



Kurzfassung (Presse-Version – ausschließlich für Pressevertreter)

„ Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/2035 “

Erstellt für:

BKV GmbH
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt a.M.

BKV KUNSTSTOFF
KONZEPTE
VERWERTUNG



Auftraggeber: **BKV** KUNSTSTOFF KONZEPTE VERWERTUNG

BKV GmbH

Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt a. Main
Tel. 069 / 2556-1921
info@bkv-gmbh.de
www.bkv-gmbh.de

Mit Unterstützung von:



IK Industrievereinigung
Kunststoffverpackungen e.V.

Kaiser-Friedrich-Promenade 43
61348 Bad Homburg
Tel. 06172 / 926601
info@kunststoffverpackungen.de
www.kunststoffverpackungen.de



PlasticsEurope
Deutschland e. V.

Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt a. Main
Tel. 069 / 2556-1303
info@plasticseurope.de
www.plasticseurope.org



VCI Verband der
Chemischen Industrie e. V.

Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt a. Main
Tel. 069 / 2556-0
vci@vci.de
www.vci.de

Ihr Conversio Team



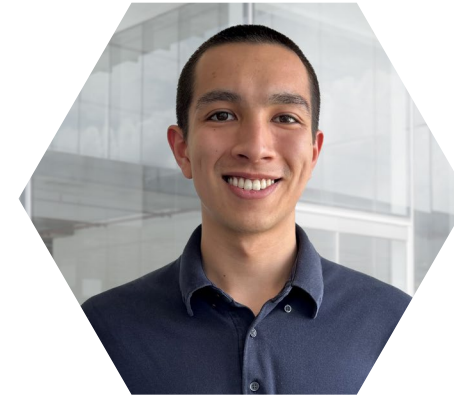
Christoph Lindner
Geschäftsführender Gesellschafter

c.lindner@conversio-gmbh.com
+49 (0) 6021 15067-01



Dr. Arne Glüer
Senior Projektleiter

a.glueer@conversio-gmbh.com
+49 (0) 6021 15067-17



Christopher Gruber
Junior Projektleiter

c.gruber@conversio-gmbh.com
+49 (0) 6021 15067-15

Conversio
Market & Strategy GmbH
Am Glockenturm 6
63814 Mainaschaff/Germany
+49 (0) 6021 15067-00

Vorstellung der Studienpartner

Einleitung



BKV GmbH

Als Thinktank und Kompetenzcenter der Kunststoffindustrie, stellt die BKV der Industrie für deren unternehmerische Entscheidungen Daten und Fakten zu Themen der Ressourceneffizienz und Kreislaufführung von Kunststoffen zur Verfügung. Dazu verfügt die BKV über ein breites Netzwerk von Experten, mit denen sie sowohl national als auch international kooperiert.

Die Hauptaufgabe der BKV ist es, die Interessen ihrer Gesellschafter aus der gesamten Kunststoffindustrie auf dem Gebiet der Ressourceneffizienz von Kunststoffen mit dem Fokus auf End-of-Life Themen zu wahren. Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Gebiet der Verwertung vor allem, aber nicht nur, von Kunststoffverpackungen. Die BKV beobachtet aufmerksam, wie sich diese Themen im politischen Umfeld entwickeln.

Aktuelle Entwicklungen, die für die Kunststoffindustrie relevant sind, werden identifiziert und in der Projektarbeit aufgegriffen. Die BKV schafft damit für alle interessierten Stakeholder frühzeitig eine Faktenbasis für fundierte Diskussionen.



Conversio Market & Strategy GmbH

Mitarbeiter von Conversio sind auf B2B-Marktforschung und -Beratung spezialisiert und verfügen über eine mehr als 20-jährige Erfahrung im Bereich der Kunststoffherstellung, -verarbeitung und -verwertung. Conversio wurde gebeten, einen Bericht zum Thema „Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/2035 “ zu erstellen.

Conversio verfügt über umfassende Erfahrung mit zahlreichen Studien zur Kunststoffverwertung für namhafte Kunden wie z. B. Bayernoil, BDE, Borealis, BASF, BVSE, Dansk Retursystem, OMV, Braskem, Indorama Ventures Recycling Group, Covestro, Eumeps, Rehau, Orlen, Sabic, Total, BKV, Plastics Europe, VinylPlus und SCS.

Mit Partnern entlang der gesamten Kunststoff-Wertschöpfungskette wurden zahlreiche bekannte Studien auf EU- und globaler Ebene veröffentlicht. Conversio verfügt über profunde Marktkenntnisse und ein europäisches Netzwerk.

Hinführung

Einleitung

- ◆ Die **Defossilierung** der Wirtschaft ist in vollem Gange und erfordert weitreichende Änderungen in vielen Bereichen. Kunststoffe beinhalten Kohlenstoff als integralen Bestandteil und aktuell kommen über 80% der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffmenge aus fossilen Quellen. Als Alternativen kommen insbesondere drei Möglichkeiten in Betracht:
 - ◆ Biomasse
 - ◆ CO₂-Nutzung
 - ◆ Recycling (mechanisches, physikalisches und chemisches)
- ◆ Da **Biomasse** nur begrenzt zur Verfügung steht, ohne in Konkurrenz mit Nahrungsmittelanbau zu treten, und die Abscheidung und **Nutzung** von **CO₂** inhärent energieintensiv ist, ist es naheliegend das Potential, das Recycling bietet, voll auszuschöpfen. Dazu sind verstärkte **Getrenntsammlung** und **Sortierung** genauso erforderlich wie **neue Technologien**.
- ◆ Das **chemische Recycling** umfasst verschiedene Technologien, die das Potential haben, auch heterogene und vermischte Abfallströme, die derzeit verbrannt werden, hochwertig zu rezyklieren. Aktuell am weitesten verbreitet sind dabei die Pyrolyse/Verölung, die Solvolyse und die Gasifizierung.
- ◆ **Ziel dieser Studie** ist eine **Bestandsaufnahme des chemischen Recyclings in Deutschland**, in Verbindung mit einem **Ausblick auf zukünftige Entwicklungen bis 2035**. Dabei werden Input- und Output-Kapazitäten und Betreiber nach Technologien differenziert analysiert. Außerdem werden Input-Material sowie Prozessverluste und Vor- und Nachbehandlung der einzelnen Technologien beschrieben.

Untersuchungsthemen

Einleitung

Themen der Studie sind der Status quo des chemischen Recyclings in Deutschland im Jahr 2024 sowie ein Ausblick auf 2030/2035, inklusive Kapazitäten/Betreiber, Abfallströme, Technologien etc. Der Fokus liegt dabei auf dem chemischen Recycling von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen. Ebenso wird die Pyrolyse von Altreifen betrachtet. Die Bereiche Solvolyse von *Post-Industrial* Kunststoffabfällen und physikalisches Recycling werden vergleichend diskutiert, aber nicht vollumfänglich dargestellt.

Im Detail werden die Folgenden Themen behandelt:

- Erstellung einer Player Landscape für 2024, inkl. der gesamten Kapazitäten und Angabe der Betreiber von Anlagen des chemisches Recycling 2024 mit weiteren Hinweisen zur Art der chemischen Recycling Technologie (Solvolyse, Pyrolyse/Verölung, Gasifizierung)
- Art der Kunststoffabfälle, die 2024 in EU27+3 in chemische Recyclinganlagen eingebracht wurden (nach Anwendungen/Abfallströmen)
- Bestimmung typischer Prozessverluste beim chemischen Recycling
- Input- und Ausbringungsmengen und -qualitäten
- Potenzial für chemisches Recycling aus Abfällen von mechanischen Recyclingverfahren
- Veritabler Ausblick auf 2030 und 2035 (Kapazitäten, Betreiber, Technologien, Input und Output-Mengen)

Generelle Herangehensweise

Methodik

Sekundäranalysen

- Detaillierte Auswertung und Analysen von vorhandenen Conversio-Studien, Datenbanken und vorliegenden Analysen
- Identifizierung von Pressemitteilungen, Unternehmensveröffentlichungen, Daten aus Vorträgen und Symposien

Primäranalysen/Plausibilisierung

- Punktuell zusätzliche Primärerhebung wie z.B. Interviews mit ...
 - Betreibern bestehender Anlagen
 - großen Abfallentsorgungs- und Recyclingunternehmen
 - Entwicklungs- und Technologiefirmen bzw. –Instituten
 - anderen Marktexperten

Analyse und Reporting

- Analyse der Informationen und Daten, Erstellung eines Datenmodells, Datenexplorationen, Berichtserstellung, Bewertung

Methodische Details zur Bestimmung von aktuellen und zukünftigen Kapazitäten

Methodik

- Eine extensive Liste von allen aktuell vorhandenen und geplanten chemischen Recyclinganlagen in Deutschland wurde erstellt, indem Pressemitteilungen, Unternehmensveröffentlichungen, Daten aus Vorträgen und Symposien sowie persönliche Mitteilungen von Experten (Betreiber bestehender Anlagen, großen Abfallentsorgungs- und Recyclingunternehmen, Entwicklungs- und Technologiefirmen bzw. –Instituten und anderen) ausgewertet wurden.
- Die Liste wurde auf den Fokus der Studie (chemisches Recycling von Altkunststoffen aus Post-Consumer Abfällen) reduziert (kein physikalisches Recycling, keine Post-Industrial Abfälle).
- Input-Kapazitäten beziehen sich auf öffentlich (oder in persönlichen Mitteilungen) kommunizierte Werte und beinhalten daher hauptsächlich Kunststoffe/Reifen, aber auch kleine Mengen an Störstoffen (Pyrolyse/Verölung, Solvolyse). Um eine Vergleichbarkeit in Bezug auf umgesetzte Kunststoffe zu gewährleisten, wurde die Kapazität von Gasifizierungsanlagen, die kunststoffarme Abfälle wie Restmüll umsetzen, mit dem Kunststoffanteil (8% für Restmüll) multipliziert.
- Wenn Daten zu Input-Kapazitäten von Pilotanlagen fehlten, wurde eine durchschnittliche Kapazität von 0,1 kt/a angenommen.
- Geplante Anlagen wurden nur berücksichtigt, wenn bereits ein fester Standort kommuniziert wurde.
- Anlagen, deren Planung ohne ein anvisiertes Datum zur Fertigstellung kommuniziert wurde, wurden als spätestens 2035 in Betrieb erachtet.

