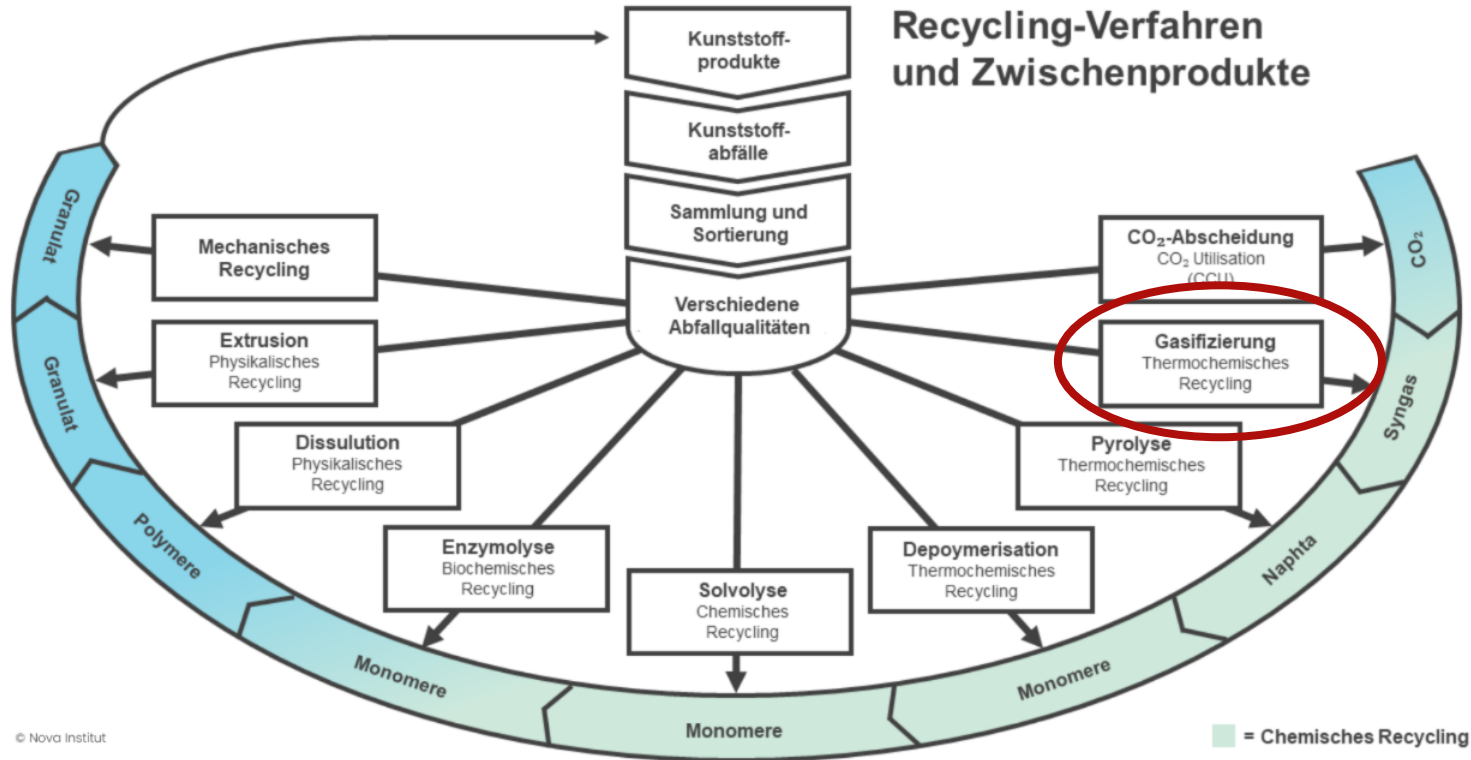
- **Direkte** Nutzung von CO₂: Feuerlöschanlagen
- **Indirekte** Nutzung von CO₂: Synthese von Grundchemikalien oder (Zwischen-)Produkten

Quelle: Umweltbundesamt, [Carbon Capture and Utilization \(CCU\)](#) | [Umweltbundesamt](#)

- ▶ **Covestro** nutzt CO₂ in eigenen Produktionsanlagen, um Kohlenstoffmonoxid zu gewinnen, das für die Synthese von Isocyanaten benötigt wird.
- ▶ Es wurde ebenfalls erprobt Polyol aus CO₂ zu gewinnen
- ▶ Aus den Isocyanaten und den Polyolen können Polyurethane synthetisiert werden
 - Mögliche Anwendungen:
Matratzen, Dämmstoffe, Autositze

Quelle: [CO₂ als Rohstoff](#) | [Covestro](#)

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



© Nova Institut

Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Rezyklat - eine echte Alternative!

09/2026

| 11

Gasifizierung

Zersetzung und Teiloxidation kunststoffhaltiger Abfallströme (Polymerunabhängig) mit kleinen Mengen Sauerstoff bei hohen Temperaturen (700 bis 1200 °C) zu **Synthesegas** (u.a. CO und H₂)

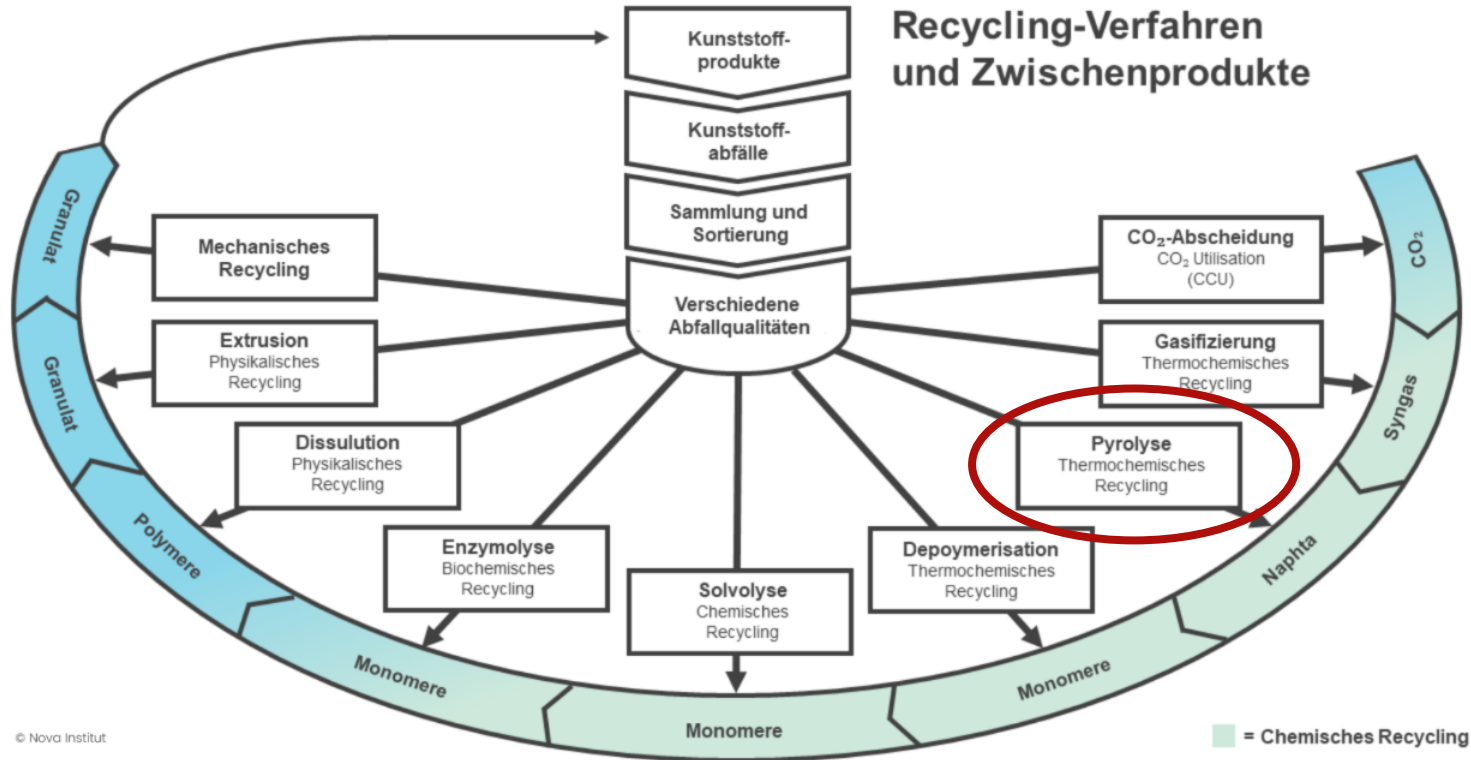
Quelle: Conversio-Studie, Kurzfassung Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/2035



- ▶ In einem Projekt der ETH Zürich und der BASF wurde die **Schredderleichtfraktion aus dem Autorecycling** (Schaumstoffe, Folien, Lachpartikel, Kunststoffe, etc.) mittels **Gasifizierung** recycelt
- ▶ Aus dem entstandenen Feedstock wurde **Polyurethan** hergestellt, aus dem wiederum neue **Lenkräder** produziert worden sind

Quelle: BASF, [Automobilabfälle durch Gasifizierung in Wert verwandeln](#)

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



© Nova Institut

Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Rezyklat - eine echte Alternative!

09/2026

| 13

Pyrolyse

Bei der Pyrolyse werden PO-haltige Kunststoffabfälle bei erhöhter Temperatur unter Luftausschluss zersetzt.

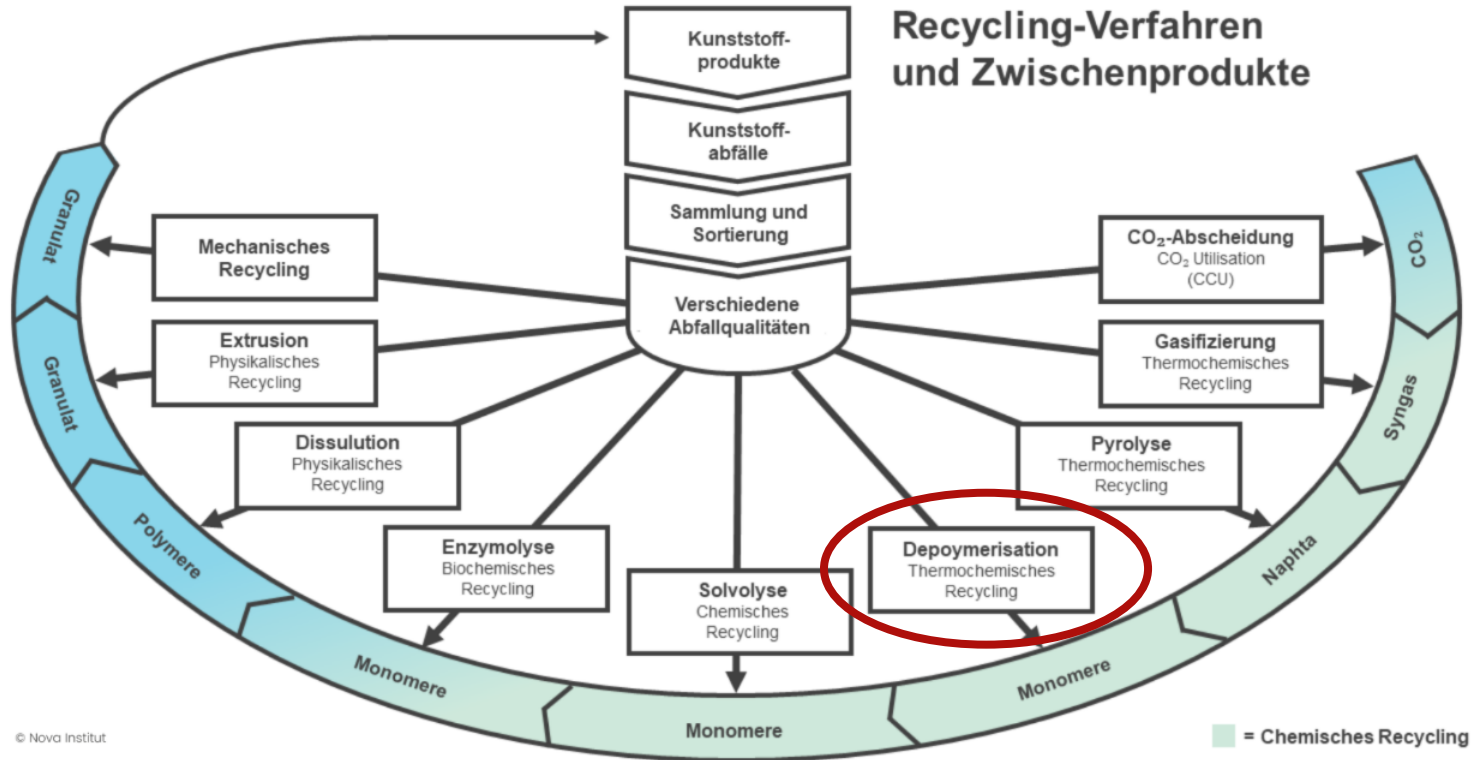
- Bei der **unkatalytischen Pyrolyse** werden Temperaturen bis 600 °C eingesetzt.
- Bei der **katalytischen Pyrolyse** werden geringere Temperaturen von bis zu ca. 400 °C eingesetzt.
- **Reifenpyrolyse** ist sowohl auf LKW- als auch auf PKW-Reifen anwendbar und wird i.d.R. unkatalysiert bei 600 – 700 °C durchgeführt.

Quelle: Conversio-Studie, Kurzfassung Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/2035

- ▶ Pyrum nutzt das Thermolyseverfahren, um Altreifen zu recyceln
- ▶ Dabei entsteht u.a. das Pyrum-**Thermolyse-Öl**, das für die Herstellung neuer Kunststoffe genutzt werden kann (durch BASF)
 - Herstellung von **Polyamid 6** (Ultramid® Ccycled) für die Herstellung einer **Outdoor-Hose** von VAUDE
 - Herstellung von **Bügeltürgriffen** in der S-Klasse und im EQ von Mercedes Benz

Quelle: [Pyrum](#), [Mercedes Benz](#), [Vaude](#)

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



© Nova Institut

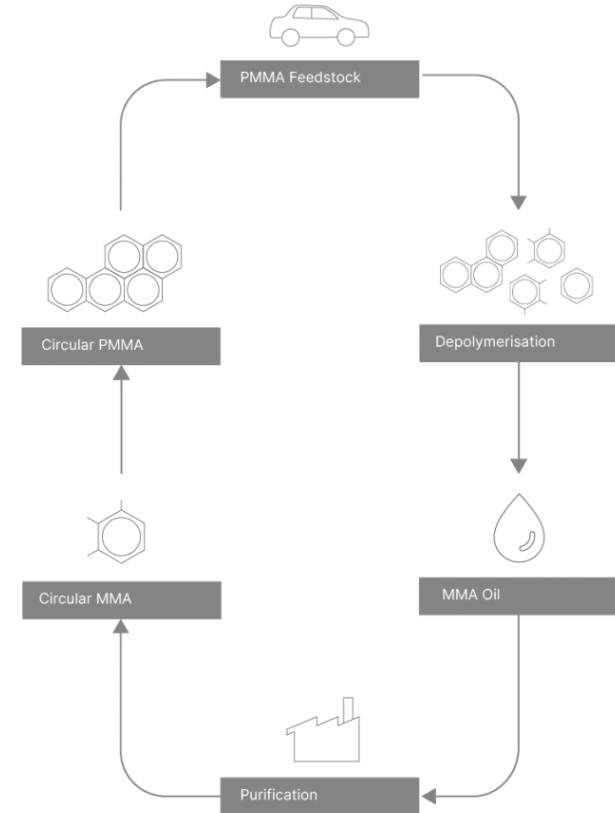
Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Rezyklat - eine echte Alternative!

09/2026

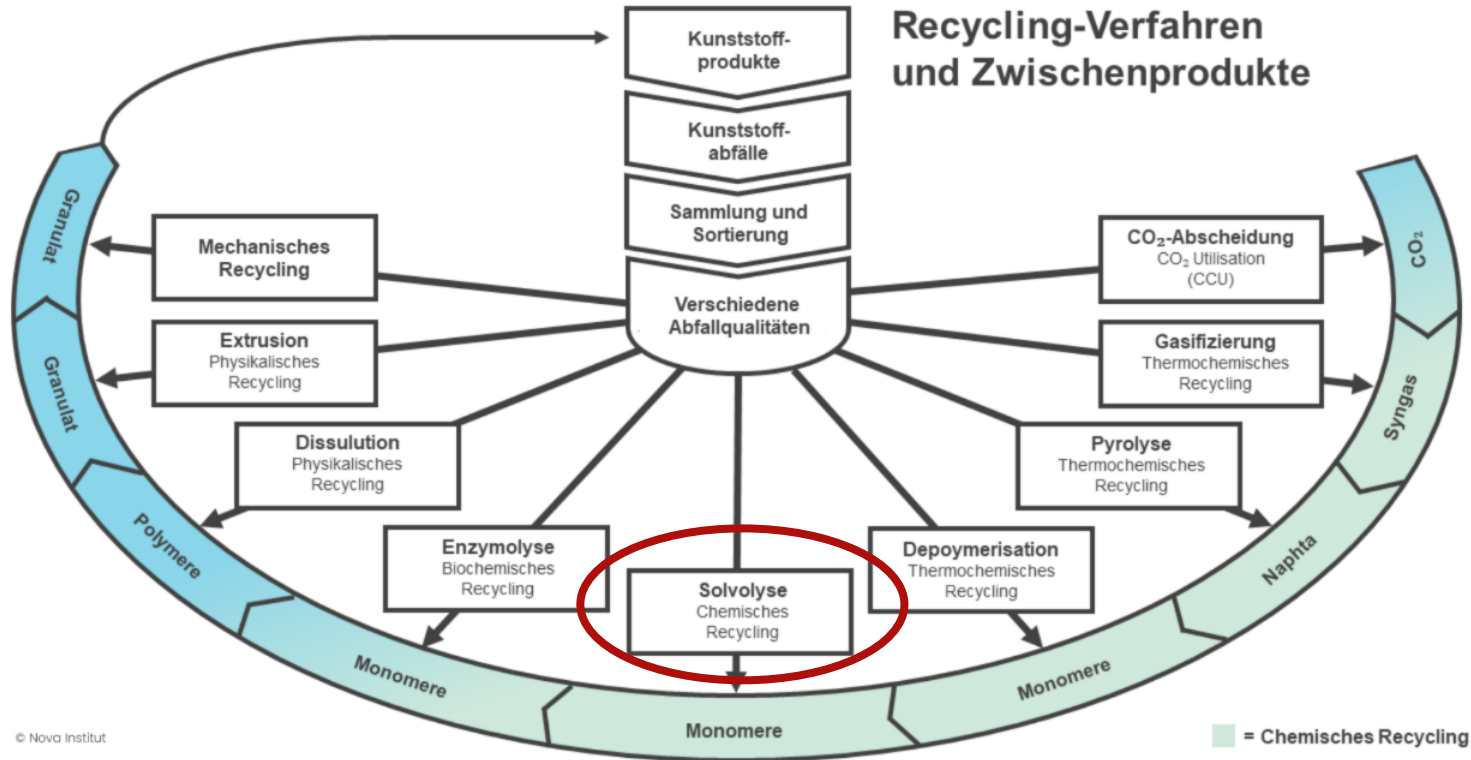
| 15

- ▶ Mitsubishi Chemical Group und Agilyx haben ein Verfahren entwickelt, mit dem gemischte **PMMA-Abfälle aus Auto-Scheinwerfern (Acrylglas)** und **Fensterscheiben** in reines Methyl Methacrylat (MMA) umgewandelt werden kann. Aus diesem MMA kann wiederum neues Acrylglas hergestellt werden.
- ▶ Spezialfall der Pyrolyse, die in Monomeren resultiert (PS- und PMMA-Abfälle), Temperaturen sind niedriger als bei der Pyrolyse
- ▶ Zirkuläre Acrylglas-Produkte können auf diese Weise einen bis zu 70% geringeren CO₂-Fuabdruck haben



Quelle: <https://plasticseurope.org/de/nachhaltigkeit/kreislaufwirtschaft/recycling/chemisches-recycling/>
Quelle: <https://eu.mitsubishi-chemical.com/accounts/mce/dropbox/669e2.pdf>

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Rezyklat - eine echte Alternative!

09/2026

| 17

Solvolyse

Abfallfraktionen, welche Kunststoffprodukte enthalten, die durch Polykondensation oder Polyaddition hergestellt sind (PET, PUR, PA, PC) werden mittels Lösungsmittel in Monomere/Oligomere gespalten

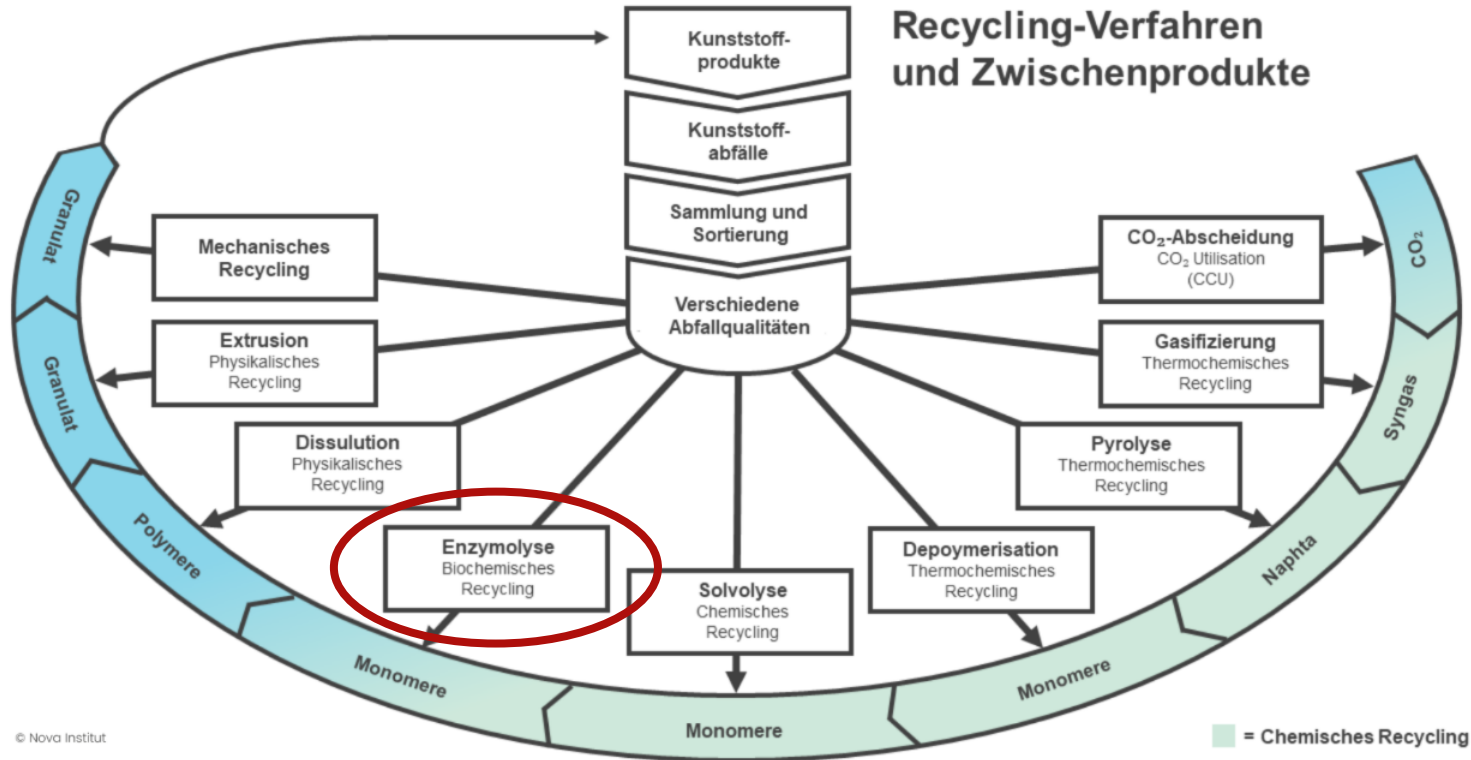
- **Hydrolyse** → Spaltung durch Wasser
- **Glykolyse** → Spaltung mit Glykol
- **Methanolyse** → Spaltung durch Methanol
- **Aminolyse** → Spaltung durch Amine

Quelle: Conversio-Studie, Kurzfassung Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/2035

- ▶ Das Projekt SolvoCycle vom Fraunhofer IGP forscht an der Entwicklung eines Recyclingprozesses für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit Hilfe von Solvolyse
- ▶ Mit Hilfe von Wasser im überkritischen Bereich können thermoplastische und duromere Kunststoffe zersetzt werden und die CF wiedergewonnen und für die Herstellung neuer CFK genutzt werden.

