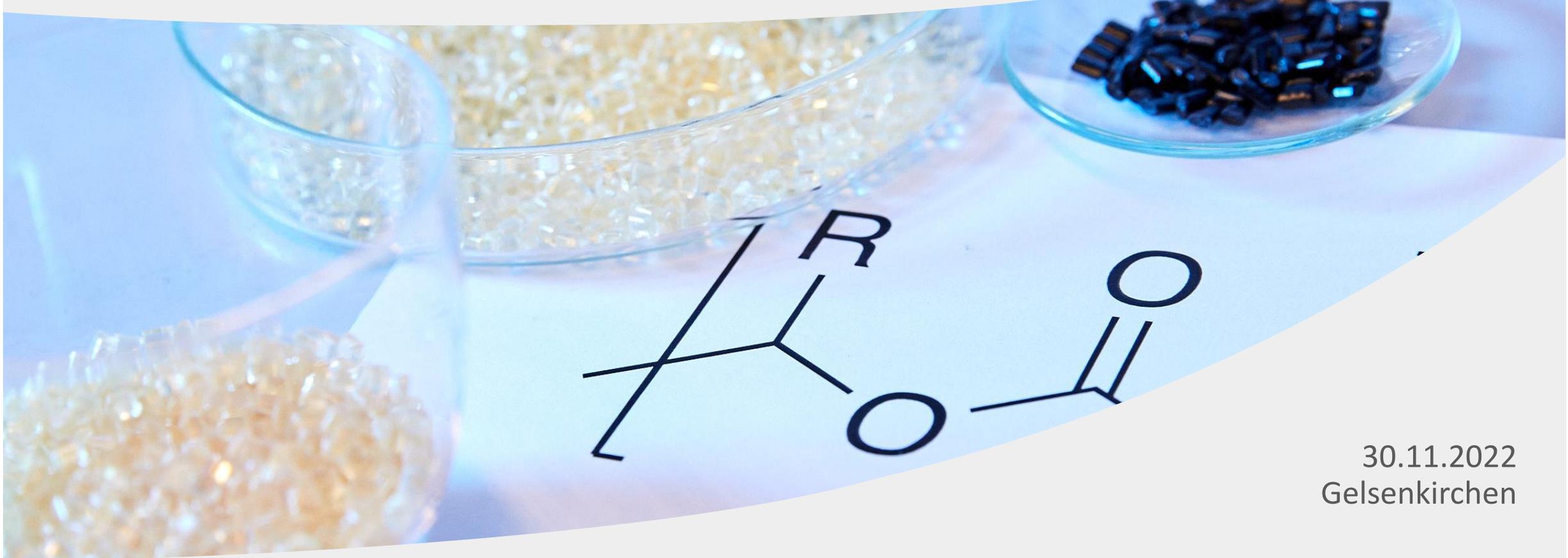


NRW.Zirkulär Abschlussstreffen



Projektergebnisse & Diskussionsrunde



30.11.2022
Gelsenkirchen

Initiative IN4climate.NRW



- **Think Tank** für die Industrietransformation
- Arbeitet an **Entwicklungspfaden für die NRW-Grundstoffindustrien**
- auf dem Weg in ein **klimaneutrales 2045**
- bei gleichzeitigem weitestmöglichem **Erhalt der NRW-Industrie.**
- Organisiert die **gemeinsame Arbeit** von Industrie, Wissenschaft und Landespolitik
- **Vernetzt, diskutiert, kommentiert und publiziert**



Entstehung NRW.Zirkulär



Ausgang: 2020

- Projektidee aus AG Circular Economy
- Diskussionspapier zum Thema Chemisches Recycling
- Ergebnis: Pyrolyse vielversprechende Technologie für zirkuläre Kunststoffwirtschaft

Projektstart: 2022

- Umsetzungsstudie zu zirkulären Kunststoffen durch Pyrolyseverfahren in NRW
- Durchgeführt von Wuppertal Institut, Fraunhofer UMSICHT und Carbon Minds
- Förderung durch MWIKE

Ziel

- Technische Analyse der Pyrolyseverfahren
- Ökonomische und ökologische Bewertung der Kunststoffpyrolyse
- Vorbereitung für Pyrolyse-Pilotanlage in NRW

Agenda



- 10:00 **Begrüßung und Motivation**
Anja Fink, IN4climate.NRW & Raoul Meys, Carbon Minds
- 10:15 **Interaktive Vorstellung der Projektergebnisse**
- Ökobilanzielle Bewertung (Ronja Hermanns, Carbon Minds)
 - Technischer Prozess (Axel Kraft, Fraunhofer UMSICHT)
- 11:15 Kaffeepause
- 11:30
- Übergeordnete Kostenanalyse (Sören Steger, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)
 - Verfügbarkeiten für Kunststoffabfälle (Sören Steger, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)
- 12:30 **Wrap-Up der Ergebnisse**
Raoul Meys, Carbon Minds
- 12:35 Mittagspause
- 13:35 **Nächste Schritte und Überleitung zur Diskussion**
Raoul Meys, Carbon Minds & Samir Khayat, IN4climate.NRW
- 13:50 **Diskussionsrunde**
- 15:00 **Schlussworte**

Projektübersicht und Partner



Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen



Übergeordnetes Ziel ist die Evaluation eines größeren Folgeprojektes zum Bau einer Pilotanlage/Industrieanlage in NRW



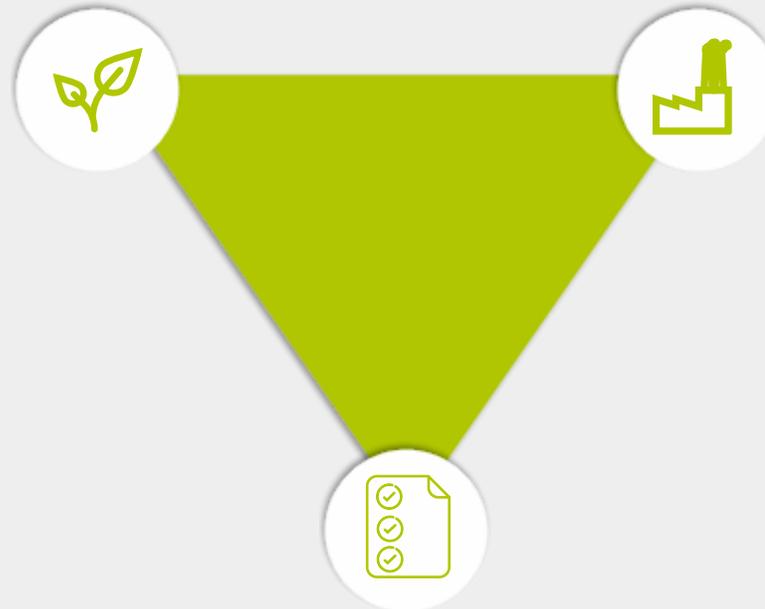
Teilgebiete des Projektes

Ökobilanzierung


carbonminds

Raoul Meys

Ronja Hermanns



Technische Evaluation

 **Fraunhofer**
UMSICHT

Axel Kraft

Christoph Glasner

Ökonomische und
infrastrukturelle Evaluation

 **Wuppertal
Institut**

Sören Steger

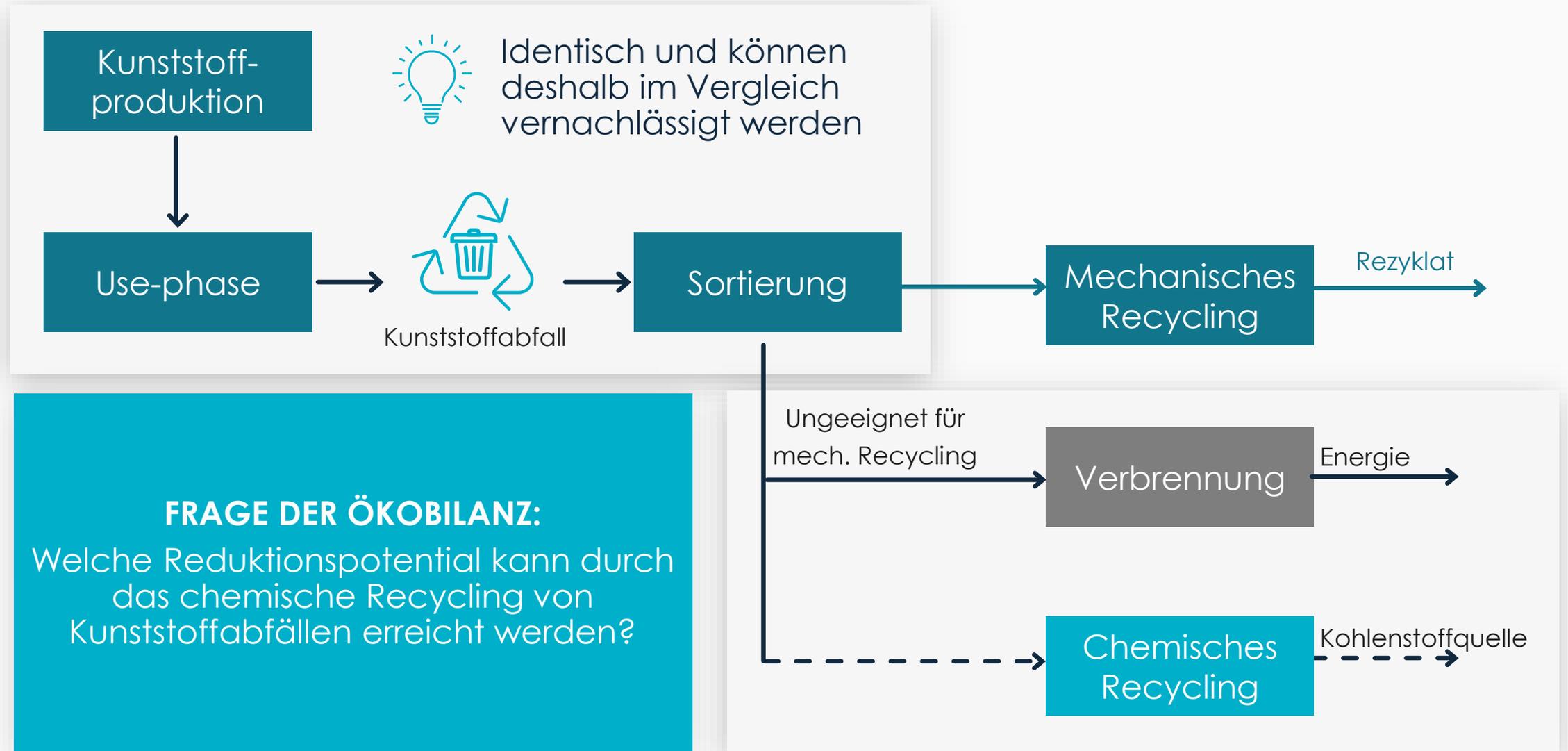
Silvia Proff

Ergebnisse der Ökobilanz Carbon Minds

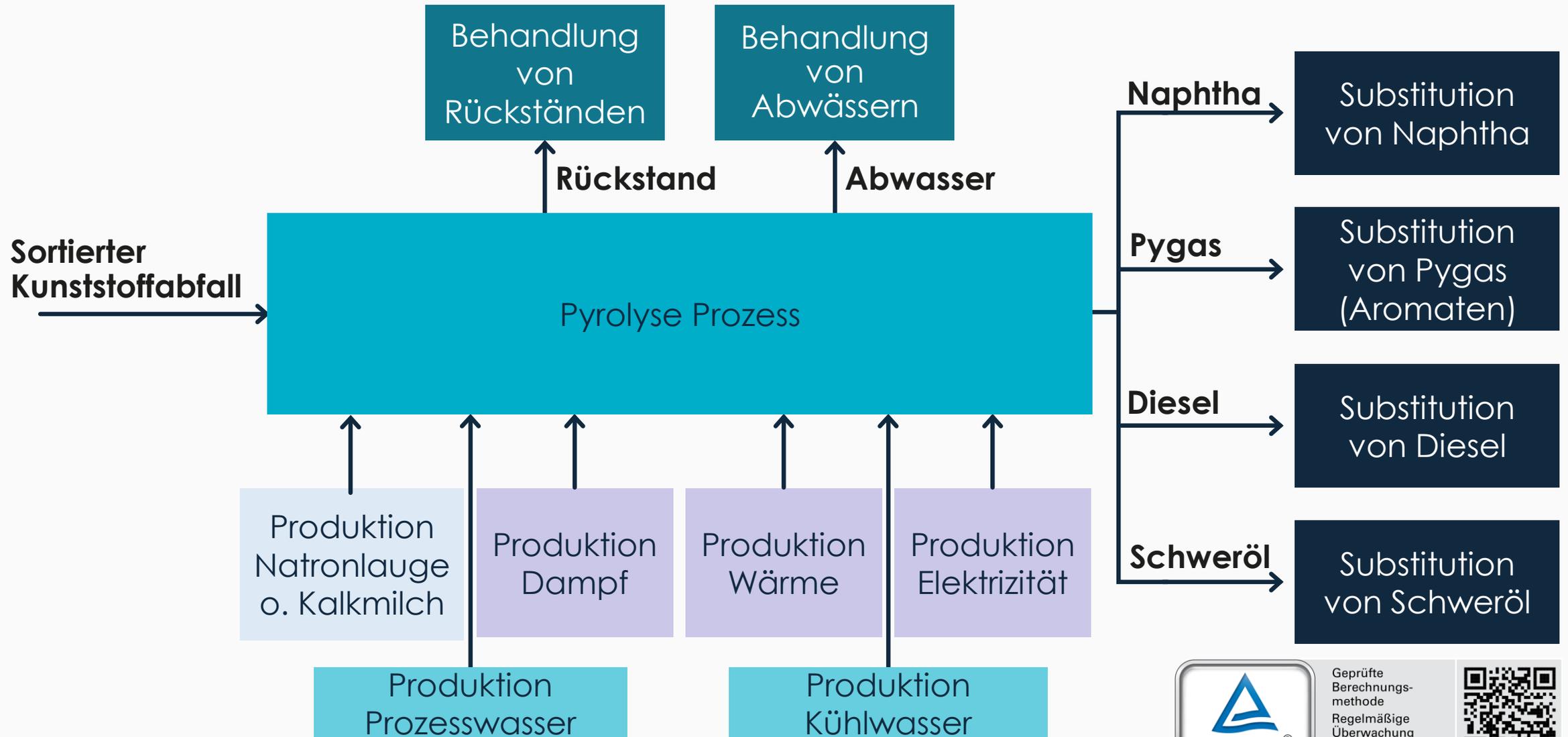
Ronja Hermanns



Bestimmung Reduktionspotential durch chemisches Recycling



Erhöhung der Transparenz durch detaillierte Daten für den Pyrolyseprozess



*Das TÜVRheinland Review bezieht sich ausschließlich auf die Methodik zur Datenerstellung.