Chemisches Recycling in Deutschland (1/7)

Management Summary

Überblick über die analysierten Technologien (1/2)

- Das chemische Recycling ist definiert als die Umwandlung zu Monomeren oder Herstellung neuer Materialien durch Ändern der chemischen Struktur des Kunststoffabfalls mit Ausnahme von Energierückgewinnung und Verbrennung.*
- Für diesen Bericht wurden drei Technologiefamilien des chemischen Recyclings unterschieden, die sich für unterschiedliche kunststoffhaltige Abfallfraktionen eignen und unterschiedliche Produkte generieren:

1) **Pyrolyse/Verölung**

- Bei der **Pyrolyse** werden PO-haltige Kunststoffabfälle bei erhöhter Temperatur unter Luftausschluss zersetzt.
 - Bei der **unkatalysierten Pyrolyse** werden Temperaturen bis 600°C eingesetzt.
 - Bei der **katalytischen Pyrolyse** werden im Allgemeinen geringere Temperaturen von bis zu ~400°C verwendet und die Produktpalette kann besser gesteuert werden. Dafür sind diese Prozesse oft anfälliger für Verunreinigungen, die zu Katalysatordeaktivierung führen.
- Die **Verölung** ist der Pyrolyse sehr ähnlich, aber anders als bei der Pyrolyse wird ein hochsiedendes Lösungsmittel zugesetzt.
- Die **thermische Depolymerisation** von PS- und PMMA-Abfällen kann als Spezialfall der Pyrolyse betrachtet werden, bei der Monomere resultieren.
- Die **Reifenpyrolyse** ist sowohl auf LKW-als auch PKW-Reifen anwendbar und wird im Allgemeinen unkatalysiert bei 600 bis 700 °C durchgeführt.

*Definition nach ISO 15270. Artikel 3 Nr. 17 der EU-Abfallrahmenrichtlinie definiert chemisches Recycling als jedes Verwertungsverfahren, durch das Kunststoffabfälle oder andere Abfallmaterialien unter Spaltung der Polymerketten zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden, mit Ausnahme der energetischen Verwertung und der Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

Chemisches Recycling in Deutschland (2/7)

Management Summary

Überblick über die analysierten Technologien (2/2)

2) Lösemittelbasierte Verfahren (Solvolyse)

- ◆ Abfallfraktionen, welche Kunststoffprodukte enthalten, die durch Polykondensation oder Polyaddition hergestellt sind, wie etwa PET, PUR, PA und PC, werden mittels Lösungsmittel in Monomere/Oligomere gespalten.
- ◆ Solvolyse kann in viele verschiedene Unterverfahren unterteilt werden, z.B.:
 - ◆ Hydrolyse: Spaltung der Polymere mit Wasser
 - ◆ Glykolyse: Spaltung der Polymere mit Glykol
 - ◆ Methanolyse: Spaltung der Polymere mit Methanol
 - ◆ Aminolyse: Spaltung der Polymere mit Aminen

3) 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).
- ◆ Der Einsatz von Kunststoffabfällen als **Reduktionsmittel** zur Substitution fossiler Rohstoffe wie Koks oder Kohle bei der Roheisenherstellung im Hochofen kann auch als chemisches Recycling aufgefasst werden, wurde im Rahmen dieses Berichts aber nur am Rande betrachtet, weil es sich nicht zur Wiedergewinnung von Kunststoffen eignet.
- ◆ **Physikalisches Recycling** beschreibt ein Verfahren, bei dem Kunststoffabfälle mit Hilfe von Lösemittel von Verbunden, Mischungen oder Verunreinigungen befreit werden. Die Polymere bleiben bei diesem Verfahren erhalten. Wird in der Studie nur am Rande betrachtet, weil es sich nicht um chemisches Recycling handelt.

Chemisches Recycling in Deutschland (3/7)

Management Summary

Player Landscape 2024 (2/2)

Im Allgemeinen

- Das **chemische Recycling** von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen und Altreifen in Deutschland hat noch nicht den groß-industriellen Maßstab erreicht und ist mit insgesamt 30,2 kt/a Input-Kapazität aktuell auf sehr **niedrigem Niveau**. Dies wird insbesondere klar, wenn man betrachtet, dass aktuell ~2.440 kt/a kunststoffhaltige Abfälle mechanisch recycelt werden.

Im Speziellen

- Pyrolyse/Verölung** ist in Deutschland mit einer groß-industriellen Reifenpyrolyseanlage (20 kt/a) und 4 PO-Pyrolyse **Demonstrationsanlagen** (je 1 bis 4 kt/a) die am weitesten entwickelte Technologiefamilie. Die Landschaft wird 2024 von kleinen Technologieentwicklern (Pyrum, Arcus Greencycling, Carboliq, Pruvia, Enespa) geprägt. Die Gesamt-Input-Kapazität beträgt 29,7 kt/a.
- Die **Solvolyse** von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen befindet sich noch im **Pilotstadium** mit Anlagengrößen meist unter 0,1 kt/a und einer Gesamt-Input-Kapazität in Deutschland von ~0,5 kt/a. Zu den Akteuren in diesem Bereich gehören große deutsche Konzerne wie BASF, Covestro, Evonik und Heraeus sowie kleinere Technologieentwickler wie mattr. Im Gegensatz dazu wird die **Solvolyse** von *Post-Industrial* Abfällen z.B. von der **Rampf-Gruppe** schon seit 2000 und 2011 mit zwei Anlagen von 2,5 kt/a und 4 kt/a in Pirmasens bereits kommerziell betrieben, dies ist aber nicht im Fokus der Studie.
- Die **Gasifizierung** von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen befindet sich im **Forschungs- und Pilotstadium** mit einer Gesamt-Input-Kapazität in Deutschland von <0,1 kt/a.

Chemisches Recycling in Deutschland (4/7)

Management Summary

Input-Material und Vorbehandlung

- **Altreifen** sind mit 66% der **häufigste Input in Pyrolyseanlagen**, weil die kürzlich erweiterte Pyrolyseanlage von Pyrum die aktuellen Kapazitäten dominiert.
- Für die **PO-Pyrolyse/Verölung** wird überwiegend (zu über 90%) **Material aus LVP-Sortierbetrieben** wie gemischte Polyolefine (DSD323) oder Mischkunststoffe (DSD350) verwendet. Auch EBS (Ersatzbrennstoff, der sowohl aus LVP-Sortieranlagen, als auch aus Gewerbeabfallsortieranlagen hervorgehen kann) kann umgesetzt werden. Kampagnenweise sind weitere Abfälle, z.B. Schredder-Leicht-Fractionen aus Großschredderanlagen (Mischschrott aus Altautos und Elektroaltgeräten), industrielle Endverbraucherabfälle und Polyolefinfraktionen aus dem Recycling von Elektrokleingeräten getestet worden (2024 befindet sich die PO-Pyrolyse/Verölung in Deutschland noch im Demonstrationsstadium).
- Höherwertiger Input bedingt auch höherwertigeren und/oder größeren Output (z.B. geringerer Anteil an Heteroatomen/Metallen und/oder höhere Ausbeute). Dabei ist irrelevant, ob das Verfahren katalysiert abläuft oder nicht. Für die **PO-Pyrolyse** werden z.B. oft **gemischte Polyolefinfraktionen (DSD323)** verwendet, da schlechtere Qualitäten wie DSD350 oder auch EBS geringere Ölausbeuten/-qualitäten bedingen. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Technologieanbieter leicht darin, wie tolerant der Prozess gegenüber schlechteren Input-Qualitäten ist.
- **Inputaufbereitung:** Vor der **Pyrolyse** und der **Gasifizierung** wird das Input-Material im Allgemeinen geschreddert und in eine Form überführt, die sich gut in den Reaktor fördern lässt (z.B. Verpressung zu Pellets oder Aufschmelzen). Bei der **Reifenpyrolyse** wird zusätzlich Stahl und Textil vom Gummi getrennt. Im Falle der **Solvolyse** wird das Input-Material oft noch gewaschen, um Verunreinigungen zu entfernen, da nasses Input-Material nicht schädlich für den Prozess (Hydrolyse) ist.

Chemisches Recycling in Deutschland (5/7)

Management Summary

Output, Prozessverluste und Nachbehandlung

- ◆ **Output** aus den chemischen Recyclingverfahren sind 1) bei der **Pyrolyse** vor allem Pyrolyseöl, Pyrolysegas sowie Pyrolysekoks und rCB (recovered carbon black) (und bei feuchtem Ausgangsmaterial auch Pyrolysewasser), 2) bei der **Solvolyse** Monomere/Oligomere sowie Feststoffe und Nebenprodukte, die durch Filtration und/oder Kristallisation abgetrennt werden und 3) bei der **Gasifizierung** Synthesegas sowie andere Gase (z.B. CO₂, CH₄), Wasser, Asche, Flugasche und Schlacke.
- ◆ Die Weiterverarbeitung des Outputs zu Polymeren ist je nach Technologie unterschiedlich aufwändig, da der Materialinput in dem chemischen Recyclingprozess unterschiedlich stark abgebaut wird.
 - ◆ **Monomere** aus der Solvolyse oder thermischen Depolymerisation können direkt wieder in der **Polymerproduktion** eingesetzt werden
 - ◆ **Pyrolyseöl** wird nach Aufreinigung zuerst in **Steamcrackern** zu kurzkettigen **Kohlenwasserstoffverbindungen** (z.B. Ethen, Propen) gespalten, bevor es wieder in Chemikalienproduktion (inkl. Polymere) eingesetzt werden kann.
 - ◆ **Pyrolysegas** wird in Demonstrationsanlagen derzeit noch meist verbrannt, z.T. ohne Nutzung der Energie. Unternehmen arbeiten aber daran, die Verbrennungswärme zur Stromerzeugung zu nutzen. Betreiber industrieller Anlagen wie Pyrum nutzen die Verbrennungswärme bereits, um die Prozessenergie für die Pyrolyse bereitzustellen (dann kann der Prozess als thermoneutral angesehen werden). Alternativ kann das Pyrolysegas auch analog zur Gasifizierung stofflich genutzt werden.
 - ◆ **Synthesegas** aus der Gasifizierung kann nach Aufreinigung in einem mehrstufigen Prozess (z.B. über **Methanolsynthese** und **Methanol-to-olefin** Prozess oder alternativ **Fischer-Tropsch-Synthese**) wieder zu Polymeren verarbeitet werden. Im Allgemeinen wird aber nicht die Produktion neuer Kunststoffe angestrebt, sondern die Produktion anderer werthaltiger Chemikalien wie Methanol, Ethanol, Methan oder Dimethylether.