Quelle: [SolvoCycle](#)

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



Enzymolyse

Mit Hilfe von speziellen Enzymen aus Bakterien können bestimmte Kunststoffe in ihre Ausgangsprodukte zerlegt werden. PET kann beispielsweise in **Ethylenglycol und Terephthalsäure** (Bausteine für PET) umgewandelt werden.

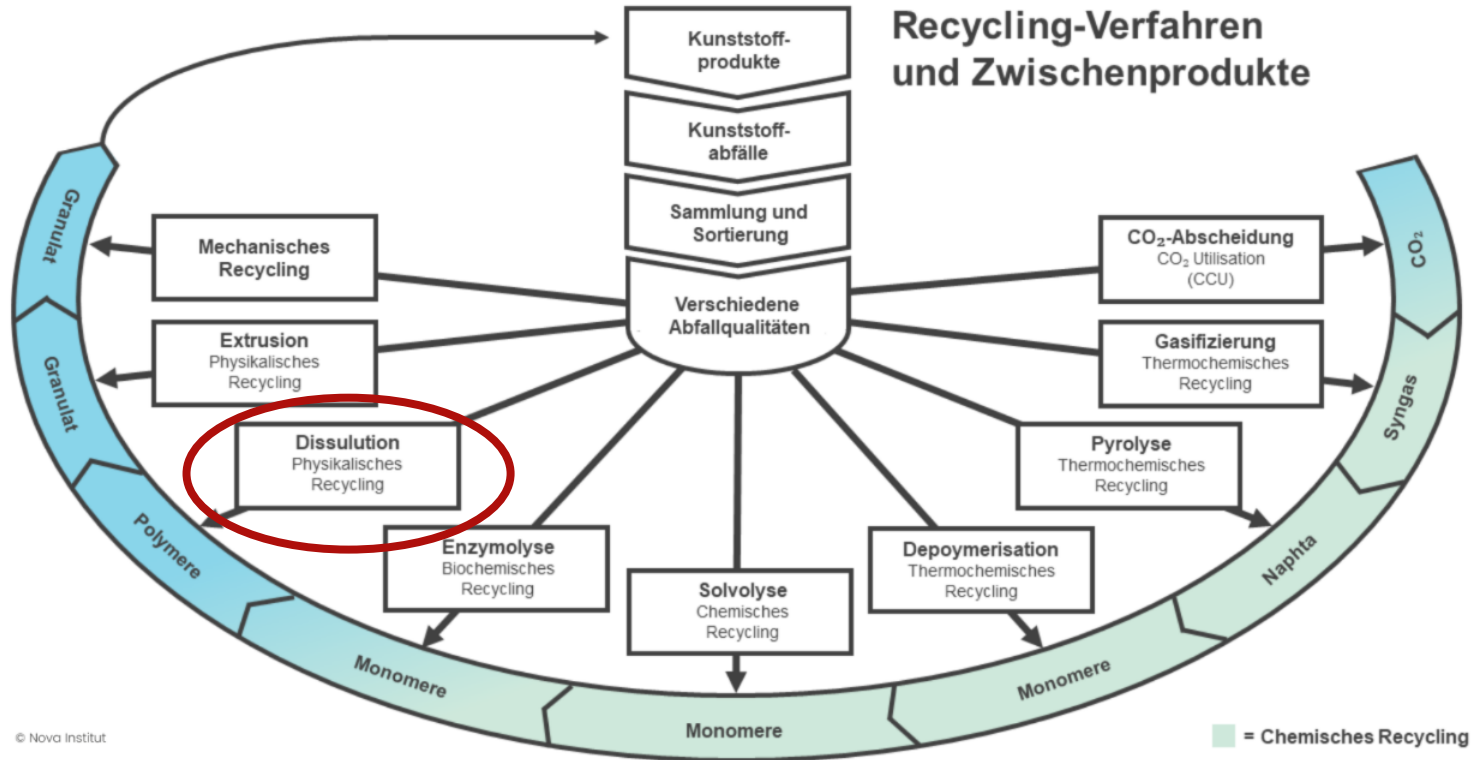
Quelle: [Biologisches Kunststoff-Recycling: Von Enzymen und Kreisläufen | Bioökonomie.de](https://www.biooekonomie.de)



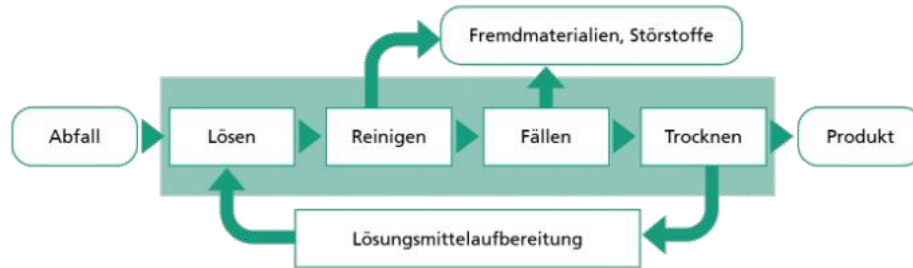
Quelle: [Enzymatisches Recycling – PET-Abfälle hochwertig zurückgewinnen](#)

- ▶ Recycling von mehrschichtigen, farbigen und undurchsichtigen Schalen aus **PET-Verpackungsabfällen** und **Polyester-Textilabfälle**
- ▶ Die Landbell Group wird Carbios ab 2026 mit 15 kt/Jahr an PET-Flakes beliefern
- ▶ Carbios wird die PET-Abfälle ab 2026 in der Recyclinganlage in Longlaville (Frankreich) recyceln. Die Gesamtkapazität der Anlage beträgt 50kt/Jahr.
- ▶ Es können Produkte für die erneute Synthese von **PET** hergestellt werden

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



- ▶ Das Zielpolymer wird selektiv aus der Abfallmischung und Verbundstoffen herausgelöst und nach dem Abtrennen von Fremdmaterialien und Störstoffen getrocknet und kann anschließend für neue Produktionsprozesse genutzt werden
- ▶ Auflösung ohne chemische Wechselwirkung, die Polymerketten bleiben erhalten

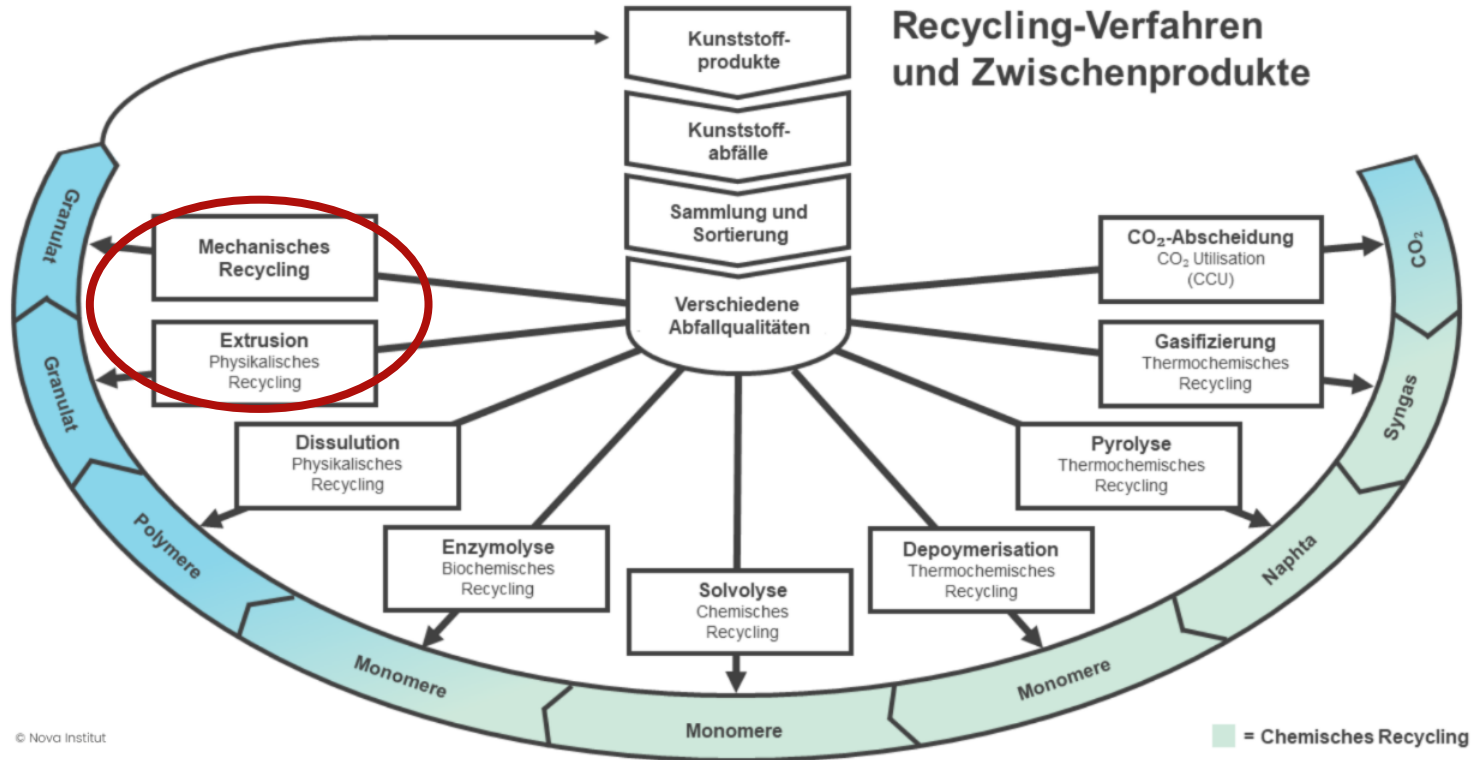


Quelle: Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE, [Lösungsmittelbasiertes Recycling](#)

- ▶ LYB Solvent Recycling GmbH (ehemals APK AG) in Merseburg entwickelte lösemittelbasierte Recyclingverfahren für Polyethylen niedriger Dichte (LDPE)
- ▶ Dadurch ist beispielsweise eine Aufbereitung von Post-Consumer-Verpackungsabfällen (**Mehrschichtfolien aus LDPE und PA**) möglich

Quelle: EUWID Recycling und Entsorgung, [Lyondell Basell schließt Übernahme von APK ab](#)

Recyclingverfahren in der Kunststoffindustrie



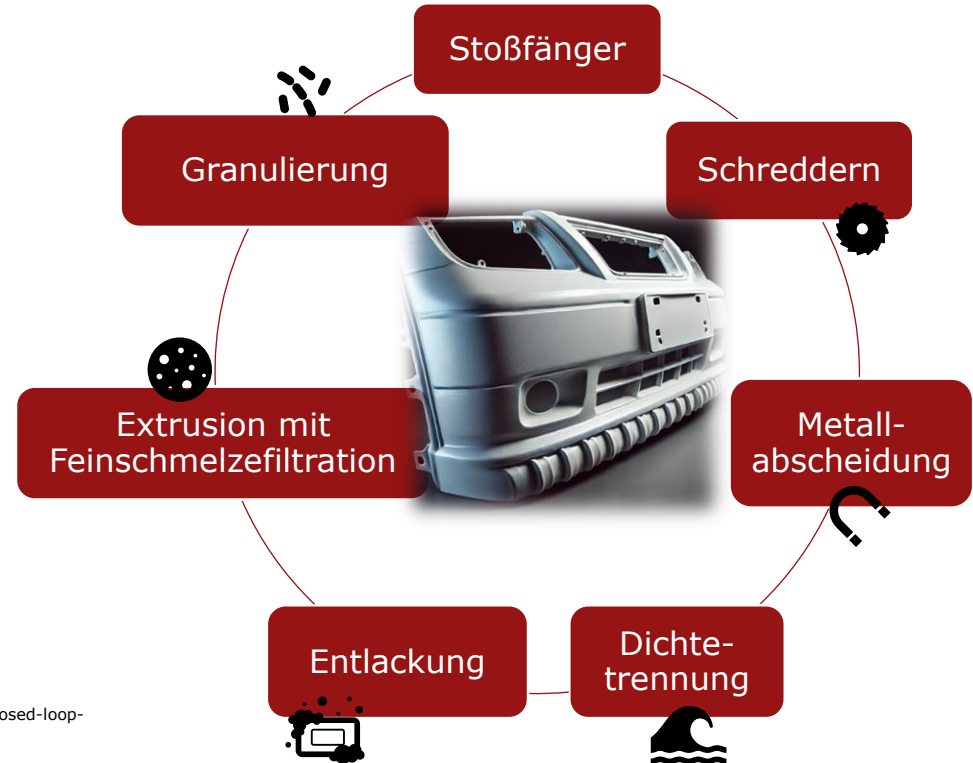
© Nova Institut

Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

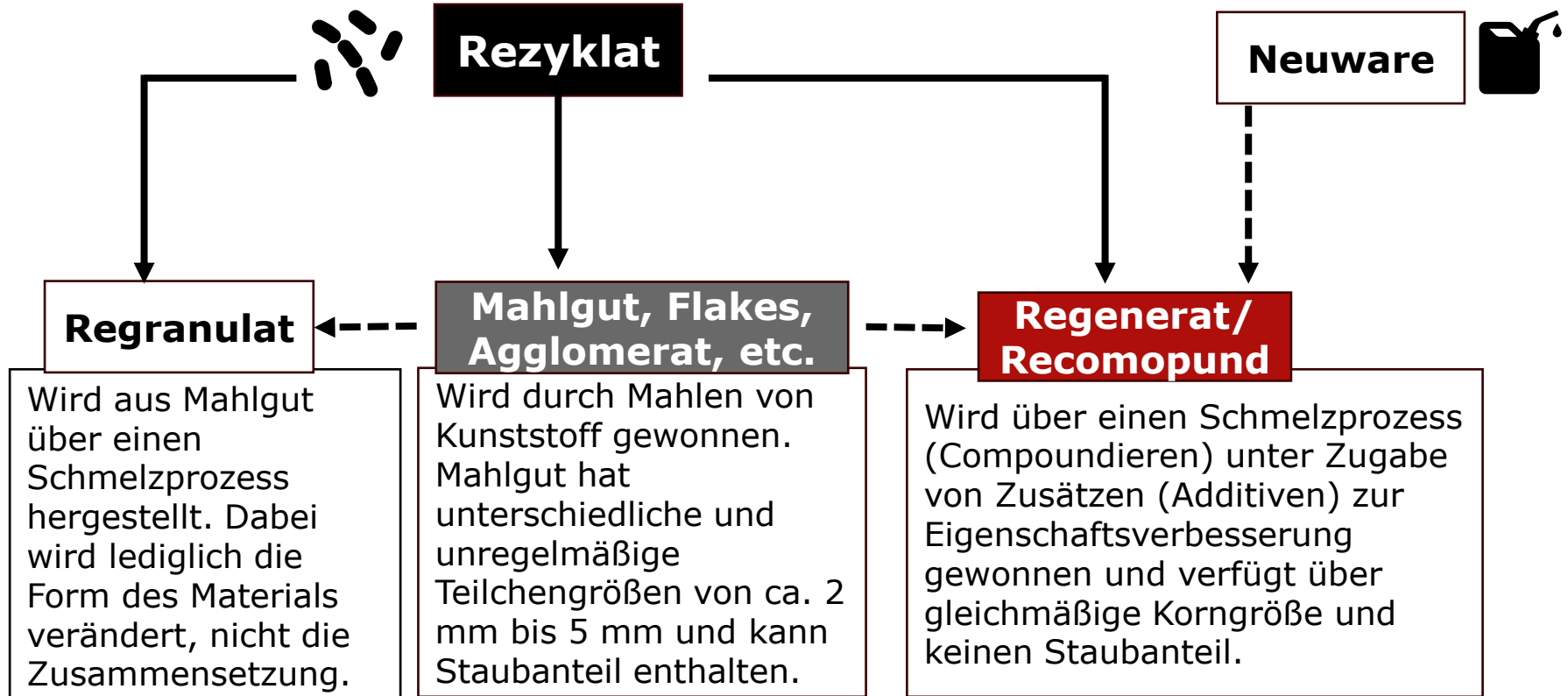
Rezyklat - eine echte Alternative!

Beispiel: Mechanisches Recycling im Automobilbereich

- ▶ **Stoßfänger aus PP/EPDM-TV** (talkumverstärkt) können im mechanischen Recyclingprozess aufbereitet und wiederverwertet werden (Fa. WIPAG)
- ▶ Es können bis zu 100 m% Rezyklat beim Herstellen von Stoßfängern für Neufahrzeuge verwendet werden



Quelle: <https://www.plastverarbeiter.de/verarbeitungsverfahren/kunststoffrecycling/wie-der-closed-loop-prozess-in-der-automobilindustrie-funktioniert-673.html>



Nebenprodukte

- Materialien, die im **gleichen Prozess**, im gleichen Ort und der gleichen Anwendung wieder eingesetzt werden.

Post-Industrial-Rezyklat (PIR)

- **Post-Industrial-Abfälle** sind Kunststoffe, die bei der Herstellung (Produktion) oder Verarbeitung von Kunststoffen anfallen und zur Aufbereitung den Betrieb oder **den Prozess verlassen**. Dafür muss dem Kunststoff eine Abfallnummer zugewiesen werden.

Post-Consumer-Rezyklat (PCR)

- **Post-Consumer-Abfälle** sind Endverbraucherabfälle, die **nach dem Gebrauch** (kurzlebig wie auch langlebig) sowohl aus den gewerblichen als auch den haushaltsnahen Endverbraucher-Bereichen anfallen.

Post-Industrial Stoffströme

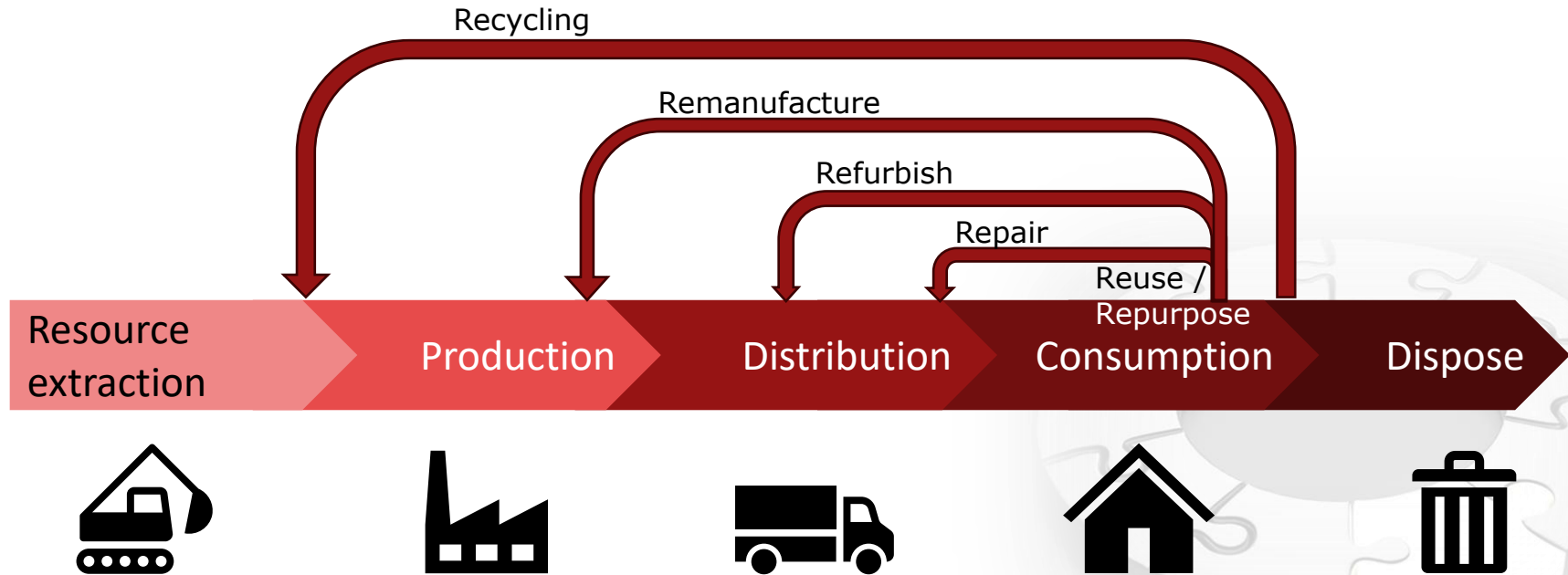
einfache Sammlung am Werk

Post-Consumer Stoffströme

Sammlung ist **aufwendig**

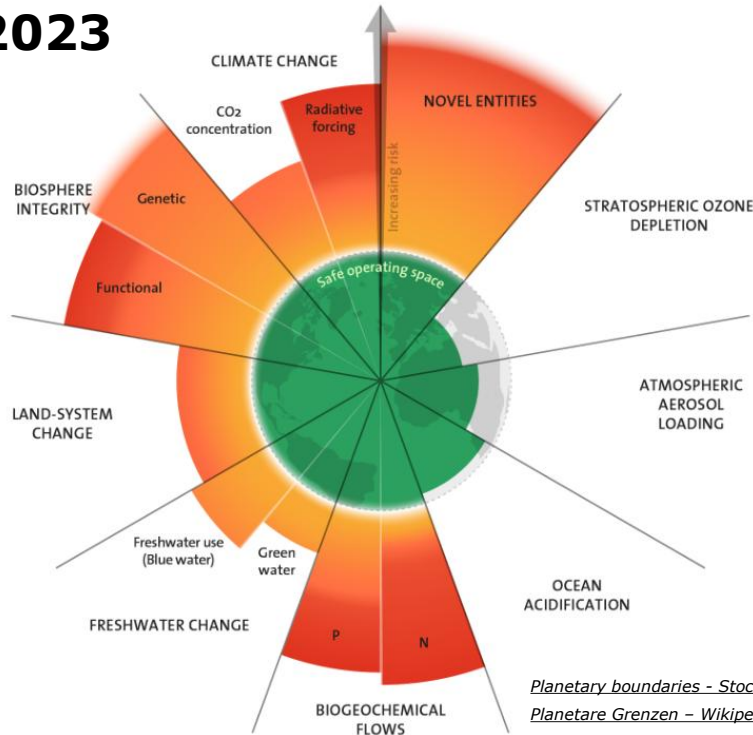
1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
- 3. Recycling**
4. Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
5. Beseitigung

Quelle: Kreislaufwirtschaftsgesetz, Hierarchiestufen und sonstige Verwertung, WR II 2



Politische & regulatorische Rahmenbedingungen

2023



► **Belastungsgrenzen der Erde,** bei deren Überschreiten die Stabilität des Ökosystems der Erde gefährdet ist