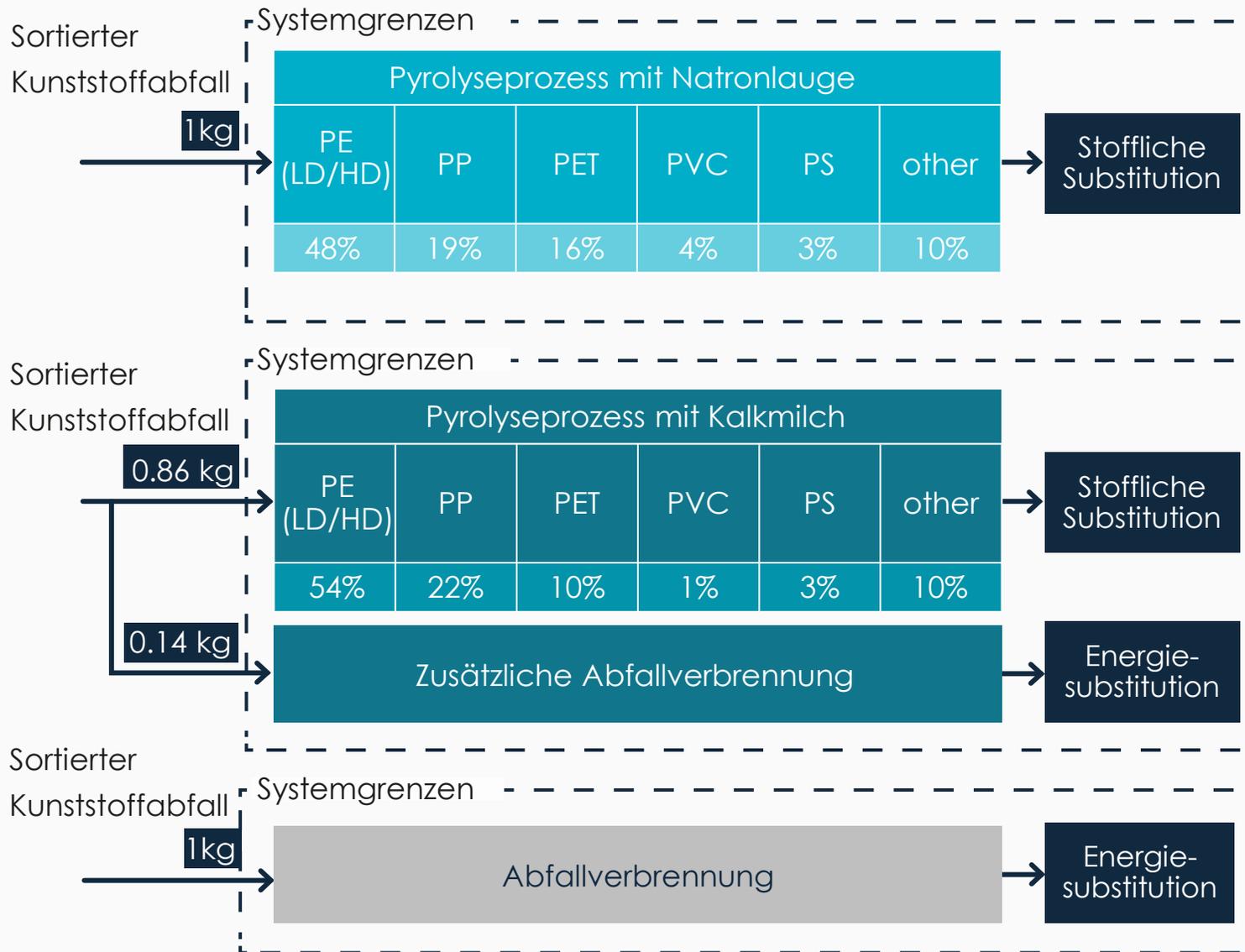


Geprüfte
Berechnungs-
methode
Regelmäßige
Überwachung



www.tuv.com
ID 000081021

Funktionelle Einheit, Produktionsprozess und Systemgrenzen



Funktionelle Einheit:

1 kg sortierter gemischter Kunststoffabfälle

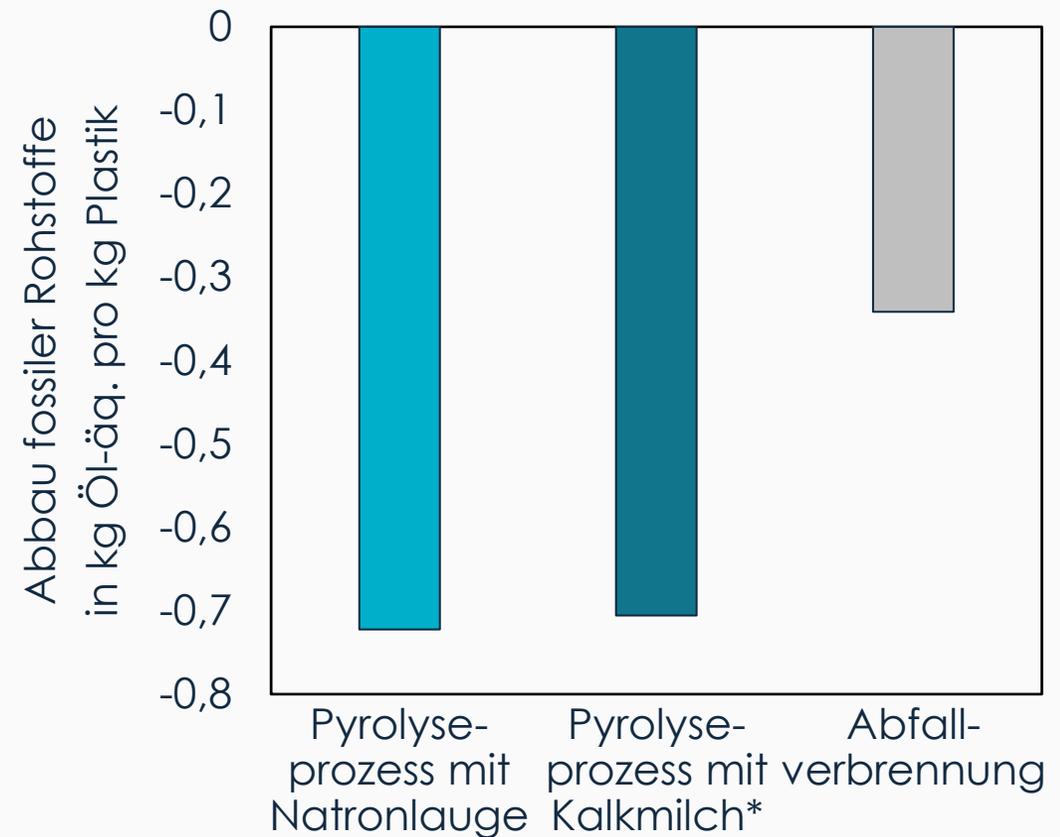
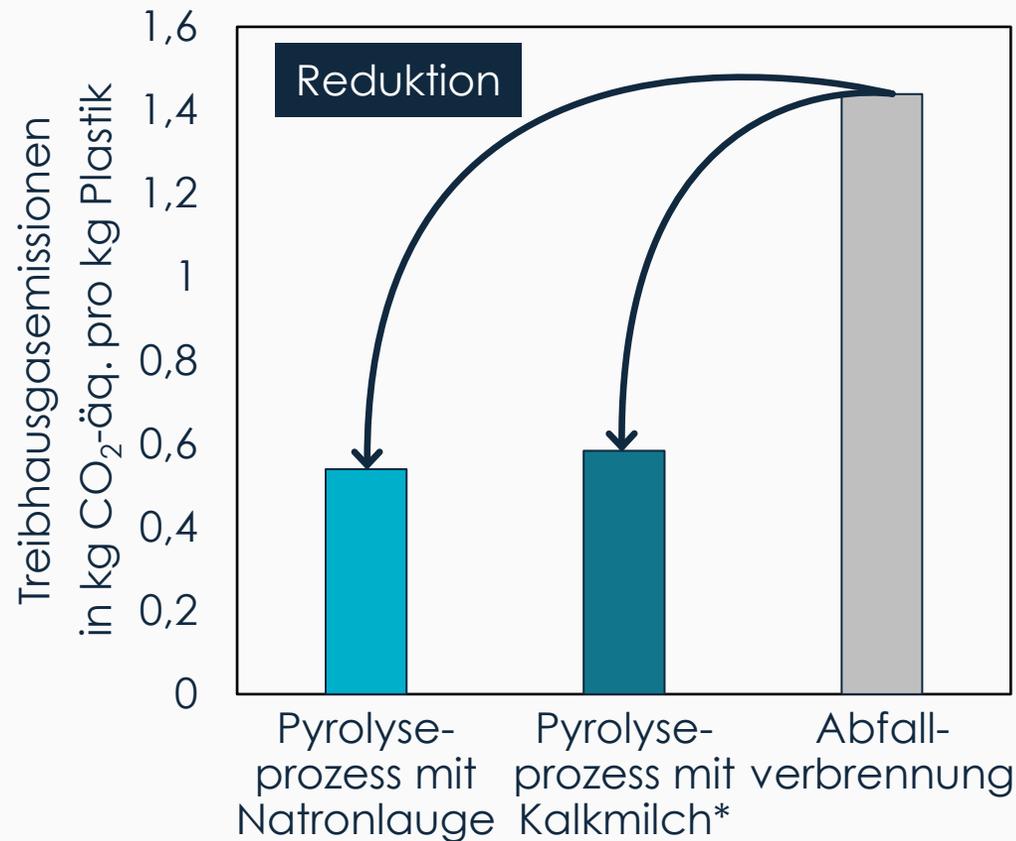
Produktionssysteme:

Natronlaugeprozess
Kalkmilchprozess
Verbrennung zur Energiegewinnung

Systemgrenzen:

“Gate-to-grave”

Vergleich der Pyrolyseprozesse mit der Verbrennung zur Energiegewinnung

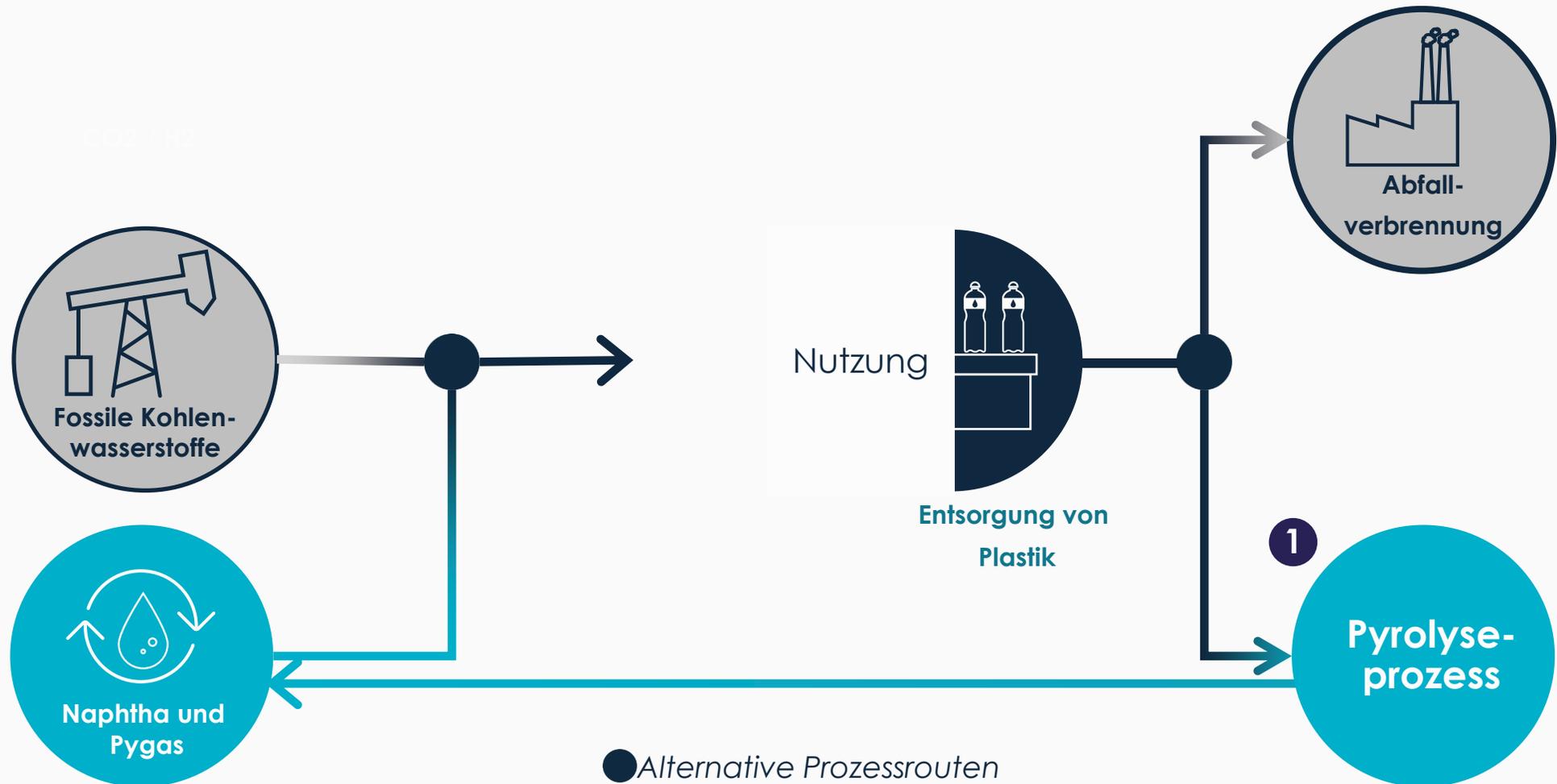


Im Vergleich zur Abfallverbrennung können die Pyrolyseprozesse das Treibhausgasemissionen (**GWP**) **mehr als halbieren** und den Abbau fossiler Rohstoffe (**FDP**) **um das 2,3 fache senken**.

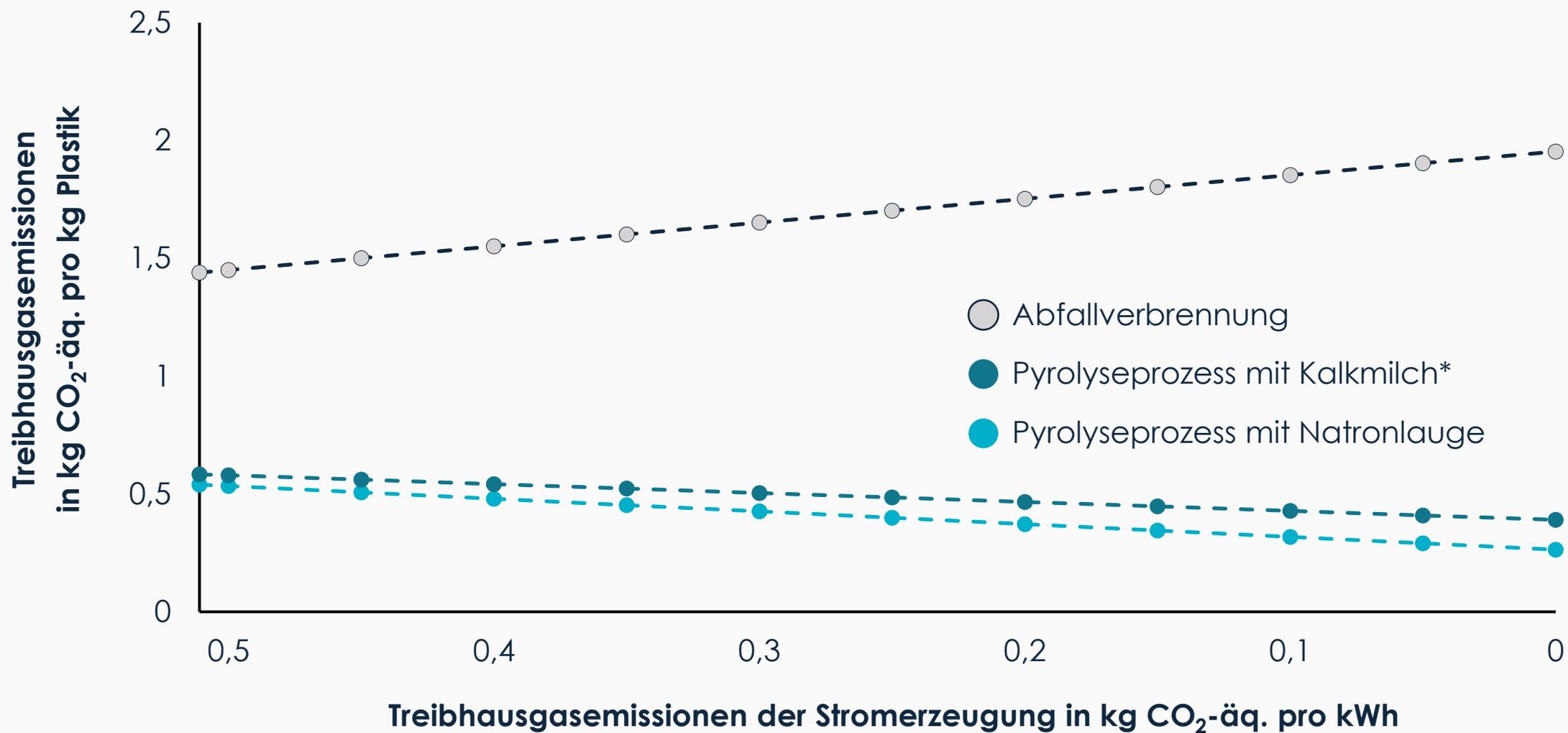
*die LCA-Ergebnisse des Pyrolyseprozesses mit Kalkmilch berücksichtigen die Auswirkungen der zusätzlichen Verbrennung.