Chemisches Recycling in Deutschland (6/7)

Management Summary

Potenzial für chemisches Recycling aus Restfraktionen von mechanischen Recyclingverfahren

- Eine Analyse der Reststoffe mechanischer Recycler hat gezeigt, dass diese sich zum Teil als Input-Material für das chemische Recycling eignen können. Insgesamt wurde ein **Potential** (Obergrenze) von **~0,46 Mt/a** ermittelt.
- Eine Analyse der Zusammensetzung hat ergeben, dass für die **Pyrolyse/Verölung** maximal **~0,23 Mt/a**, für die **Solvolyse** maximal **~0,15 Mt/a** und für die **Gasifizierung** maximal **~0,46 Mt/a** zur Verfügung stehen.
- Die Potentiale der Inputfraktionen für die Pyrolyse/Verölung und Solvolyse sind additiv, weil unterschiedliche Inputfraktionen adressiert werden. Alternativ können die gleichen Inputfraktionen auch durch Gasifizierung umgesetzt werden.

Chemisches Recycling in Deutschland (7/7)

Management Summary

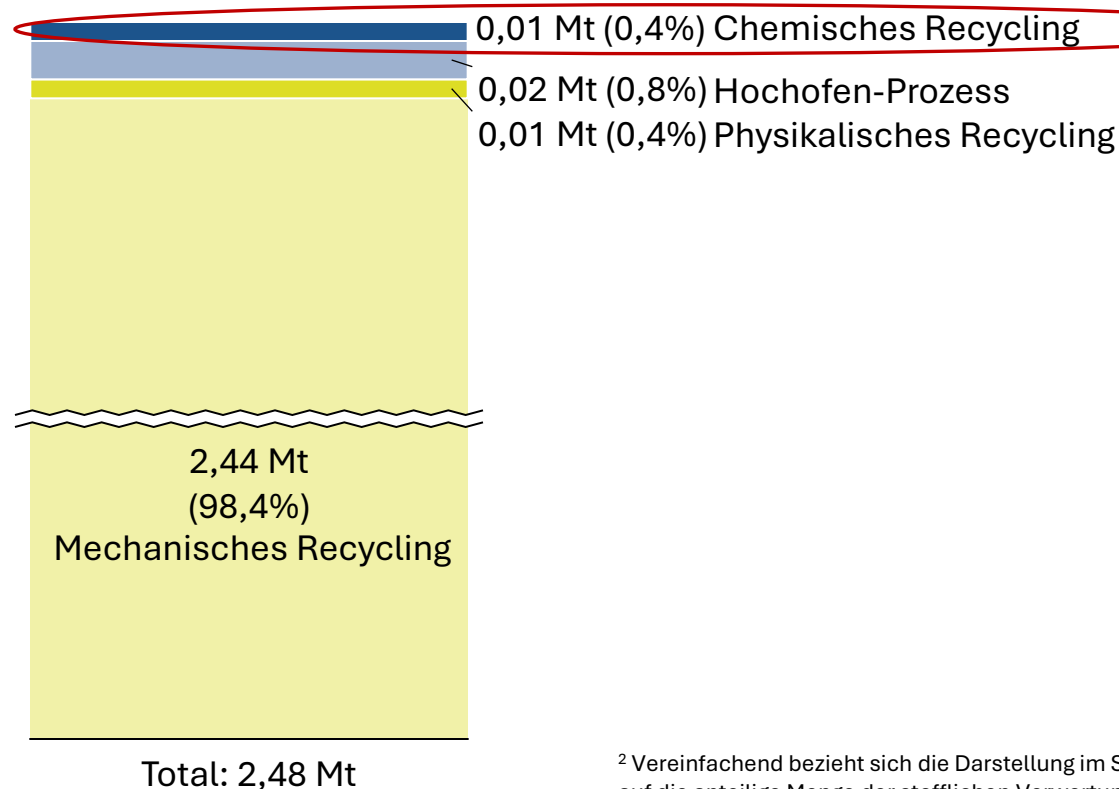
Ausblick bis 2030/2035

- Sofern alle Projekte, Pilotvorhaben und Investitionen zum chemischen Recycling, die aktuell in Deutschland geplant sind, umgesetzt werden, kann die maximale Input-Kapazität in Deutschland drastisch steigen. Eine Abschätzung hat ergeben, dass die Input-Kapazitäten von 0,010 Mt/a im Jahr 2024 auf **~0,1 – 0,4 Mt/a** im Jahr 2030 und **0,1 bis 0,8 Mt/a** im Jahr 2035 steigen können. Fast der gesamte Anstieg der Input-Kapazität ist auf die Pyrolyse/Verölung zurückzuführen. Dabei wird die Pyrolyse von PO die Reifenpyrolyse kapazitätstechnisch überholen.
- **Großunternehmen** in der Chemie (z.B. BP, Ineos), wollten die Führungspositionen übernehmen, indem sie mit führenden **Technologieanbietern** wie Plastic Energy zusammenarbeiten, um große Anlagen mit Kapazitäten ≥ 100 kt/a zu bauen. Ob und wann die Projekte umgesetzt werden ist allerdings ungewiss (vide infra). Andere wie BASF haben bisher keine eigenen Anlagen angekündigt, kaufen aber schon jetzt Pyrolyseöl in großem Maßstab zu und verarbeiten es.
- Die Entwicklung des chemischen Recyclings in diesen Großkonzernen kann die zukünftigen Kapazitäten des chemischen Recyclings drastisch beeinflussen. So wäre BP mit ihrer geplanten riesigen 360 kt/a Anlage für ca. die Hälfte des Anstiegs von 2030 auf 2035 verantwortlich. Die Umsetzung bis 2035 ist allerdings noch nicht gesichert (das Unternehmen selbst macht keine Angaben zur Fertigstellung) und daher mit großen Unsicherheiten behaftet.
- Dagegen sind Entwickler von **Solvolyse**-Verfahren mit Ankündigungen zu Anlagen aktuell sehr **zurückhaltend**. Lediglich matterr hat eine größere 10 kt/a Solvolyseanlage angekündigt. In Anbetracht der Forschungstätigkeit großer deutscher Chemiekonzerne (BASF, Covestro, Evonik, Heraeus) in diesem Bereich, ist bei vielversprechenden Forschungsergebnissen kombiniert mit unterstützender Regulatorik, allerdings der Bau weiterer großskaliger Solvolyseanlagen bis 2035 möglich.

Einordnung: Chemisches Recycling und andere stoffliche Verwertungsmethoden

Management Summary

Stoffliche Verwertung von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen nach Technologie im Jahr 2023 in Deutschland²



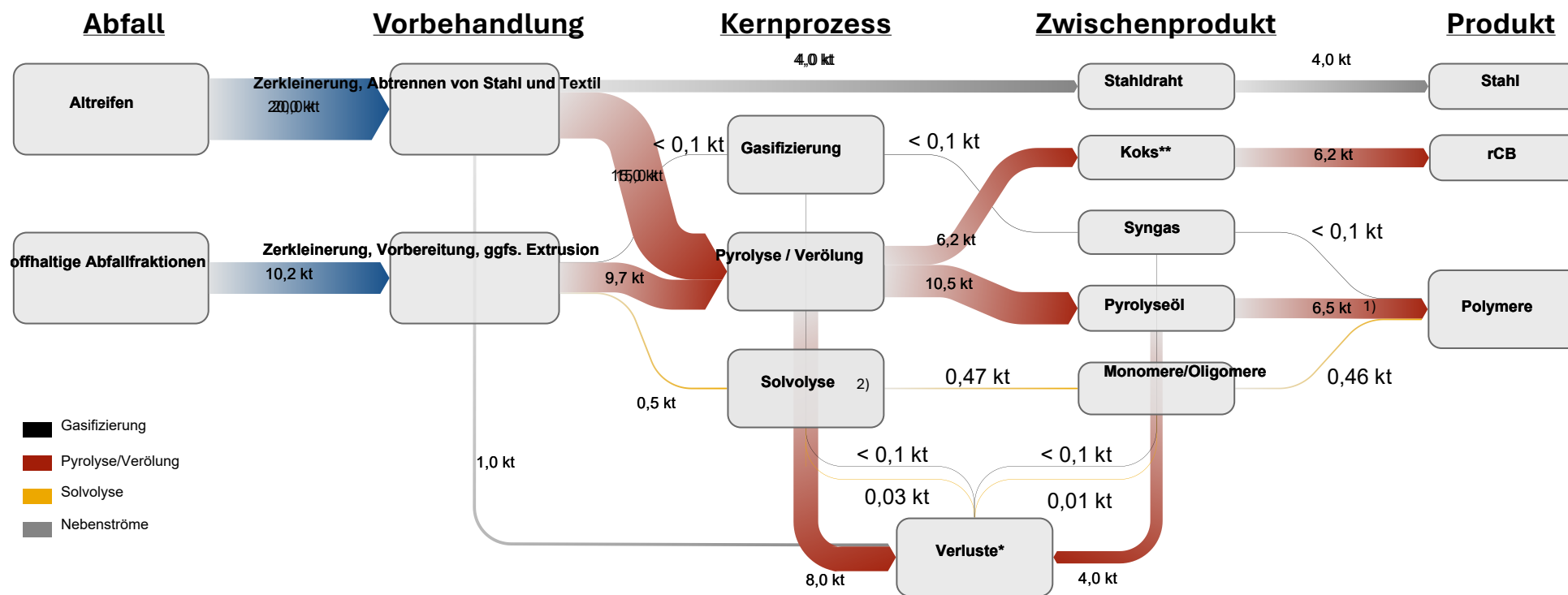
- Das **mechanische Recycling** ist bei weitem die **mengenmäßig bedeutendste Technologie** zur stofflichen Verwertung von kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen (Anteil: 98,4%).
- Das **chemische-** und auch das **physikalische Recycling** spielen mit je 0,4% Anteil an der stofflichen Verwertung von Kunststoffhaltigen Post-Consumer Abfällen in Deutschland **aktuell untergeordnete Rollen**, haben aber starkes **Wachstumspotential**.¹
- Der Einsatz von Kunststoffabfällen **als Reduktionsmittel** im Hochofenprozess (Eisenherstellung) ist zwar schon lange etabliert, aber auf ähnlich niedrigem Niveau (0,8%).

² Vereinfachend bezieht sich die Darstellung im Speziellen auf die anteilige Menge der stofflichen Verwertung. Energetische Verwertung und Deponierung kunststoffhaltiger post-consumer Abfälle sind nicht betrachtet.