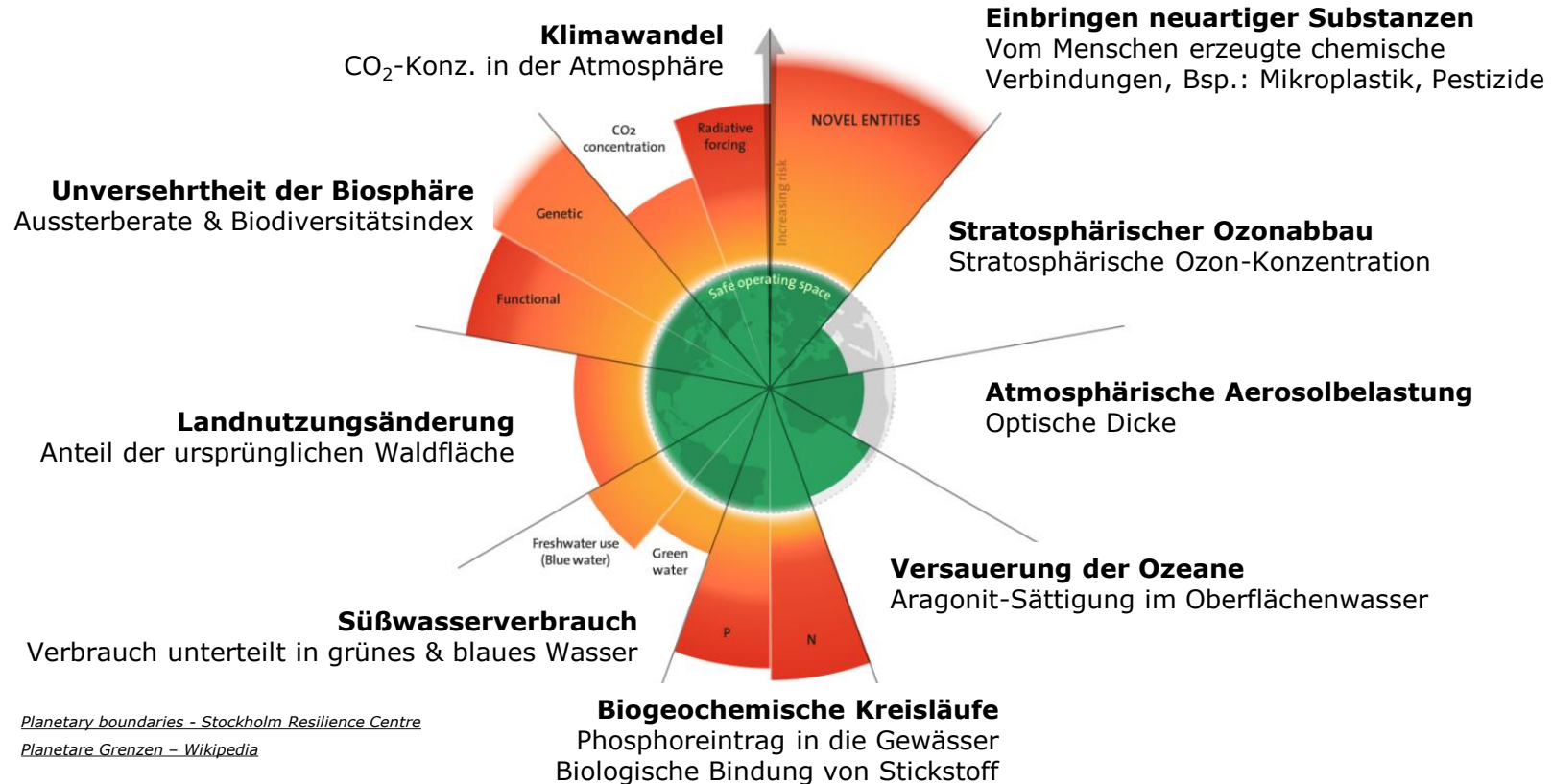
- Sichere Zone (grün)
- Unsichere Zone (orange)
- Gefährliche Zone (rot)

► Es werden **messbare Indikatoren** für die Bereiche festgelegt, um die Entwicklung quantitativ bewerten zu können

- Beispiel: Für den Klimawandel ist die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (ppm) die Messgröße

Planetary boundaries - Stockholm Resilience Centre

Planetary Grenzen - Wikipedia



Planetary boundaries - Stockholm Resilience Centre

Planetare Grenzen - Wikipedia



- ▶ **Verabschiedung** im Dezember **2015** in der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und löst das Kyoto-Protokoll ab
- ▶ Bis zum August 2021 haben 191/197 Vertragsstaaten das Abkommen ratifiziert

- ▶ **Ziel:** Die Erderwärmung soll auf 2 °C, möglichst jedoch auf 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden
- ▶ **Umsetzung:** Alle Staaten sollen ab 2020 alle fünf Jahre länderspezifische Pläne zum Klimaschutz vorlegen. Das Erreichen der selbstfestgelegten Ziele wird regelmäßig geprüft, jedoch beim Nicht-Erreichte nicht sanktioniert.
- ▶ **Aktueller Status:** Große Schwierigkeiten das 1,5°C-Ziel einzuhalten
 - Den größten Teil der Emissionen machen Öl-, Gas, Kohle- und Zementproduzenten aus, welche den Ausstoß größtenteils sogar erhöht haben in den letzten Jahren

P. Völkner, Frankfurter Neue Presse: „Trotz Klimaabkommen: Industrie-Giganten stoßen weltweit mehr Treibhausgase aus“, 07.04.2024

- ▶ Die vereinten Nationen haben 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung festgelegt
- ▶ **Ziel:** Die SDGs geben einen weltweit einheitlichen Rahmen dafür vor, wie nachhaltige Entwicklung im 21. Jahrhundert passieren soll, ohne dass planetare Leitplanken überschritten werden
- ▶ **Deutschland:** hat eine deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, in der alle 17 Ziele (169 Unterziele) spezifisch für Deutschland ausgearbeitet sind
 - Es werden auch konkrete Maßnahmen aufgezeigt und Indikatoren zur Überprüfung von Handlungsfortschritten aufgeführt

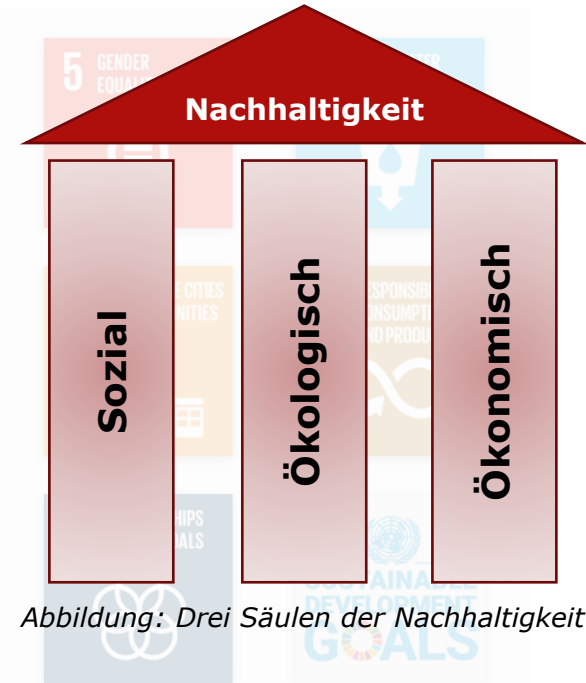


Abbildung: Drei Säulen der Nachhaltigkeit

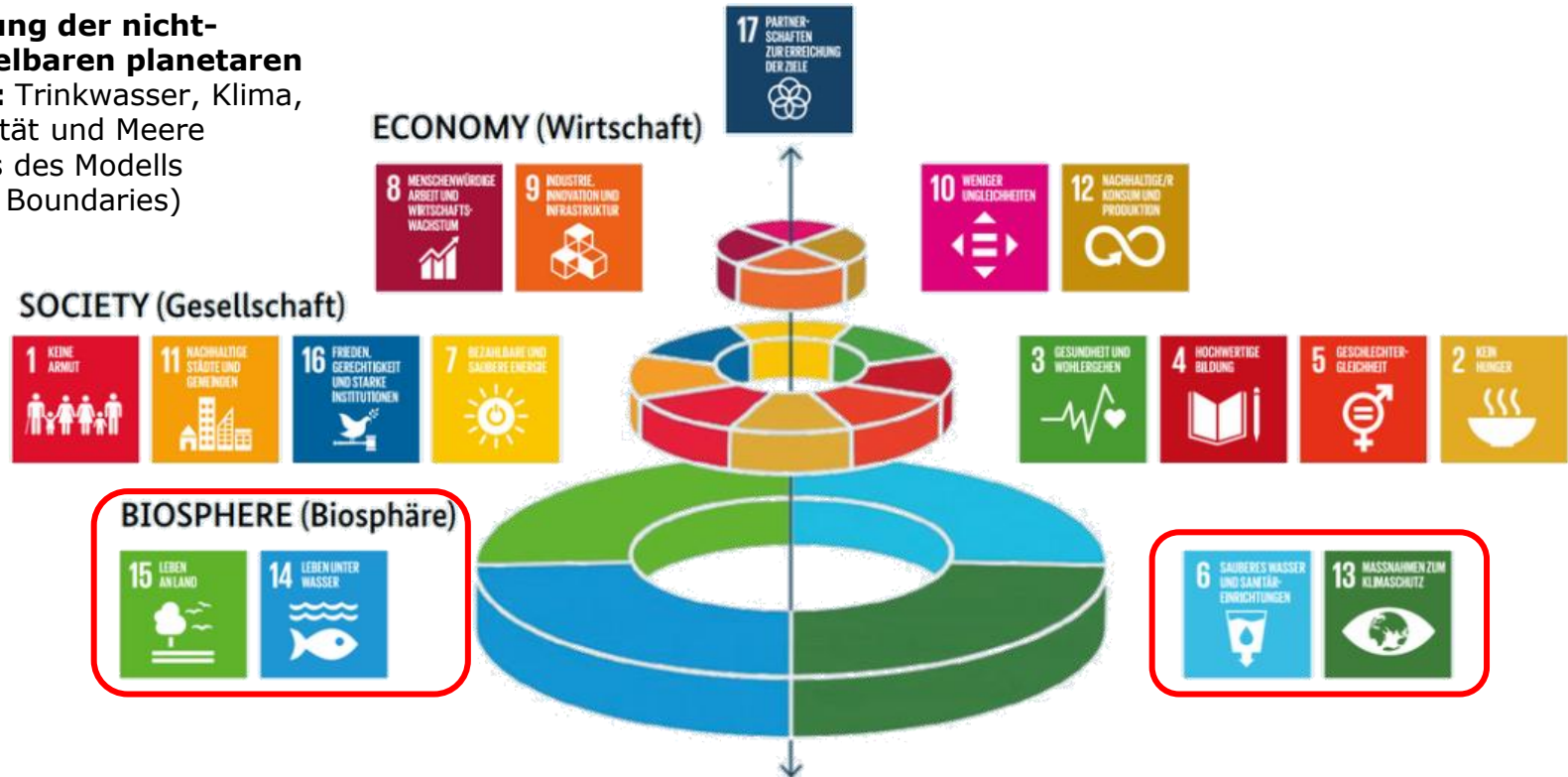
Weltweit: SDGs – Sustainable Development Goals



Quelle: [Sustainable Development Goals](#) | UNDP

Darstellung der nicht-verhandelbaren planetaren Grenzen:

Trinkwasser, Klima,
Biodiversität und Meere
(auf Basis des Modells
Planetary Boundaries)



Quelle: [BMUKN: Planetare Belastbarkeitsgrenzen](#)

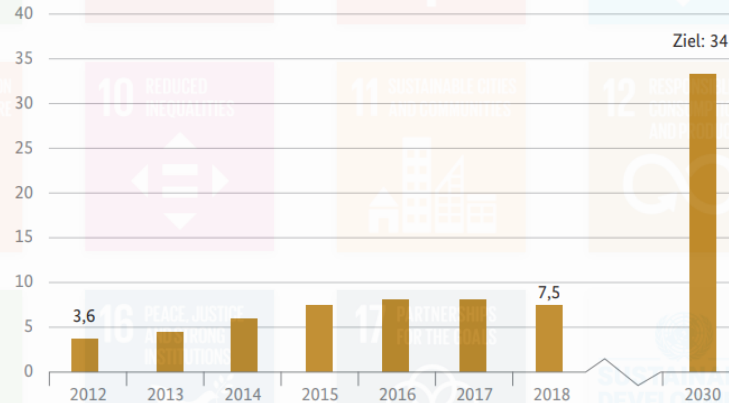


Ziele:

- ▶ Reduzierung des Ressourcenverbrauchs
- ▶ Förderung der Kreislaufwirtschaft & des Recyclings
- ▶ Förderung von umweltfreundlichen Produkten
- ▶ Förderung von nachhaltigem Konsum
- ▶ Etc.

Beispiel-Indikator

Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen
in %



2018 vorläufige Daten.

Quellen: Gesellschaft für Konsumforschung, Kraftfahrt-Bundesamt, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V., Verkehrsclub Deutschland e.V., Umweltbundesamt

Quelle: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021

- ▶ 2019 durch die Europäische Kommission beschlossen
- ▶ Schaffung einer modernen, ressourceneffizienten & wettbewerbsfähigen Wirtschaft
- ▶ Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft als eine der Maßnahmen



Ziele des European Green Deals



- (1) Klimaneutralität bis 2050
- (2) Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030
- (3) Förderung erneuerbarer Energien
- (4) Energieeffizienz verbessern
- (5) Nachhaltige Landwirtschaft und Forstwirtschaft
- (6) Nachhaltige Mobilität
- (7) Kreislaufwirtschaft fördern
- (8) Schutz der Biodiversität

Kunststoffsteuer



Abgabe von **0,80 €/kg** nicht recycelter Kunststoffverpackungsabfälle.

Zahlung derzeit: aus staatlichen Mitteln an die EU gezahlt (zur Finanzierung des Green Deals)

Zahlung zukünftig: Umlenkung auf Inverkehrbringer, bzw. Verbraucher (Plastiksteuer)

[Die Plastiksteuer: Was Sie wissen müssen \(plasticseurope.org\)](https://www.plasticseurope.org/)

Einwegkunststoffverbot



Verbot der Herstellung und des Inverkehrbringens von bestimmten Einwegkunststoffprodukten und von Produkten aus oxo-abbaubarem Kunststoff, u.a. Besteck, Teller, **Trinkhalme**, Rührstäbchen, Luftballonstäbe

Quelle: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 3, ausgegeben zu Bonn am 26. Januar 2021

Exportverbot von Kunststoffabfällen



Seit 2021: **Export-Verbot von unsortiertem Kunststoffabfall** in Nicht-OECD-Länder
Verschärfungen ab 2026 durch die **Verordnung (EU) 2024/1157** zur Verbringung von Abfällen

[BMUV: Verordnung \(EU\) 2024/1157 über die Verbringung von Abfällen | Gesetze und Verordnungen](#)

Warnhinweis für Einwegkunststoffprodukte



Geht aus Artikel 7 Absatz 1 der Richtlinie (EU) 2019/904 hervor
Bestimmte Einwegkunststoffprodukte haben eine Kennzeichnungspflicht auf der Verpackung

[BMUV: Verordnung über die Beschaffenheit und Kennzeichnung von bestimmten Einwegkunststoffprodukten | Gesetze und Verordnungen](#)

Verordnung EU 2026/1738 soll die Altfahrzeugrichtlinie ersetzen

- ▶ **Titel:** Anforderungen an die kreislaforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Bewirtschaftung von Altfahrzeugen
- ▶ **Geltungsbereich:** Europa
- ▶ **Inkrafttreten:** 08. Juli 2026 (Entwurf vom 13. Juli 2023)



Inhalte der Verordnung

- ▶ Verpflichtende **Rezyklateinsatzquoten**
- ▶ **Kreislaufanforderungen:** Neue Fahrzeugtypen müssen zu mind. 85 w% wiederverwendbar oder recyclingfähig und zu 95 w% wiederverwendbar oder verwertbar sein
 - Es wird eine neue EU-Berechnungs- und Prüfmethodik eingeführt
- ▶ **Design-for-Disassembly-Anforderungen:** Bestimmte Teile und Komponenten müssen so konstruiert sein, dass sie am Lebensende ausgebaut und ersetzt werden können
- ▶ **Kunststoffrecyclingquote:** Aus Altfahrzeugen sollen künftig 30 % der relevanten Kunststoffe recycelt werden.

- ▶ Verpflichtende **Rezyklateinsatzquote**
 - ab 01.09.2032: Einsatz von 15 w% PCR (20 % davon aus ELV)
 - ab 01.09.2036: Einsatz von 25 w% PCR (20 % davon aus ELV)
- ▶ Bei der Berechnung werden **Reifenelastomere** sowie bestimmte **Duroplaste ausgenommen**, eine relevante Ausnahme bilden Polyurethanschäume für Polsterzwecke.
- ▶ Auch **chemisches Recycling kann grundsätzlich berücksichtigt werden**. Für andere Verfahren als mechanisches Recycling soll eine **Massenbilanzmethodik** verwendet werden. Die Kommission muss die konkrete Berechnungs- und Verifizierungsmethode bis 31. August 2028 festlegen.
- ▶ **Rezyklat aus Anlagen außerhalb der EU kann berücksichtigt werden**, allerdings gelten hierfür ab 14. August 2030 besondere Anforderungen an Gleichwertigkeit, Nachweis und Auditierung.
- ▶ Die Kommission kann die **Kunststoffquoten unter außergewöhnlichen Umständen vorübergehend absenken** oder zeitlich verschieben, etwa wenn bestimmte Rezyklatqualitäten nicht ausreichend verfügbar sind oder außergewöhnlich hohe Preise die Erfüllung unverhältnismäßig erschweren

Verordnung (EU) 2014/1781

Titel: Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte

- ▶ **Geltungsbereich:** Europa (auch Onlinehandel und Importware)
- ▶ **Inkrafttreten:** 18.07.2024



- ▶ **Ziel:** Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkt
- ▶ Start mit folgenden **Produktgruppen**
 - Textilien & Schuhe
 - Möbel
 - Eisen, Stahl und Aluminium
 - Reinigungsmittel & Chemikalien

CO₂-Fußabdruck

Rezyklatanteil

Nachrüstbarkeit

Reparierbarkeit

Anforderungen

Ressourceneffizienz

Haltbarkeit

Wiederverwendbarkeit

[Neue Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte tritt in Kraft - RECYCLING magazin](#)

Quelle: Stärkung des Recyclings technischer Kunststoffe vor dem Hintergrund steigender stoffrechtlicher Anforderungen am Beispiel Elektroaltgeräte und Altfahrzeuge, Umweltbundesamt, 02/2024

Verordnung [2025/40](#) (EU)

Titel: Europäische Verpackungsverordnung (Packaging and Packaging Waste Regulation)

- ▶ **Geltungsbereich:** Europa
- ▶ **Inkrafttreten:** 11. Februar 2025
- ▶ Einreichung der **Konformitätserklärung** bis zum 12. August 2026



Hauptziele

- 1. Reduzierung von Verpackungsabfällen** (Verpackungsminimierung)
- 2. Förderung von Recycling** (Vorgaben zur Recyclingfähigkeit und Mindestrezyklat-Anteil, Design4Recycling)
- 3. Verbesserung der Umweltverträglichkeit** (Mehrwegpflichten, Regelungen zur Wiederverwendung)
- 4. Erhöhung der Transparenz** (einheitliche Kennzeichnungspflichten, Verbote)

Recyclingfähig: Recyclingfähigkeit im Rahmen von Sammel-, Sortier- und Recyclingverfahren nach dem allgemein anerkannten Stand der Technik

2028

2030

2038

Veröffentlichung „**Design for Recycling Guidelines**“

Alle Verpackungen müssen **mind. Klasse C** entsprechen

Alle Verpackungen müssen **mind. Klasse B** entsprechen



Klasse A

Hoch recycelbar
über 95%



Klasse B

Gut recycelbar
80% - 95%



Klasse C

Recycelbar
70% - 80%

- ▶ Mindest-Rezyklat-Einsatz für Verpackungen aus den folgenden Rohstoffen ab 2030



Papier & Pappe

75%



Bildquelle: www.euroglas.de

Glas

50%



Bildquelle: Jima Container

Metall

25%

- ▶ Mindest-Rezyklat-Einsatz (Post-Consumer) für Verpackungen aus Kunststoff



Einweggetränkeflaschen

2030 **30%**

2040 **65%**

Kontaktsensitive Verpackungen aus anderen Materialien außer PET (außer Getränkeflaschen)

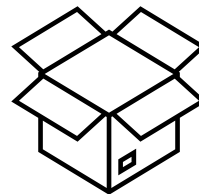
2030 **10%**

2040 **25%**

Kontaktsensitive Verpackungen aus PET (außer PET-Flaschen)

2030 **30%**

2040 **50%**



Verpackungen ohne Kategorie

2030 **35%**

2040 **65%**

- ▶ Für den Einsatz von **Biomaterialien** gibt es zunächst keine Quoten
- ▶ Bis Februar 2028 wird die Kommission prüfen, ob Biopolymere eine Alternative zu Recyclingmaterial sein können

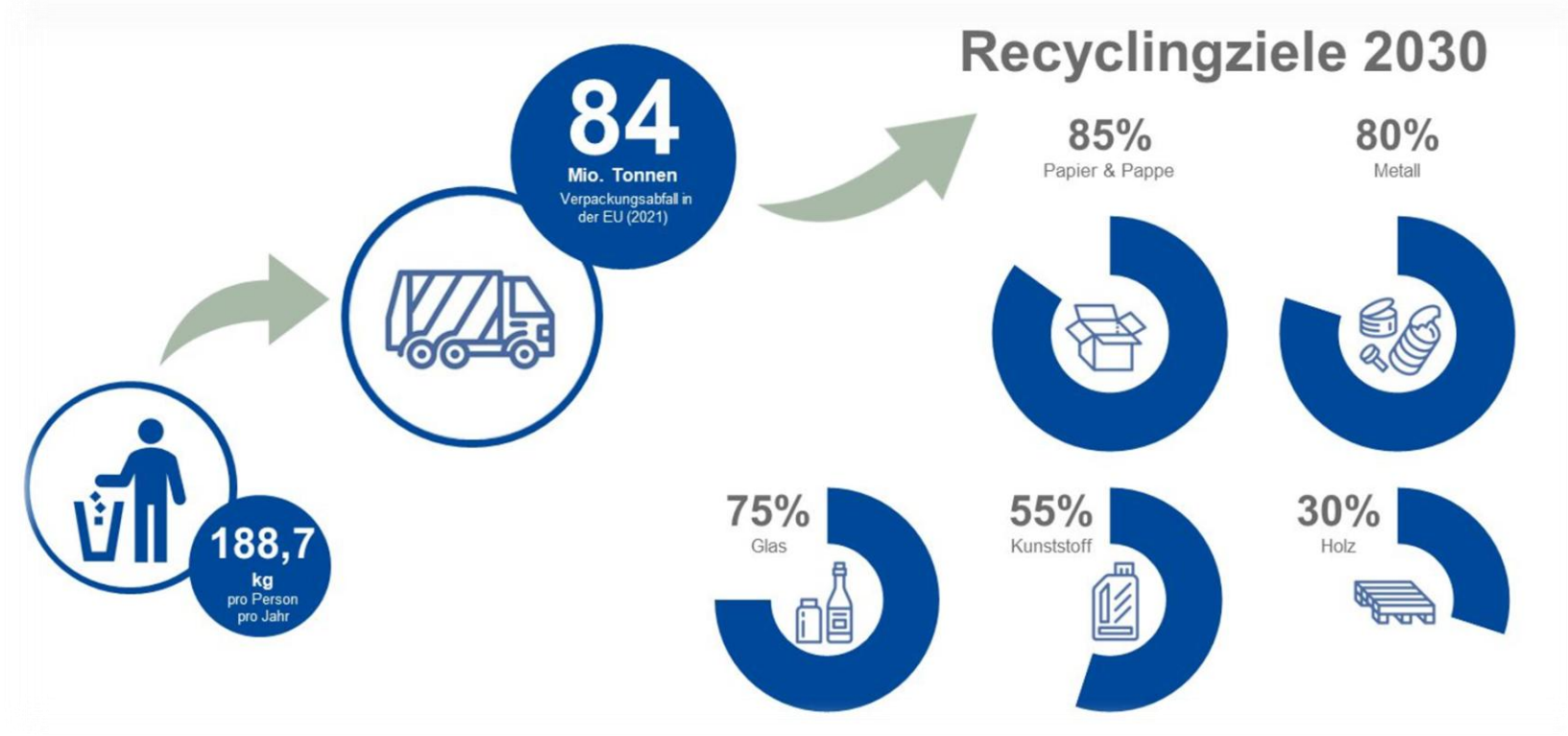


Bildquelle: Umweltbundesamt



- ▶ Ab Februar 2028 müssen bestimmte **Verpackungen** verpflichtend **kompostierbar** sein (Teebeutel, KaffEEKapseln, Kleber auf Obst)
- ▶ Mitgliedsstaaten könnten darüber hinaus weitere Anwendungen verpflichtend vorschreiben (Leichte Tragetaschen)

- ▶ Einführung von Wiederverwendungssystemen für wiederverwendbare Verpackungen
 - **Getränkeverpackungen**
 - ♻️ 10% in 2026
 - ♻️ 40% in 2040
 - **Umverpackungen**
 - ♻️ 10% in 2026
 - ♻️ 25% in 2040
 - **Transport-, Verkaufs- & E-Commerce-Verpackungen**
 - ♻️ 40% in 2026
 - ♻️ 70% in 2040
- ▶ Einführung von Wiederbefüllungssystemen
 - Ab 2027 muss Verbrauchern ermöglicht werden Speisen und Getränke in selbst mitgebrachten Behältnissen mitzunehmen
 - Ab 2028 muss die Mitnahme von Speisen und Getränken in einer Mehrwegverpackungen (innerhalb eines Wiederverwendungssystems) ermöglicht werden



Bündelung aller Regulatorien und Strategien zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in Deutschland (Entwurf im Juni 2024)

Ziele

► **Primärrohstoffverbrauch senken**

- Ziel ist es, den Verbrauch primärer Rohstoffe bis 2045 auf 8 Tonnen pro Kopf und Jahr zu reduzieren.