Die systematische Integration von Pyrolyse Prozessen in der Zukunft

2 Dekarbonisierung des Stromsektors in der Chemieindustrie



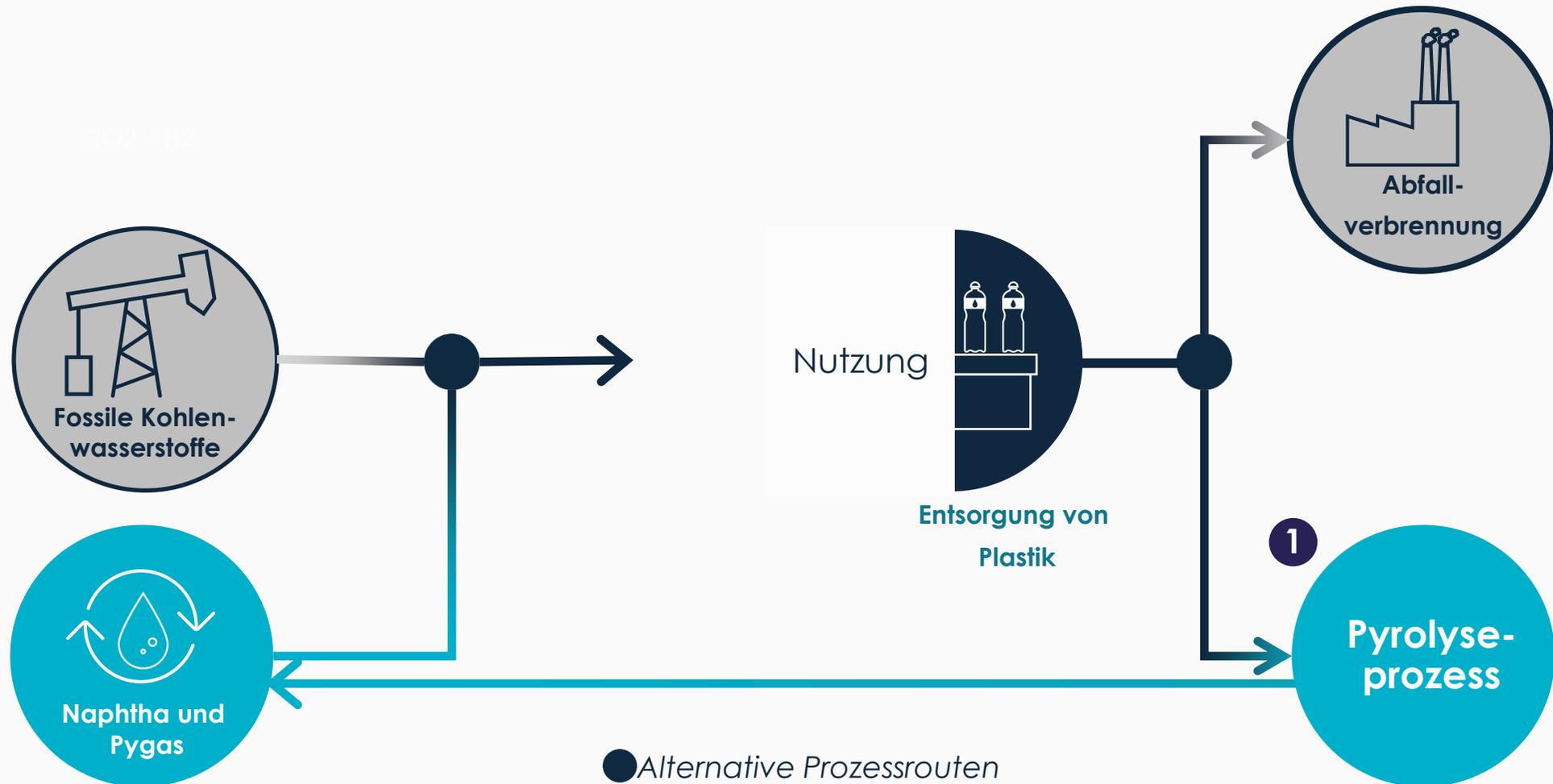
Einfluss der Dekarbonisierung des Stromsektors



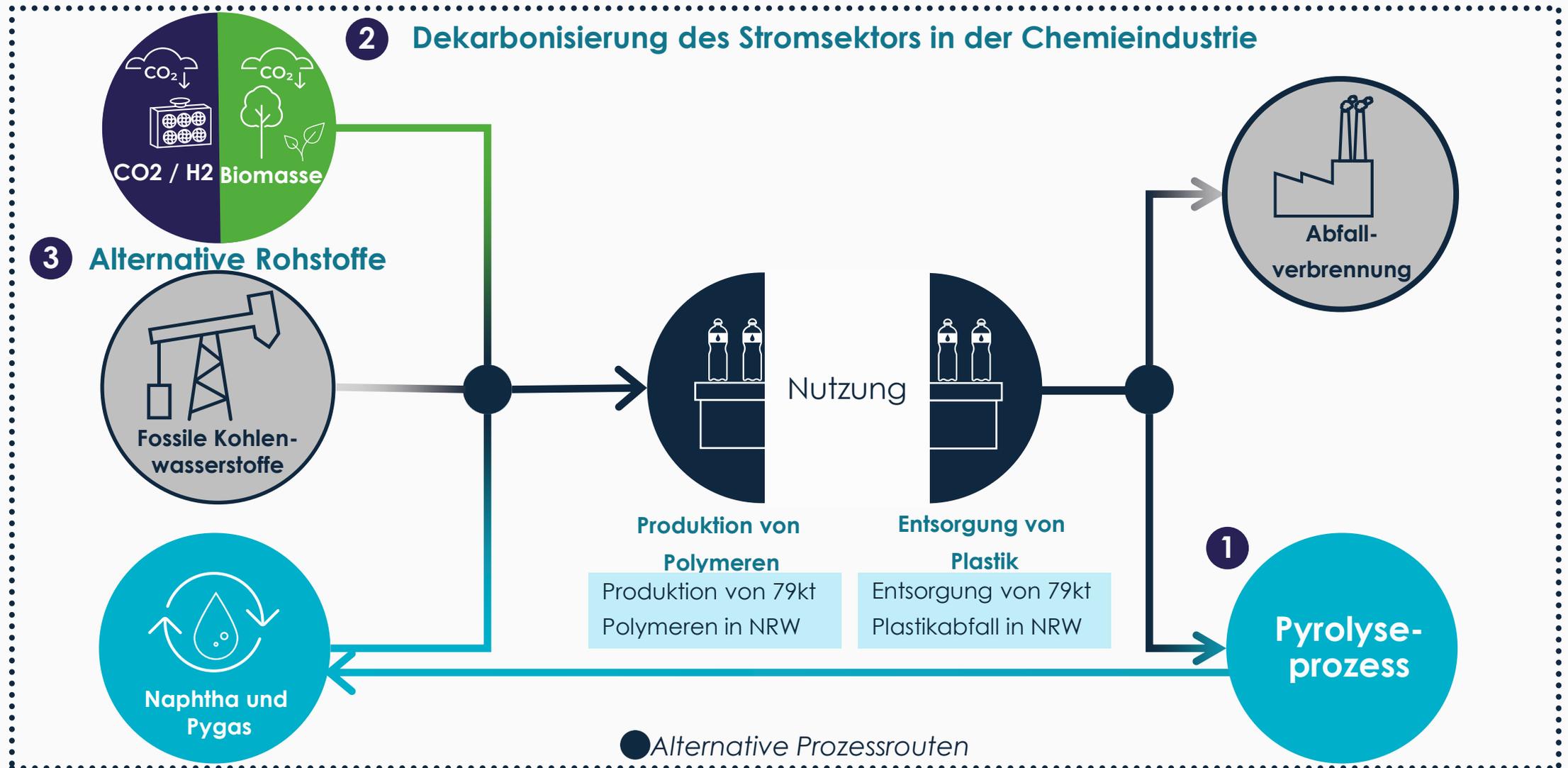
*die LCA-Ergebnisse des Pyrolyseprozesses mit Kalkmilch berücksichtigen die Auswirkungen der zusätzlichen Verbrennung.

Die systematische Integration von Pyrolyse Prozessen in der Zukunft

2 Dekarbonisierung des Stromsektors in der Chemieindustrie



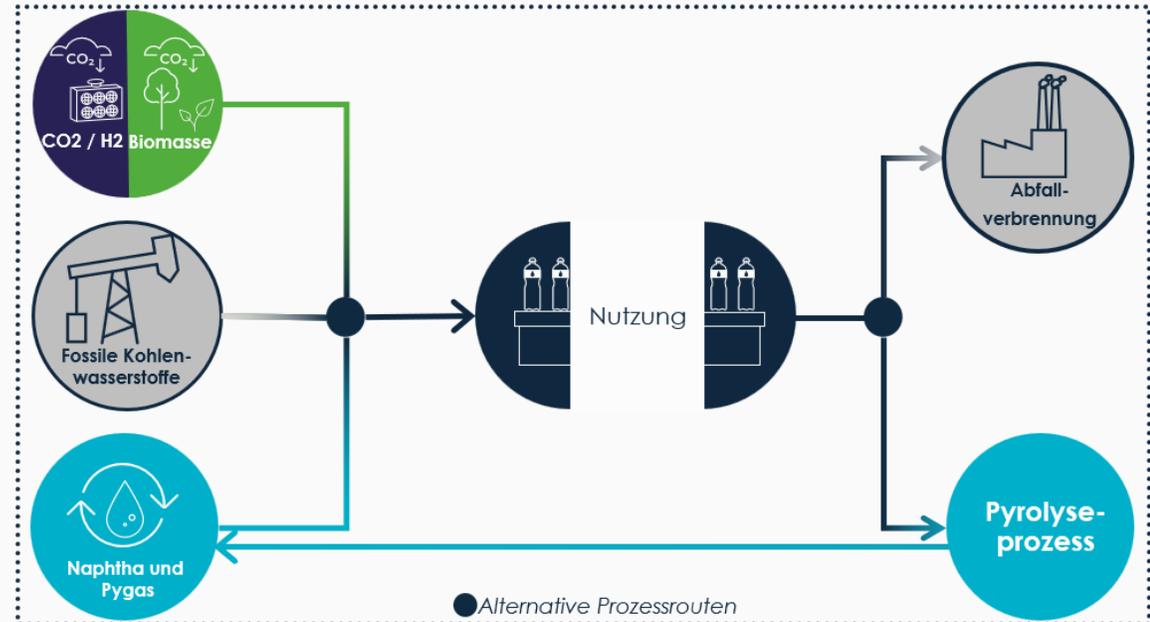
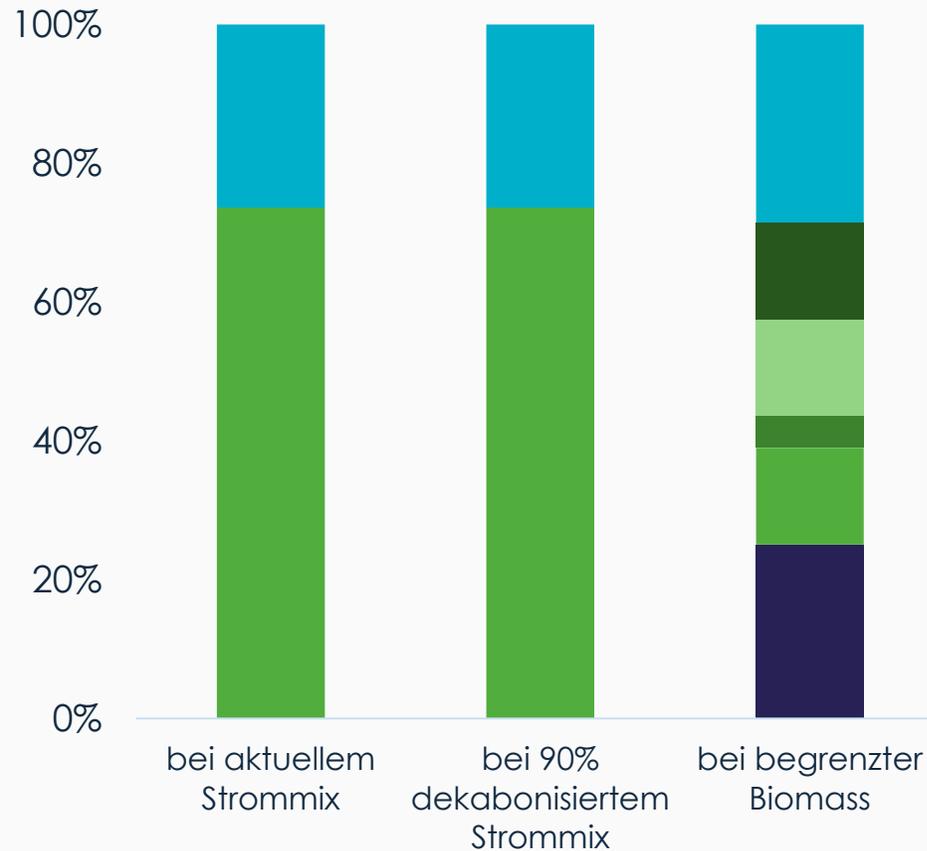
Die systematische Integration von Pyrolyse Prozessen in der Zukunft



Die Methodik und alternativen Datensätze beruhen auf dem Science Paper „Achieving net-zero greenhouse gas emission plastics by a circular carbon economy“ von Meys et al. (2021). Die Arbeiten wurden im letzten Bericht des Weltklimarates aufgegriffen.

Nachhaltige Produktion und Entsorgung durch Pyrolyseprozesse in NRW

Optimale Zusammensetzung des Kohlenstoffbedarfs bei Treibhausgasminimierung zur Produktion von Polymeren bei Entsorgung dieses Plastikabfalls.

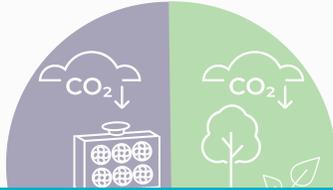


- 1) Das Pyrolyse Potential wird vollständig ausgenutzt und der zusätzliche Kohlenstoffbedarf wird über Biomasse abgedeckt.
- 2) Keine fossil-basierten und keine CO₂/H₂-basierten Polymere werden genutzt.
- 3) Bei begrenzter Biomasse wird der restliche Kohlenstoffbedarf durch die Nutzung von CO₂/H₂ (CCU) bereitgestellt.

Pyrolyse bietet sowohl gegenüber der Biomasse als auch gegenüber der Nutzung von CO₂/H₂ (CCU) ökologische Vorteile.