¹ Potentiale ergeben sich maßgeblich durch das Erschließen aktuell energetisch verwerteter Abfallströme für die stoffliche Verwertung

Input- und Output-Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen in Deutschland für Post-Consumer Altkunststoffe und Altreifen im Jahr 2024 (vereinfachte schematische Darstellung)

Management Summary



*z. B. feste Rückstände aus anorganischen/mineralischen Bestandteilen von Kunststoffen (Additive/Füllstoffe) und Kohle, Textil von Altreifen oder teilweise Verbrennung des Ausgangsmaterials oder des erzeugten Prozessgases (u.a. zur Deckung der Prozessenergie)
** Aus Reifenpyrolyse

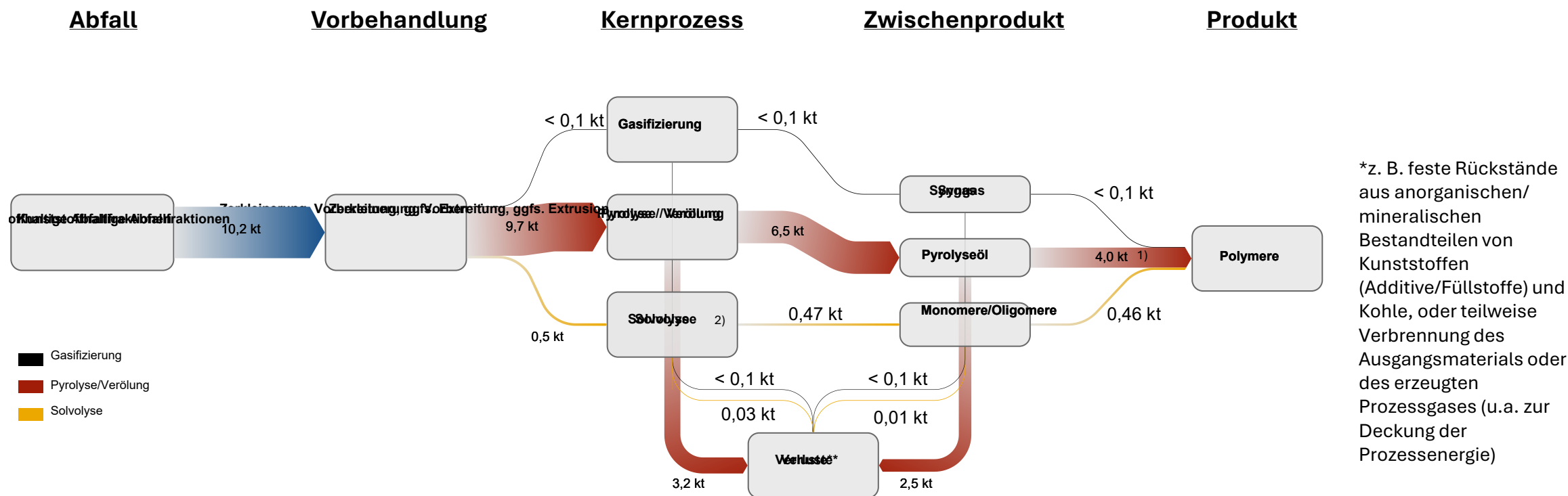
Angegeben sind Input- und Output-Kapazitäten. Reale Massenflüsse sind geringer, da Anlagen insbesondere in der Anlaufphase nicht voll ausgelastet sind und Zwischenprodukte in der Regel nicht vollständig zu Polymeren, sondern auch zu anderen werthaltigen Chemikalien weiterverarbeitet werden.

¹⁾ Berechnung nach „Fuel-use exempt“ Methode unter Berücksichtigung typischer Steam Cracker Ausbeuten (Annahme: Ethen, Propen, Butadien, Buten, Benzol und Toluol werden vollständig zu Polymeren verarbeitet.)

²⁾ Inkl. Glykolyse, Hydrolyse, Methanolyse, Aminolyse, etc.

Input- und Output-Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen in Deutschland für Post-Consumer Altkunststoffe im Jahr 2024 (vereinfachte schematische Darstellung)

Management Summary



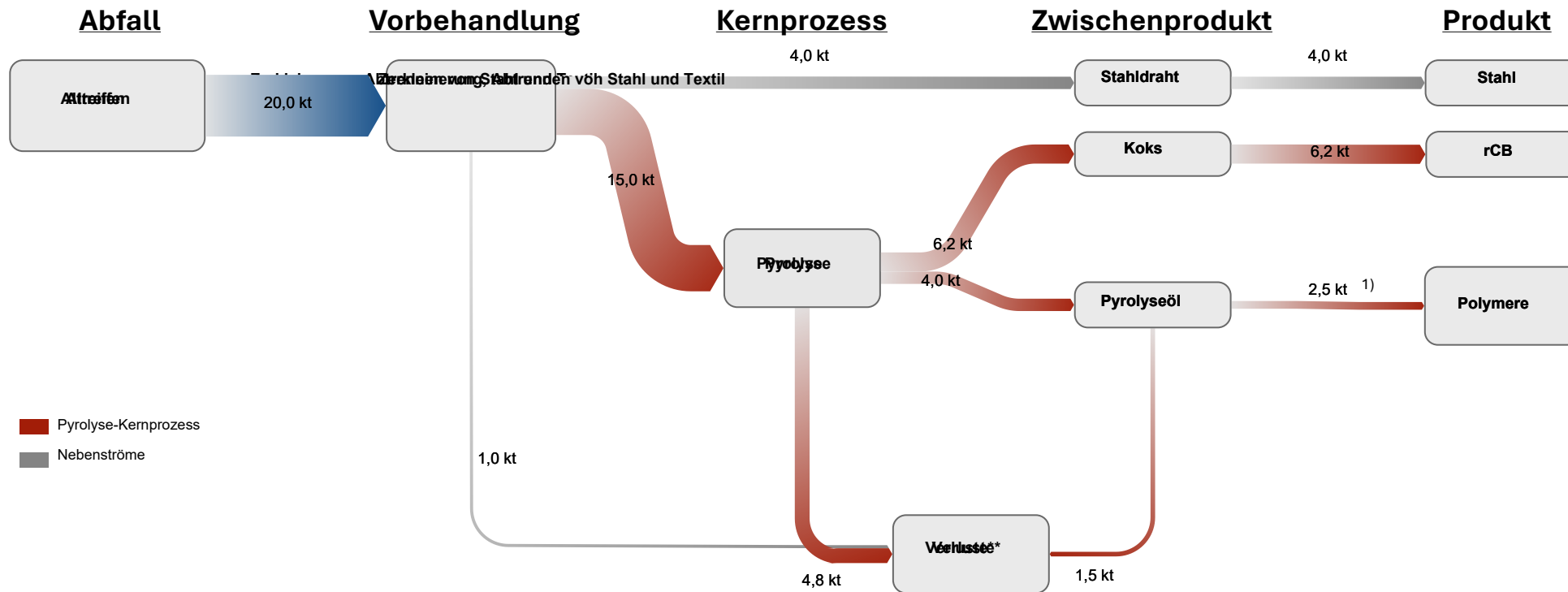
Angegeben sind Input- und Output-Kapazitäten. Reale Massenflüsse sind geringer, da Anlagen insbesondere in der Anlaufphase nicht voll ausgelastet sind und Zwischenprodukte in der Regel nicht vollständig zu Polymeren, sondern auch zu anderen werthaltigen Chemikalien weiterverarbeitet werden.

¹⁾ Berechnung nach „Fuel-use exempt“ Methode unter Berücksichtigung typischer Steam Cracker Ausbeuten (Annahme: Ethen, Propen, Butadien, Buten, Benzol und Toluol werden vollständig zu Polymeren verarbeitet.)

²⁾ Inkl. Glykolyse, Hydrolyse, Methanolyse, Aminolyse, etc.

Input- und Output-Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen in Deutschland für Post-Consumer Altreifen im Jahr 2024 (vereinfachte schematische Darstellung)

Management Summary



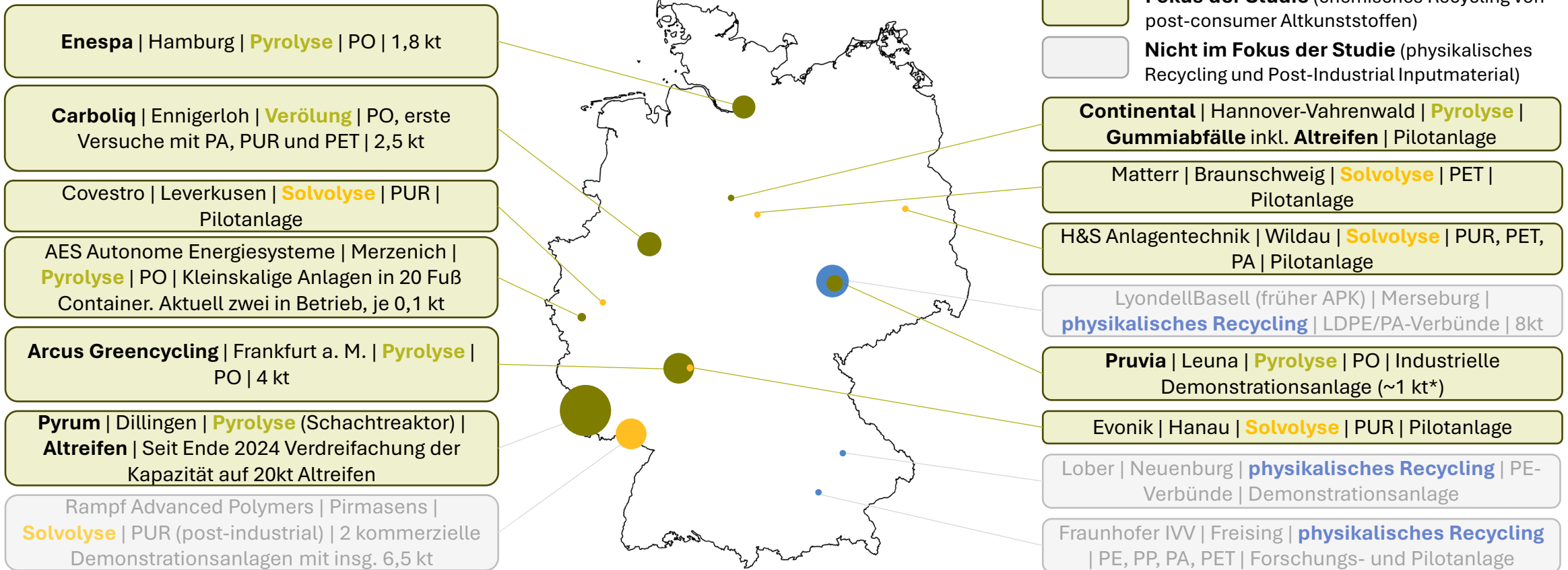
*z. B. Textilgewebe, oder teilweise Verbrennung des Ausgangsmaterials oder des erzeugten Prozessgases (u.a. zur Deckung der Prozessenergie)

Angegeben sind Input- und Output-Kapazitäten. Reale Massenflüsse sind geringer, da Anlagen insbesondere in der Anlaufphase nicht voll ausgelastet sind und Zwischenprodukte in der Regel nicht vollständig zu Polymeren, sondern auch zu anderen werthaltigen Chemikalien weiterverarbeitet werden.