► **Stoffkreisläufe schließen**

- Erhöhung des Anteils von Sekundärrohstoffen (Rezyklate) in der Produktion.

► **Rohstoffversorgungssicherheit erhöhen**

- Förderung der Unabhängigkeit von Rohstoffimporten und Verbesserung der Rohstoffsouveränität.

► **Abfälle vermeiden**

- Reduktion des Pro-Kopf-Aufkommens an Siedlungsabfällen bis 2045 um 20 % im Vergleich zu 2020.



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



**Kreislaufwirtschafts-
strategie Deutschland**

[BMUKN: Nationale
Kreislaufwirtschaftsstrategie \(NKWS\)](#)

Maßnahmen zum Erreichen der Ziele

► **Technologische Innovationen und Investitionen**

- Förderung von Forschung und Entwicklung sowie Investitionen in die Kreislaufwirtschaft. Einsatz digitaler Technologien und Künstlicher Intelligenz zur Optimierung von Recyclingprozessen und zur Förderung von Produktdesign für Langlebigkeit.

► **Digitale Produktpässe und Datenräume**

- Einführung digitaler Produktpässe (DPP) und Entwicklung von Datenräumen für die Kreislaufwirtschaft.

► **Normung und Standards**

- Setzung von Standards und Normen für zirkuläre Produkte und Sekundärrohstoffe auf nationaler und europäischer Ebene.



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



**Kreislaufwirtschafts-
strategie Deutschland**

[BMUKN: Nationale
Kreislaufwirtschaftsstrategie \(NKWS\)](#)

Maßnahmen zum Erreichen der Ziele

► **Rechtliche Rahmenbedingungen**

- Weiterentwicklung des Kreislaufwirtschaftsrechts, Förderung des Recyclings von Altgeräten und gewerblichen Abfällen.

► **Öffentliche Beschaffung**

- Nutzung der öffentlichen Beschaffung als Hebel zur Förderung der Kreislaufwirtschaft.

► **Bau- und Gebäudesektor**

- Förderung der Ressourcenschonung und Zirkularität im Bau- und Gebäudebereich.

► **Nachhaltiger Konsum**

- Förderung langlebiger und nachhaltiger Konsumgüter sowie Stärkung von Sharing- und Mietmodellen.



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

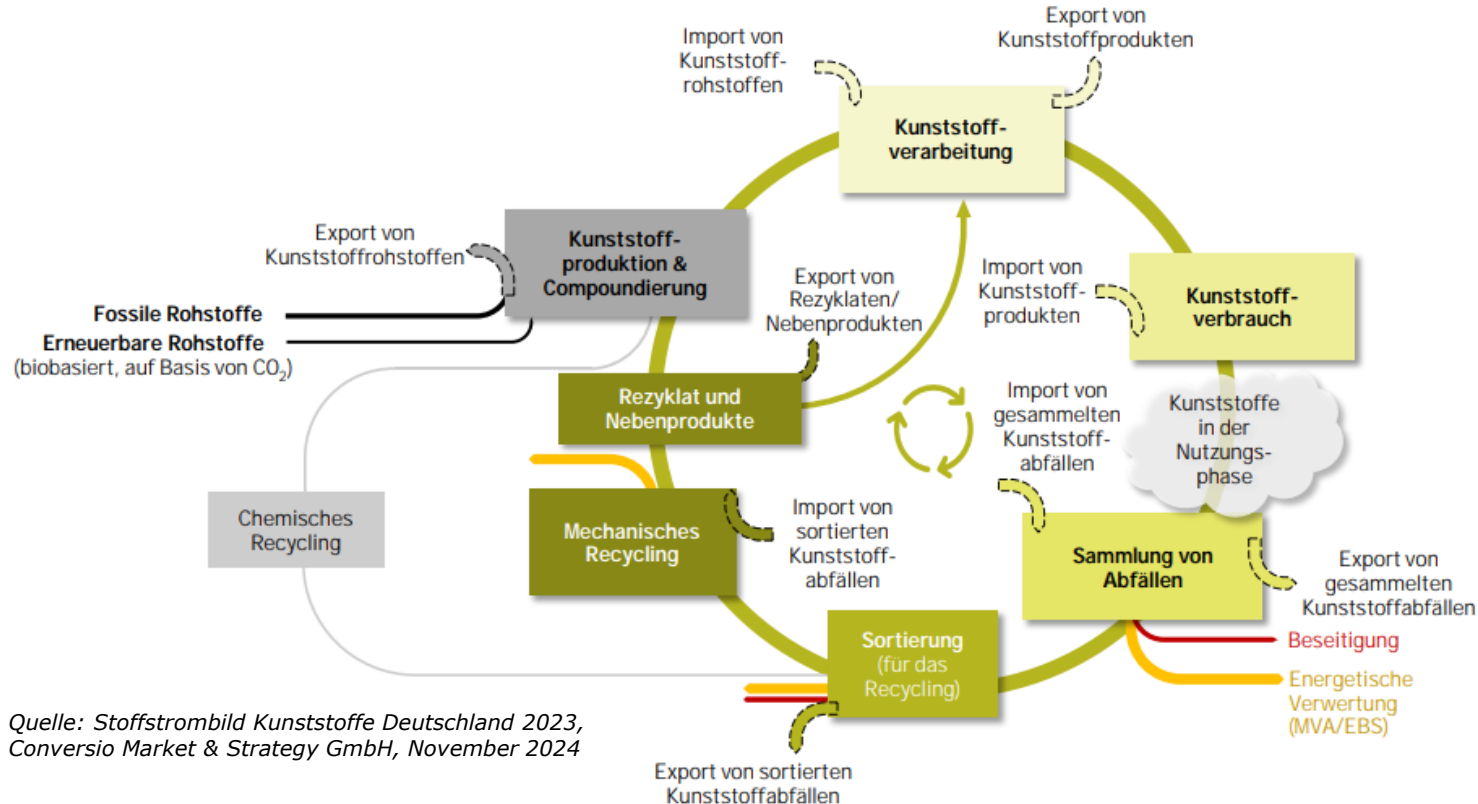


**Kreislaufwirtschafts-
strategie Deutschland**

[BMUKN: Nationale
Kreislaufwirtschaftsstrategie \(NKWS\)](#)

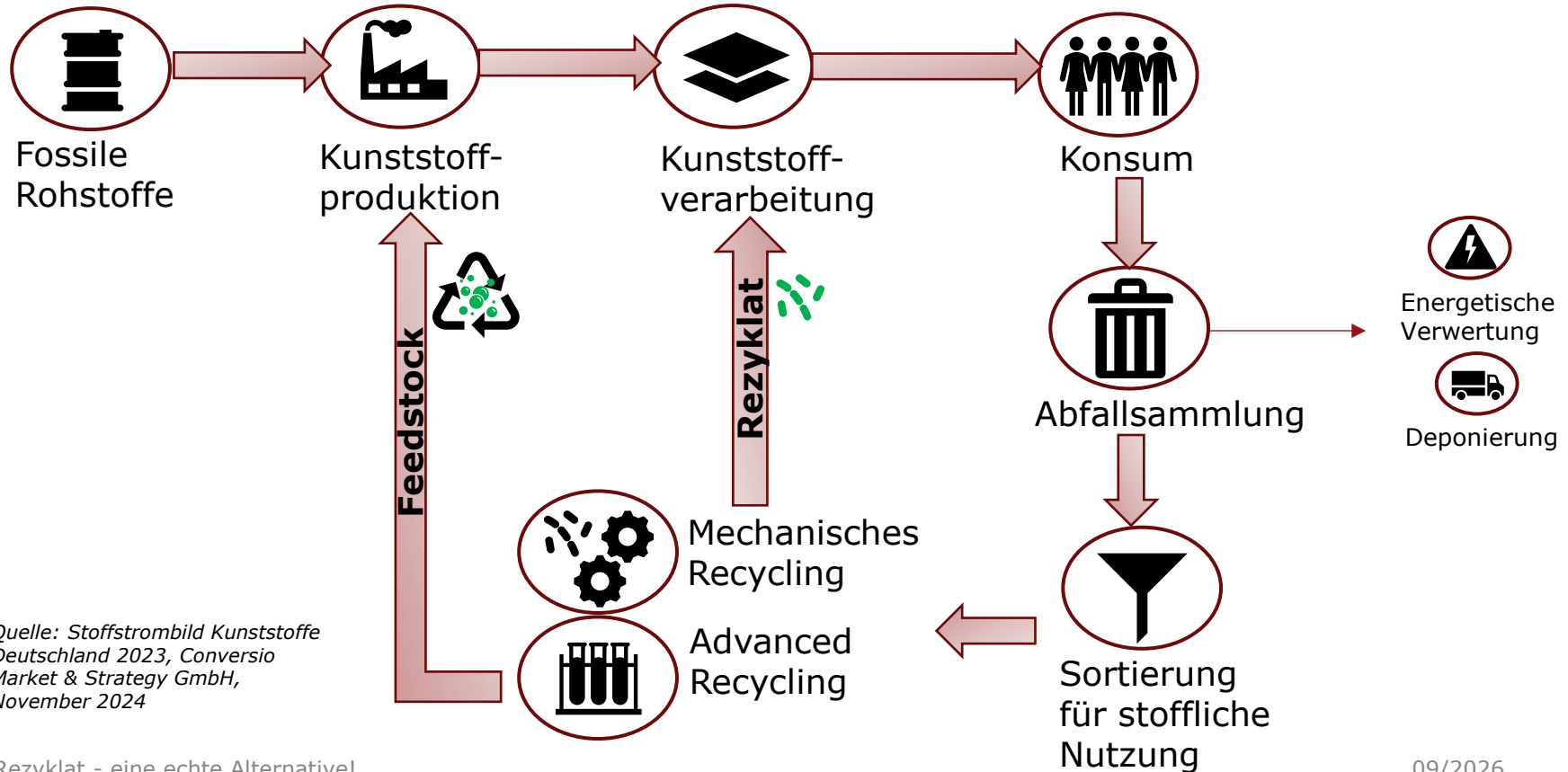
Marktsituation

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023

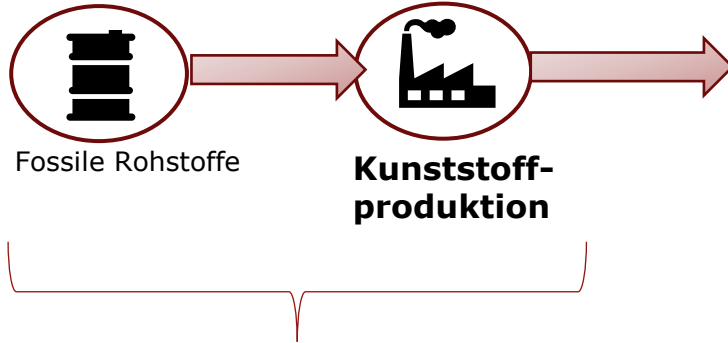


Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023,
Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



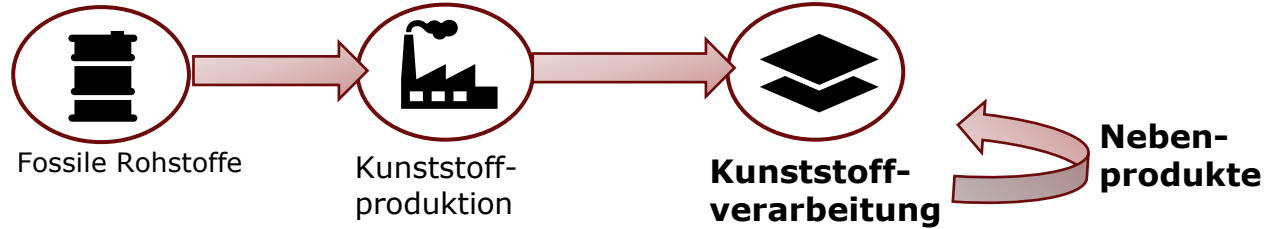
Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe
Deutschland 2023, Conversio
Market & Strategy GmbH,
November 2024



- ▶ Die für Kunststoffwerkstoffe relevante Produktion auf Basis fossiler Rohstoffe betrug im Jahr 2023 **8,82 Mio. t.**
(2021: 10,7 Mio. t, -17,6 %)

Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023,
Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



- Die für Kunststoffwerkstoffe relevante Produktion auf Basis fossiler Rohstoffe betrug im Jahr 2023 **8,82 Mio. t.** (2021: 10,7 Mio. t, -17,6 %)

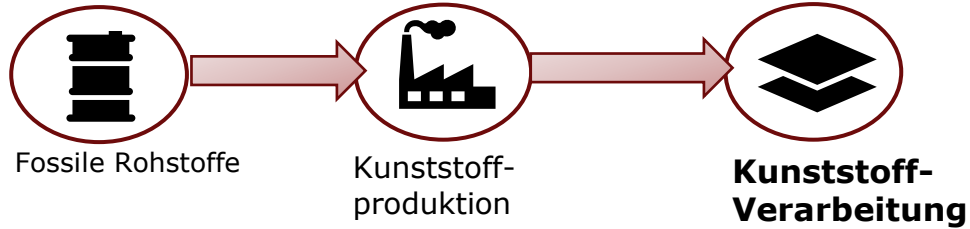


Für die Herstellung von Kunststoffprodukten standen darüber hinaus folgende Rezyklatmengen zur Verfügung:

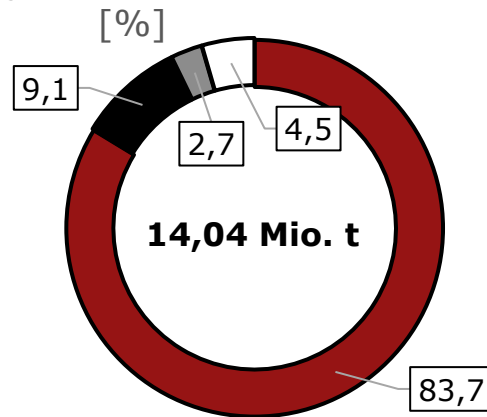
Jahr	Nebenprodukte [Mio. t]	PIR [Mio. t]	PCR [Mio. t]
2021	0,64	0,38	1,27
2023	0,50	0,39	1,54

Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023,
Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

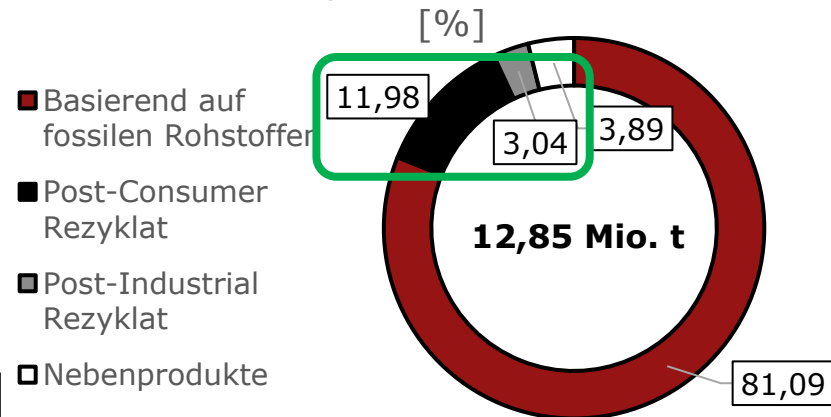
Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



Verarbeitung von Kunststoffen **2021***



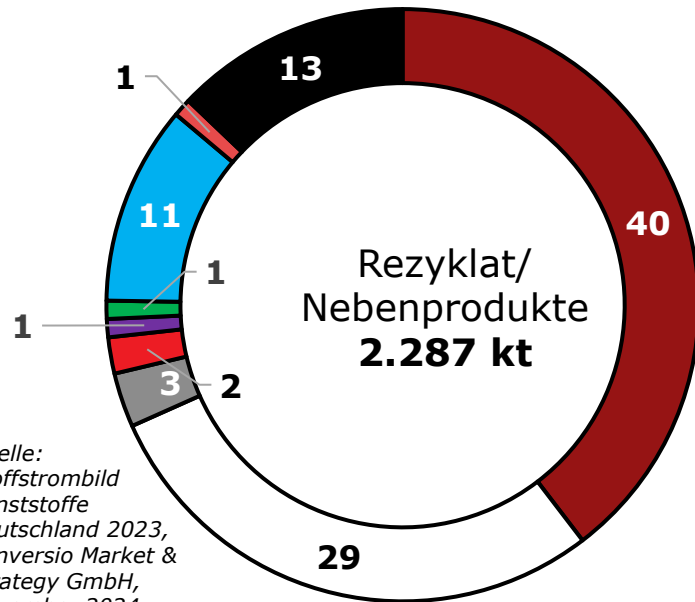
Verarbeitung von Kunststoffen **2023***



Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023, Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

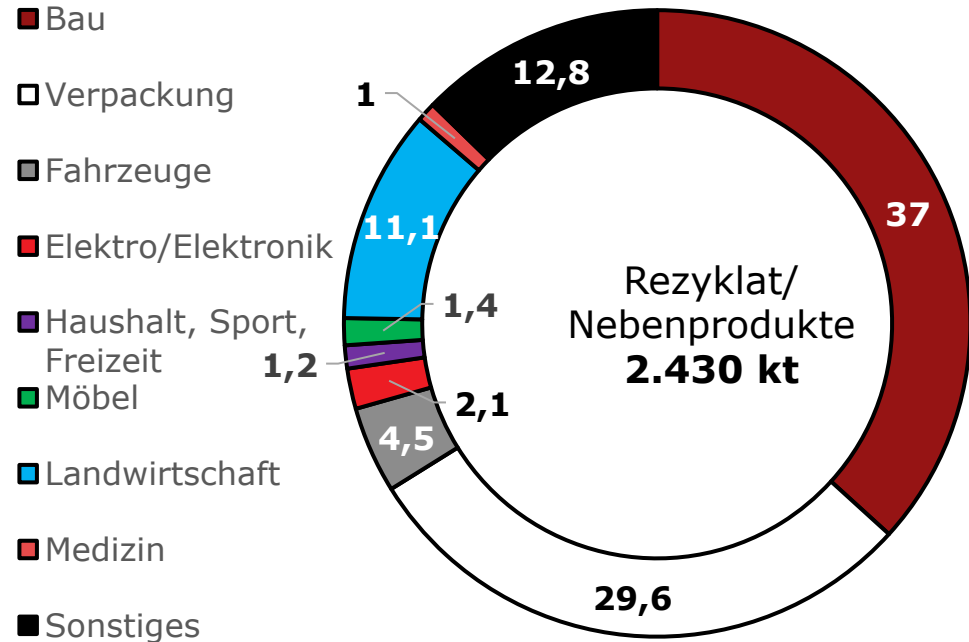
Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2021 & 2023

Einsatz von Recyclingmaterial nach Branchen
2021



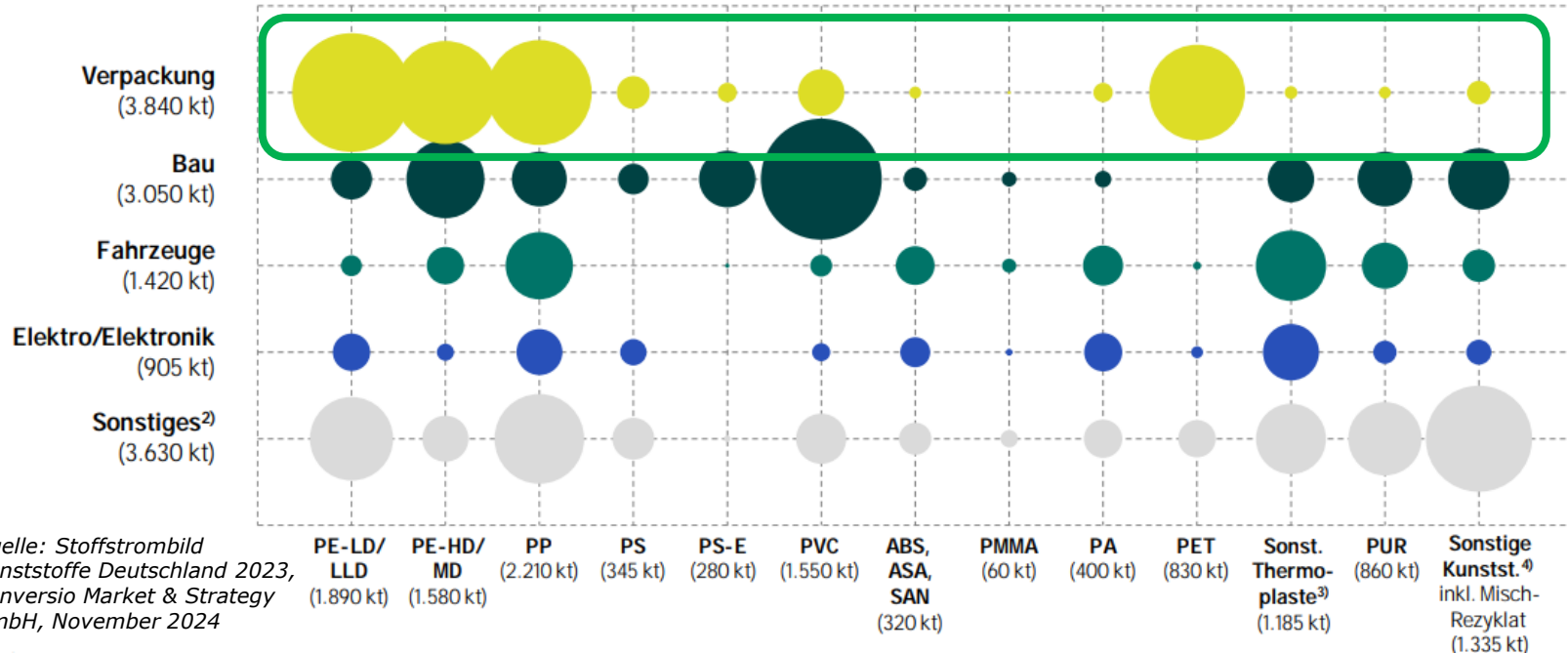
Quelle:
Stoffstrombild
Kunststoffe
Deutschland 2023,
Conversio Market &
Strategy GmbH,
November 2024