Die systematische Integration von Pyrolyse Prozessen in der Zukunft

2 Dekarbonisierung des Stromsektors in der Chemieindustrie



Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass die Pyrolyse im Vergleich zur Verbrennung **eindeutige Reduzierungen der Treibhausgasemissionen und im fossilen Rohstoffverbrauch** ergeben. Diese ökologischen Vorteile verstärken sich weiter durch die Dekarbonisierung des Stromsektors und bestehen auch beim Einsatz von alternativen Kohlenstoffquellen aus Biomasse und CO_2/H_2 .



Pyrolyse-
prozess

● Alternative Prozessrouten

Technischer Prozess mit Investitionskosten

Fraunhofer Umsicht

Axel Kraft



Methodik und Randbedingungen: Auswahl prototypischer Prozess

- Einbindung einer Pyrolyse in bestehende Chemie-Infrastruktur (Verwendung im Steamcracker)
- Betrachtung BTEX-(Aromaten-)Extraktion als Option zur Beimischung nach dem Steamcracker
- Betrachtung von Prozessadditiven (Säurefänger) ohne Betrachtung von Additiven aus MKS
- Betrachtung des Downstreamprocessings, aber ohne Raffinerieeinbindung für Kraftstoffe
- Auswertung von Literatur und Patenten mit „sinnvoller Info“ zu Spezifikationen des MKS, überschlägigen Massenbilanzen, Verweilzeitbereiche, Standardkonversions- und Trenntechnologie, Daten zu Intermediaten (Naphtha, Diesel, BTEX-Aromaten), Fest-/Störstoffe
- Zwei Varianten eines prototypischen Prozesses zur Kostenschätzung wurden ausgewählt
- Zur Einengung der technischen Komplexität wurde das Feedback des Begleitkreises eingeholt

- Nicht betrachtete Prozesse und nicht betrachtete Investitionskosten:
 - Auf- /Abtrennung von Intermediaten mittels Vergasung, Hydrierung, katalytischen Schritten
 - Prozesssteuerung (Pyrolyse, Intermediat-, Feedstock-Analyse)
 - Sortierung von MKS, Zerkleinerung, Entsorgung von Reststoffen (existiert bzw. ist OPEX)
 - Prozesse und Technologien, die keinen Bezug zu den vorhandenen LCA-Daten hatten

Schätzung der Investitionskosten

– Systematik gemäß AACE*)

Typ & Zweck Kostenschätzung	Genauigkeitskorridor [%]	TRL	TRL-Bedeutung
Detailed Estimate	Detailliert ± 5	9	Systemcheck
Definitive Estimate	Definitiv ± 15	8	Ausschreibung, Komplettierung
Preliminary Estimate	Vorläufig ± 20	7	Demonstration, Budgetierung
Study Estimate (“STEP-COUNTING”)	Untersuchung ± 30	5 – 6	Validierung, Pilotierung
Order of magnitude Estimate	Größenordnung ± 50	1– 4	Konzept, Screening

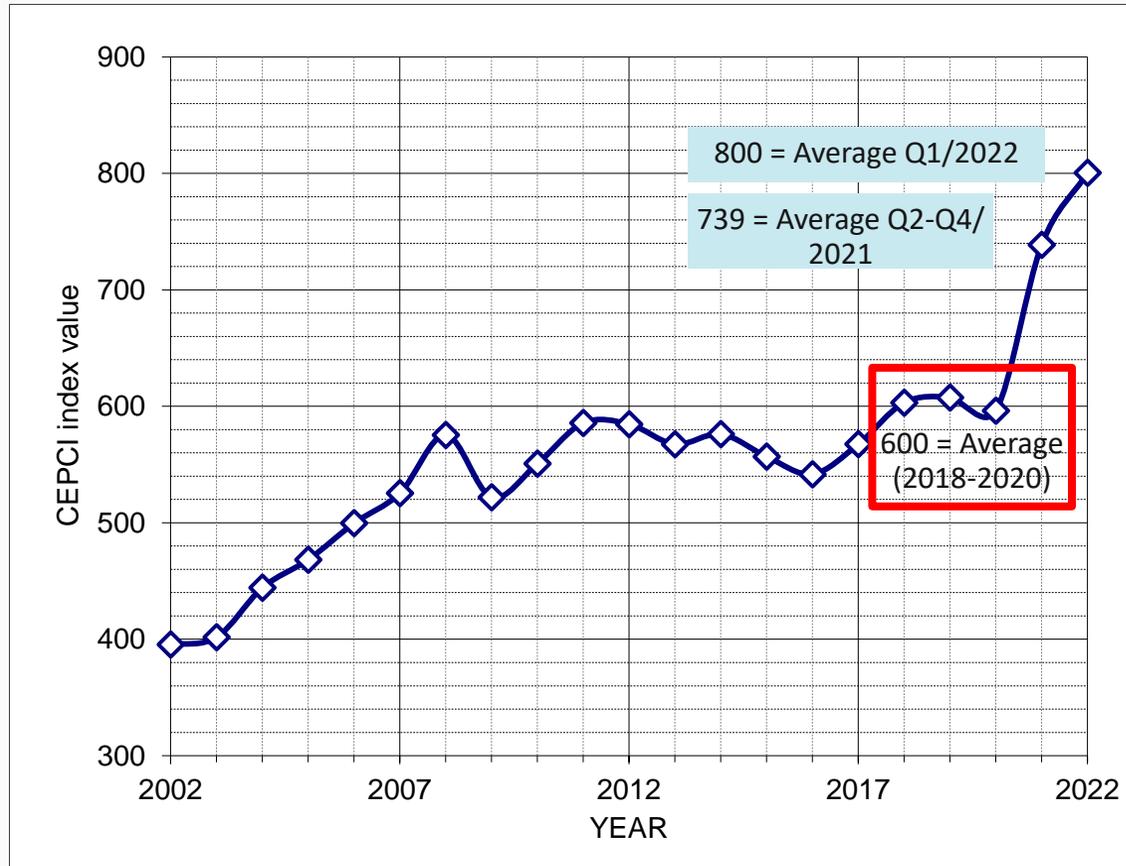
Für ein „Study Estimate“ werden (idealerweise) benötigt:

- **Standort der Anlage** (ungefähr, sowie die Region oder das Land)
- **Auslegungsparameter**, wie z.B. Kapazitätsauslegung, Produkthanforderungen, u.ä.
- **Grobe Skizze des Verfahrensbildes**
- **Vorläufige Materialspezifikationen** für die Ausrüstungsteile der Anlage
- **Grobe Schätzungen des Versorgungsbedarfs** (z. B. Strom, Dampf, Wasser und Abfallentsorgung)
- **Menge und Kosten der im Prozess verbrauchten Materialien** (z. B. Wasser, Reagenzien und Katalysator)
- **Wirtschaftliche Parameter** (z. B. jährlicher Zinssatz, Lebensdauer der Anlage, Kostenjahr und Steuern)

*) AACE (International Association for the Advancement of Cost Engineering)

<https://web.aacei.org/about-aace>

CEPCI – Chemical Engineering Plant Cost Index



CEPCI

Chemical Engineering magazine publishes the Chemical Engineering Plant Cost Index, which is widely used to quickly evaluate equipment and plant costs for the chemical and process industries. As of 2002, the index consisted of the weighted average of 41 Producer Price Indices (industry and commodity indices) and 12 labor cost indices. Major categories of the CEPCI and their weighting - Bureau of Labor Statistics - included:

Cost categories as of 2002	%
Heat exchangers and tanks	17,1%
Process machinery	6,5%
Pipes, valves, fittings	9,6%
Process instruments	5,3%
Pumps and compressors	3,2%
Electrical equipment	3,5%
Structural supports and misc.	5,3%
Construction labor	29,0%
Engineering and supervision	15,8%
Buildings (materials and contractors)	4,6%
Total	99,9%

$$ISBL = k_T \sum_{1}^N (1.3)^{CS} Q^{0.39}$$

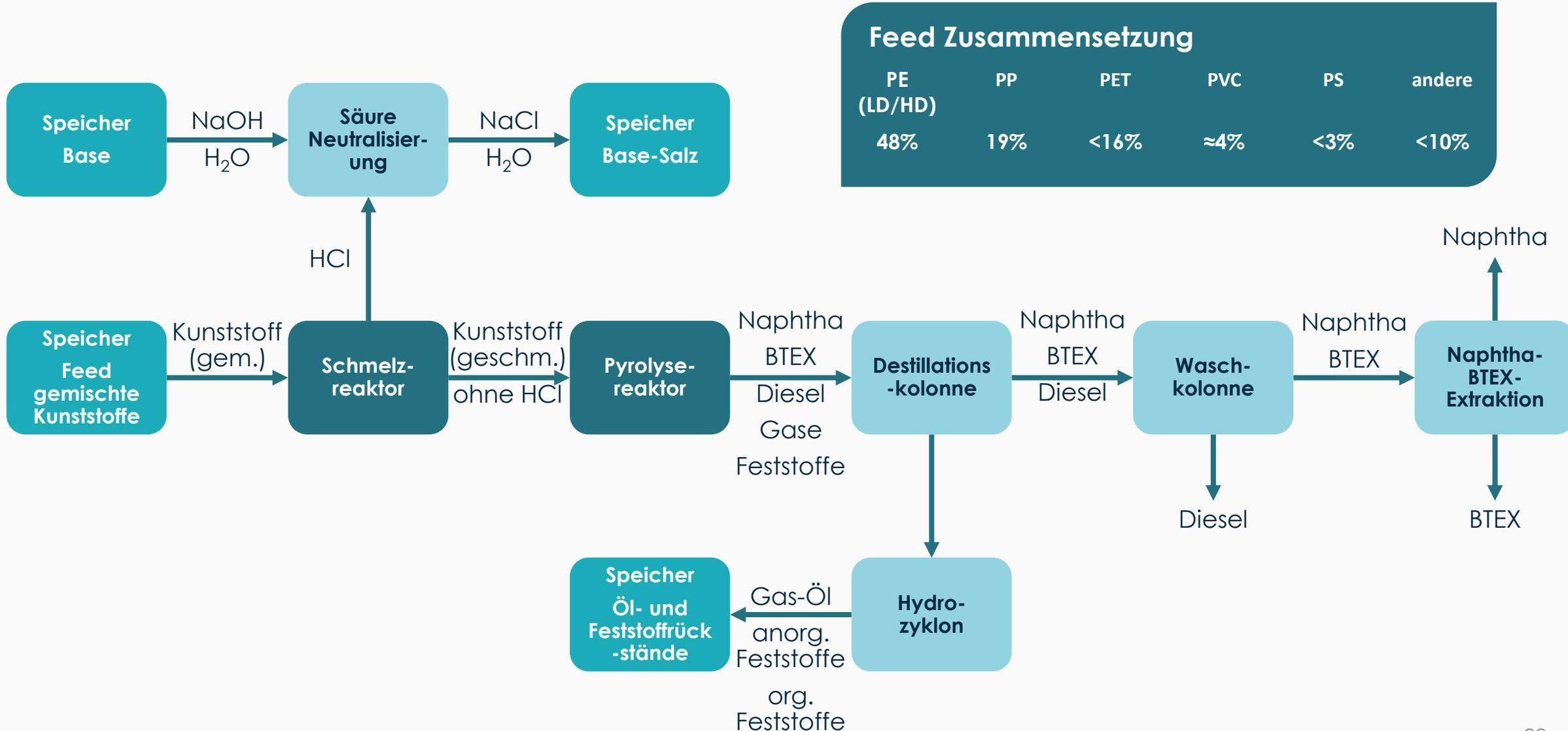
(“STEP-COUNTING”)

$k_T = \text{constant} = f(\text{year, CEPCI “Chemical Engineering Plant Cost Index”})$

Source: <https://www.chemengonline.com/cepci-annual-average-value-rises-precipitously-from-last-year/>

“CEPCI Annual Average Value Rises Precipitously from Last Year” By Scott Jenkins, Chemical Engineering magazine | March 23, 2022

Grundfließbild eines integrierten Pyrolyse-Öl-Prozesses mit Natronlauge

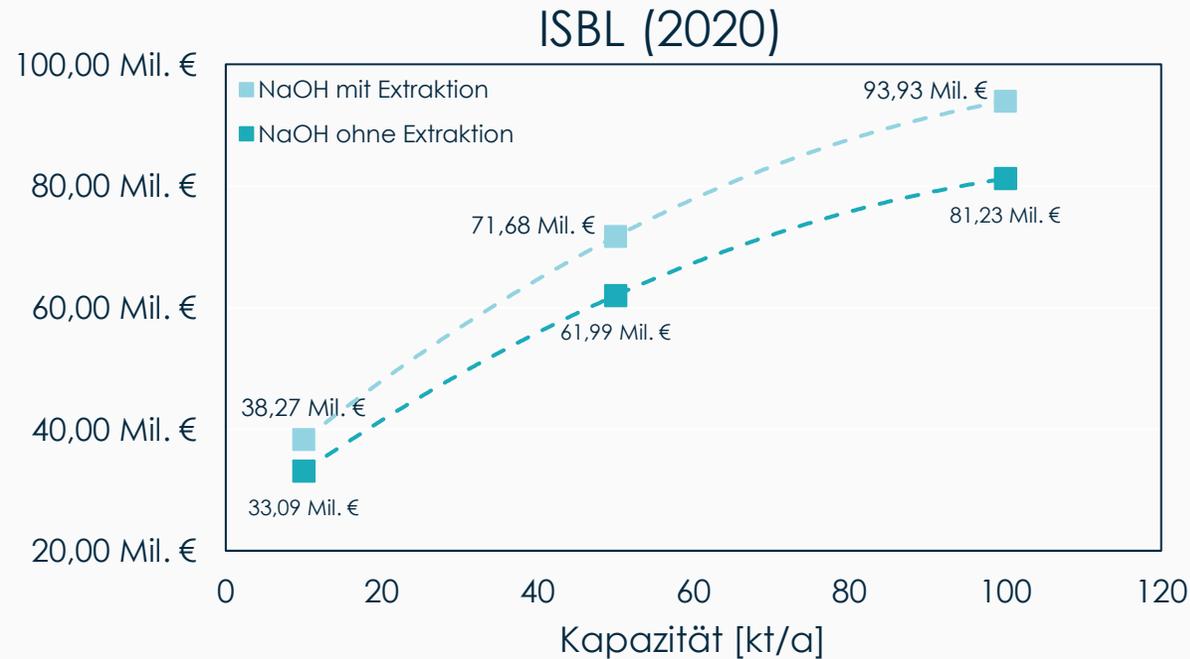


Naphtha= C1-C7, Diesel= C7-C18, BTEX= Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol

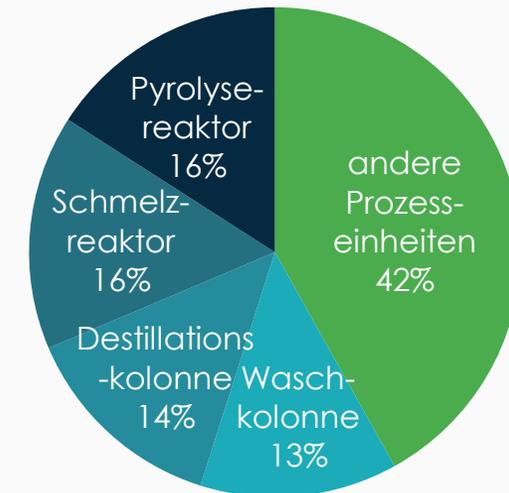
ISBL Schätzung für Natronlauge

Das ISBL (Inside Battery Limit) einer Anlage steht im Zusammenhang mit ihrer Kapazität und einem Komplexitätsindex der die Komplexität der Prozesse und der Chemie durch eine Beziehung in Form der folgenden Gleichung ausdrückt:

$$ISBL = k_T \sum_1^N (1.3)^{CS} Q^{0.39}$$



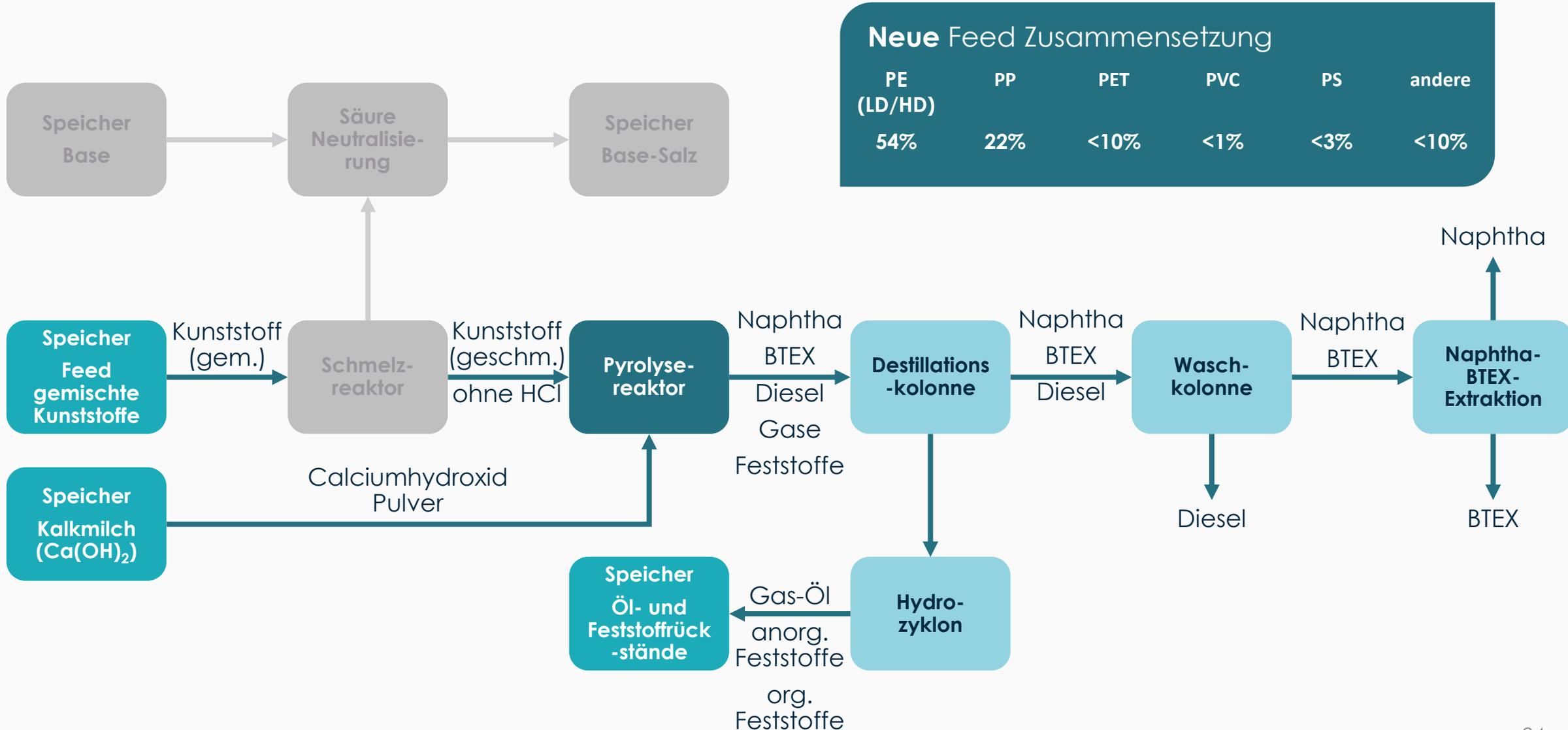
Kostenanteile ISBL nach Prozesseinheit (NaOH mit Extraktion)



- Je größer die Anlage, desto geringer sind die spezifischen Kosten pro kt.
- Verbesserungspotential zur Senkung der Investitionskosten.

Q = Kapazität in Kilotonnen pro Jahr, CS = Komplexitätsbewertung pro Prozessschritt = f (Temperatur, Druck, Flüsse, Werkstoffe für Konstruktion und Spezialbedingungen), N = Anzahl signifikanter Prozessschritte (z.B., Filtration, Reaktion, Destillation, ...), k_T (konstant) = f (Jahr, CEPCI = aktueller Kostenindex für Chemieanlagenbau), Gültig für Kapazitäten von 0,3 - 250 kt/a

Grundfließbild eines integrierten Pyrolyse-Öl-Prozesses mit Kalkmilch

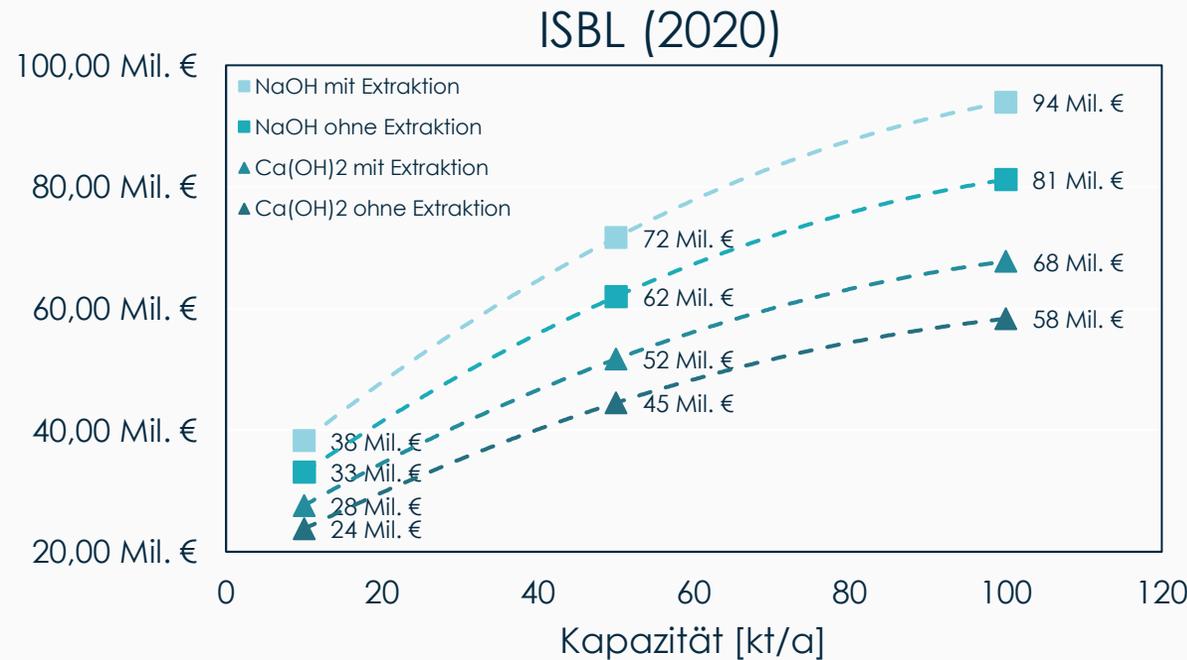


Naphtha= C1-C7, Diesel= C7-C18, BTEX = Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol

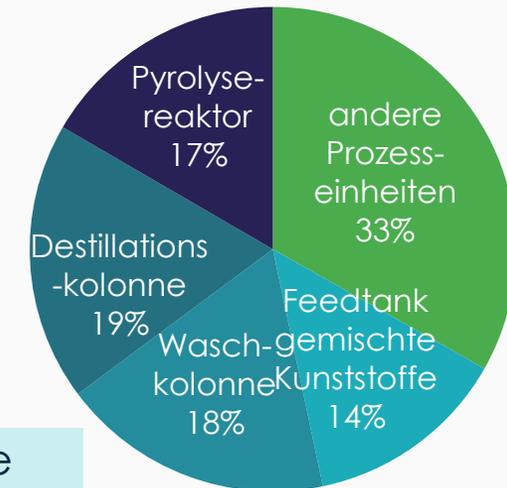
ISBL Schätzung für Kalkmilch

Das ISBL (Inside Battery Limit) einer Anlage steht im Zusammenhang mit ihrer Kapazität und einem Komplexitätsindex der die Komplexität der Prozesse und der Chemie durch eine Beziehung in Form der folgenden Gleichung ausdrückt:

$$ISBL = k_T \sum_1^N (1.3)^{CS} Q^{0.39}$$



Kostenanteile ISBL nach Prozesseinheit (Ca(OH)2 mit Extraktion)



- Die Verwendung von Kalkmilch anstelle von Natronlauge ermöglicht eine erhebliche Prozessreduzierung.
- Durch Kalkmilch lassen sich die Kosten für den Pyrolyse-reaktor senken.

Q = Kapazität in Kilotonnen pro Jahr, CS = Komplexitätsbewertung pro Prozessschritt = f (Temperatur, Druck, Flüsse, Werkstoffe für Konstruktion und Spezialbedingungen), N = Anzahl signifikanter Prozessschritte (z.B., Filtration, Reaktion, Destillation, ...), k_T (konstant) = f (Jahr, CEPCI = aktueller Kostenindex für Chemieanlagenbau), Gültig für Kapazitäten von 0,3 - 250 kt/a

Output prototypische Prozessanalyse für wirtschaftliche Bewertung

- Eine reinerer Mischkunststoff, betreffend PET und PVC, resultiert in geringeren Investitionskosten (ISBL) als auch in einem einfacheren Prozess.
- Die geringeren Investitionskosten erklären sich dadurch, dass keine Spezialstähle und insgesamt weniger Prozessschritte benötigt werden.
- Im nächsten Schritt muss für die prototypischen Prozesses eine wirtschaftliche Bewertung herangezogen werden.

Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsberechnung

30.11.2022

Sören Steger / Silvia Proff

Zusammenfassung des ersten Teils

Ökobilanzierung

- Chemisches Recycling ist gegenüber der energetischen Verwertung ökobilanziell in allen untersuchten Varianten vorteilhafter.

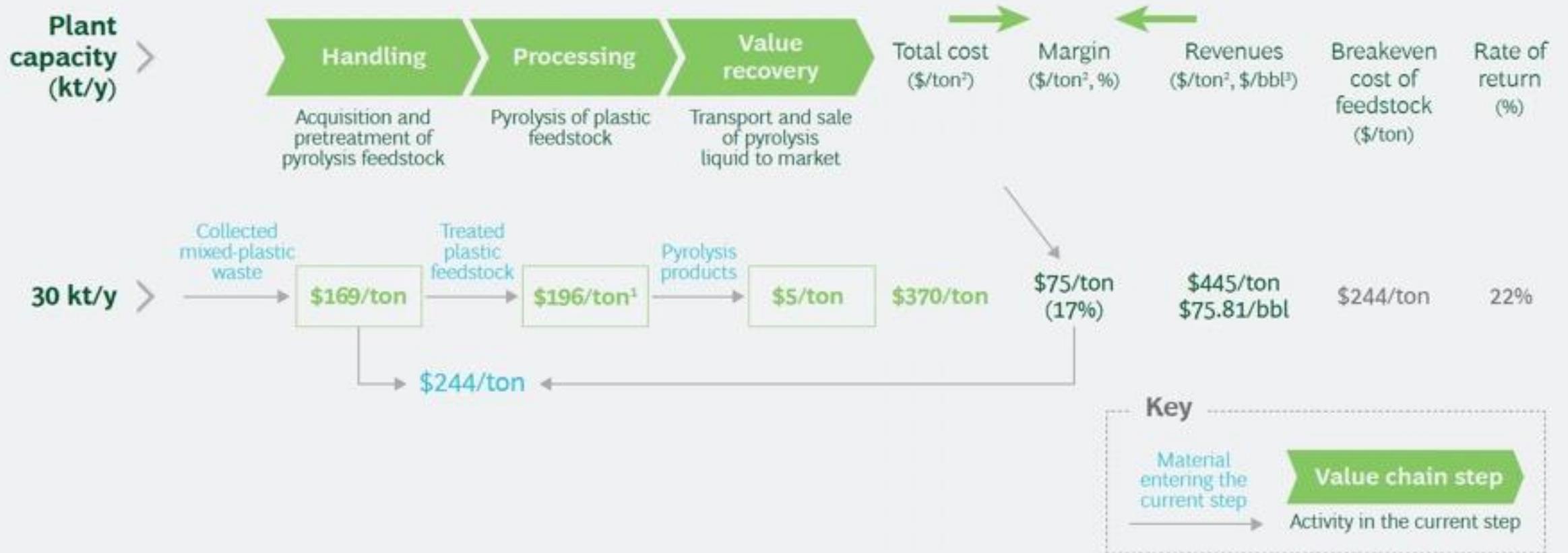
Technische Evaluation

- Investitionskosten sind abhängig von der Technologie (Kalkmilch oder Natronlauge) und der Nutzung der Aromaten-Fraktion.
- Weiterhin sind die Investitionskosten abhängig von der Anlagenkapazität und ob die Pyrolyseanlage in vorhandenen Strukturen integriert werden können (geringere out of battery costs).

Ökonomische Evaluation / Mengenverfügbarkeit

- Frage für diese Session: wie sieht die gesamte Wirtschaftlichkeitsrechnung aus und welche Abfallmengen stehen mittel- und langfristig für eine Pyrolyse in NRW zur Verfügung?

EXHIBIT 8 | Example: The Pyrolysis Value Chain for Singapore



Sources: Osiris calculations; BCG analysis.

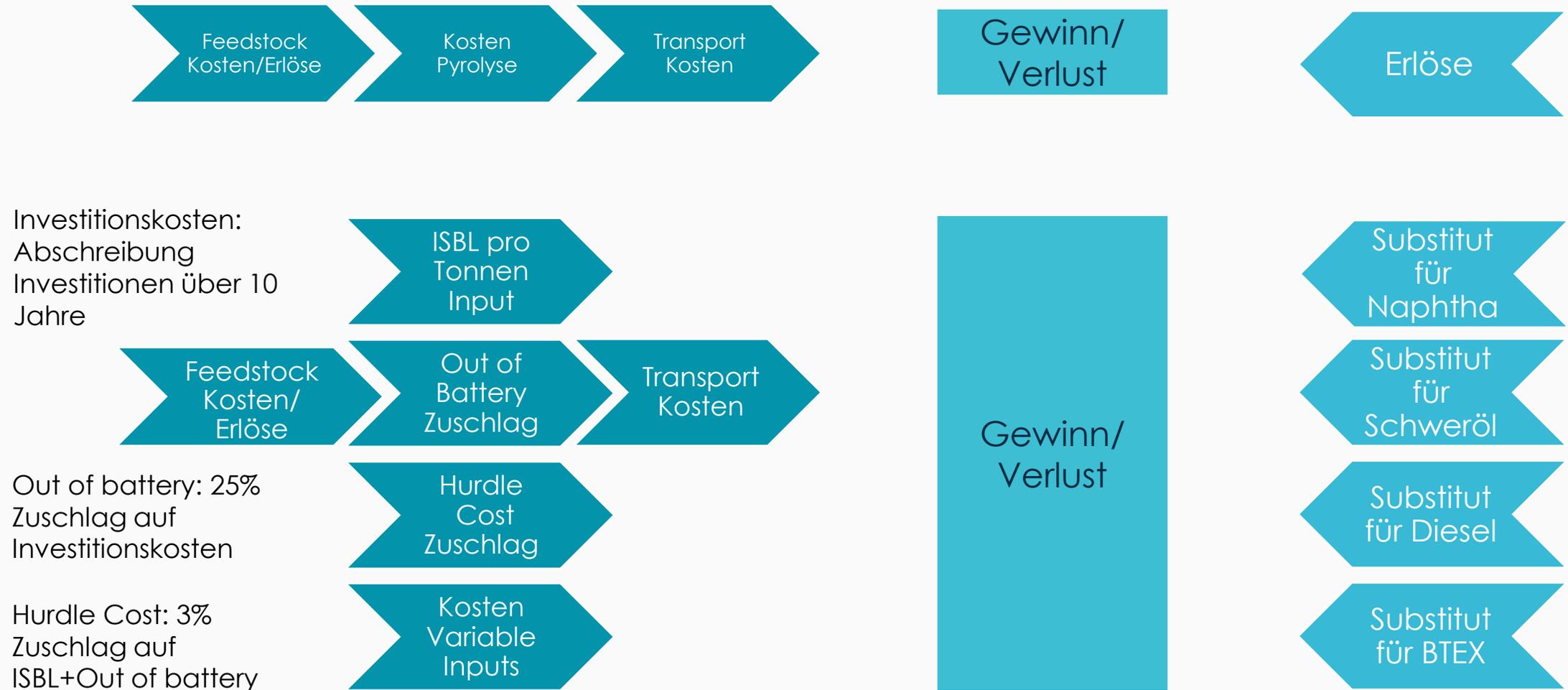
Note: The pyrolysis liquid price was estimated by valuing Brent crude at \$60/bbl and estimating the price in Singapore. For other Asian markets, the price of crude is the price of crude in Singapore plus the costs of shipping crude to the respective markets.

¹\$196/ton includes the cost of operating the pyrolysis reactor and the capex hurdle rate at 12% per year.

²Value per ton of plastic.

³Value per barrel of pyrolysis liquid.

Faktoren der Wirtschaftlichkeitsberechnung



Varianten der Wirtschaftlichkeitsberechnung

- Ausgangslage: Zwei Prozesse, Kalkmilch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Natronlauge NaOH , mit individuellen Investitionskosten-Berechnungen.
- Investitionskosten-Berechnungen unterscheiden zusätzlich, ob auch BTEX als Output genutzt wird oder nicht.
- Kapazitätsgröße beeinflusst die Wirtschaftlichkeitsberechnung (logarithmische Investitionskosten-Kurve, Economy-of-Scale-Effekte).
- Verschiedene unterstellte Faktoren beeinflussen zusätzlich ob die Verwendung von gemischten Verpackungsabfällen für die untersuchten Prozesse wirtschaftlich sind.
 - Premium-Aufschlag für Naphtha aus Pyrolyse von Kunststoffabfällen.
 - Aromaten-Fraktion wird mit gewonnen und erzielt entsprechend zusätzliche Erlöse.
 - Der Pyrolyser bekommt Geld für die Abnahme von Kunststoffabfälle als Feedstock oder nicht.

Ergebnisse für eine Anlage mit der Kapazität von 50 kt/a

Case 1: Feedstock-Erlöse von 90 €/t,
kein Premium-Zuschlag

Mit BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	-106	273	403	570
NaOH	-106	315	330	540
Ohne BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	-106	253	183	335
NaOH	-106	295	145	335

Case 2: keine Feedstock-Erlöse,
aber 20% Premium-Zuschlag

Mit BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	0	273	339	612
NaOH	0	315	263	579
Ohne BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	0	253	119	376
NaOH	0	295	80	376

Case 3: Feedstock-Erlöse von 90 €/t,
sowie 20% Premium-Zuschlag

Mit BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	-106	273	445	612
NaOH	-106	315	370	579
Ohne BTEX				
Verfahren	Kosten Feedstock \$/ Tonne Abfall	Kosten Pyrolyse \$/ Tonne Abfall	Gewinn (Differenz Erlös - Kosten) in \$/ Tonne Abfall	Erlös \$ / Tonne Abfall
Ca(OH)2	-106	253	225	376
NaOH	-106	295	187	376

Zusammenfassung

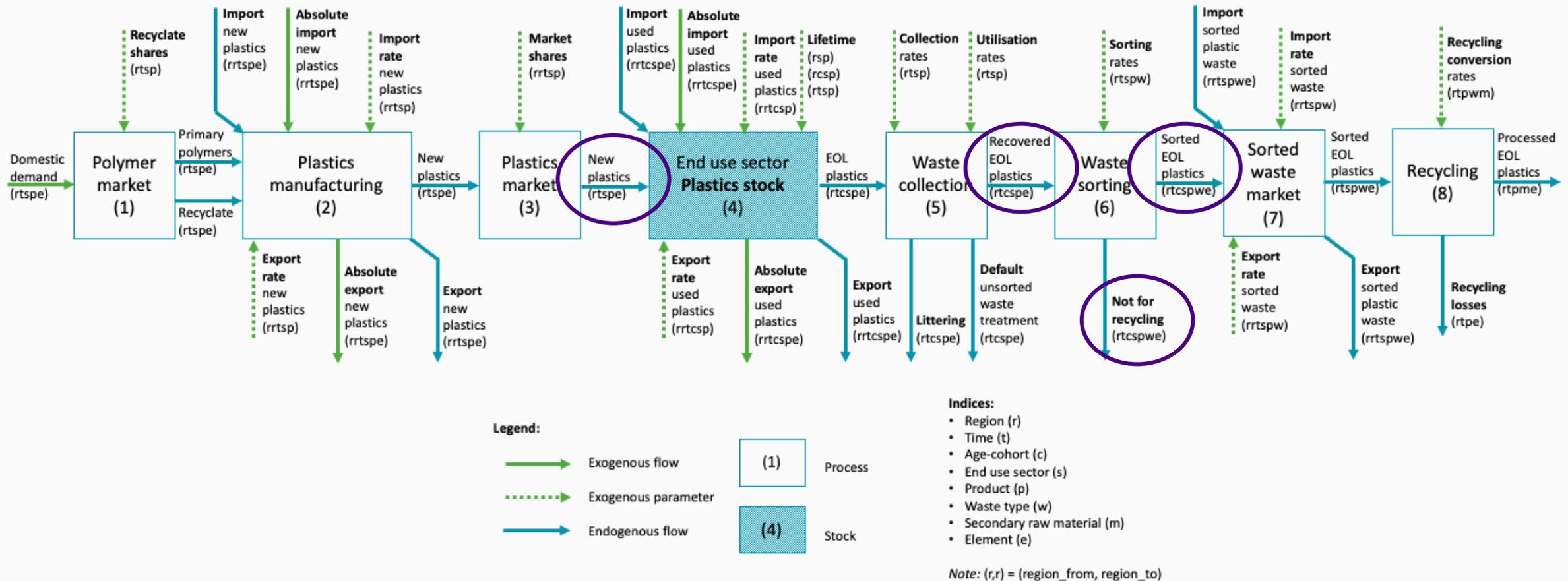
- Bei einer Anlagekapazität von 50 kt/a gemischter Verpackungsabfälle ist jede Variante in unsere Wirtschaftlichkeitsberechnung im plus.
- Testweise wurde die Berechnung auch für eine kleine Anlagengröße gerechnet (5 kt/a): keine Variante wirtschaftlich, trotz höherem Premium-Zuschlag, aber Skaleneffekte kommen nicht zum tragen.
- Technologievariante "Kalkmilch" ist wirtschaftlicher als Technologievariante „Natronlauge“, da bessere Ausbeute und geringeren Investitionskosten entstehen.
- Feedstock-Erlöse sind für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wichtiger als der Premiumzuschlag für Naphtha aus Chemischem Recycling.
- Kombination aus Feedstock-Erlösen und Premium-Zuschlag ist die wirtschaftlichste Variante.

Ergebnisse Kunststoff- Bestandsmodell NRW

30.11.2022

Sören Steger / Silvia Proff

1) Grundstruktur des Modells



5 Sektoren: Packaging, Construction, Automotive, Electrical & electronic equipment, Others

13 Kunststoffsorten: LDPE, HDPE, PP, PS, EPS, PVC, PET, ABS, PMMA, PA, other ETP, PUR, other plastics

2) Überblick Szenarien

Base-Scenario (maximale Abfallmenge):

- hohe Nachfrage
- Fortschreibung des Status Quo (Referenzjahr 2019)
- ohne Feedstock Recycling oder weitere Verbesserungen

Recycling-Scenario:

- weiterhin hohe Nachfrage
- steigender Rezyklatanteil in Neuwaren
- weniger Verluste über Restmülltonne
- steigende werkstoffliche Recyclingraten mit weniger Aufbereitungsverlusten
- Feedstock Recycling

Circular-Scenario (minimale Abfallmenge):

- geringere Nachfrage
- höherer Rezyklatanteil als im Recycling-Scenario
- nochmal stärkere Verbesserungen auf der Abfallseite (weniger Verluste sowie höhere werkstoffliche & rohstoffliche Recyclingraten als im Recycling-Scenario)

3) Überblick externe Parameter (Base-Szenario)

Demand (1970 – 2050)

- Conversio Daten für den Zeitraum 2009 – 2019 für Deutschland
- Fortschreibung durch multilineare Regression (nach Zeit und Bruttowertschöpfung) bis 2050
- Zurückrechnen bis 1970 anhand Wachstumsraten der europäischen Kunststoffproduktion zwischen 1950 und 2008
- Verteilung der Kunststoffe innerhalb der Sektoren nach Conversio 2019

Recyclate shares (ab 2010)

- Prozentwerte gemessen an der Verarbeitungsmenge von Conversio pro Sektor aus dem Jahr 2019
- In den Sektoren *Packaging* und *Construction* teilweise aufgeschlüsselt auf Kunststoffsorten

Import / Export new plastics (ab 2000)

- Conversio Daten, Mittelwert über die Jahre 2009 – 2019

Market shares (1970 – 2050)

- Anteil von 21.5% als Verbrauch für NRW (entsprechend Bevölkerungsanteil in 2021)

Import / Export used plastics (ab 2010)

- Import & Export von Gebrauchtwagen
- Daten der Außenhandelsstatistik für M1 und N1 Fahrzeuge für die Jahre 2013 – 2019

Lifetime (einmalig)

- Gewichtete Lebenszeit für die Sektoren *Construction* und *Electrical & electronic equipment* anhand der Produktzusammensetzungen
- Geschätzte Lebenszeiten für die Sektoren *Packaging* und *Others*
- Lebensdauer im Sektor *Automotive* von Conversio übernommen

3) Überblick externe Parameter (Base-Szenario)

Collection rates (ab 2010)

- Werte für Littering aus der UBA Studie „Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien berechnen“ (2020)

Utilisation rates (ab 2010)

- Nach Conversio 2019: Knapp 20% der Gesamtabfälle werden über den Hausmüll ohne vorherige Sortierung der MVA zugeführt
- Entsprechend der UBA Studie „Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien“ (2020) wurde diese Menge auf die Sektoren *Packaging, Electrical & electronic equipment* und *Others* aufgeteilt

Sorting rates (ab 2010)

- Aufteilung auf werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung sowie Deponie nach Conversio 2019 pro Sektor
- Werte einzelner Kunststoffsorten innerhalb der Sektoren mit Hilfe anderer Quellen angepasst

Import / Export sorted plastics (ab 2010)

- Daten der Außenhandelsstatistik für Kunststoffabfälle
- Export auf Basis des Jahres 2019
- Import als Mittelwert über den Zeitraum 2009 - 2019

Recycling conversion rates (ab 2010)

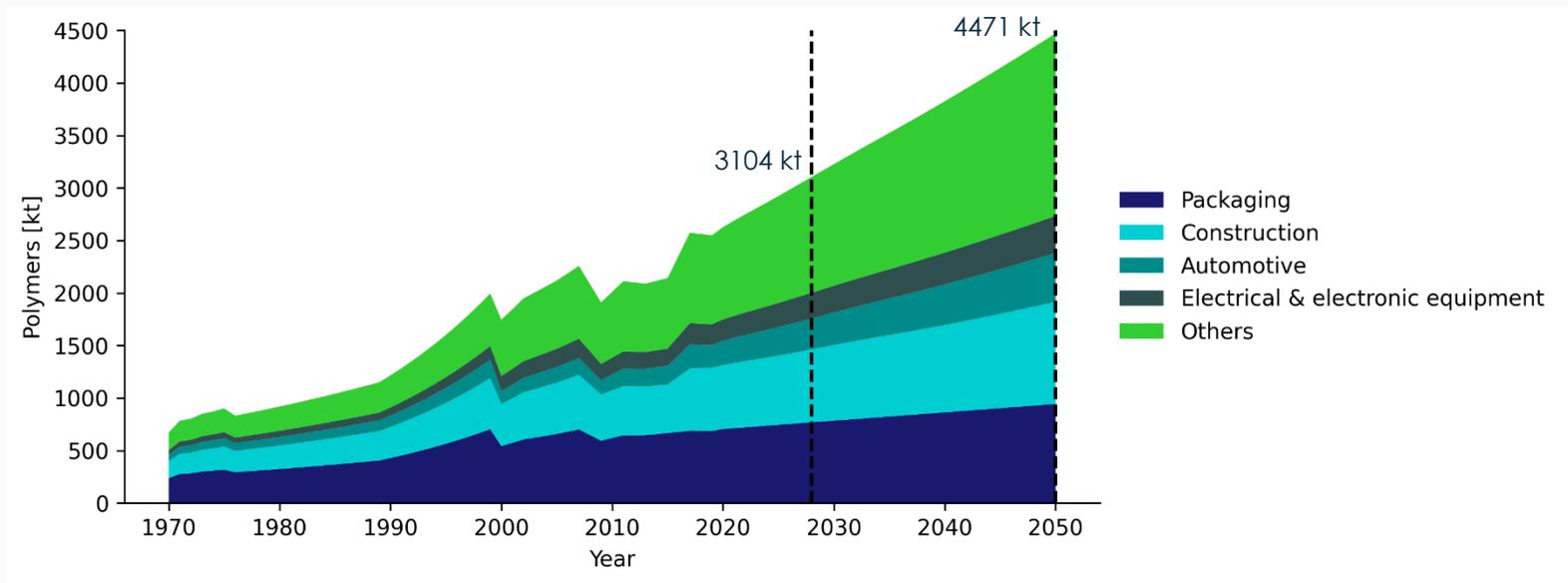
- Nach Conversio 2019: Aufbereitungsverlust von 22.5% im mechanischen Recycling für alle Kunststoffsorten angenommen