¹⁾ Berechnung nach „Fuel-use exempt“ Methode unter Berücksichtigung typischer Steam Cracker Ausbeuten (Annahme: Ethen, Propen, Butadien, Buten, Benzol und Toluol werden vollständig zu Polymeren verarbeitet).

Chemische- und Physikalische Recyclinganlagen in Deutschland

Player Landscape 2024 – Kartographische Darstellung



In grau hinterlegte Anlagen wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt, aber aus verschiedenen Gründen hier dargestellt: I) die Verwertung von Post-Industrial Abfällen ist nicht im Fokus der Studie, aber die Rampf-Group ist seit 30 Jahren ein Vorreiter im Bereich Solvolyse II) Bei physikalischem Recycling handelt es sich nicht um chemisches Recycling, aber es ist ebenso ein in letzter Zeit aufgekommenes Verfahren zur Rückgewinnung aktuell nicht mechanisch recycelter Kunststoffhaltiger Abfälle.

Die größten chemischen Recycling-Anlagen in Deutschland wurden vollständig dargestellt. Des weiteren gibt es kleine Forschungs- und Pilotanlagen, von denen einige hier genannt wurden.

* Abschätzung aufgrund von Aussage von Interviewpartner und Sekundärrecherche

Erläuterung der Anlagengrößen für das chemische Recycling

Player Landscape 2024 – Einordnung von Kapazitäten

- Bis ~1 kt/a

 - Forschungs-, Technikums- und Pilotanlagen, die in der Frühphase der Entwicklung das Potential der Technologie abschätzen sollen oder begleitend zu größeren Anlagen zu Forschungszwecken genutzt werden (z.B. um Auswirkungen der Variation von Input-Materialien oder Prozessparametern abzuschätzen).
- 1 - 10 kt/a

 - Demonstrationsanlagen, die in einigen Fällen kommerziell betrieben werden (v.a. im Bereich Solvolyse), aber hauptsächlich gebaut werden, um die Risiken und Hürden bei größeren Investitionsprojekten zu minimieren. Darüber hinaus werden in einigen Regionen (Finnland, Indien) Anlagen dieser Größe für die Dieselproduktion genutzt. In Deutschland gibt es aktuell keine Anlage zum chemischen Recycling von Post-Consumer Altkunststoffen, die größer als 4 kt/a ist.
- 10 - 30 kt/a

 - Diese Anlagen werden kommerziell betrieben. Die Größe der Anlagen erfordert nur geringe Investitionen und ermöglicht eine kontinuierliche Versorgung mit Rohstoffen. Dennoch sind diese Pyrolyse-Anlagen zu klein, um auch nur 5% der Nachfrage nach Crackern von großen petrochemischen Unternehmen zu decken.
- > 30 kt/a

 - Anlagen dieser Größe profitieren von economies of scale und produzieren im Fall von Pyrolyseanlagen genügend Rohstoffe, um für große petrochemische Unternehmen relevant zu sein. Anlagen sind in Planung. Anzumerken ist, dass die maximale Kapazität eines einzelnen Pyrolyse-Reaktors wegen der Endothermie der Pyrolyse und mechnisch-technischen Gründen auf 20-30 kt/a begrenzt ist, sodass größere Anlagen mehrere Pyrolysereaktoren parallel betreiben.

Übersicht über Input-Material und Vorbehandlung

Input-Material und Vorbehandlung

- Input-Material und Vorbehandlung sind maßgebliche Faktoren für die Output-Qualität chemischer Recycler und die Kontrolle darüber ist essenziell für einen stabilen Prozess.
- **Die unkatalysierte Pyrolyse** ist die chemische Recyclingtechnologie, die heute in Deutschland am häufigsten eingesetzt wird. Sie ist in der Lage, entweder Altreifen oder PE-, PP- und PS-haltige Abfälle zu verarbeiten (>85% PE/PP erwünscht). Die unkatalysierte PO-Pyrolyse unterliegt Einschränkungen hinsichtlich der Reinheit der Ausgangsstoffe (PET, ABS, Biomasse < ~5%, PVC < ~2% (maximal 10% im Spezialfall), PS < 15%). Verwendet werden daher derzeit vor allem PO-reiche Fraktionen aus der LVP-Sortierung, wie DSD323. Schlechtere Qualitäten wie DSD350 oder auch EBS, sind zwar zum Teil umsetzbar, aber führen zu deutlich schlechteren Ölausbeuten und -qualitäten. Die **katalytische Pyrolyse** hat je nach Katalysatorsystem im Allgemeinen höhere Anforderungen an die Reinheit der Input-Materialien und fragt nachsortierte Materialien nach.
- **Die Solvolyse** zielt im Wesentlichen auf Polymere, die durch Polykondensation oder Polyaddition gewonnen werden wie PET, PA, PC und PUR. Allerdings kann jeweils nur eines dieser Polymere pro Prozess adressiert werden. Nicht reagierte Polymere wie PE, PP und PS können abfiltriert werden, reduzieren aber die Wirtschaftlichkeit des Prozesses.
- Daher ist die **Getrennthaltung bei der Abfallerfassung** und die **weitere Aufbereitung bzw. Sortierung** von entscheidender Bedeutung, um Recyclingquoten durch sowohl werkstoffliches Recycling, als auch weitere Recyclingverfahren (chemisches oder physikalisches Recycling) zu erhöhen. Ansätze dazu sind bereits erkennbar: So bauen Interzero und OMV in Walldürn eine Sortieranlage, die DSD350 aus der LVP-Sortierung für die Pyrolyse und Solvolyse aufbereitet.
- **Die Gasifizierung** bietet die Möglichkeit, stark gemischte Abfallströme, einschließlich Restmüll mit hohem Biomasseanteil, zu verwerten. Dies bietet den zusätzlichen Vorteil, dass auch große Mengen nicht-Kunststoffe berücksichtigt werden.

Adressierte Polymere und akzeptable Störstoffe

Input-Material und Vorbehandlung

Übersicht über adressierte Polymere und akzeptable Störstoffgehalte

	Komponente im umzusetzenden Abfall											
Technologie	PET	HDPE	LDPE	PP	PVC	PS	PC	ABS	PA	PUR	PMMA	Andere ⁴⁾
Solvolyse												
Pyrolyse ¹⁾	*				+ ²⁾	³⁾	* ³⁾	*	*	*	* ³⁾	*
Gasifizierung					+							

Stört im Prozess nicht, aber unwirtschaftlich bei hohen Gehalten

<2% (+) bzw. <5% (*) akzeptabel

<15% akzeptabel

Zielverbindung

Hinweis: Je nach Prozessparametern, Zuschlagstoffen und gewünschtem Output variieren die Toleranzen von Anlage zu Anlage stark

- Solvolyse und Pyrolyse sind **komplementäre Technologien**: Während die **Solvolyse** für Polykondensate wie **PET, PA, PC** und auch **PUR** (aus Polyaddition) geeignet ist, ist sie für Polyolefine, PS und PMMA ungeeignet. **Polyolefine** hingegen können durch **Pyrolyse/Verölung** umgesetzt werden. Ein hoher Anteil an Polyolefinen (>85%) ist dabei wünschenswert.
- **PC, PS, PMMA** und **Altreifen** können ebenfalls Ziel der Pyrolyse sein (thermische Depolymerisation), sind aber im Allgemeinen in der PO-Pyrolyse nicht in großen Mengen erwünscht (<5-15%).
- **Gasifizierung** kann für praktisch alle Polymere eingesetzt werden, allerdings kann HCl aus PVC zur Anlagenkorrosion beitragen. Verfahrensabhängig bestehen unterschiedliche Toleranzen bzgl. des Halogengehalts. Beispielsweise ermöglicht das Verfahren der Ecoloop-Anlage die Bindung des Chlors als Calciumchlorid.

¹⁾ Angaben beziehen sich auf unkatalysierte PO-Pyrolyse. Katalytische Verfahren haben je nach Katalysator strengere Anforderungen an Einsatzstoffe.

²⁾ Höhere PVC-Gehalte von bis zu ~10% können durch geeignete Pyrolyseverfahren, z.B. von Arcus Greencycling, umgesetzt werden. HCl wird dabei mithilfe von Zuschlagstoffen im Reaktor neutralisiert und im Pyrolysekoks gebunden.

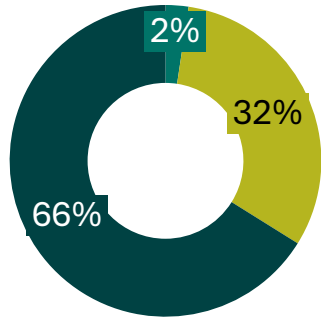
³⁾ Es gibt auch Pyrolyseprozesse spezifisch für dieses Polymer als Zielprodukt

⁴⁾ ohne Reifen

Art des Input-Materials nach Anwendung und Abfallstrom

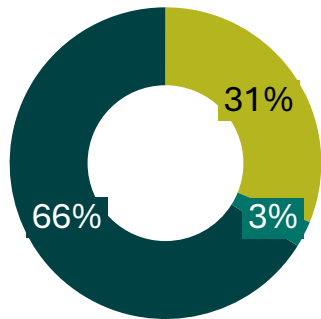
Input-Material und Vorbehandlung

Input nach Anwendung



Reifen Verpackung Andere

Input nach Abfallstrom



Reifenabfälle LVP-Sammlung Andere

- Verpackungen aus der LVP-Sammlung und Reifenabfälle sind laut Befragungen von chemischen Recyclern die bei weitem wichtigste Rohstoffquelle für chemische Recyclinganlagen. Bei der LVP-Sammlung bieten insbesondere gemischte Polyolefine (DSD323), aber auch Folienfraktionen hohe Polyolefingehalte. Auch geringere Qualitäten wie DSD350 oder spezielle EBS-Fractionen können eingesetzt werden (insbesondere bei unkatalysierter Pyrolyse), dann aber meist mit schlechteren Ölausbeuten und -qualitäten. Außerdem ist die schwankende Qualität des DSD350 eine Herausforderung.
- Es ist anzumerken, dass die Betreiber von Sortieranlagen ihr Sortierverhalten teilweise ändern, um den Anforderungen der chemischen Recycler gerecht zu werden. In Walldürn entsteht z.B. aktuell eine Nachsortieranlage, die Fraktionen aus LVP-Sortieranlagen für das mechanische- und chemische Recycling weiter sortiert.
- Die Betreiber von Pyrolyseanlagen für Kunststoffe befinden sich aktuell noch in der Demonstrations-phase und fahren kampagnenweise verschiedene Einsatzstoffe.¹⁾ Der Einsatz von Industrieabfällen, Schredderrückständen aus Altfahrzeugen bzw. Elektroschrott befindet sich auf Forschungsniveau und ist derzeit nicht wirtschaftlich anwendbar.
- Des Weiteren wurden z.B. PE-haltige Ausschüsse von mechanischen Recyclern bereits erfolgreich eingesetzt, die sonst energetisch verwertet worden wären.