Einsatz von Recyclingmaterial nach Branchen
2023



Verarbeitete Kunststoffe nach Anwendungen und Kunststofftyp¹⁾

Über 80% der PCR-Abfälle in Deutschland stammen aus dem Verpackungsbereich



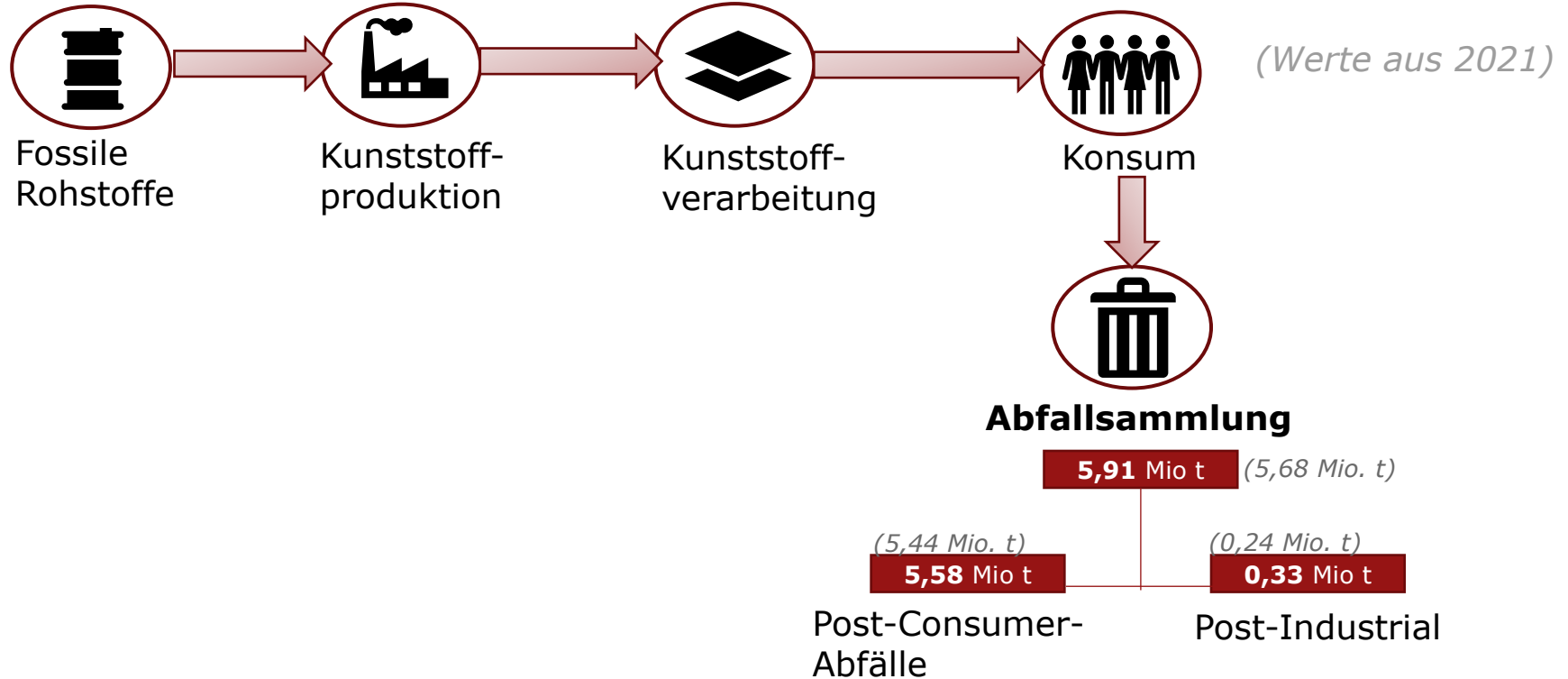
Quelle: Stoffstrombild
Kunststoffe Deutschland 2023,
Conversio Market & Strategy
GmbH, November 2024

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



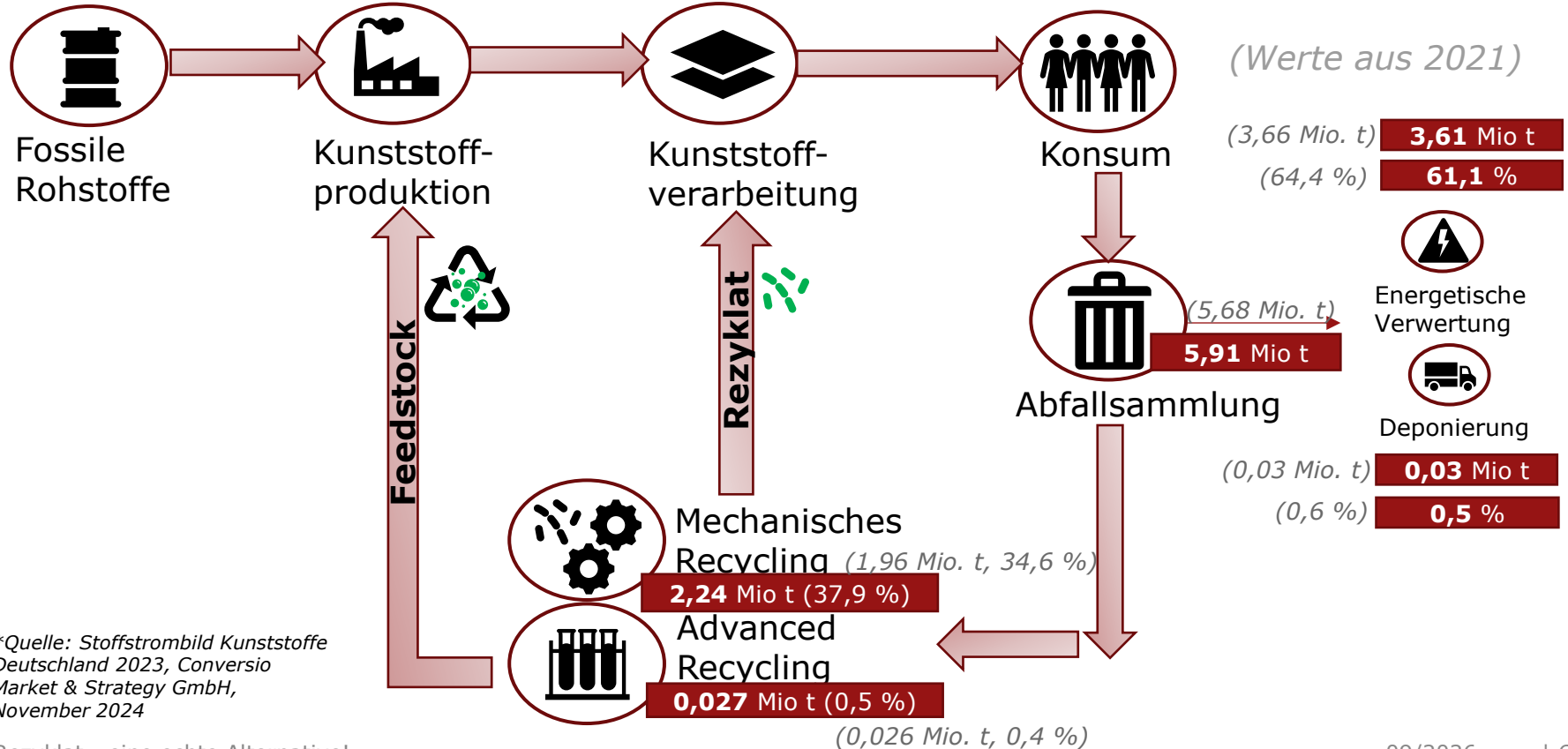
Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2021, Conversio Market & Strategy GmbH, November 2022

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023,
Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2023



*Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe
Deutschland 2023, Conversio
Market & Strategy GmbH,
November 2024

Stoffstrombild Kunststoff: Deutschland 2021 & 2023

Kennzahlen	2021	2023	CAGR 2021-2023
Kunststoffproduktion (basierend auf fossilen Rohstoffen) ¹⁾	10,70 Mio. t	8,82 Mio. t	-9,2%
Kunststoffverarbeitung (insgesamt)	14,04 Mio. t	12,85 Mio. t	-4,3%
Kunststoffverarbeitung: Basierend auf fossilen Rohstoffen ²⁾	11,75 Mio. t	10,42 Mio. t	-5,8%
Kunststoffverarbeitung: Einsatz von Rezyklat aus Post-Consumer-Abfällen	1,27 Mio. t	1,54 Mio. t	+10,0%
Kunststoffverarbeitung: Einsatz von Rezyklat aus Post-Industrial-Abfällen	0,38 Mio. t	0,39 Mio. t	+2,0%
Kunststoffverarbeitung: Wiederverwendung von Nebenprodukten	0,64 Mio. t	0,50 Mio. t	-11,6% ³⁾
Kunststoffverbrauch	12,36 Mio. t	11,25 Mio. t	-4,6%
Kunststoffabfälle	5,68 Mio. t	5,91 Mio. t	+2,1% ⁴⁾
▪ Energetische Verwertung (inkl. MVA/EBS)	3,66 Mio. t	3,61 Mio. t	-0,7%
▪ Mechanische Verwertung	1,96 Mio. t	2,24 Mio. t	+6,9%
▪ Rohstoffliche Verwertung/Chemisches Recycling	0,026 Mio. t ⁵⁾	0,027 Mio. t ⁶⁾	+1,9%
▪ Beseitigung	0,036 Mio. t	0,032 Mio. t	-5,7%
Verwertungs-/Beseitigungsanteile Kunststoffabfälle	2021	2023	
▪ Energetische Verwertung (inkl. MVA/EBS)	64,4%	61,1%	
▪ Mechanische Verwertung	34,6%	37,9%	
▪ Rohstoffliche Verwertung/Chemisches Recycling	0,4%	0,5%	
▪ Beseitigung	0,6%	0,5%	

Quelle: Stoffstrombild Kunststoffe Deutschland 2023, Conversio Market & Strategy GmbH, November 2024

Einführung in das Thema Recycling & Rezyklat

- ▶ Begriffsdefinitionen im Bereich Recycling
- ▶ Politische & regulatorische Rahmenbedingungen
- ▶ Marktsituation

Ressourcenschonung durch den Einsatz von Rezyklat

- ▶ Struktur & Aufbau der Kunststoffe
- ▶ Degradation von Kunststoffen
- ▶ Einsatz von Recyclingmaterial

09 Uhr

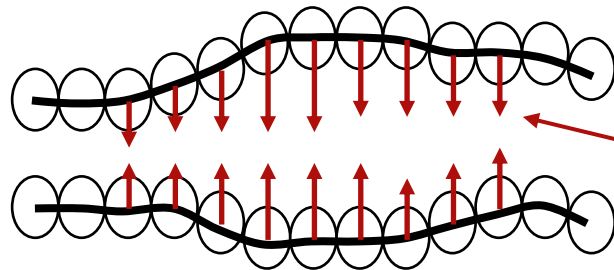


12 Uhr

Struktur & Aufbau von Kunststoffen

- Kunststoffe sind hochmolekulare, organische Verbindungen, die durch wiederholte chemische Aneinanderlagerung niedermolekularer Grundbausteine, sogenannter Monomere, durch verschiedene chemische Reaktionen entstehen.

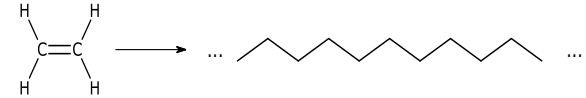
- Diese Makromoleküle bilden im einfachsten Fall eine lineare Kette. Das kleinste, periodisch wiederkehrende Teil eines Makromoleküls heißt Struktureinheit.



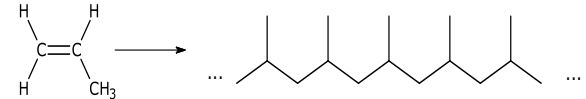
Polymethylmethacrylat

Hauptvalenzkräfte entlang der Molekülketten (chemische Bindungen)

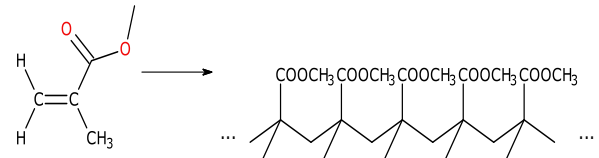
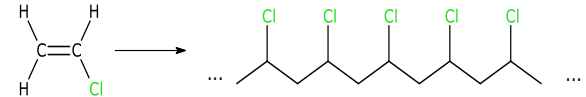
Polyethylen



Polypropylen



Polyvinylchlorid



Nebenvalenzkräfte
(physikalische Bindungen)

Das **Eigenschaftsprofil** eines **Kunststoffs** resultiert aus:

- ▶ dem Aufbau der Struktureinheit,
- ▶ den Bindungskräften zwischen den Atomen und den Molekülketten,
- ▶ der durch die Prozessführung einstellbaren Kettenlänge,
- ▶ dem Verzweigungsgrad der Ketten
- ▶ ...

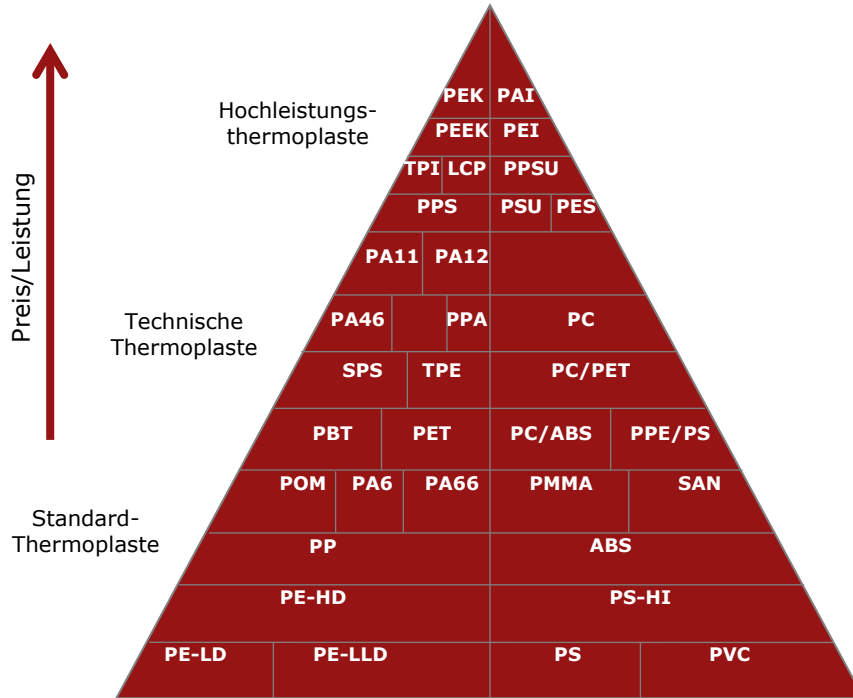
Damit lassen sich folgende Eigenschaften gezielt einstellen:

- ▶ Mechanische, thermische und chemische Eigenschaften
- ▶ Fließfähigkeit (Viskosität)
- ▶ Feuchtigkeitsaufnahme
- ▶ ...



Das Eigenschaftsprofil eines Kunststoffs wird bestimmt durch seine chemische Struktur und Zusammensetzung

Kunststoffe für (fast) jeden Zweck

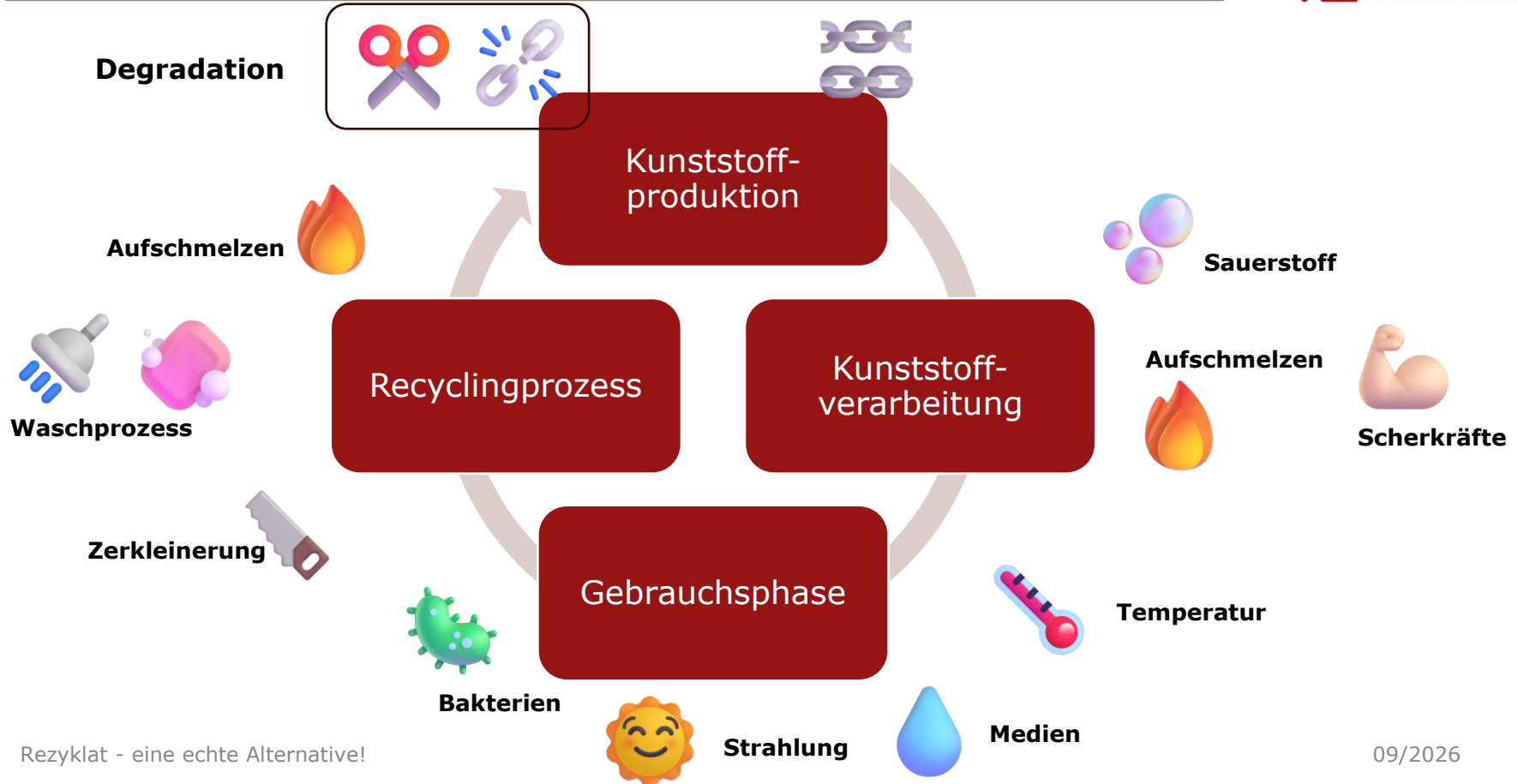


Zusatzstoffe /
Additive



ca. 130.000
Kunststofftypen

Einflüsse auf die Polymerstruktur: Degradation

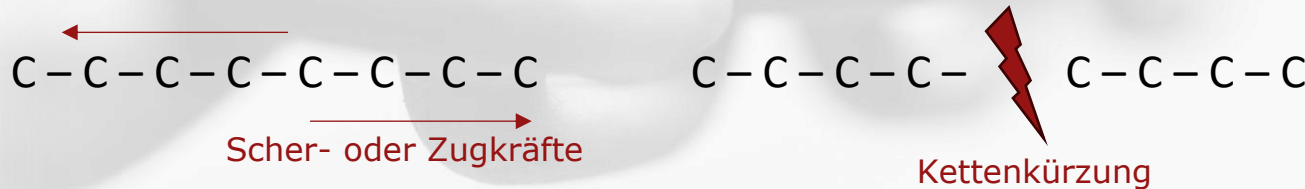


- ▶ Degradation verursacht Änderungen der Polymerstruktur, welche Änderungen der Kunststoffeigenschaften hervorruft
- ▶ Degradation kann auf folgende Einwirkungen zurückgeführt werden
 - **Hitze** 
 - **Mechanische Belastung** 
 - **Sauerstoff** 
 - **UV-Licht** 
- ▶ Degradation kann sowohl während der Verarbeitung als auch während der Gebrauchsphase auftreten

*Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumnate,
Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.*

Mechanische Degradation

- ▶ Chemischen Verbindungen der Kohlenstoff-Kohlenstoff Polymerkette werden zerstört
- ▶ Schub- oder Zugspannungen, die bei der Verarbeitung auftreten, übersteigen die innermolekularen Bindungskräfte
- ▶ Kettenspaltung passiert häufig bei längeren Polymerketten im Kettenzentrum

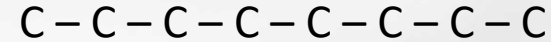


Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumate, Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.

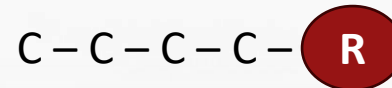
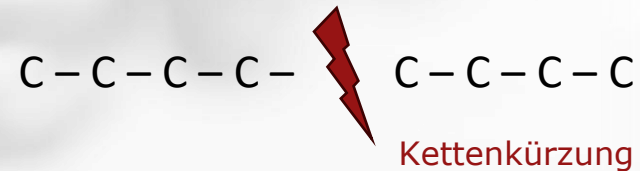
Thermische Degradation

- ▶ Wird durch Hitze verursacht
- ▶ Gesteigerte Migration von freibeweglichen Gruppen, wodurch die intermolekularen Kräfte geschwächt werden
- ▶ Durch steigende Vibrationsenergie der Polymerketten kommt es zu Bindungsbrüchen mit der Bildung von Radikalen
- ▶ Reaktionen an reaktiven Stellen

Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumate, Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.



Vibrationsenergie



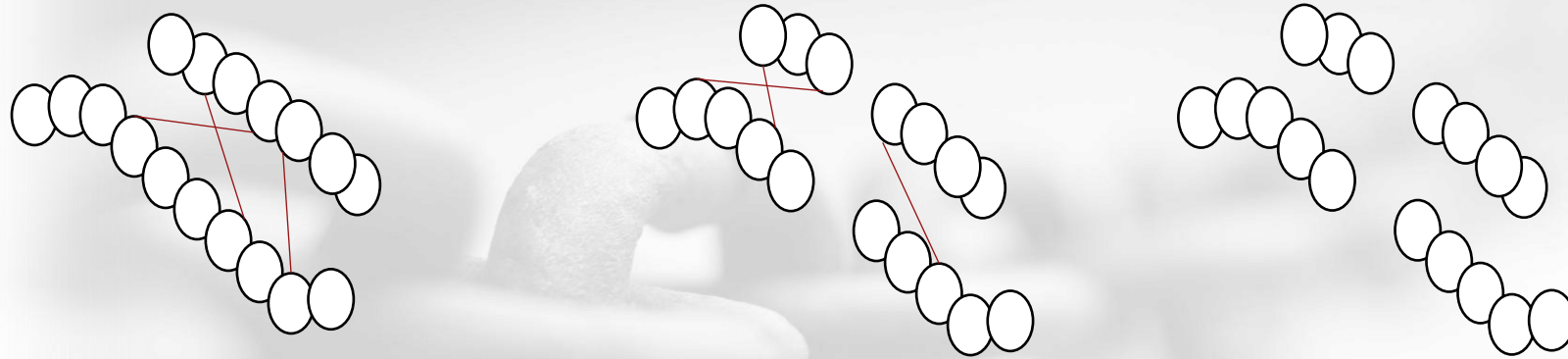
Bildung von Radikalen

Thermisch-oxidative Degradation

- ▶ Wird durch Autoxidation verursacht
- ▶ **Autoxidation:** Eine nicht absichtlich herbeigeführte, also „von selbst“ eintretende, Reaktion organischer Verbindungen mit Sauerstoff
- ▶ Der in der Kunststoffschmelze gelöste Sauerstoff reagiert mit den Makroalkylradikalen, sodass Peroxiradikale gebildet werden
- ▶ Die Peroxiradikale können Wasserstoffatome aus den Polymerketten abstrahieren und Hydroperoxide bilden

Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumnate, Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.

Art & Grad der Degradation ist abhängig von der Verarbeitung und dem Polymer



Kettenverzweigung/
Quervernetzungen

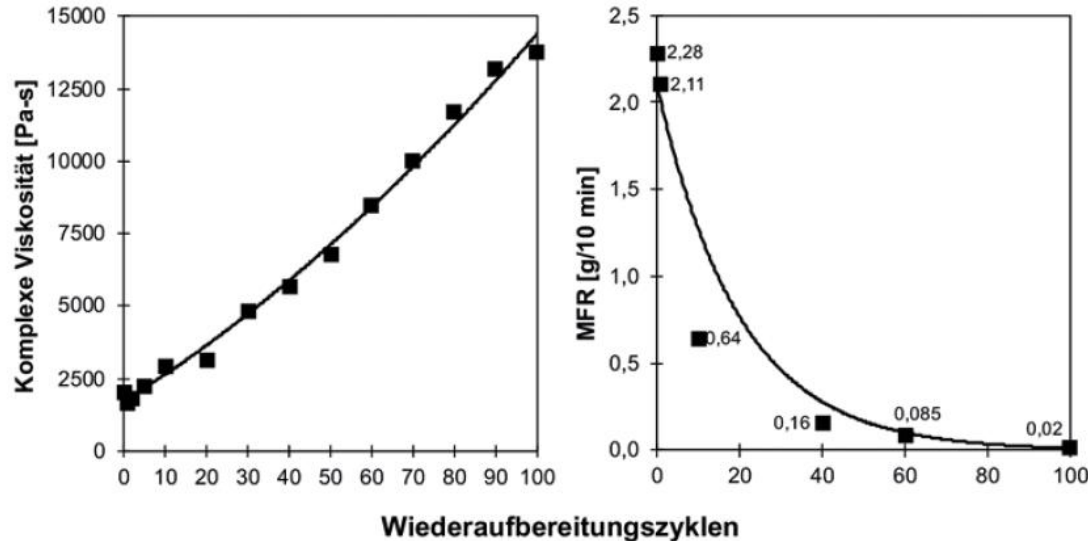
Mischung aus beidem

Kettenabbau

- ▶ Zunehmende Viskosität
- ▶ Schlechtere Fließfähigkeit

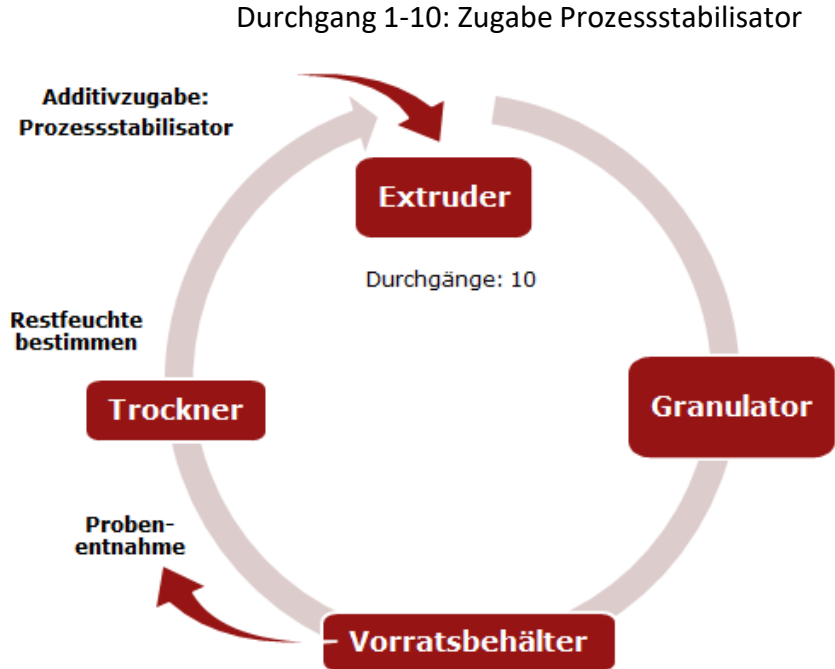
- ▶ Sinkende Viskosität
- ▶ Steigende Fließfähigkeit

- ▶ Quervernetzungen der Polymerketten führen zu einem Anstieg der Viskosität von LDPE bei vermehrten Wiederaufbereitungsschritten



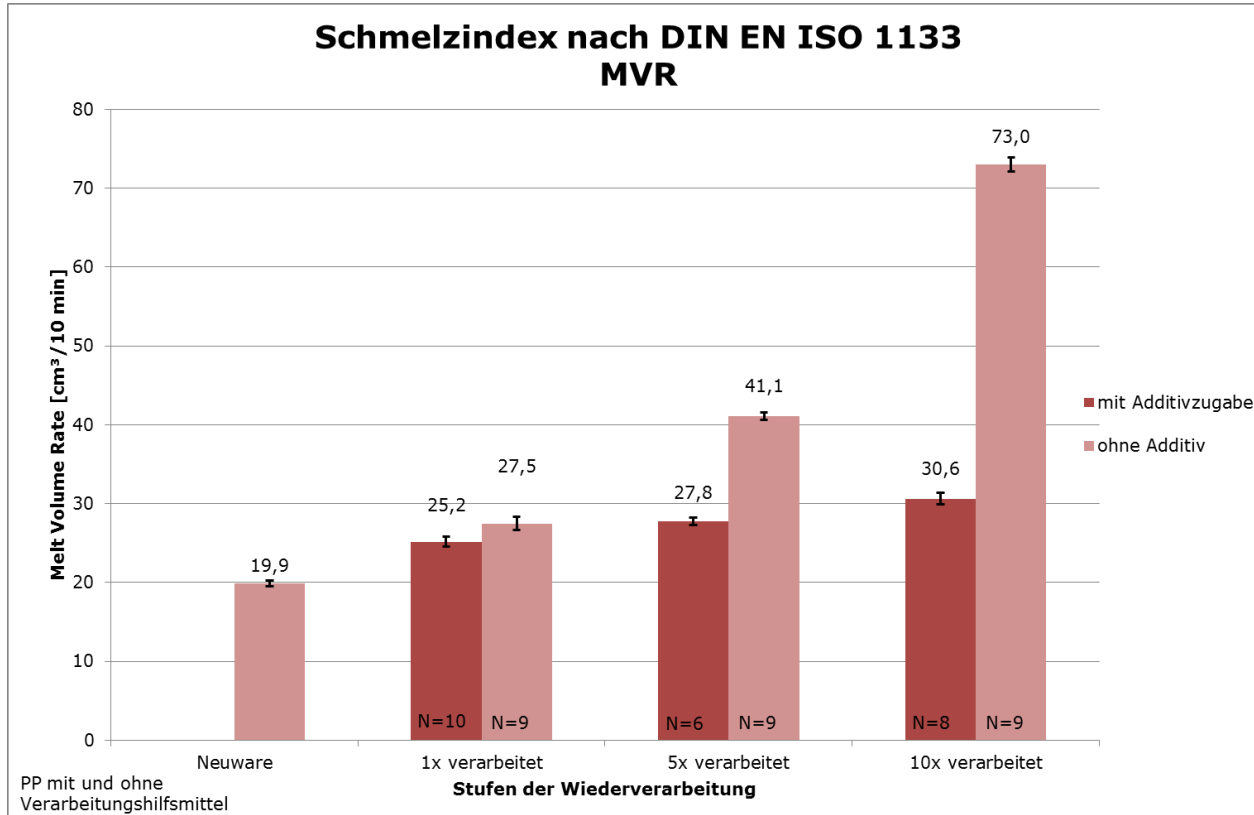
Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumnate, Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.

Komplexe Viskosität und MFR von Low-Density-Polyethylen über 100 Wiederaufbereitungsschritte (Extrusion)



- ▶ Provokation von Degradation durch thermische und mechanische Belastung eines Polypropylens durch Mehrfachverarbeitung auf dem Extruder
- ▶ Stabilisierung des PP mit IRGAFOS ®168 (Additivkonz. 0,15%) zur Vermeidung des Kettenabbaus und der damit verbundenen Eigenschaftsveränderungen des Polymers

Stabilisation: Beispiel PP



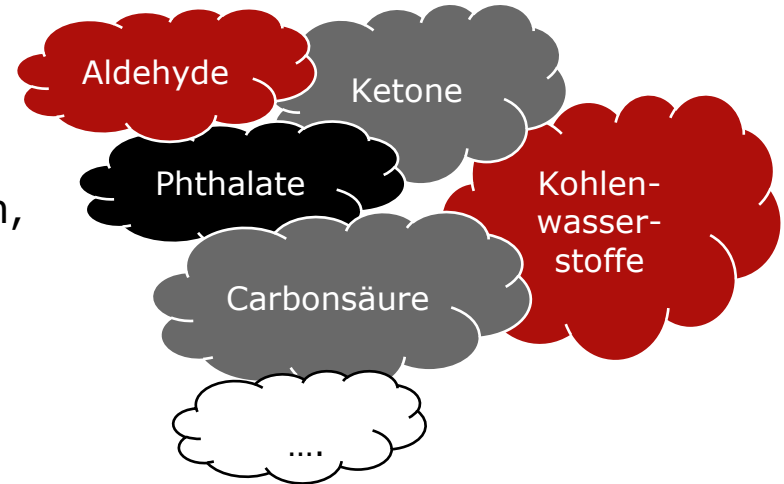
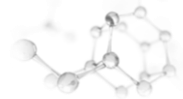
- ▶ Irgafos® (von BASF)-Antioxidationsmittel und Prozessstabilisator für Kunststoffanwendungen
- ▶ Gewährleistet Wärmeschutz und Langzeitbeständigkeit sowie Integrität der Polymereigenschaften bei der Verarbeitung
- ▶ Enthalten sekundäre Antioxidantien
- ▶ Die Antioxidantien reagieren mit Hydroperoxiden, welche bei der Autooxidation von Polymeren entstehen
- ▶ Das Additiv verhindert somit den prozessbedingten Abbau des Polymers

Einflüsse auf Recyclingmaterialien: Kontaminationen



- ▶ Leicht flüchtige und teils geruchsaktive organische Substanzen können aus dem Polymer herausmigrieren
- ▶ Das entstehende Geruchsprofil kann für die menschliche Nase als unangenehm empfunden werden
- ▶ **Mögliche Ursprünge** der flüchtigen Verbindungen in Rezyklaten
 - Zersetzung von organischen Rückständen
 - Migration von Inhaltsstoffen aus Duftstoffen, Kosmetika, etc.
 - Reste von Klebern & Farbe
 - Weichmacher, Antioxidationsmittel, Katalysatoren, Stabilisatoren
 - Flammschutzmittel
 - Abbauprodukte der Polymere und Additive

VOCs
Volatile Organic Compounds



- ▶ Bestimmung des Geruchsverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung (VDA 270)
- ▶ **Geruchverhalten:** Neigung von Werkstoffen, nach einer Temperatur- und Klimalagerung festgelegter Dauer flüchtige Bestandteile abzugeben.
- ▶ **Probenvorbehandlung**
 - Luftdichtes Verpacken in neutraler Verpackung nach der Fertigung
 - Konditionierung der Proben bei Normklima für 7 Tage vor der Prüfung

▶ Durchführung

- Einwaage und Platzierung der Probe in einem luftdichten Einmachglas mit oder ohne Wasser, je nach gewählter Lagerbedingung



Quelle: VDA270

► Durchführung

- Auslagerung bei gewählten Lagerbedingungen

Variante	Temperatur	Lagerdauer	Lagerung mit Wasser
1	$(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(24 \pm 1) \text{ h}$	ja
2	$(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(24 \pm 1) \text{ h}$	ja
3	$(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$	nein
4	$(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$	ja
5	$(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$	nein
6	$(65 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$	nein

Quelle: VDA270

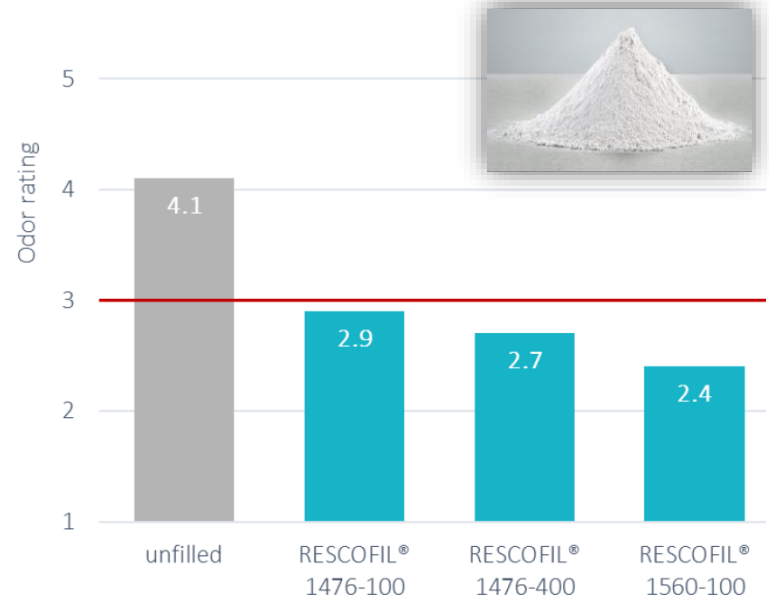
► Bewertung

- Bewertungsskala nach einem Notensystem (mind. 3 Prüfer)

Note	Beschreibung
Note 1	Nicht wahrnehmbar
Note 2	Wahrnehmbar, nicht störend
Note 3	Deutlich wahrnehmbar, aber noch nicht störend
Note 4	Störend
Note 5	Stark störend
Note 6	Unerträglich

Additive zur Geruchsreduktion von Rezyklat

- ▶ Additivreihe „**RESCOFIL®**“ (HPF The Mineral Engineers, Quarzwerke Gruppe)
- ▶ Die Produktreihe wurde speziell für den Einsatz in Rezyklaten entwickelt. Durch die Zugabe dieser Additive in der Compoundierung kann die Geruchsintensität deutlich reduziert werden. Entsprechend der olfaktorischen Prüfung nach VDA 270 kann der Schwellenwert von 3 deutlich unterschritten werden.
- ▶ Es handelt sich um Geruchsabsorber auf Mineralbasis mit organischen Bestandteilen, sodass eine Kombination aus physikalischer und chemischer Adsorption der Geruchsmoleküle erfolgen kann.



Polymer matrix: recycled PP

Filler content: 5 wt.%

Processing: compounding & injection molding

Quelle: Technical Information - Performance boosters – Mineral additives in recycled thermoplastics, Quarzwerke GmbH

- ▶ Thermodesorptionsanalyse organischer Emissionen zur Charakterisierung nichtmetallischer KFZ-Werkstoffe (VDA 278)
- ▶ **Zweck:** Bestimmung der Emission von leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC-Wert) sowie den Anteil kondensierbarer Substanzen (Fog-Wert) und Identifikation von Einzelsubstanzen zum Abgleich mit der CLP-Verordnung

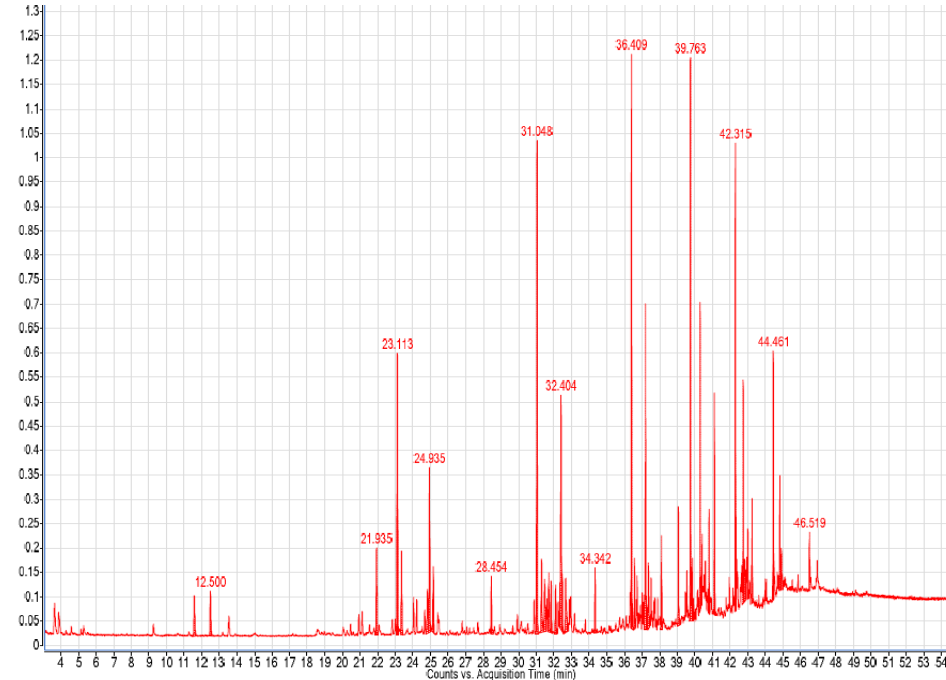
- ▶ **VOC-Wert** nach VDA 278
 - Die Summe der leicht- bis mittelflüchtigen Substanzen
 - Elutionsbereich bis n-Pentacosan „C25“
 - Berechnung mit Hilfe eines Toluol-Äquivalents
- ▶ **Fog-Wert** nach VDA 278
 - Die Summe der schwer flüchtigen Substanzen
 - Siedebereich der n-Alkane „C14“ bis „C32“
 - Berechnung mit Hilfe eines Hexadecan-Äquivalents

- ▶ Durchführung mittels **TDS**-GC-MS – **Thermodesorptions**-GC-MS
- ▶ Materialmenge wird in einem Desorptionsrohr aufgeheizt
 - VOC-Bestimmung: 30 Minuten bei 90 °C (Doppelbestimmung)
 - Fog-Bestimmung: 60 Minuten bei 120 °C (Zweite VOC-Probe)
 - die dabei emittierenden flüchtigen Substanzen werden in einer Kühlfalle kryofokussiert.
 - Nach der Aufheizphase wird die Kühlfalle rasch erhitzt, sodass die fokussierten Substanzen verdampfen.

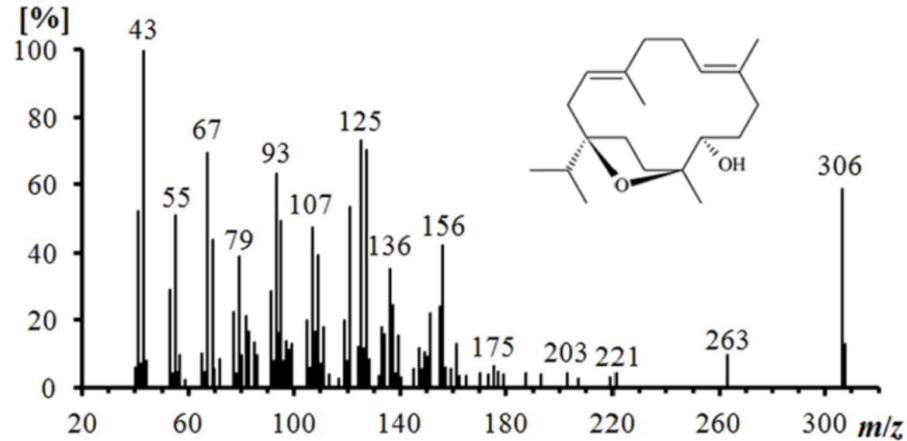


Abbildung: Thermodesorptionsröhrchen mit Proben

- ▶ Durchführung mittels TDS-**GC**-MS – TDS-**Gaschromatografie**-MS
- ▶ Die gasförmigen Substanzen werden auf eine Gaschromatografie-Säule gelenkt
- ▶ Die Emittenten benötigen aufgrund ihrer Molekül-spezifischen Wechselwirkungen mit der Säule unterschiedlich lang zum Passieren
- ▶ Auf diese Weise können die Substanzen getrennt werden
- ▶ Das Ergebnis ist ein Chromatogramm (Counts [-] vs. Retentionszeit [min])



- ▶ Durchführung mittels TDS-GC-**MS** – TDS-GC-**Massenspektroskopie**
- ▶ Die getrennten Substanzen werden kontrolliert zerstört/ fragmentiert
- ▶ Anschließend werden die „Bruchstück-Massen“ ermittelt
- ▶ Die Fragmentierung und das daraus resultierende Massenspektrum (Signalintensität vs. Masse/Ladungs-Verhältnis) ist Molekül-spezifisch, wodurch eine Identifikation mit Hilfe des Abgleichs einer Datenbank erfolgen kann



Bildquelle: Wikipedia

- ▶ Einsatz der „**FRESH-TEC®**“-Technologie von Zeppelin zur kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Siloentgasung zur Eliminierung von VOC in Recyclingmaterialien
- ▶ Für Labortest gibt es eine Mobile Desodorierungsanlage (DEO-L)
- ▶ Einstellbare Prozessparameter sind
 - Entgasungstemperatur [°C]
 - Einblasluftmenge [m³/h]
 - Verweilzeit [h]
- ▶ Beispiel* der VOC-Reduktion in einem rHDPE bei 120 °C durch den Desodorierungsprozess

Verweilzeit [h]	1	2	4	8	9	10	11	12	24
Reduktion der VOC [%]	46	64	80	94	95	97	97,5	98	99,5

*Die optimalen Prozessparameter sind für jeden Stoffstrom individuell zu ermitteln. Es handelt sich hierbei um Richt-, bzw. Erfahrungswerte.



Quelle: Zeppelin Systems GmbH

Geruchsprüfung nach VDA 270 Verfahren B6: 65°C, 2h

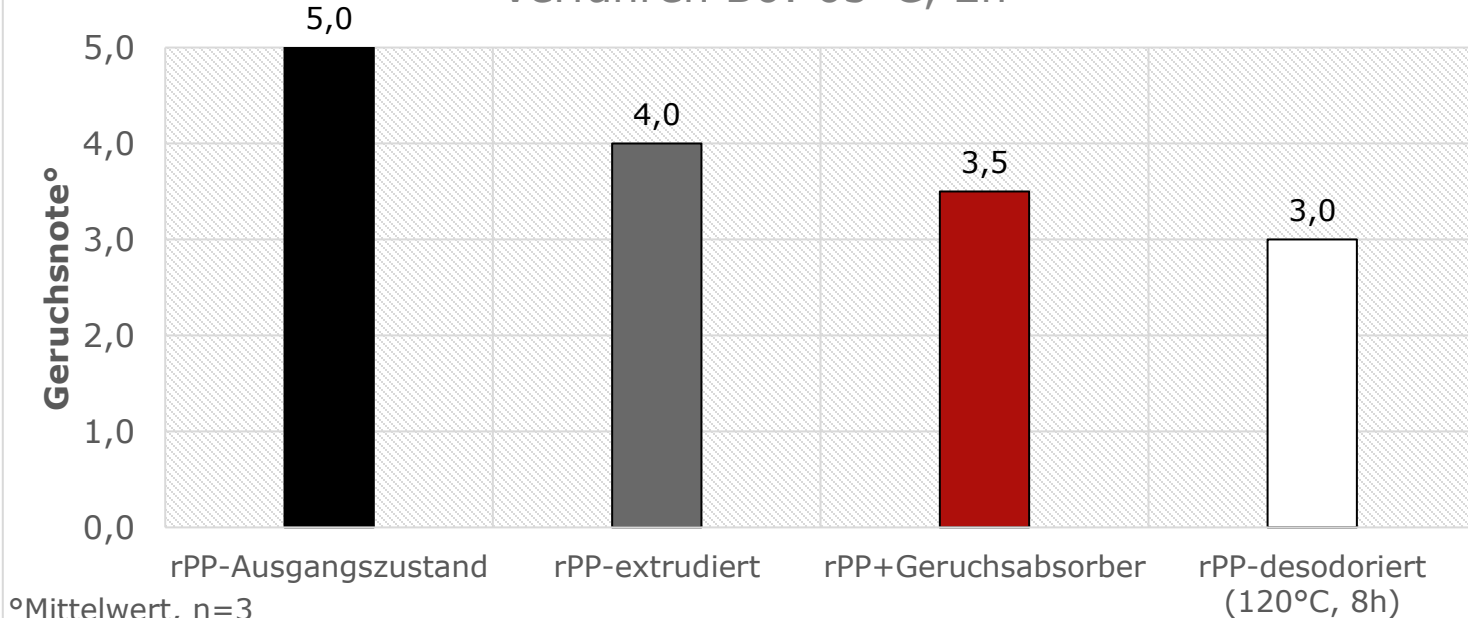
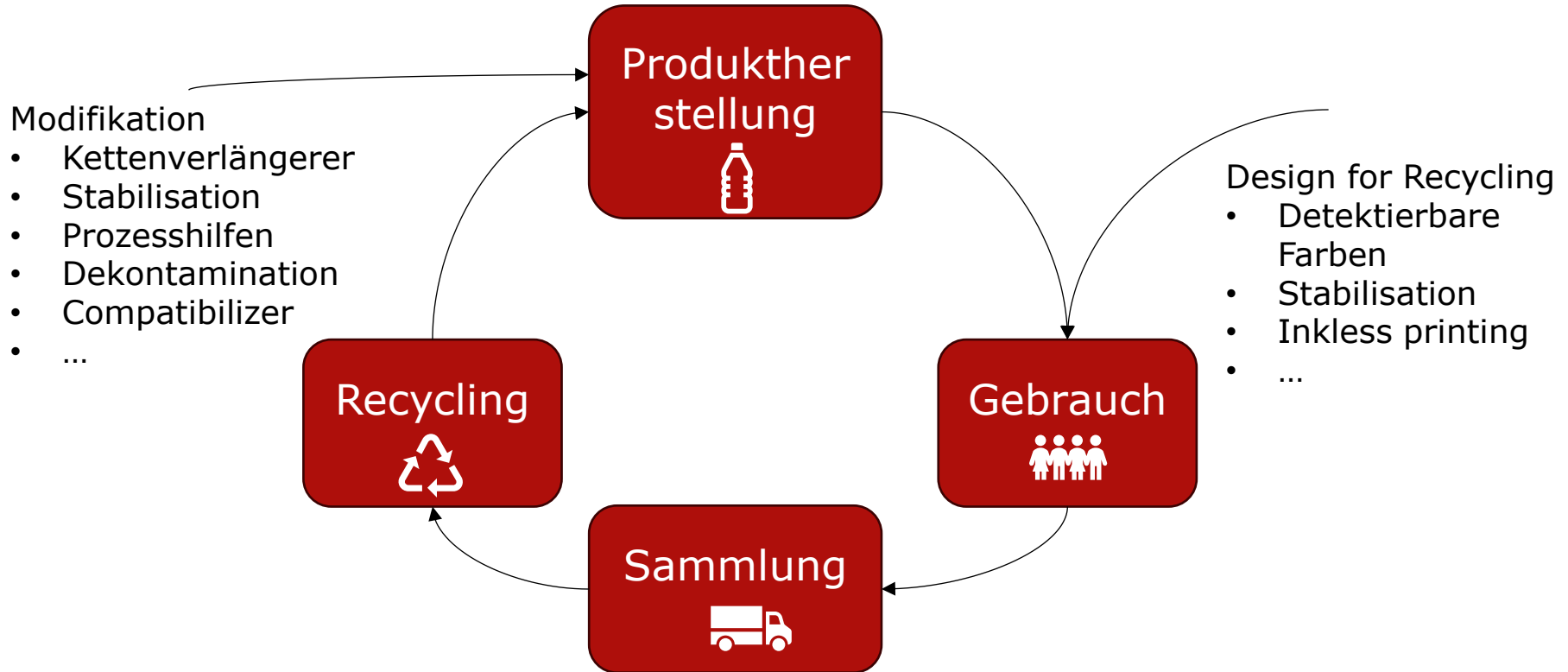
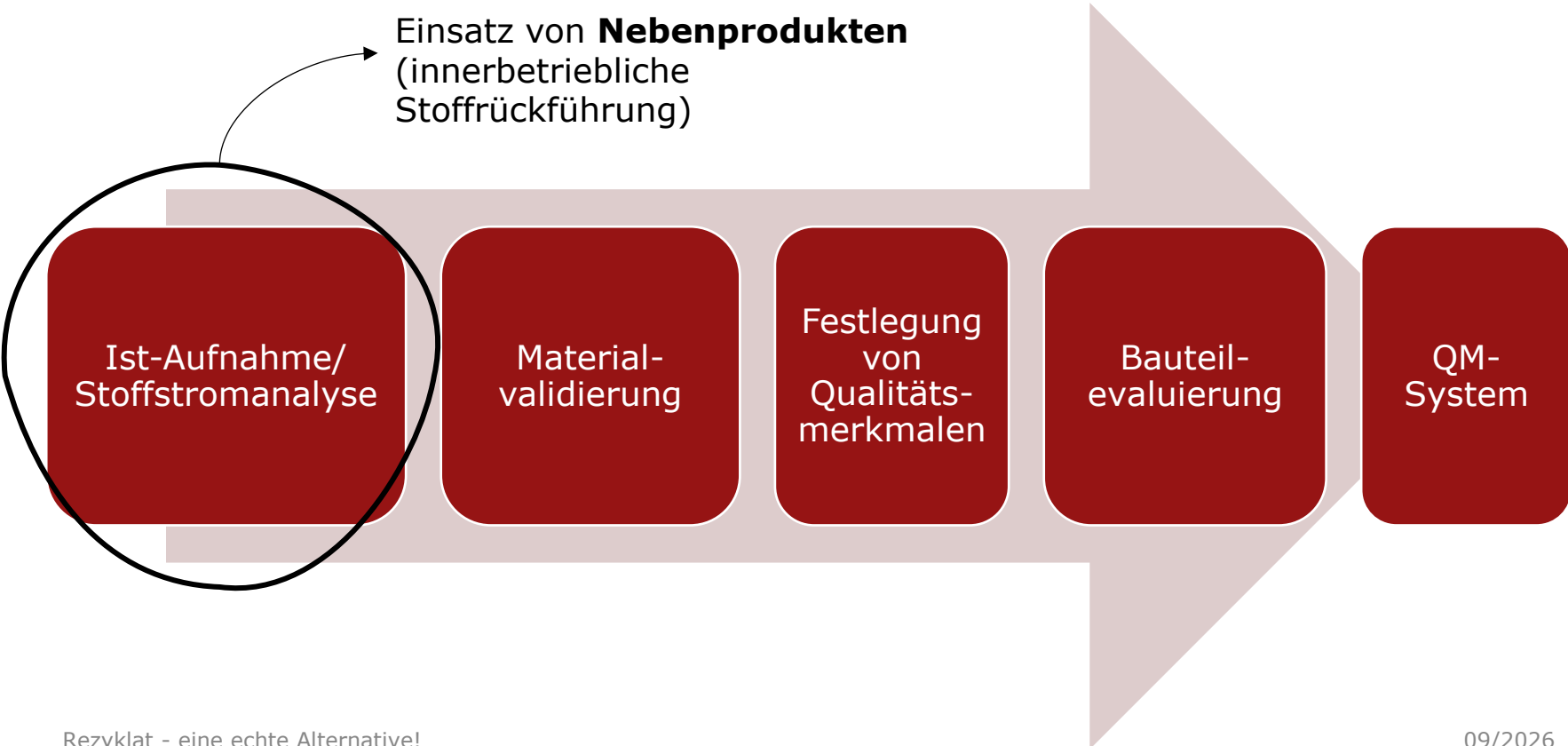


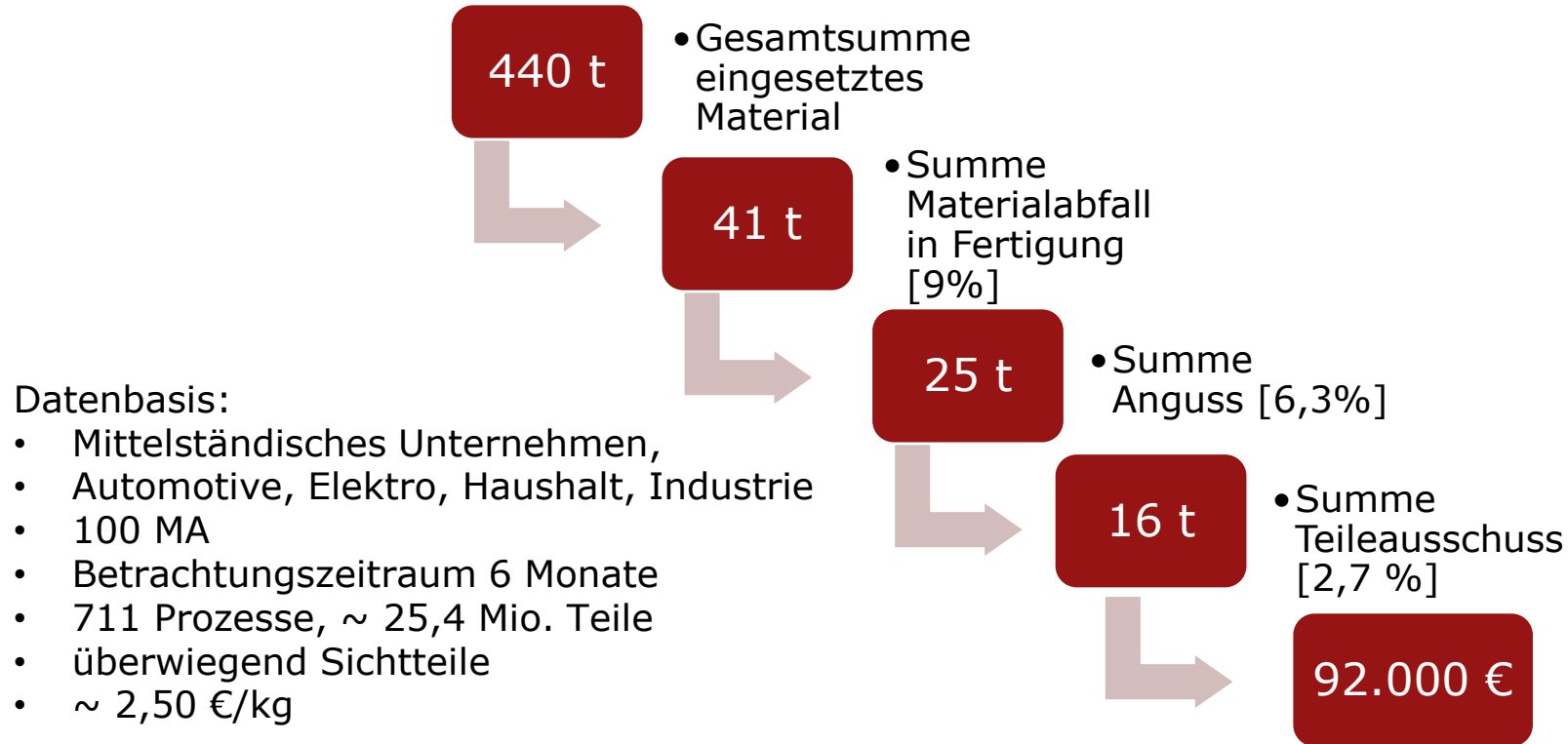
Abbildung:

Auszug aus einer derzeit laufenden KIMW-Untersuchungsreihe zur Geruchsreduktion in einem rPP. Hinweis: Die Ergebnisse können nicht pauschal auf andere Materialien übertragen werden.



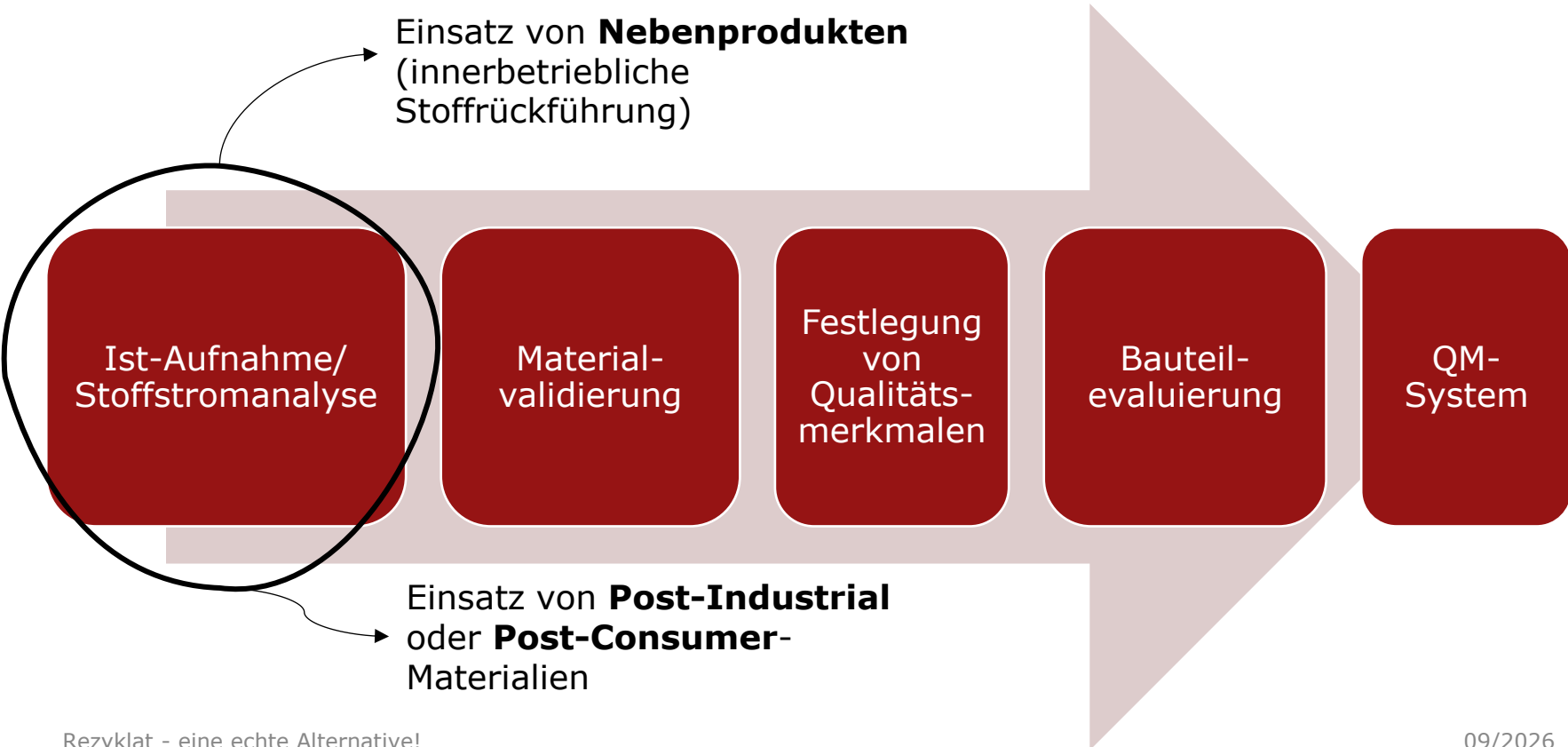
Einsatz von Recyclingmaterial



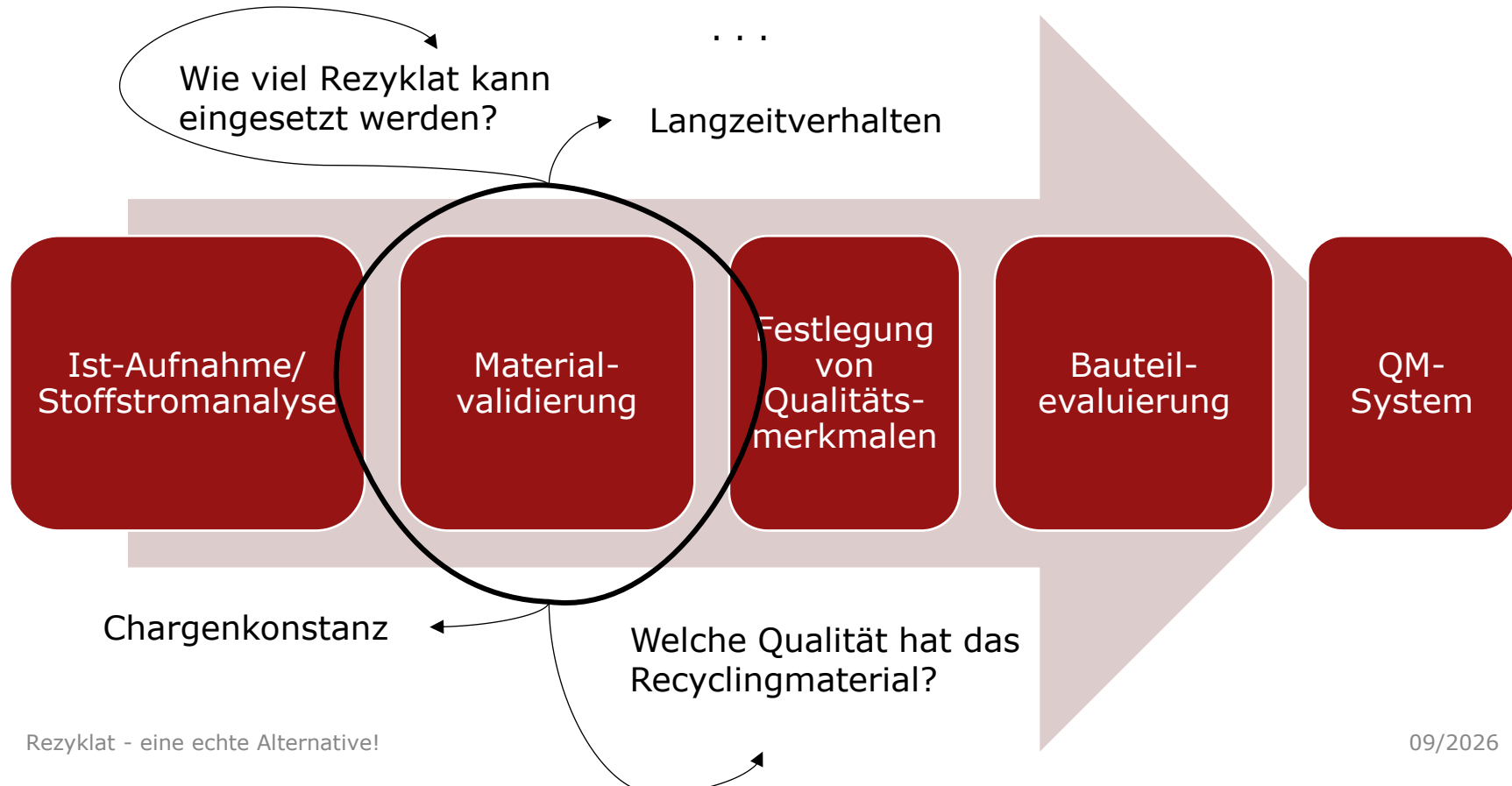


- ▶ Vorteile beim Einsatz von Nebenprodukten (oder PIR-Material)
 - Material- und Kosteneinsparung
 - Reduktion Entsorgungskosten
 - Umweltbewusstsein des Verbrauchers
- ▶ Beispiel „Naviblende“
- ▶ Folienhinterspritztes Bauteil aus Polycarbonat
 - Bauteilgewicht: 24,83 g
 - Angussgewicht: 15,72 g je Schuss
 - ca. 63% des Bauteilgewichts





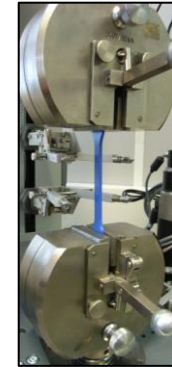
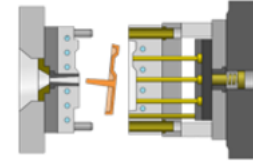
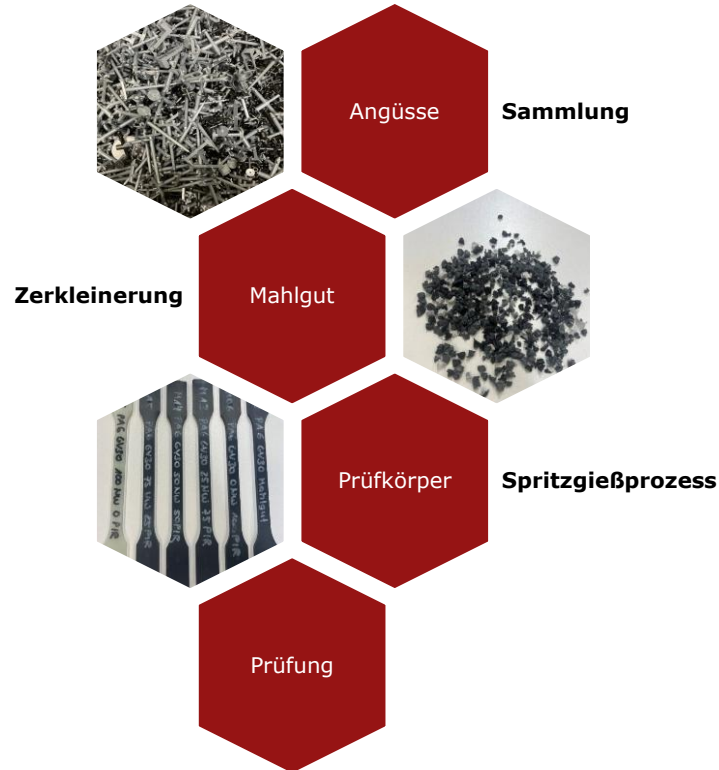
Einsatz von Recyclingmaterial: Vorgehensweise



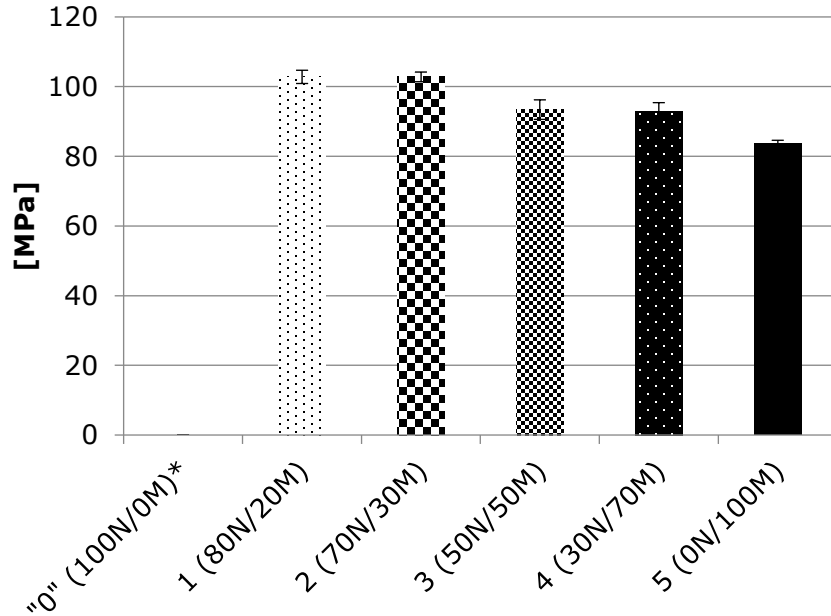
Materialvalidierung: Vorgehensweise (Beispiel Nebenprodukte)



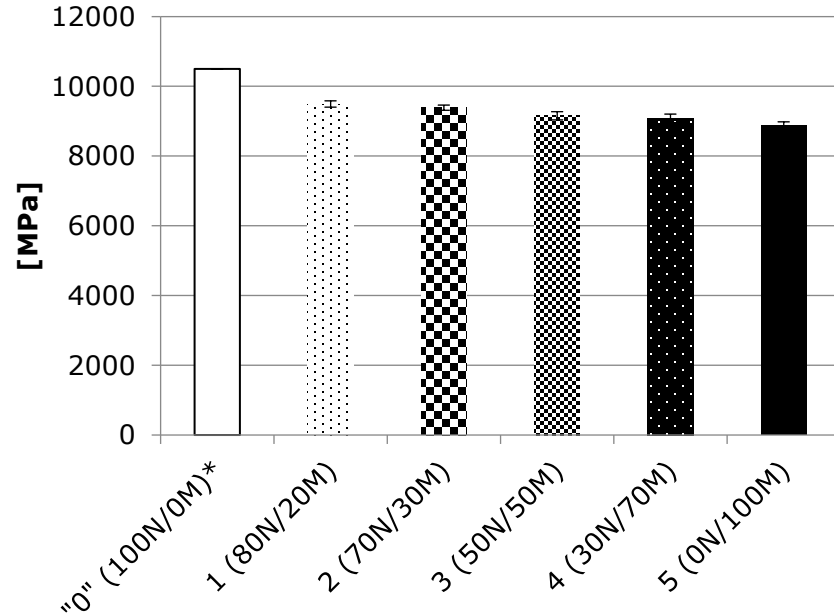
Zahnwalzenmühle



Zugfestigkeit (23 °C)
nach DIN EN ISO 527



E-Modul (23 °C)
nach DIN EN ISO 527

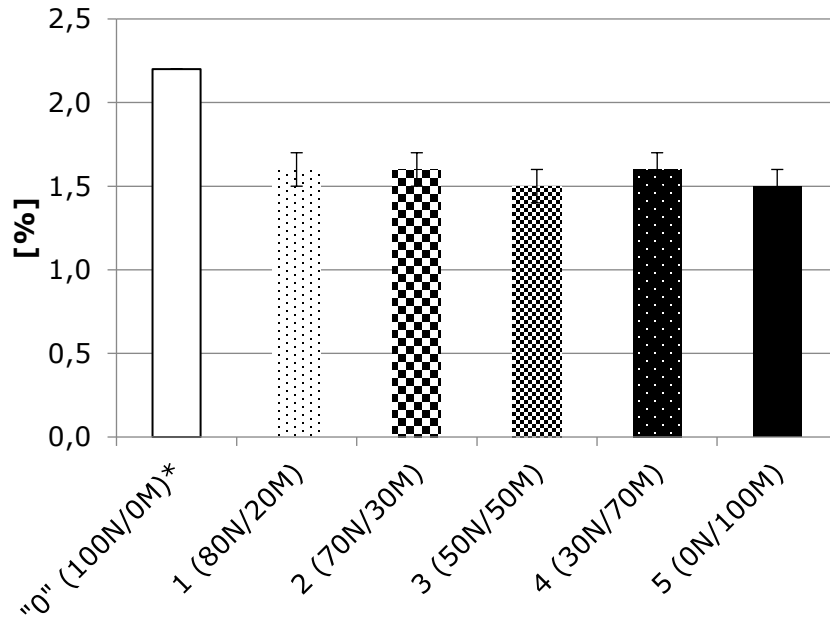


Legende:

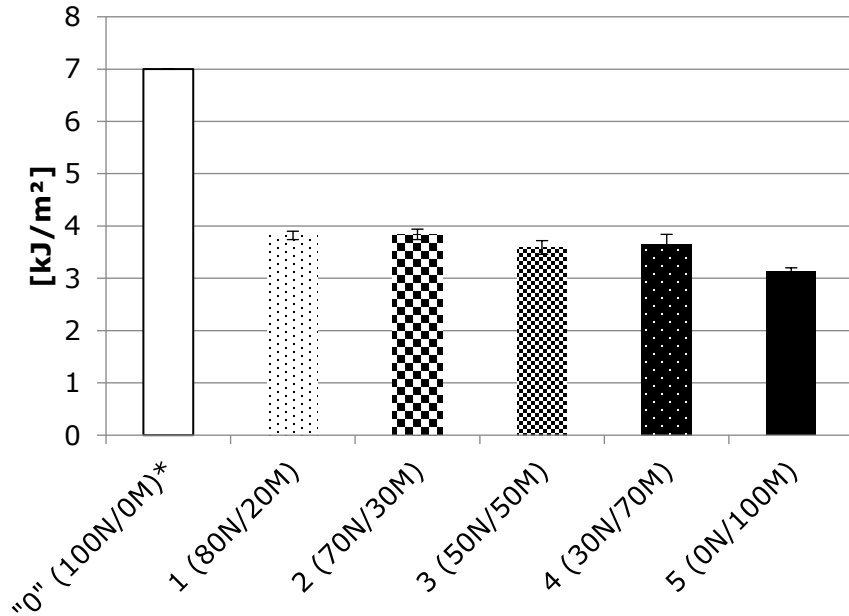
N: Neuware [m%];
M: Mahlgut [m%]

*technischen
Datenblatt

Bruchdehnung
nach DIN EN ISO 527



Kerbschlagzähigkeit (23°C)
nach DIN EN ISO 179/1eA



Legende:

N: Neuware [m%]; *technischen
M: Mahlgut [m%]
Datenblatt

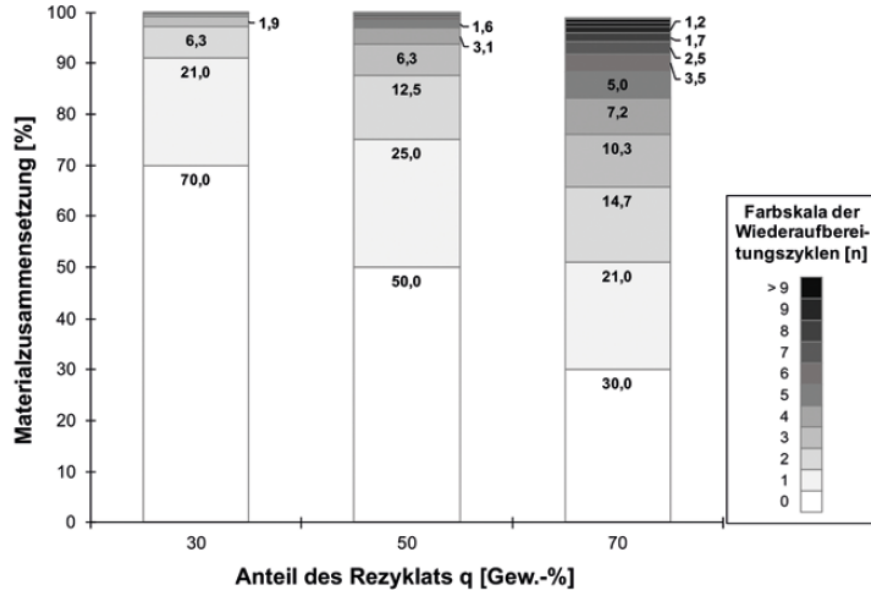


Abbildung: Zusammensetzung von recyceltem Kunststoff nach n Wiederverarbeitungsschritten mit einem Anteil von 30 %, 50 % und 70 % Rezyklat

- ▶ Bei der Verwendung eines konstanten Mischungsverhältnisses aus Neuware und Nebenprodukt kommt es nach mehrfachen Verarbeitungsschritten zu dem Verdünnungseffekt
- ▶ Nach etwa 10 Verarbeitungszyklen stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, in welchem die Materialeigenschaften durch weitere Verarbeitung nicht mehr verändert werden

Quelle: N. Rudolph, R. Kiesel und C. Aumnate, Einführung Kunststoffrecycling, Hanser Verlag, 2020.



PP Recyclingmaterial



Zusammensetzung

PCR: 99 m% Virgin: 1 m%



Herkunft **kommunale Abfälle, gelber Sack**



Mechanisches Recycling

Sortieren, Schreddern, Waschen,
Trocknen, Extrusion (Filter 150µm)



RecyClass zertifiziert
0,76 CO₂e



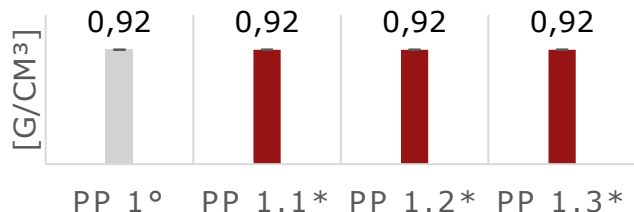
General Purpose



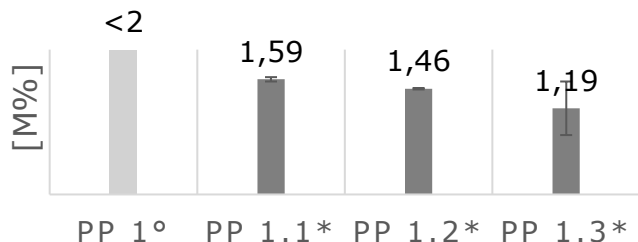
Bild: Auflichtmikroskopie-Aufnahme, Granulat PP

Materialvalidierung: Chargenuntersuchungen

DICHTE DIN EN ISO 1183



GLÜHRÜCKSTAND DIN EN ISO 3551



PP Recyclingmaterial



Kommunale Abfälle, **gelber Sack**

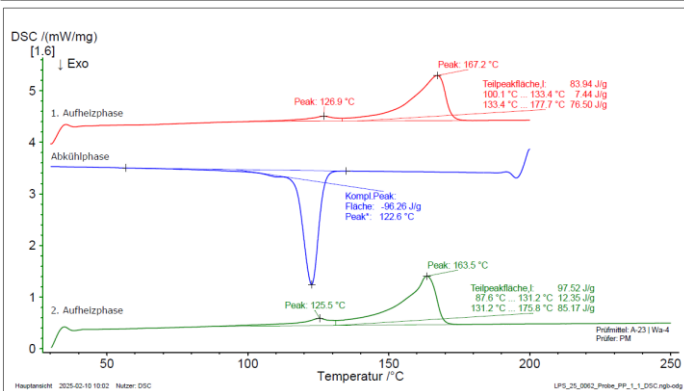


Legende

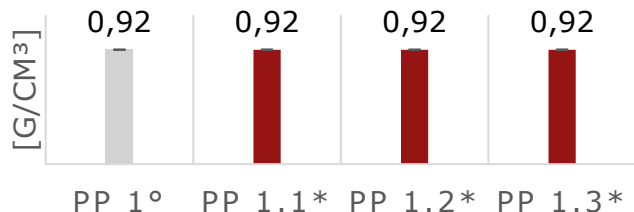
° Datenblatt

* Messwert

.X Chargenbezeichnung



DICHTE DIN EN ISO 1183



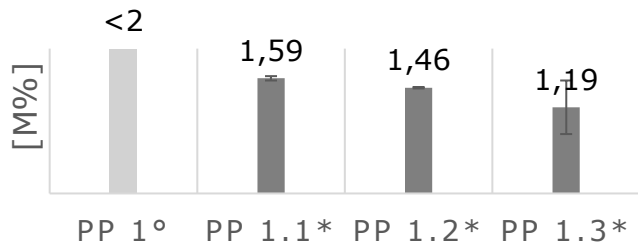
PP Recyclingmaterial



Kommunale Abfälle, **gelber Sack**



GLÜHRÜCKSTAND DIN EN ISO 3551



Legende

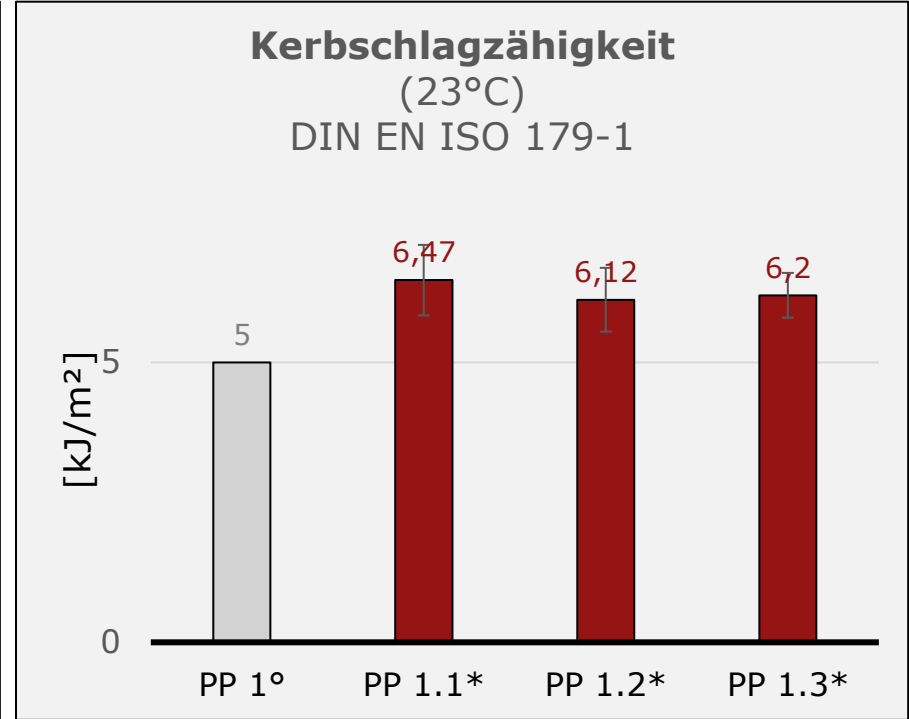
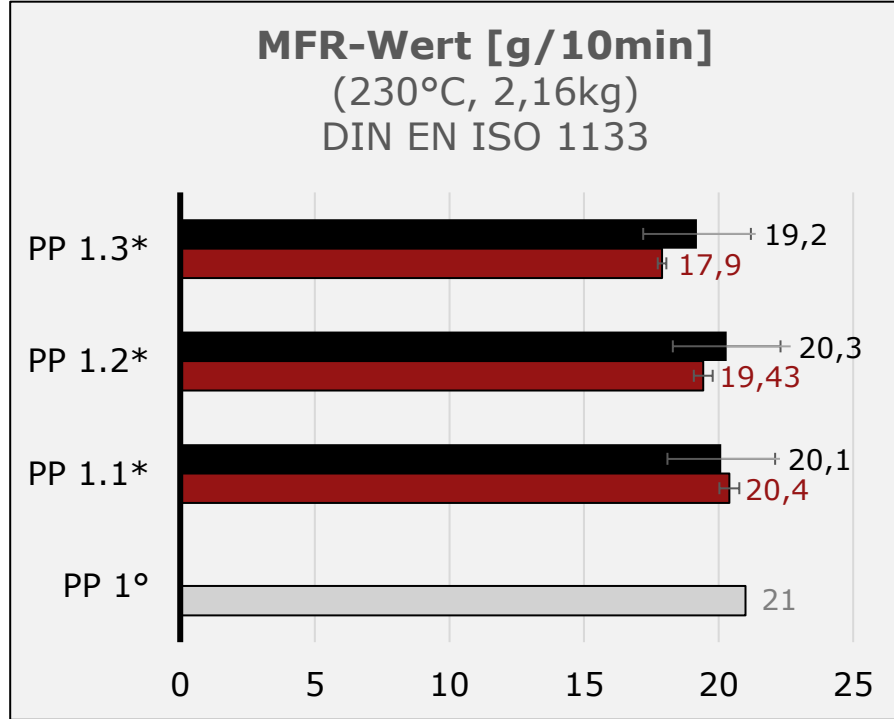
° Datenblatt

* Messwert

.X Chargenbezeichnung

Tabelle: Identifizierte Polymere anhand der Phasenübergänge in der zweiten Aufheizphase in der DSC

T [°C]	Phasen- übergang	(Fremd)- Polymer
125,5	Schmelzpeak	Polyethylen
163,5	Schmelzpeak	Polypropylen



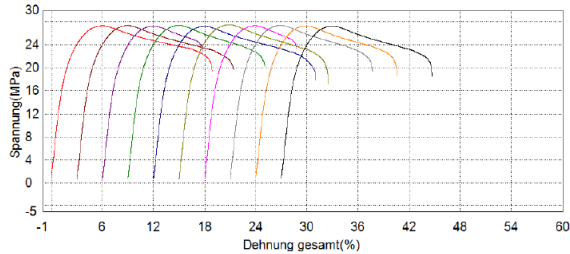
Legende

°Datenblatt

Analysezertifikat

***Messwert**

Abbildung: Spannungs-Dehnungs-Diagramme von PP 1.1

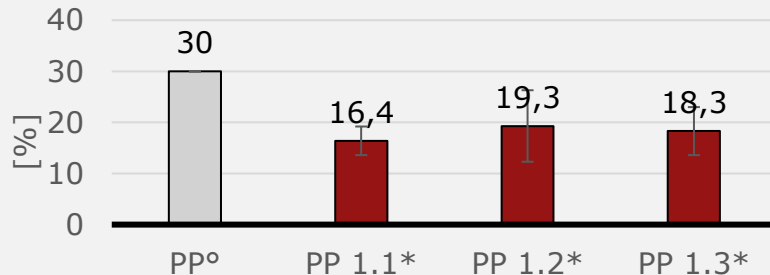


Legende

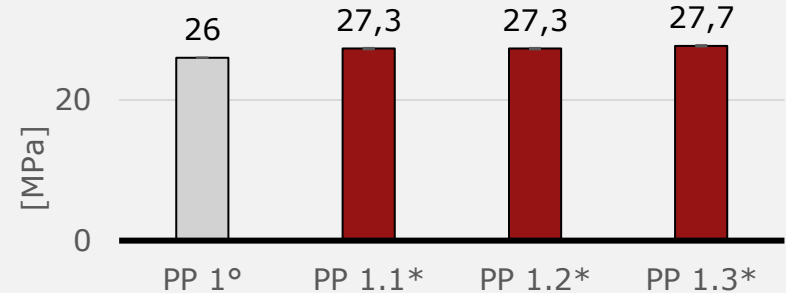
°Datenblatt

***Messwert**

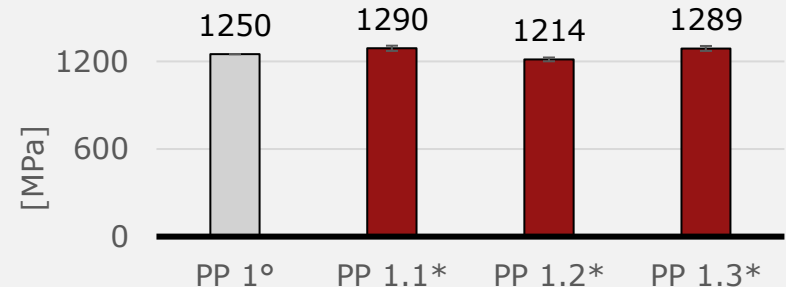
Bruchdehnung (23°C), DIN EN ISO 527

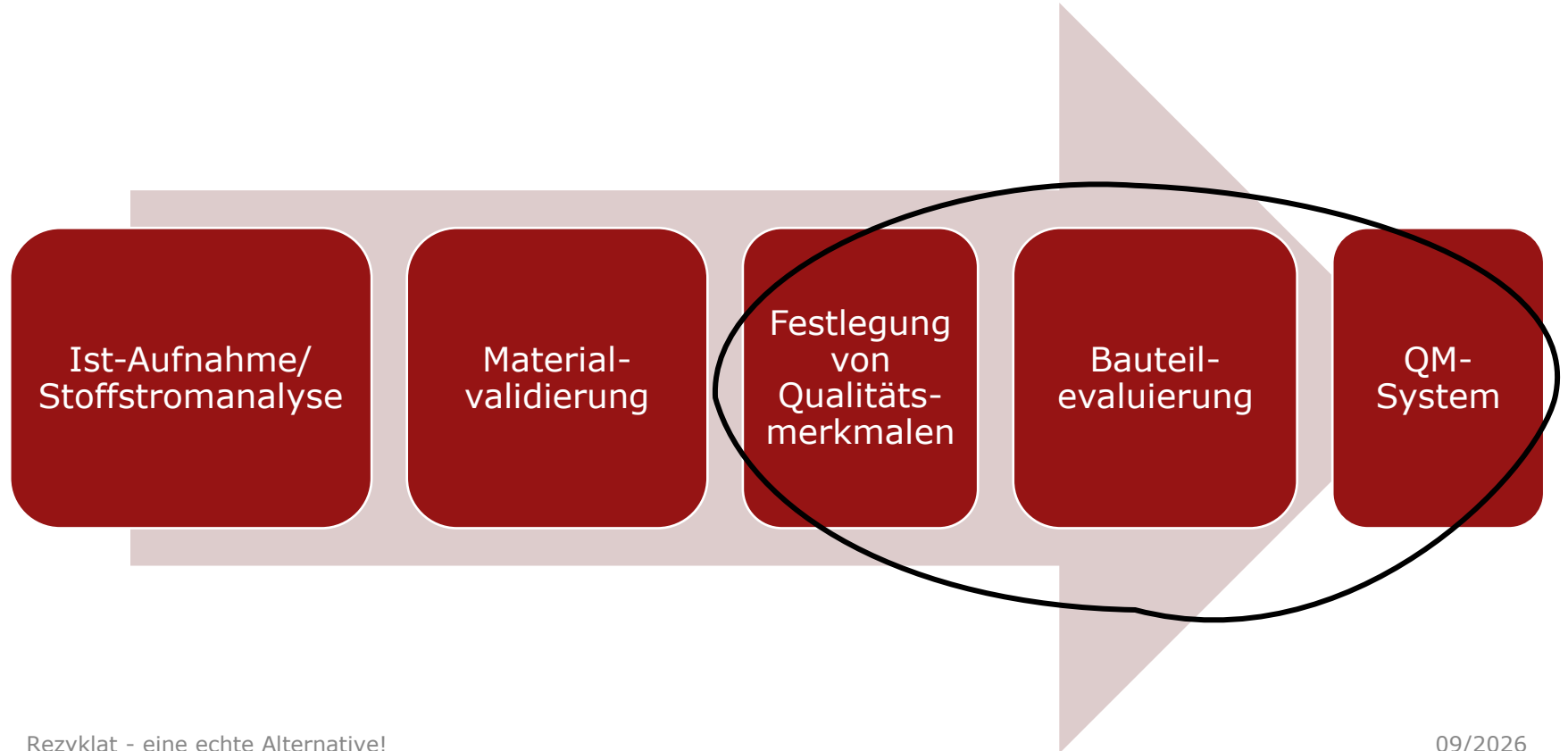


Zugfestigkeit (23°C), DIN EN ISO 527



E-Modul (23°C), DIN EN ISO 527





Hanna Feuser
+49 (0) 23 51.10 64-814
feuser@kimw.de

Kunststoff-Institut Lüdenschheid
Karolinenstraße 8
58507 Lüdenschheid
www.kimw.de