4) Ergebnisse für NRW

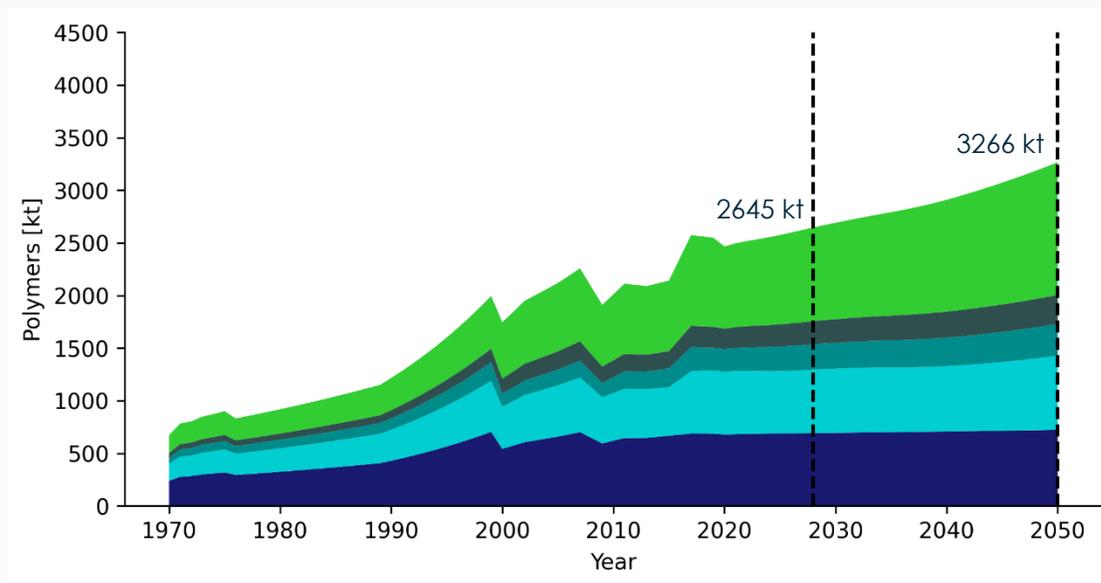
Kunststoffverbrauch nach Sektoren

New plastics

Base-Scenario
&
Recycling-Scenario



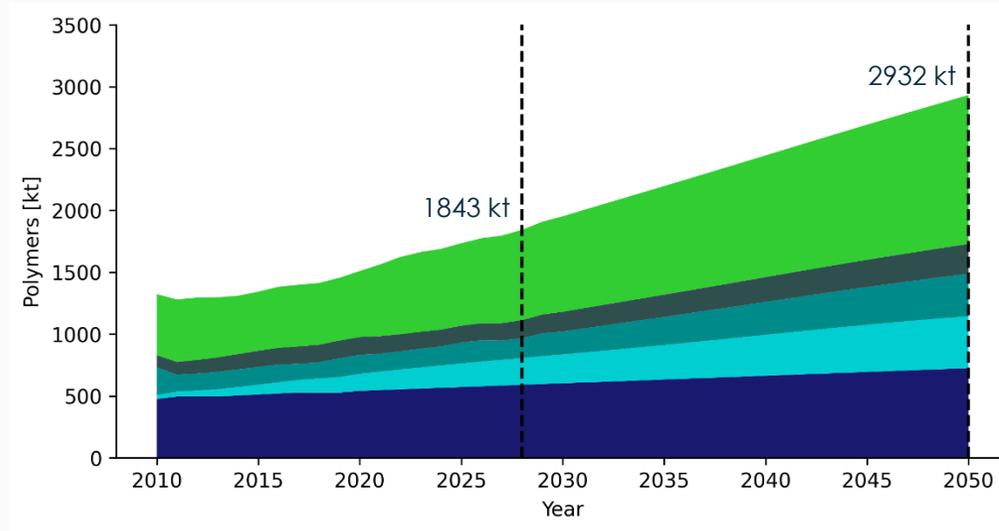
Circular-Scenario



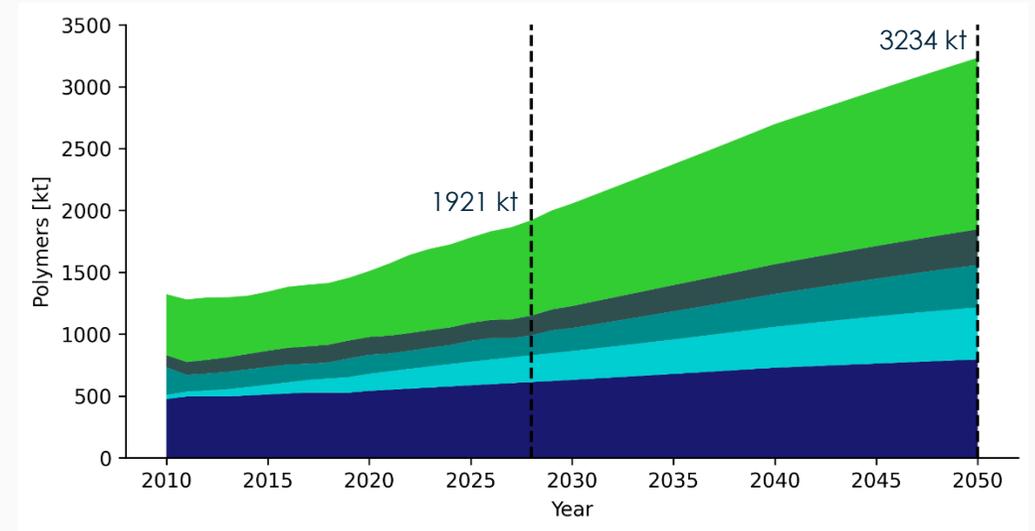
Kunststoffmengen, die einer Aufbereitung zugeführt wurden, nach Sektoren

Recovered EOL plastics

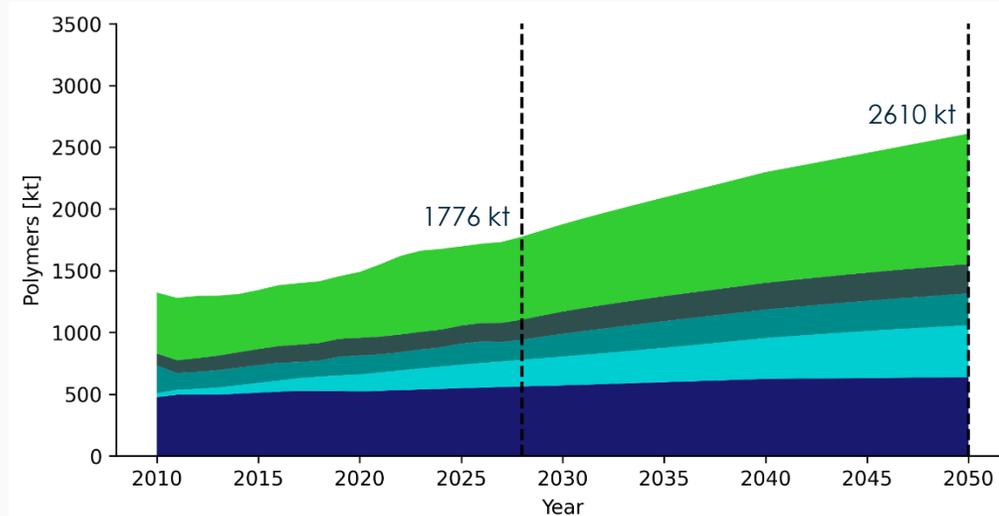
Base-Scenario



Recycling-Scenario



Circular-Scenario

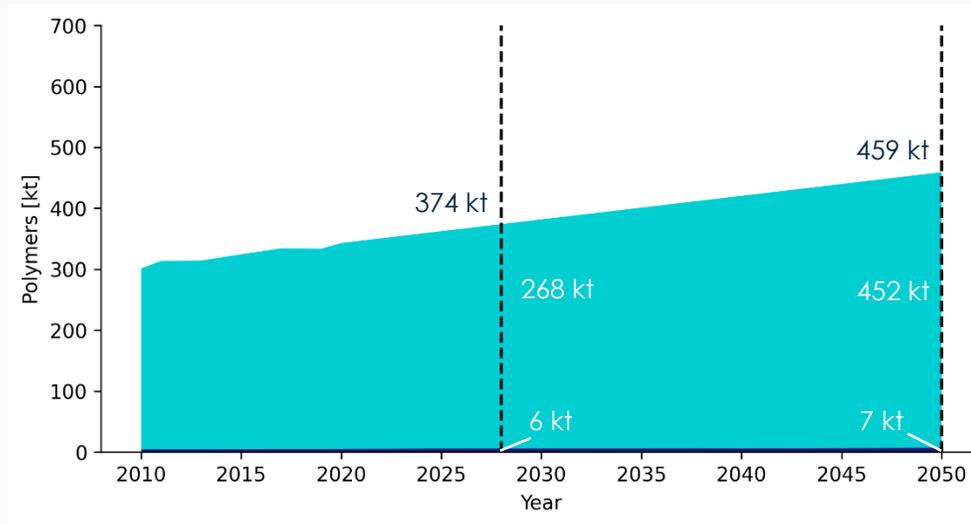


- Packaging
- Construction
- Automotive
- Electrical & electronic equipment
- Others

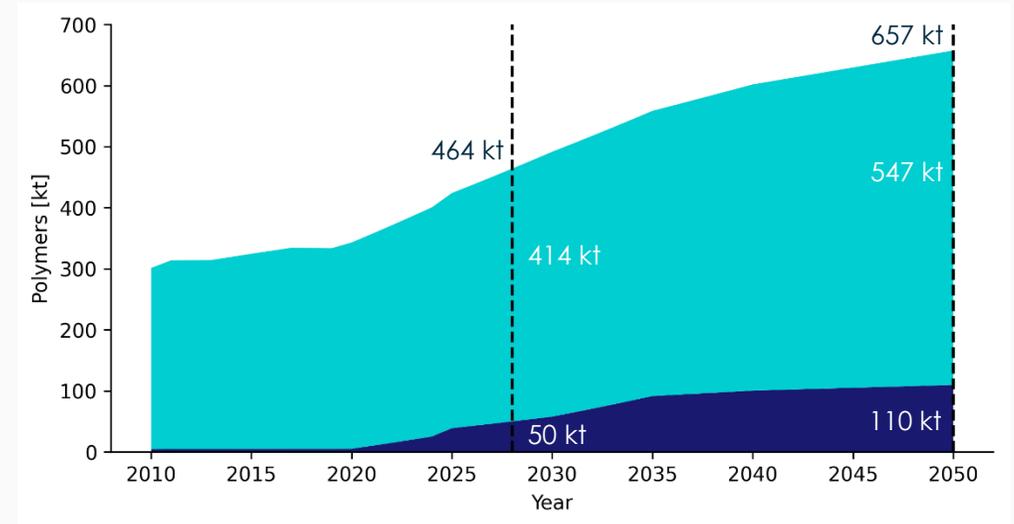
Stofflich verwertete Abfallmengen des **Verpackungssektors** nach Recyclingtyp

Sorted EOL plastics

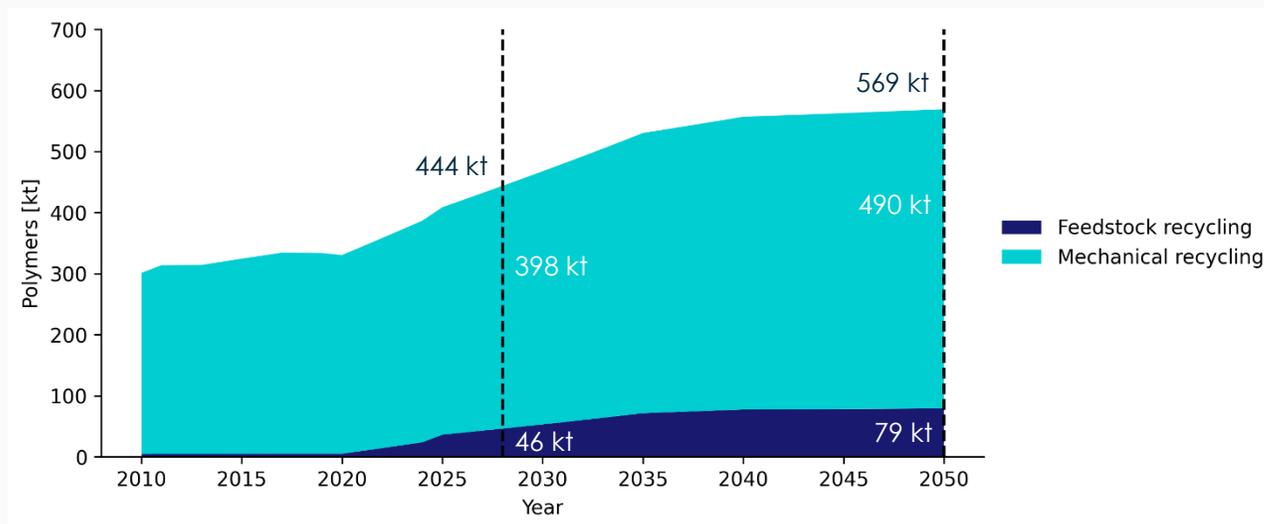
Base-Scenario



Recycling-Scenario



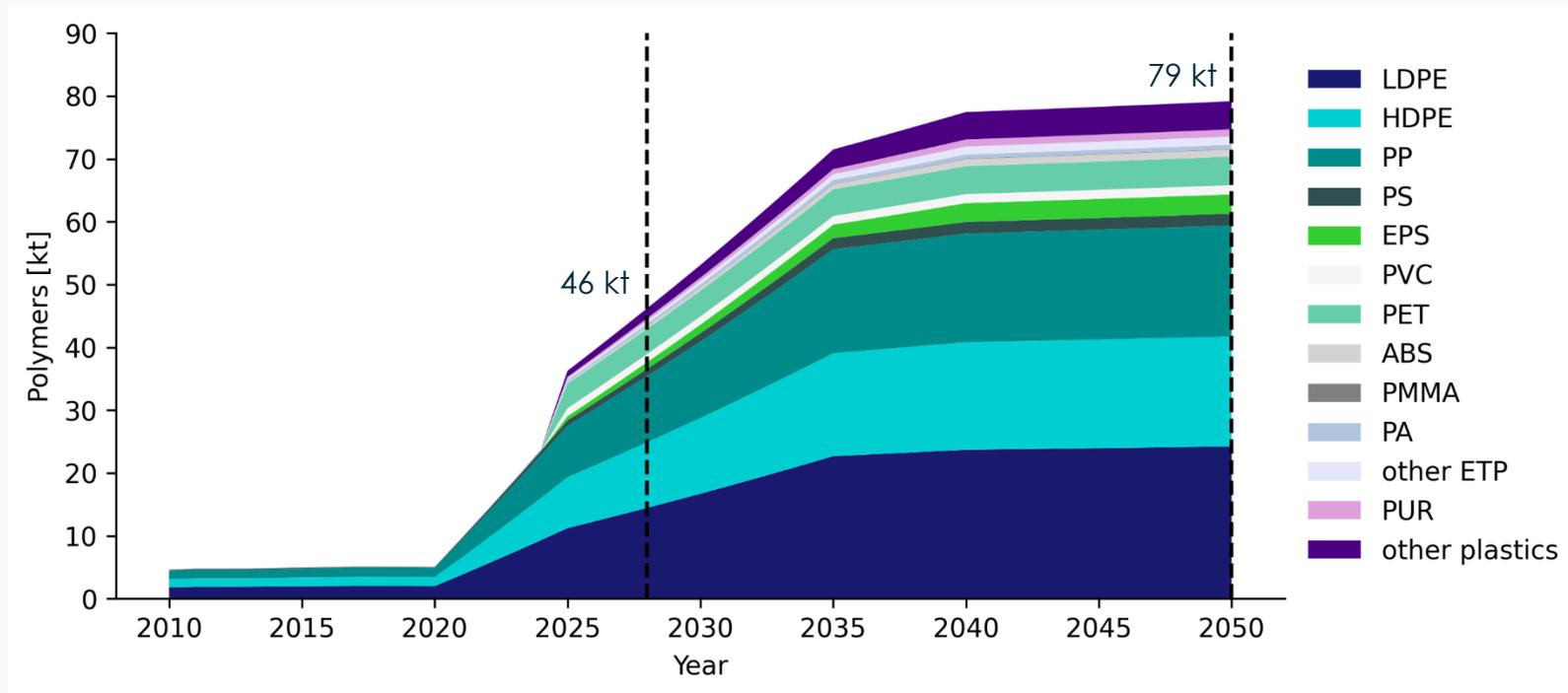
Circular-Scenario



Feedstock Recycling des **Verpackungssektors** nach Kunststoffsorten

Sorted EOL plastics

Circular-Scenario



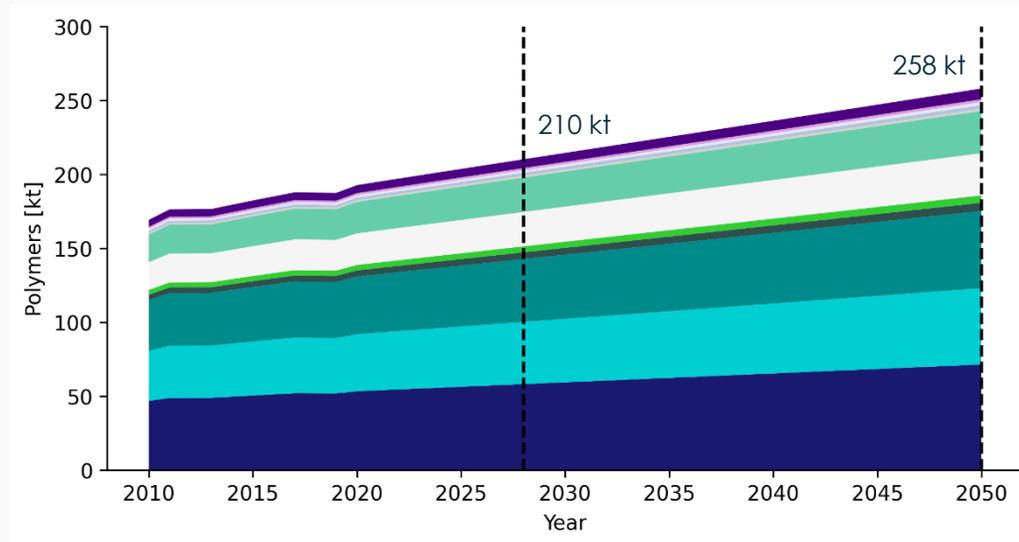
Zusammensetzung der Kunststoffe in 2028

PE	PP	PET	PVC	PS	others
54%	23%	9%	3%	2%	9%

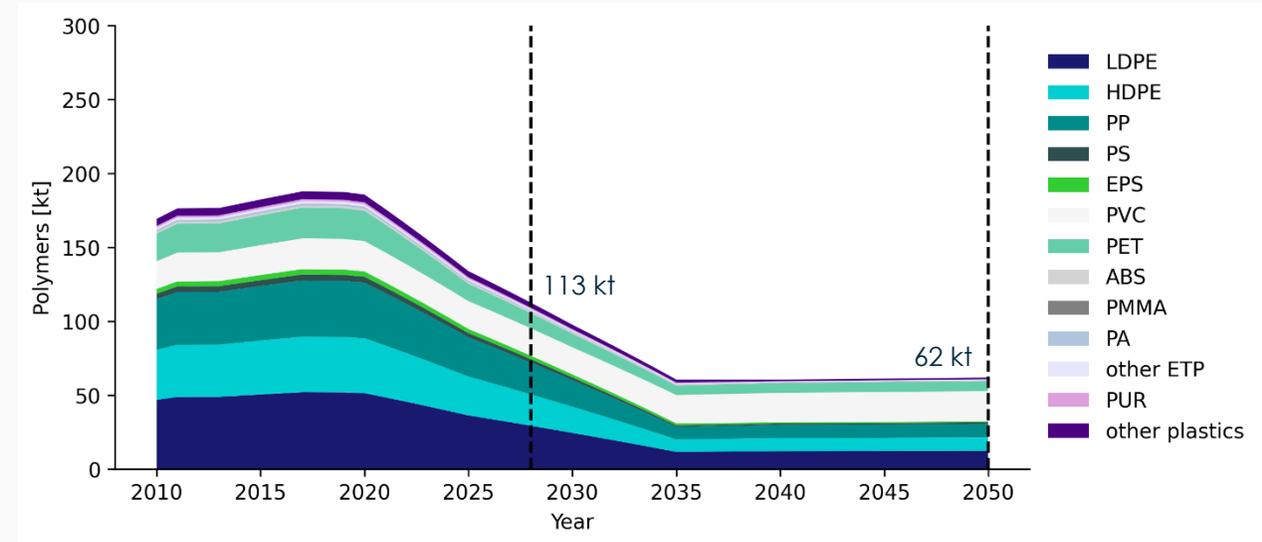
Energetische Verwertung des **Verpackungssektors** nach Kunststoffsorten

Not for recycling

Base-Szenario



Circular-Scenario



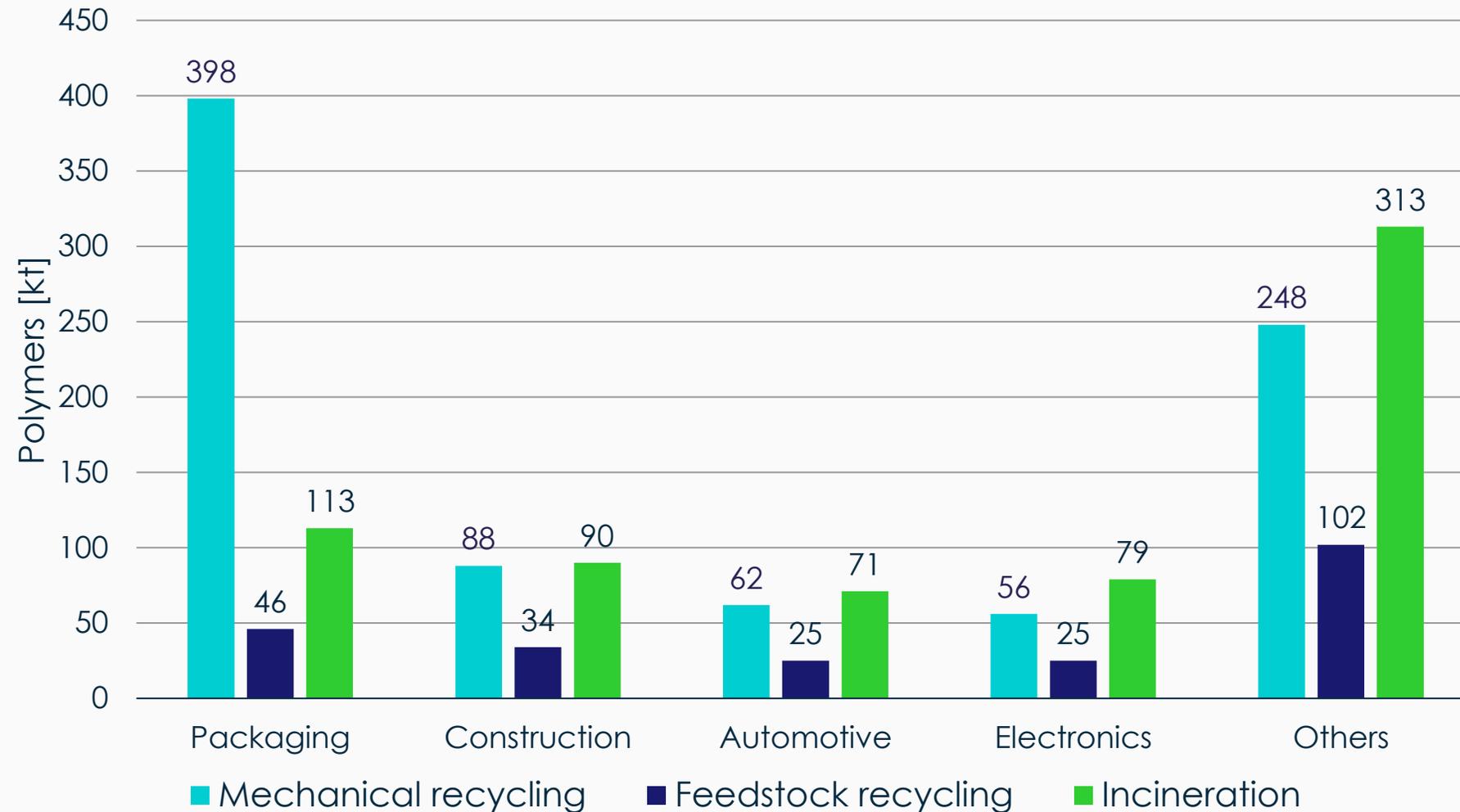
Zusammensetzung der Kunststoffe in 2028

	PE	PP	PET	PVC	PS	others
Base-Szenario	48%	20%	11%	11%	2%	8%
Circular-Scenario	45%	19%	9%	16.5%	2%	8.5%

Potenzial innerhalb der anderen Sektoren für das **Jahr 2028**

Sorted EOL plastics & Not for recycling

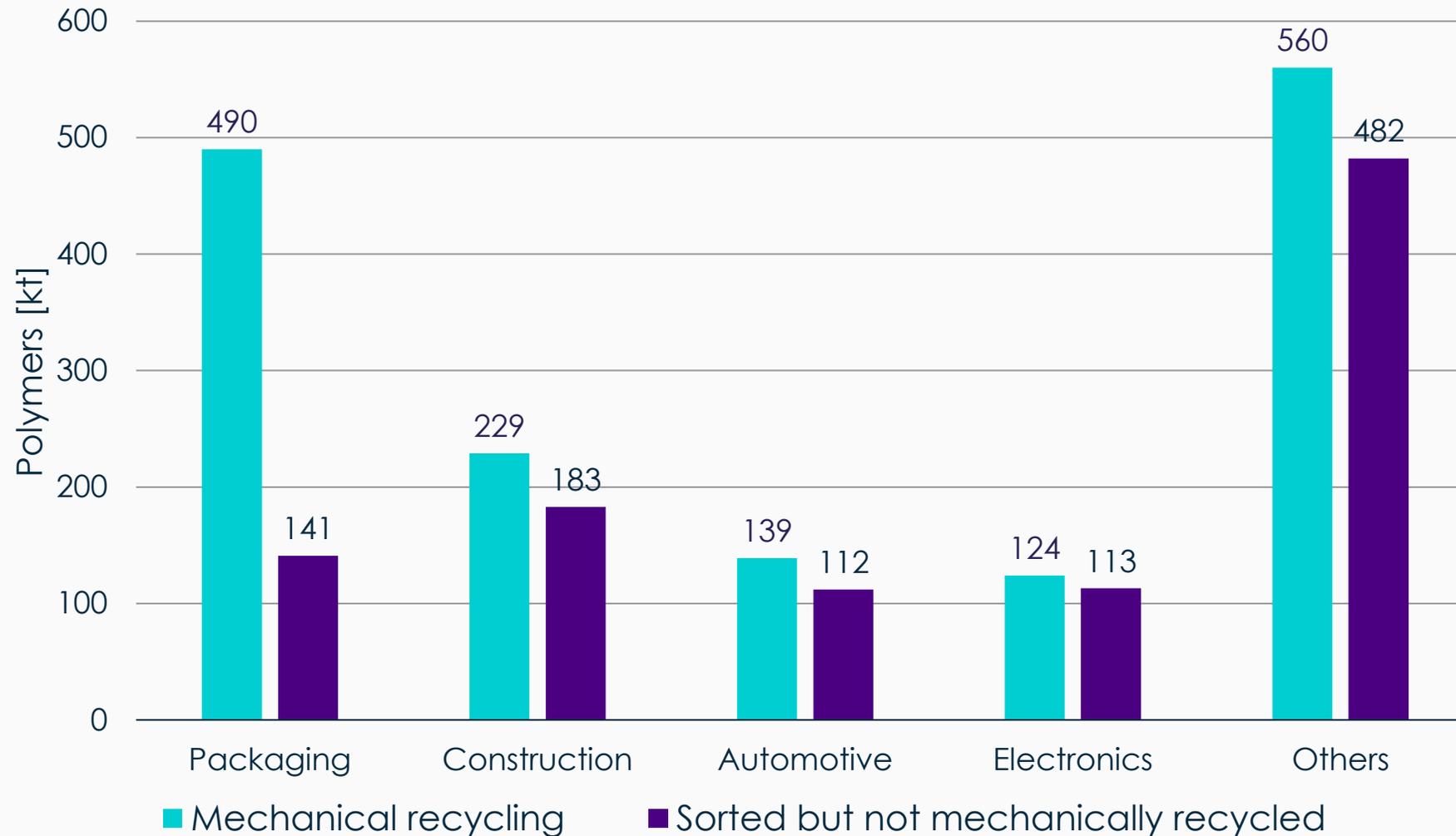
Circular-Scenario



Potenzial innerhalb der anderen Sektoren für das **Jahr 2050**

Sorted EOL plastics & Not for recycling

Circular-Scenario



5) Ausblick

- Die Nachfrage nach Kunststoff wird weiter steigen
- Die Menge an post-consumer Abfälle ebenso
- Im Circular Szenario beides im geringeren Maße
- Wir gehen davon aus, dass die Rate des werkstofflichen Recyclings noch gesteigert werden kann
- Anteile, die bisher energetisch verwertet werden, werden zukünftig einem chemischen Recycling zugeführt. In den 2020er-Jahren noch im geringen Umfang, mit steigenden Anteilen in den 2030er Jahren
- Trotzdem werden bei steigendem werkstofflichen und chemischen Recycling immer noch relevanten Mengen an Kunststoff energetisch verwertet werden

Ergebnisse des Projektes

Ökobilanzierung

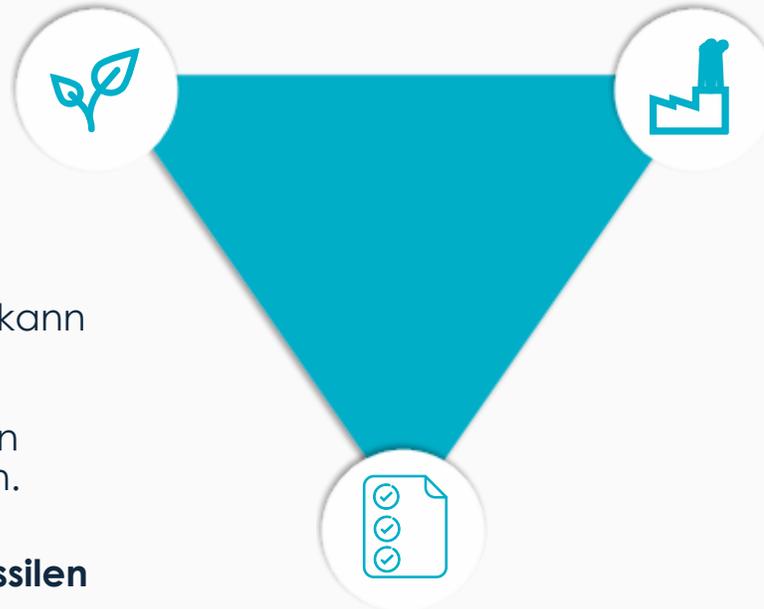


Im Vergleich zur Abfallverbrennung kann die Kunststoffpyrolyse die Treibhausgasemissionen mehr als halbieren und den Abbau an fossilen Rohstoffen um das 2,3 Fache senken.

→ **Eindeutige Reduzierung der Treibhausgasemissionen und von fossilen Rohstoffen.**

Die Mengen reduzieren sich stark durch die eingeschränkten Qualitätsanforderungen der Pyrolyseanlagen.

→ **im CE-Szenario erfüllen um die 46 kt in 2028 und 79 kt in 2050 des Plastikabfalls die Qualitätsanforderungen.**



Ökonomische und infrastrukturelle Evaluation



**Wuppertal
Institut**

Die Wirtschaftlichkeit hängt von vielen Faktoren ab. (fossilen Rohstoffpreise, sortierter Plastikabfall, Betriebskosten, Personalkosten...).

→ **Industrieanlagen können prinzipiell in der Zukunft wirtschaftlich betrieben werden.**

Technische Evaluation



Die Pyrolysetechnologien und Investitionskosten sind maßgeblich abhängig von der Zusammensetzung und konstanten Qualität des Plastikabfalls.

→ **Technisch umsetzbar aber Scale-up Untersuchung ist notwendig zur Sicherung der Plastikabfallqualität und Produktqualität.**

Gibt es noch finale
Anmerkungen und Fragen?

Was für eine Zukunft sehen Sie
für eine Pyrolyse Anlage in
NRW?



Danke für die
Aufmerksamkeit!