¹⁾ Siehe auch: D. Stapf et al., Bewertungsgrundlagen der Pyrolyse von gemischten Kunststoffabfällen, KIT, Karlsruhe, 2021

Ausbeuten und Prozessverluste der analysierten CR-Technologien

Output, Prozessverluste und Nachbehandlung

	PO-Pyrolyse/Verölung ¹	Reifenpyrolyse	Solvolyse	Gasifizierung ²
Ausbeute	~67% Pyrolyseöl (~58% bis ~69% je nach Spezifikation des Input-Materials)	15-25% Stahl 20-36% Pyrolyseöl ~31% rCB	~93% Monomer/Oligomer	~86% Synthesegas
Verluste	10-20% Pyrolysegas ³⁾ 10-20% Pyrolysekoks	0-15% Textil 12-23% Pyrolysegas	Feststoff Nebenprodukte	Andere Gase (z.B. CO ₂ , CH ₄) Wasser Asche, Flugasche, Schlacke

- Ausbeuten und Prozessverluste sind stark von der Technologie, der Qualität des Einsatzstoffes, der Anlage und Prozessparametern abhängig. Solvolyse hat die höchsten Ausbeuten (~93%) gefolgt von der Gasifizierung (~86%) und der Pyrolyse (~67% für PO, ~79% für Reifen). Jedoch können diese Werte nicht direkt verglichen werden, da es sich um gänzlich unterschiedliche Input-Ströme, Prozesse und Produkte handelt.
- Pyrolysegas ist in seiner Zusammensetzung im Wesentlichen mit Synthesegas vergleichbar und es gibt Bestrebungen zur stofflichen Nutzung. Aktuell wird es aber meist direkt verbrannt, um die Prozessenergie zu decken. Damit wird der Prozess thermoneutral, das Pyrolysegas steht aber nicht zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.
- Entstehende Feststoffe oder Schlacke beinhalten maßgeblich Füllstoffe und Additive oder im Bereich Solvolyse auch nicht-reagierte Fremdkunststoffe.

Alle Angaben in Gew.% in Bezug auf die eingesetzte Masse Kunststoffabfälle.

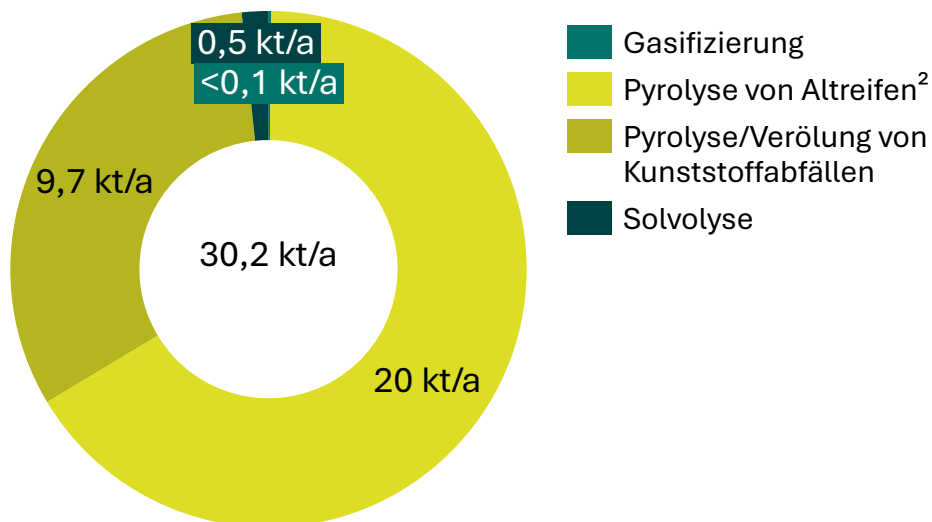
¹ Die Angaben beziehen sich auf wasserfreies Input-Material. Bei feuchtem Input entsteht Pyrolysewasser als weiterer Verlust und die Ausbeute ist geringer.

² Keine großtechnische Anlage in Deutschland vorhanden. Die Ausbeute wurde von der stillgelegten Anlage der SVZ Schwarze Pumpe übernommen. Die Weiterverarbeitung des Synthesegases ergab Methanol mit einer Gesamtausbeute von ~60%.

Input- und Output-Kapazität von CR-Anlagen in Deutschland 2024

Output, Prozessverluste und Nachbehandlung

Input-Kapazität chemische Recyclinganlagen 2024 in Deutschland¹

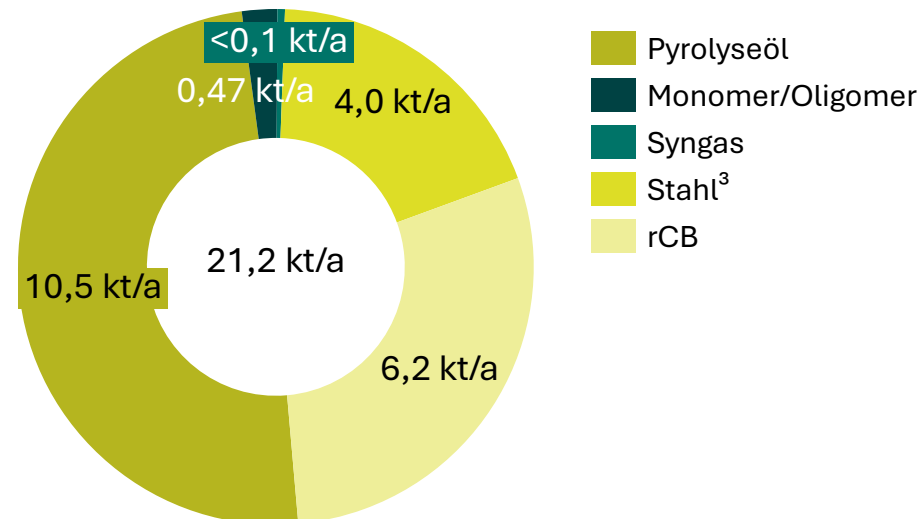


- Pyrolyse ist die dominierende CR-Technologie mit 9,7 kt/a für Kunststoffabfälle und 20 kt/a für Altreifen.
- Solvolyse und Gasifizierung befinden sich - bei 0,5 kt/a bzw. <0,1 kt/a Post-Consumer Material im Input - noch im Forschungs- bzw. Pilotstadium.

¹ Von Anlagen, die hauptsächlich Post-Consumer Abfälle verarbeiten

² Kapazität bezogen auf Altreifen (i.e., inkl. Stahl, Textil, Ruß, etc.)

Output-Kapazität chemische Recyclinganlagen 2024 in Deutschland¹



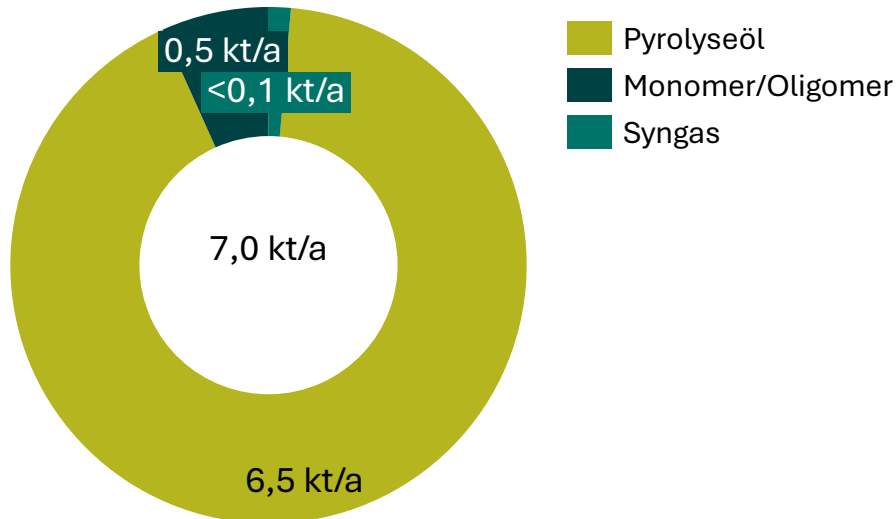
- Die Output-Kapazität wird von 10,5 kt/a **Pyrolyseöl** dominiert. Darauf folgen **rCB** mit 6,2 kt/a und **Stahl** mit 4,0 kt/a aus der Reifenpyrolyse.
- Monomere/Oligomere** aus der Solvolyse sowie **Synthesegas** aus der Gasifizierung haben mit 0,47 kt/a und <0,1 kt/a einen deutlich geringeren Anteil.

³ Aus der mechanischen Vorbehandlung der Altreifen vor dem Pyrolyse-Kernprozess

Output-Kapazität von CR-Anlagen nach Abfallart in Deutschland 2024

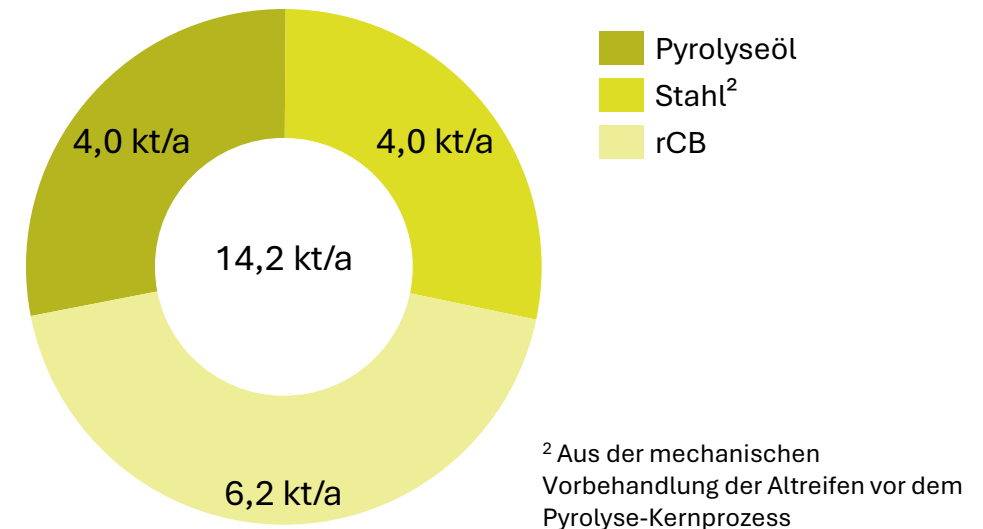
Output, Prozessverluste und Nachbehandlung

Output-Kapazität chemische Recyclinganlagen für kunststoffhaltige Abfälle 2024 in Deutschland¹



- Pyrolyseöl ist mit einer Outputkapazität von 6,5 kt/a (93%) das Hauptprodukt von chemischen Recyclinganlagen für kunststoffhaltige Abfälle
- Monomere/Oligomere aus der Solvolyse fallen mit einer Output-Kapazität von 0,5 kt/a kaum ins Gewicht

Output-Kapazität chemische Recyclinganlagen für Altreifen 2024 in Deutschland¹



- rCB ist mit einer Outputkapazität von 6,2 kt/a das Hauptprodukt der Pyrolyse von Altreifen.
- Pyrolyseöl und Stahl (beide 4,0 kt/a bzw. 28%) folgen knapp dahinter. Der im Vergleich zur Pyrolyse von kunststoffhaltigen Abfällen geringe Ölanteil ist darin begründet, dass Reifen hohe Anteile an nicht-Elastomeren besitzen (v.a. Stahl, Ruß, Silica, Textil)

¹ Von Anlagen, die hauptsächlich Post-Consumer Abfälle verarbeiten

Rahmenbedingungen, die Entwicklungen im chemischen Recycling prägen

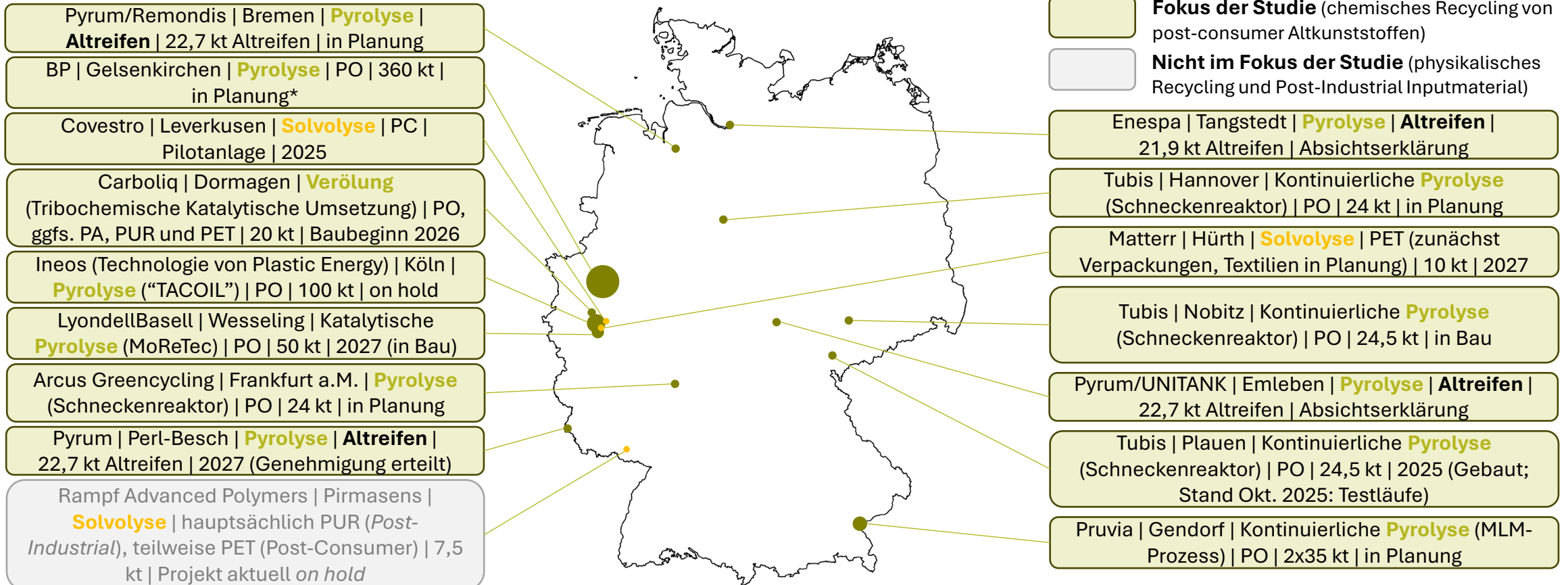
Ausblick 2030 und 2035: Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen in Deutschland

- Aktuell wird viel Geld in das chemische Recycling investiert und neue Anlagen angekündigt. Das chemische Recycling besitzt, insbesondere in Anbetracht der jüngst verabschiedeten Packaging and Packaging Waste Regulation (**PPWR**) der EU, das Potential stark zu wachsen. Dort sind z.B. für das Jahr 2030 **Mindestrezyklatgehalte** von 10% für kontakt-sensitive Verpackungen (aus Kunststoffen, die nicht PET sind) gefordert. Es gibt nach Stand der Technik aktuell aber kein mechanisches Recyclingverfahren (abgesehen von closed-loop Verfahren), das polyolefinische Rezyklate für Lebensmittelverpackungen bereitstellt (bei PET ist dies anders), daher bietet sich das chemische Recycling, z.B. mit **Pyrolyse**, hier als Erfüller dieser spezifischen Rezyklateinsatz-Quote an.
- Daneben gibt es noch andere **Faktoren**, die das Wachstum des chemischen Recyclings mitbestimmen wie etwa die **Anerkennung als stoffliche Verwertung**.
- Viele Unternehmen haben Ankündigungen zum Bau von chemischen Recyclinganlagen in Deutschland gemacht. Ob und wann diese umgesetzt werden, hängt neben der politischen Situation auch von **genehmigungsrechtlichen** Fragen und **wirtschaftlichen Rahmenbedingungen** ab. So können nicht nur für den Bau- sondern auch für die Planung und Genehmigung mehrere Jahre ins Land gehen. Außerdem sind Investoren aufgrund derzeit wirtschaftlicher Schwierigkeiten der (Chemie)-Industrie in Deutschland, zurückhaltend und setzen teure und riskante Projekte zum Teil temporär aus. Zum Beispiel hat DOW kürzlich angekündigt, doch keine Pyrolyseanlage in Böhlen zu bauen, weil es auch seine Steam Cracker-Aktivitäten an dem Standort einstellt.
- Zusammenfassend ist die Entwicklung des chemischen Recyclings in Deutschland hoch volatil. Im Folgenden wird die Entwicklung basierend auf geplanten und in Bau befindlichen Anlagen abgeschätzt.

Geplante chemische Recyclinganlagen in Deutschland bis 2035

Ausblick 2030 und 2035: Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen in Deutschland

Darstellung von angekündigten Anlagen zum chemischen Recycling in Deutschland



*BP hat angekündigt, seinen Raffinerie-Standort Gelsenkirchen-Schoven mit einer 360 kt Pyrolyseanlage erweitern zu wollen, ist aber auf Widerstand getroffen (z.B. Klage der Stadt Marl gegen Gelsenkirchen). Das ursprünglich als Technologie-Lieferant gehandelte Unternehmen Brightmark hat sich zurückgezogen. Vor kurzem hat BP angekündigt, seine Raffinerie in Gelsenkirchen verkaufen zu wollen.

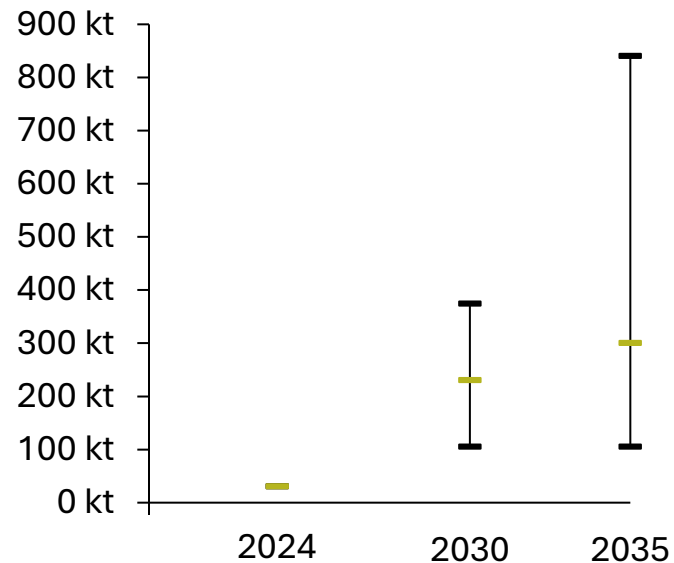
Grau hinterlegte Anlagen wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt, weil das Projekt aktuell pausiert ist und hauptsächlich Post-Industrial Kunststoffabfälle verarbeitet werden sollen. Pilotanlagen nicht vollständig dargestellt

Prognose von Input-Kapazitäten bis 2030/2035

Ausblick 2030 und 2035: Prognose chemischer Recyclinganlagen in Deutschland (gesamt)

Prognose zukünftiger Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen für Post-Consumer Altkunststoffe und -Reifen¹⁾

Gesamte Input-Kapazitäten (in kt)



Es wurden drei Szenarien erstellt:

● **Konservatives Szenario** (unterer schwarzer Balken)

- Konservative Abschätzung der Kapazitätsentwicklung, die nur Anlagen in Bau enthält
- ~105 kt Input Kapazität in 2035 (CAGR: 12%)

● **Realistisches Szenario** (mittlerer grüner Balken)

- Subjektive Abschätzung der Kapazitätsentwicklung, die Wahrscheinlichkeiten zur Fertigstellung (z.B. Stand des Genehmigungsverfahrens) berücksichtigt
- ~300 kt Input Kapazität in 2035 (CAGR: 23%)

● **Progressives Szenario** (oberer schwarzer Balken)

- Ambitionierte Abschätzung, in der alle angekündigten Pyrolyse-Anlagen realisiert werden und zusätzlich weitere Solvolyse- und Gasifizierungsanlagen gebaut werden
- ~840 kt Input Kapazität in 2035 (CAGR: 36%)

- Verzögerungen, Änderungen oder Stopp von Planung, Genehmigung oder Bau chemischer Recyclinganlagen können dazu führen, dass nicht alle geplanten Projekte bis 2030/2035 umgesetzt werden.

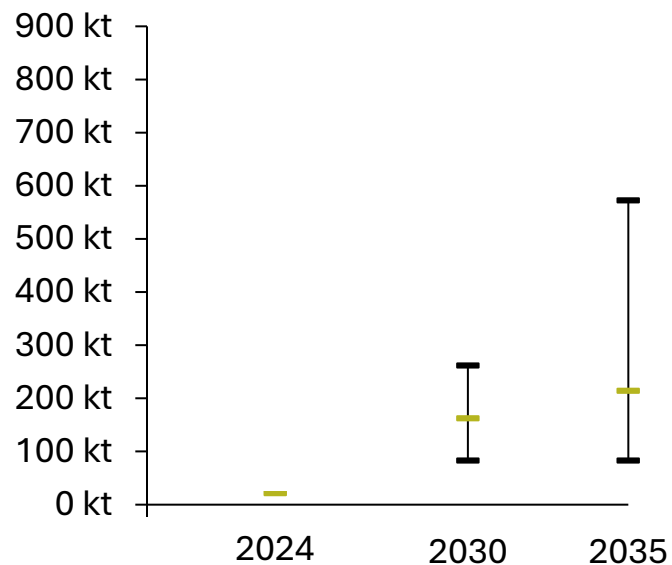
¹⁾ Abschätzung basierend auf angekündigten Anlagen mit definiertem Standort und Daten zum Status der geplanten Anlagen (z.B. in Bau, Genehmigung erteilt/ausstehend, Förderung erteilt, Verzögerungen aufgetreten) aus Pressemitteilungen und Interviews. Kapazitätsangaben sind nicht mit realen Massenflüssen zu verwechseln, da Anlagen insbesondere in der ramp-up-Phase nicht zu 100% ausgelastet sind.

Prognose von Output-Kapazitäten bis 2030/2035

Ausblick 2030 und 2035: Prognose chemischer Recyclinganlagen in Deutschland (gesamt)

Prognose zukünftiger Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen für Post-Consumer Altkunststoffe und -Reifen¹⁾

Gesamte Output-Kapazitäten (in kt)



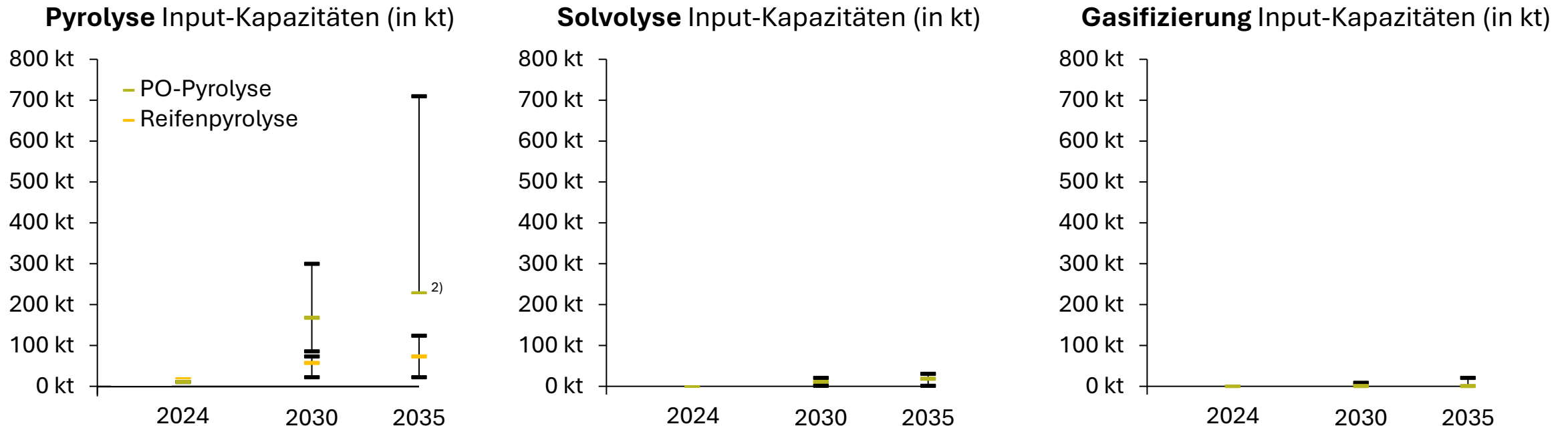
- 2024 beträgt die Output-Kapazität chemischer Recyclinganlagen 21,2 kt und steigt bis 2030 und 2035 stark.
- Die Entwicklung der Output-Mengen variiert je nach Szenario
 - Im **konservativen Szenario** (unterer schwarzer Balken) erreicht die gesamte Output-Kapazität chemischer Recyclinganlagen ~80 kt in 2030 und 2035 (CAGR: 13%)
 - Im **realistischen Szenario** (mittlerer grüner Balken) erreicht die gesamte Output-Kapazität chemischer Recyclinganlagen ~160 kt in 2030 (CAGR 20%) und ~210 kt in 2035 (CAGR: 23%)
 - Im **progressiven Szenario** (oberer schwarzer Balken) erreicht die gesamte Output-Kapazität chemischer Recyclinganlagen ~260 kt in 2030 und ~570 kt in 2035 (CAGR: 35%)

¹⁾ Abschätzung basierend auf angekündigten Anlagen mit definiertem Standort und Daten zum Status der geplanten Anlagen (z.B. in Bau, Genehmigung erteilt/ausstehend, Förderung erteilt, Verzögerungen aufgetreten) aus Pressemitteilungen und Interviews. Kapazitätsangaben sind nicht mit realen Massenflüssen zu verwechseln, da Anlagen insbesondere in der ramp-up-Phase nicht zu 100% ausgelastet sind.

Prognose von Input-Kapazitäten bis 2030/2035 nach Technologie

Ausblick 2030 und 2035: Prognose chemischer Recyclinganlagen in Deutschland (nach Technologie)

Prognose zukünftiger Kapazitäten chemischer Recyclinganlagen für Post-Consumer Altkunststoffe und -Reifen nach Technologie¹⁾



- Für die Pyrolyse von Altkunststoffen und -reifen sind sehr starke Kapazitätszuwächse erwartet, weil viele Unternehmen große Anlagen angekündigt haben und bereits bauen.

- Zuwächse in Solvolyse und Gasifizierung werden gering ausfallen, da Unternehmen sich mit Ankündigen in diesem Bereich sehr zurück halten.

¹⁾ Abschätzung basierend auf angekündigten Anlagen mit definiertem Standort und Daten zum Status der geplanten Anlagen (z.B. in Bau, Genehmigung erteilt/ausstehend, Förderung erteilt, Verzögerungen aufgetreten) aus Pressemitteilungen und Interviews. Kapazitätsangaben sind nicht mit realen Massenflüssen zu verwechseln, da Anlagen insbesondere in der ramp-up-Phase nicht zu 100% ausgelastet sind.

²⁾ Untere Grenze bei 85 kt der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

Einordnung der prognostizierten Kapazitätswüchse im Chemischen Recycling

Ausblick 2030 und 2035: Prognose chemischer Recyclinganlagen in Deutschland

- Die aktuelle Inputkapazität in chemische Recyclinganlagen beträgt ca. 30 kt pro Jahr. Diese Mengen haben damit bisher keinen Einfluss auf die verfügbaren Mengen aus Sortieranlagen für Verpackungen.
- Die bis 2030 bzw. 2035 prognostizierte Input-Kapazität in chemische Recyclinganlagen kann nur mit einer **sehr großen Bandbreite** angegeben werden. Sie wird bis 2030 auf 0,1 bis 0,4 Mt und bis 2035 auf 0,1 bis 0,8 Mt abgeschätzt. Da möglicherweise nicht alle angekündigten Anlagen gebaut werden bzw. nicht in der genannten Nennkapazität, gehen wir eher von **mittleren bis geringen Mengenzuwüchsen** aus. Insbesondere die obere Prognose für 2035 enthält eine Anlage, die ~50% der Gesamtkapazität auf sich vereinigen würde, was hinsichtlich einer Kapazitätsaussage die hohe Unsicherheit belegt.
- Auch bei einem mittleren Zuwachs stellt sich die Frage aus welchen Abfallströmen die für das chemische Recycling benötigten Mengen kommen werden. Aktuell greifen chemische Recyclinganlagen hauptsächlich auf **Altreifen** und **Material aus der LVP-Sortierung** zurück, die in ihrem Volumen allerdings begrenzt ist. Fraktionen, die derzeit **vornehmlich nicht mechanisch recycelt** werden, sind **Mischkunststoffe** (DSD350) und **Sortierreste**, wobei insbesondere letztere geringe Qualitäten haben (hoher Aschegehalt, geringer Kunststoff- und noch geringerer Polyolefingehalt) und deshalb nicht ohne weiteres für das chemische Recycling zur Verfügung stehen. Mischkunststoffe (DSD350) enthalten ~60% Polyolefine und können entweder direkt oder nach nochmaliger Sortierung (wie z.B. von Interzero in Walldürn angestrebt) in der Pyrolyse eingesetzt werden.
- Aktuell fallen in Deutschland pro Jahr **0,5 Mt DSD350** an, die ca. 0,3 Mt Polyolefine beinhalten, wodurch der Bedarf der prognostizierten PO-Pyrolyseanlagen von 0,1 – 0,7 Mt im Jahr 2035 nur im konservativ ermittelten Szenario gedeckt werden kann.

Abkürzungsverzeichnis (1/2)

Definitionen/Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
%	Prozent
°C	Grad Celsius
a	Jahr
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
BASF	Badische Anilin- und Sodafabrik
BP	BP p.l.c. (oil and gas company)
C ₅₊	Kohlenwasserstoffe mit mindestens 5 Kohlenstoffeinheiten außer Toluol, Benzol und Heizöl
CAGR	durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate)
CR	Chemisches Recycling
C _x	Kohlenwasserstoffe mit x Kohlenstoffatomen
DSD	Duales System Deutschland

Abkürzung	Bedeutung
EBS	Ersatzbrennstoff
EPS	Expandiertes Polystyrol
etc.	et cetera (und so weiter)
Gew.%	Gewichtsprozent
ggfs.	gegebenenfalls
HDPE	Polyethylen hoher Dichte
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
kt	Kilotonne(n)
LDPE	Polyethylen niedriger Dichte
LVP	Leichtverpackung(en)
MJ/kg	Megajoule pro Kilogramm
mm	Millimeter
MR	mechanisches Recycling

Abkürzungsverzeichnis (2/2)

Definitionen/Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Mt	Megatonne(n)
NRW	Nordrheinwestfalen
OMV	Österreichische Mineralölverwaltung Aktiengesellschaft
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PLA	Polylactid-Kunststoffe
PMMA	Polymethylmethacrylat
PO	Polyolefine
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol

Abkürzung	Bedeutung
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
SNG	„Synthetic Natural Gas“, siehe Glossar
tech	Technologie
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
vide infra	siehe unten
vide supra	siehe oben
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil