Geruchsreduktion durch Wärmebehandlung von PCR-Polyethylen

Patrick Stolz, IKV Aachen

SmellStop

30.09.2026 I KuRT Transferkonferenz

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Agenda

- Herausforderungen der Verpackungsbranche
- Recycling heute
- Versuchsplan Wärmenachbehandlung
- Ergebnisse
- Fazit & Ausblick
- Kontakt

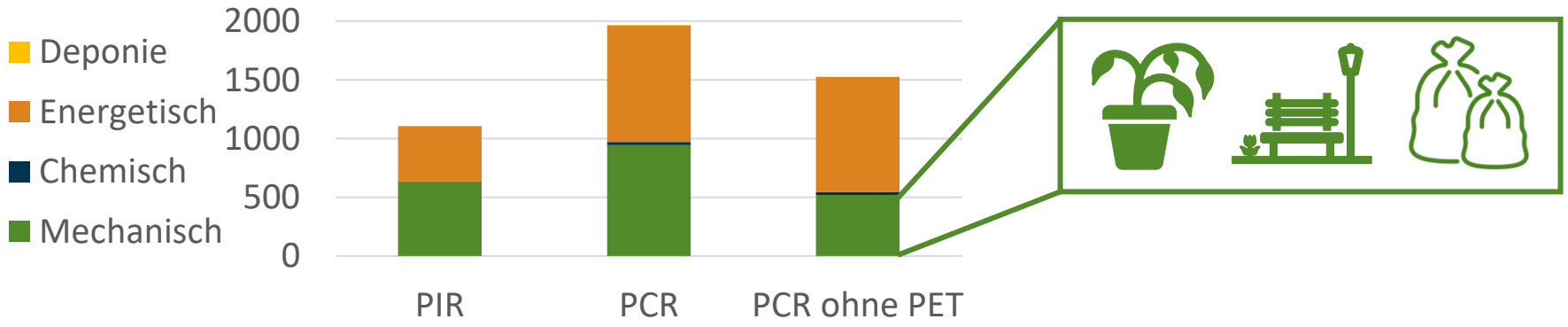
KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Motivation – Herausforderungen der Verpackungsbranche

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

- Die PPWR fordert höhere Recyclingquoten, unter anderem für kontaktsensitive Verpackungen
  - 10 % bis 2030 → 25 % bis 2040
- Verpackungen machen 26 % des deutschen Kunststoffverbrauchs, aber 55 % des Abfallaufkommens aus
  - ca. 3000 kT pro Jahr, davon 36 % Post-Industrial-Rezyklat (PIR) und 64 % Post-Consumer-Rezyklat (PCR)

Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland in kT (2023)



Motivation – Herausforderungen der Verpackungsbranche

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

- Die Kapazitäten des chemischen Recyclings reichen nicht aus, um die geforderten Recyclingquoten für kontaktsensitive Verpackungen zu erreichen

- Die Qualität von aktuell mechanisch recyceltem Material reicht nicht für die Anwendung in kontaktsensitiven Verpackungen aus. Ein Grund hierfür ist die Anmutung des Rezyklats (Geruch, Optik)

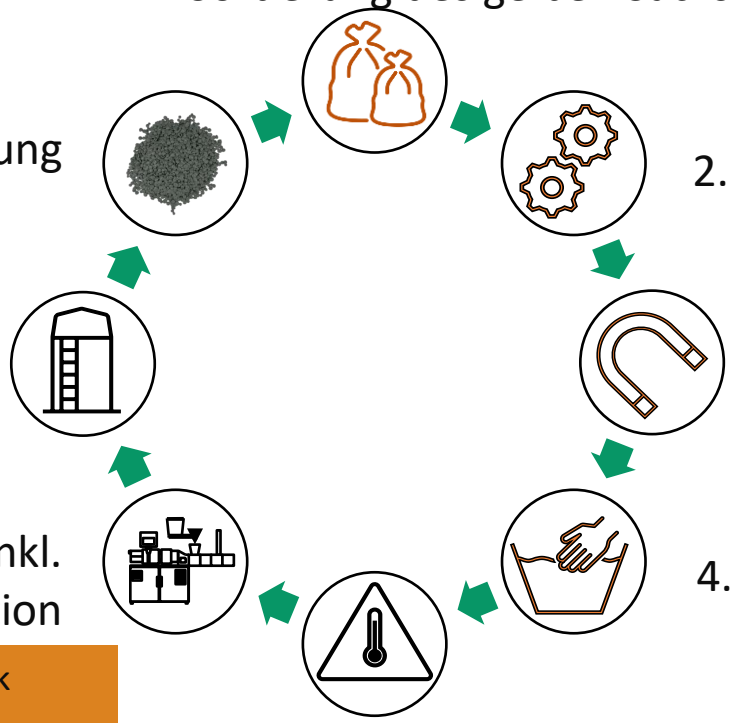
➢ Die Qualität mechanischer Rezyklate muss besser werden, sodass es für kontaktsensitive Verpackungen in Frage kommt

Gründe für unzureichende Qualität oder starke Geruchsbelastung:

- Fremdpolymere im Materialstrom, welche nicht ausreichend aussortiert werden können.
- Kontamination durch den Lebenszyklus der Verpackung (z.B. Lebensmittelreste).
- Kontamination durch Druckfarben und Additive.
- Zersetzungsprodukte die während des Recyclings entstehen.

Typischer Recyclingprozess in Deutschland

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien



1. Sortierung des gelben Sacks

2. Zerkleinern der Folien

3. Entfernung von Störstoffen

4. Wäsche der Flakes

- Häufig Kalt- statt Heißwäsche

5. Trocknen der Flakes

- Teilweise keine Vortrocknung

6. Compoundierung inkl. Entgasung, Filtration

- Einfache und günstige Anlagentechnik
- Unzureichende Entgasung
- Hohe Verarbeitungstemperaturen

7. Wärmebehandlung im Heißluftsilo

- Größtenteils keine Wärmebehandlung

8. Rezyklat- & Folienherstellung

Ansatz SmellStop

(Konsortialführung und Laborversuche)

(Alternative Druckfarben-Bindemittel)

(elektronische Geruchsbewertung)

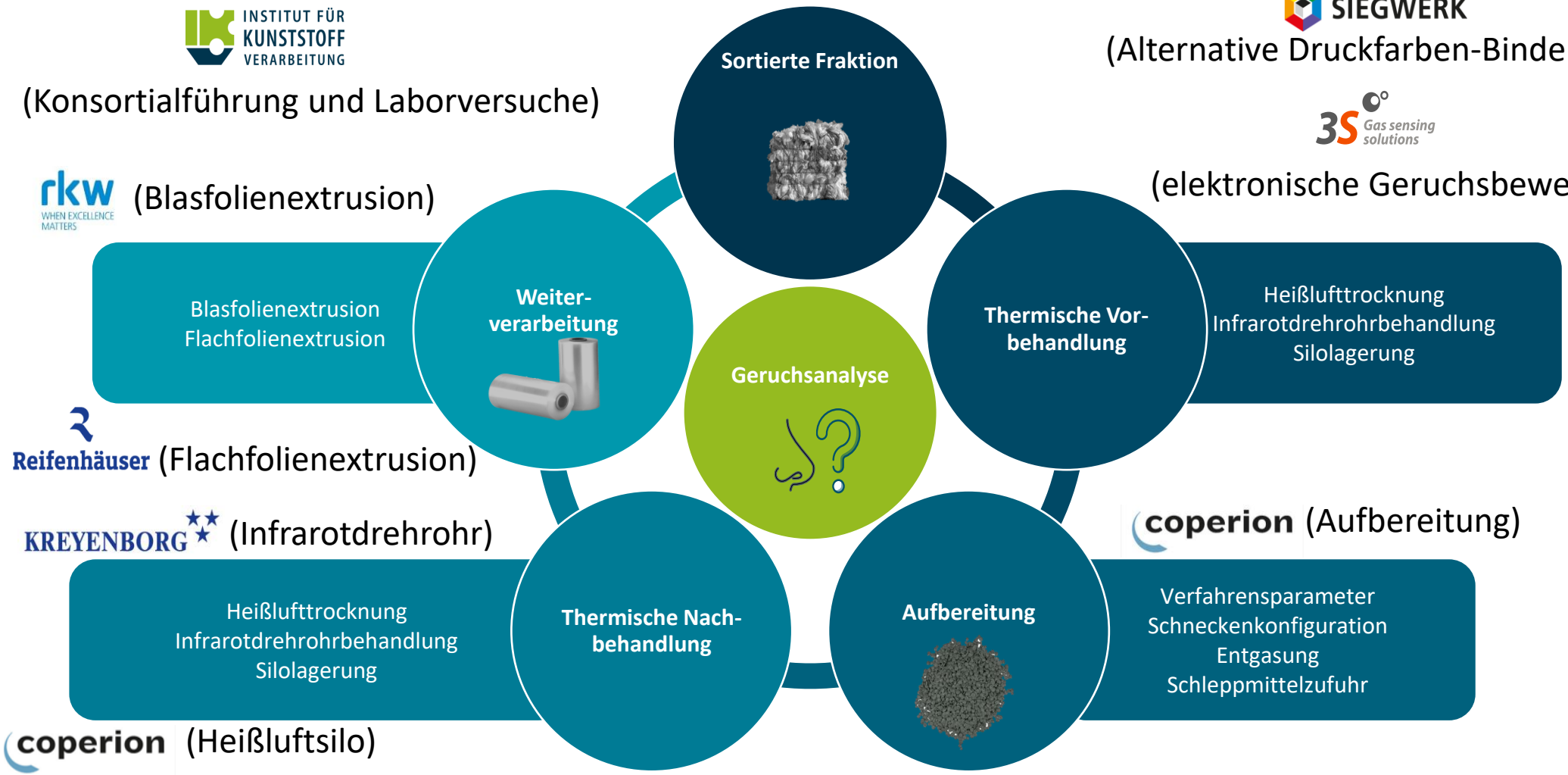
(Blasfolienextrusion)

(Flachfolienextrusion)

(Infrarotdrehrohr)

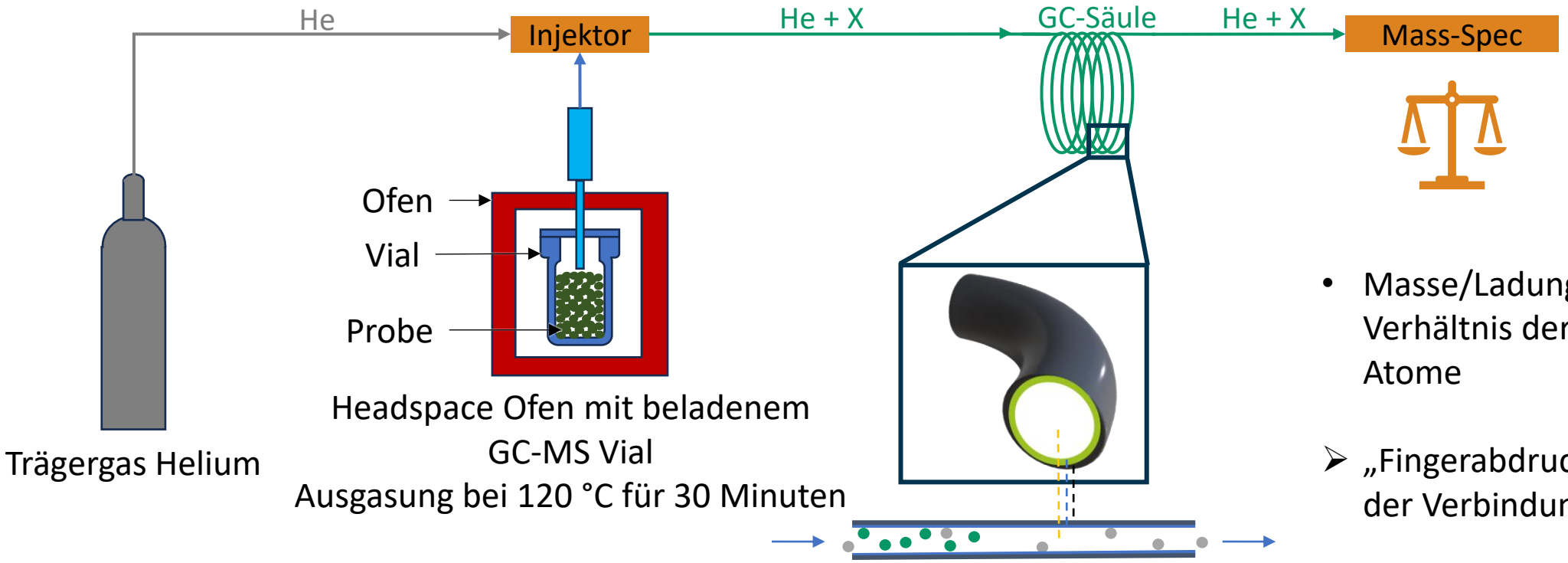
(Aufbereitung)

(Heißluftsilo)



Messverfahren GC-MS

1. Ausgasung von VOC im GC-MS Vial
2. Absaugung des Gasgemischs aus dem Vial durch einen Injektor und Überführung in die GC-MS
3. **Auftrennung des Gasgemischs in Gaschromatographie (GC) und Charakterisierung durch Massenspektrometrie (MS)**



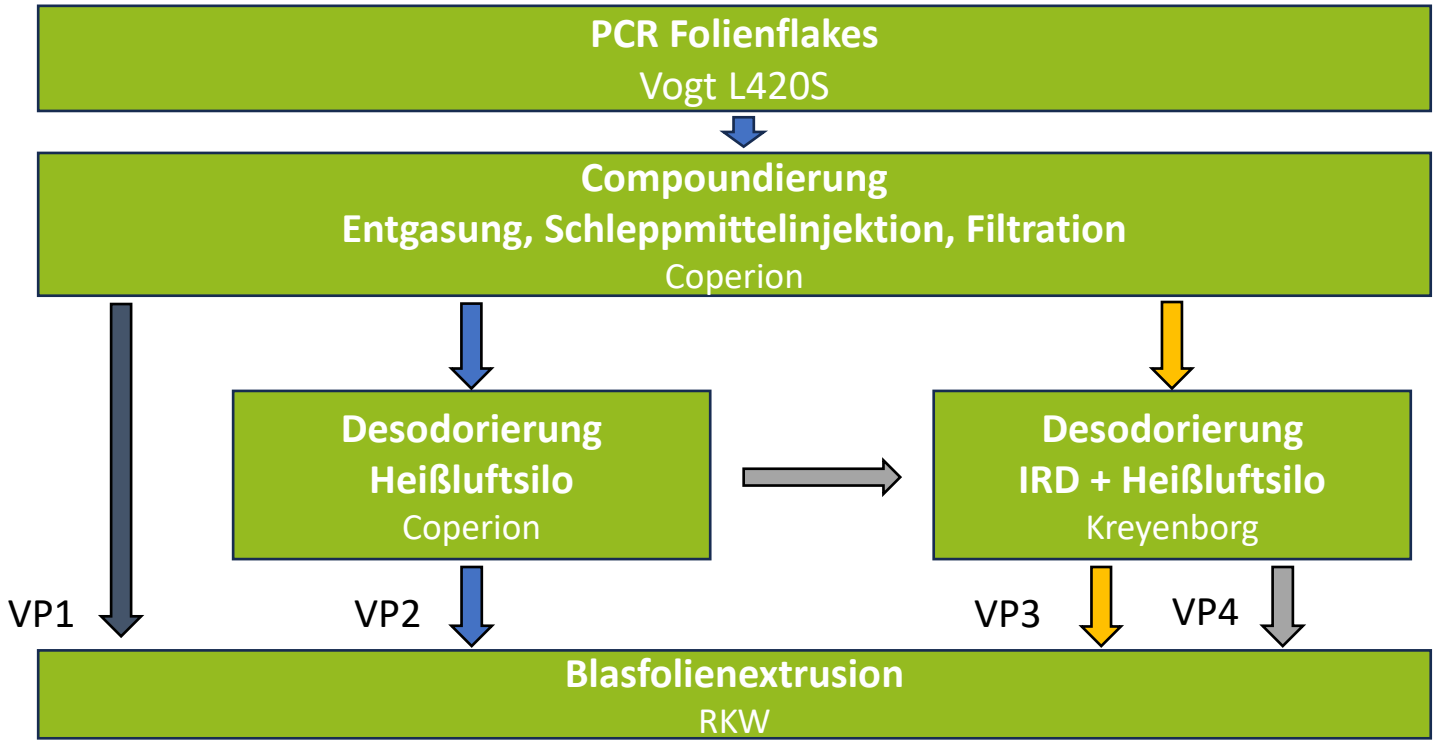
Trägergas Helium

Headspace Ofen mit beladenem GC-MS Vial
Ausgasung bei 120 °C für 30 Minuten

- Masse/Ladung-Verhältnis der Atome

➢ „Fingerabdruck“ der Verbindung

Versuchsplan Wärmebehandlung und Folienextrusion



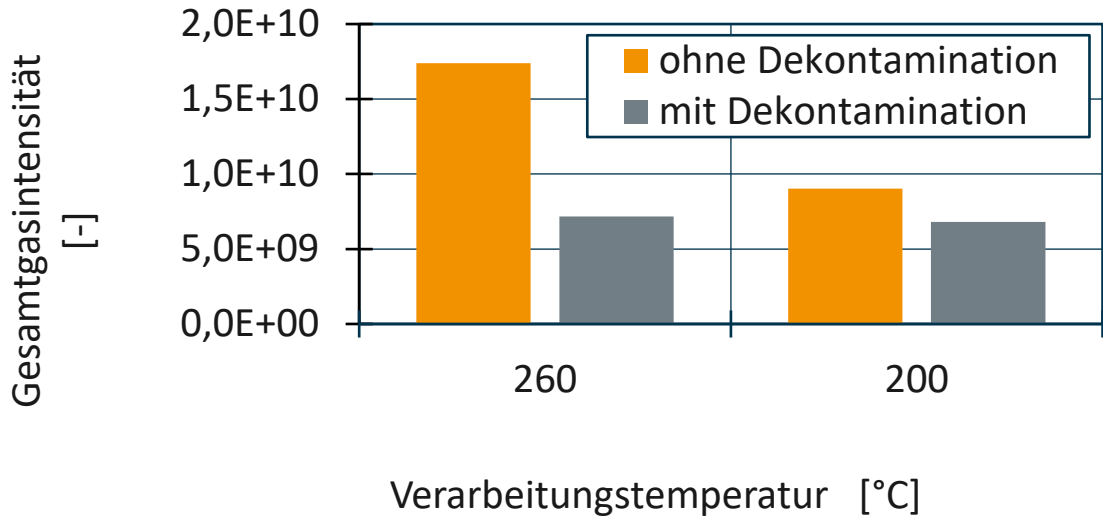
Versuchs-punkt	Heißluft -silo 1	Infrarot-drehrohr	Heißluft-silo 2
oD	-	-	-
HL	8h 90°C	-	-
IRD+HL		20 min 90°C	8h 90°C
nIRD	-	20 min 90°C	-
IRD + HL 4h	-	20 min 90°C	4h 90°C
HL+IRD+HL	8h 90°C	20 min 90°C	8h 90°C
HL + nIRD	8h 90°C	20 min 90°C	-
HL+IRD+HL 4h	8h 90°C	20 min 90°C	4h 90°C

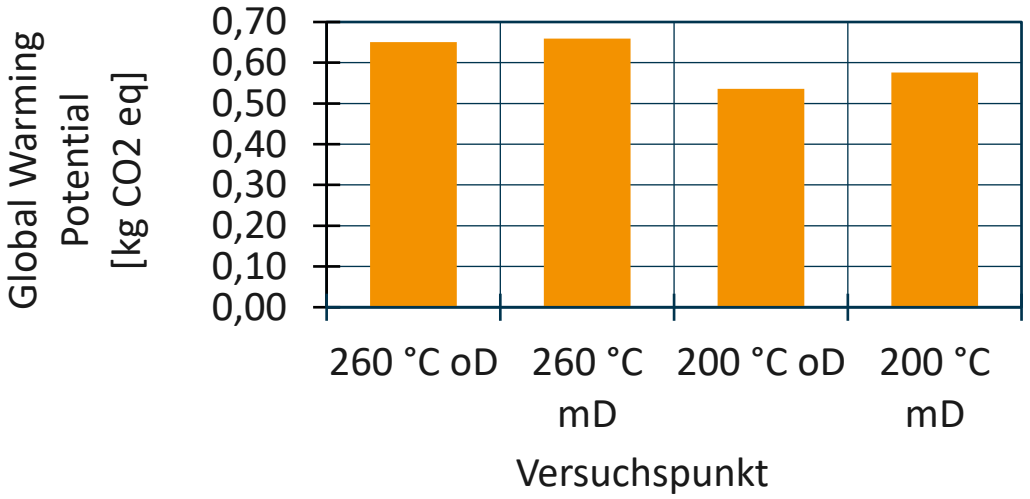
Die hier vorgestellten Untersuchungen beziehen sich auf die Wärmenachbehandlung der Regranulate in verschiedenen Szenarien und die anschließende Folienherstellung in der Blasfolienextrusion.

Rückblick – Dekontamination im Aufbereitungsprozess

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

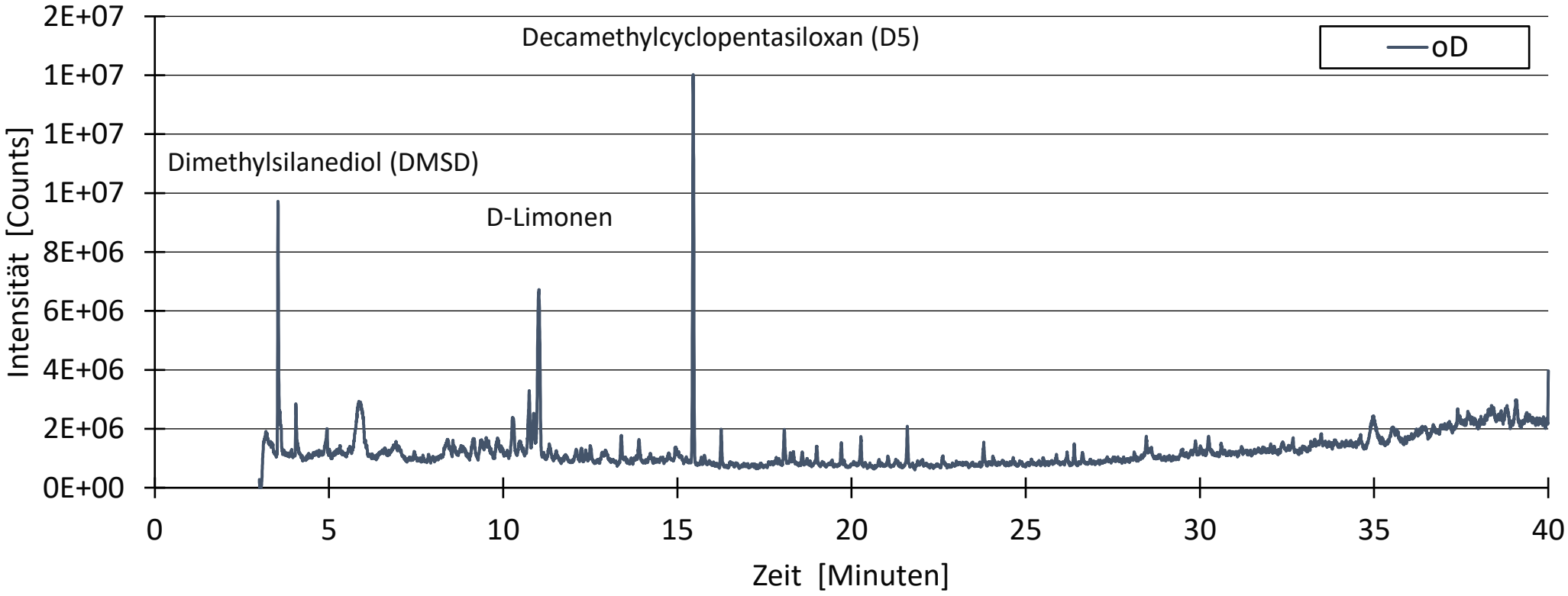
Gesamtgasintensitäten der GC-MS	Global Warming Potential





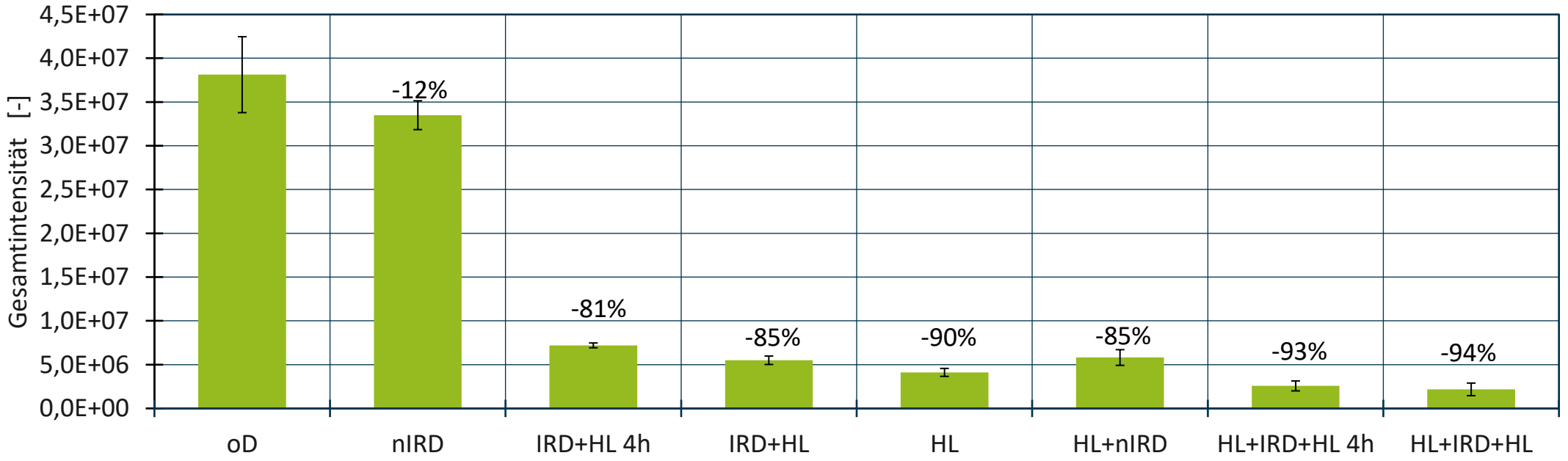
- Niedrige Verarbeitungstemperaturen wirken sich sowohl positiv auf die VOCs als auch auf das GWP aus.
- Die Dekontaminationsmaßnahmen (Entgasung und Schleppmittelinjektion, Filtration) führen zwar zu einer Erhöhung des GWP, die starke Reduktion der VOCs rechtfertigt dies jedoch.
- **ABER: Insgesamt erhöht sich durch die zusätzlichen Verarbeitungsschritte zur Erreichung einer höheren Rezyklatqualität auch der Preis der Rezyklate**

Beispiel GC-MS Spektrum ohne Dekontamination



- GC-MS Spektrum für den Versuchspunkt ohne nachträgliche Wärmebehandlung (keine Heißluft oder IRD)
- DMSD, D-Limonen und D5 stechen aus der Kurve heraus.

Gesamtintensitäten für die Wärmebehandlung

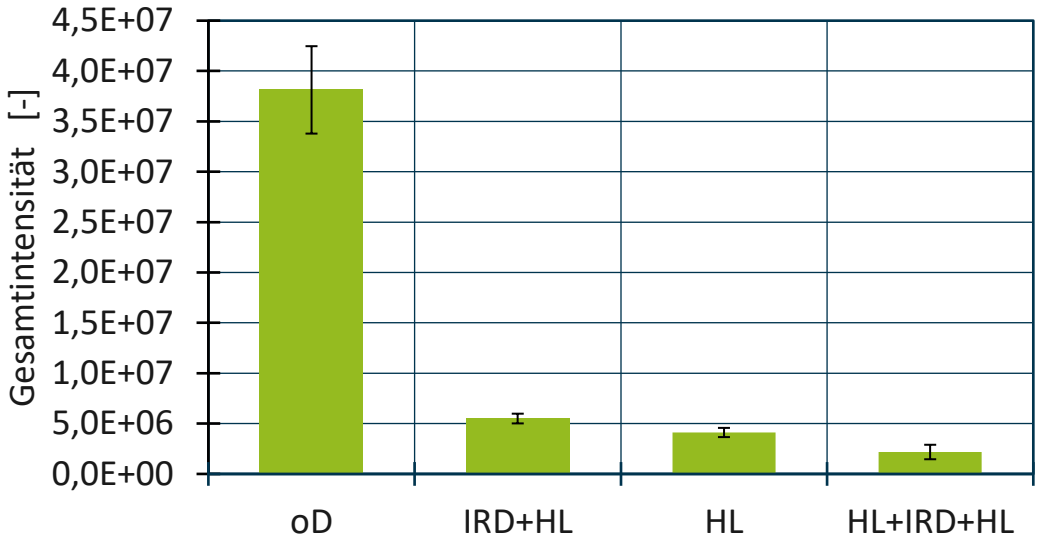


- Auswertung der Gesamtintensitäten der verschiedenen Versuchspunkte: Peaks der verschiedenen detektierten Moleküle in allen Versuchspunkten werden integriert und die Flächen unter den Peaks summiert.
- Das Ergebnis entspricht den Erwartungen:
  - Die Wärmebehandlung hat einen Großen Einfluss auf die in den Proben enthaltenen VOCs
  - Mit steigender Behandlungszeit und Anzahl der Stufen steigt die Dekontaminationseffizienz.
  - Die Kombinierte Verfahrensvariante (HL+IRD+HL) liefert die besten Ergebnisse mit bis zu 94% Reduktion

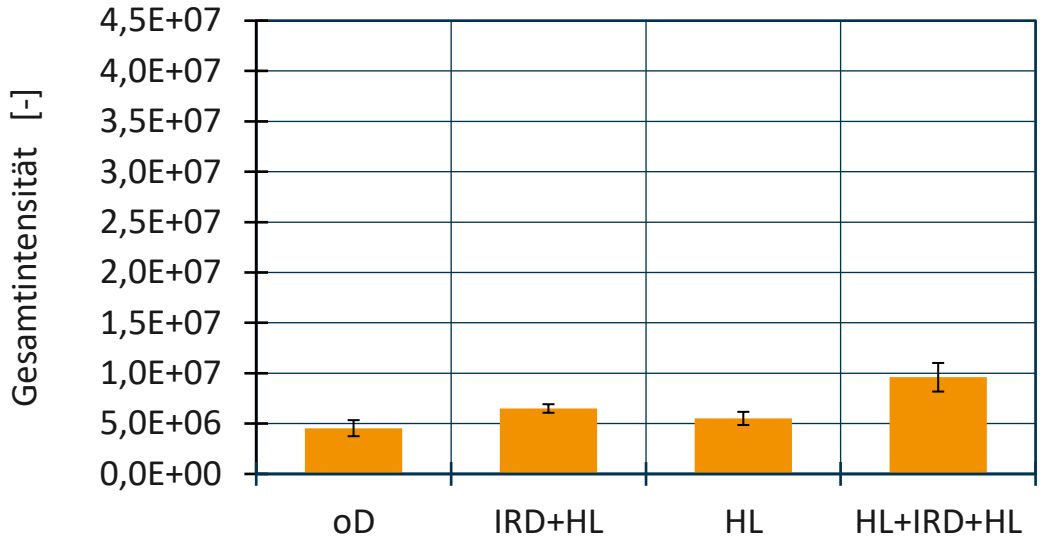
Gesamtintensitäten für die Folienextrusion

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Regranulat



Blasfolie

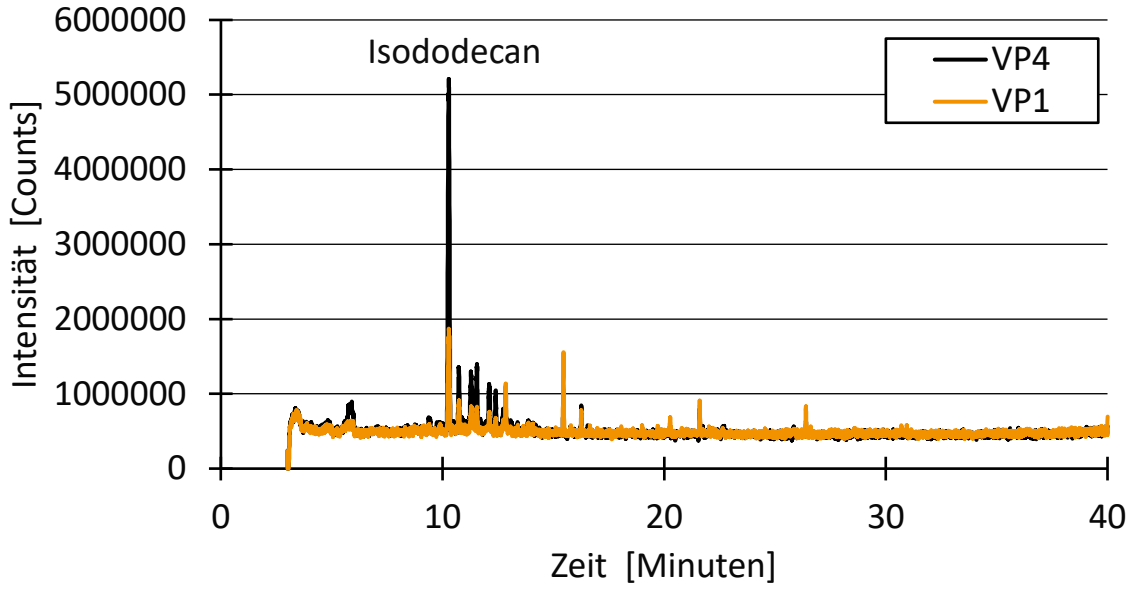


- Betrachtung der Gesamtintensitäten in den Folien zunächst ernüchternd.
  - Niedrigste Intensität bei unbehandeltem Material (oD).
  - Höchste Intensität bei stärkster Dekontamination (HL+IRD+HL).
- Aber: Arbeitssicherheitstechnisch für den Anlagenbediener des Blasfolienextruders der Worst-Case.
  - Kontaminanten aus dem unbehandelten Material entweichen während der Extrusion und Kontaminieren die Luft in der Verarbeitungsumgebung.

Detaillierte Analyse der Foliensysteme

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

GCMS-Spektren der beiden Extremfälle

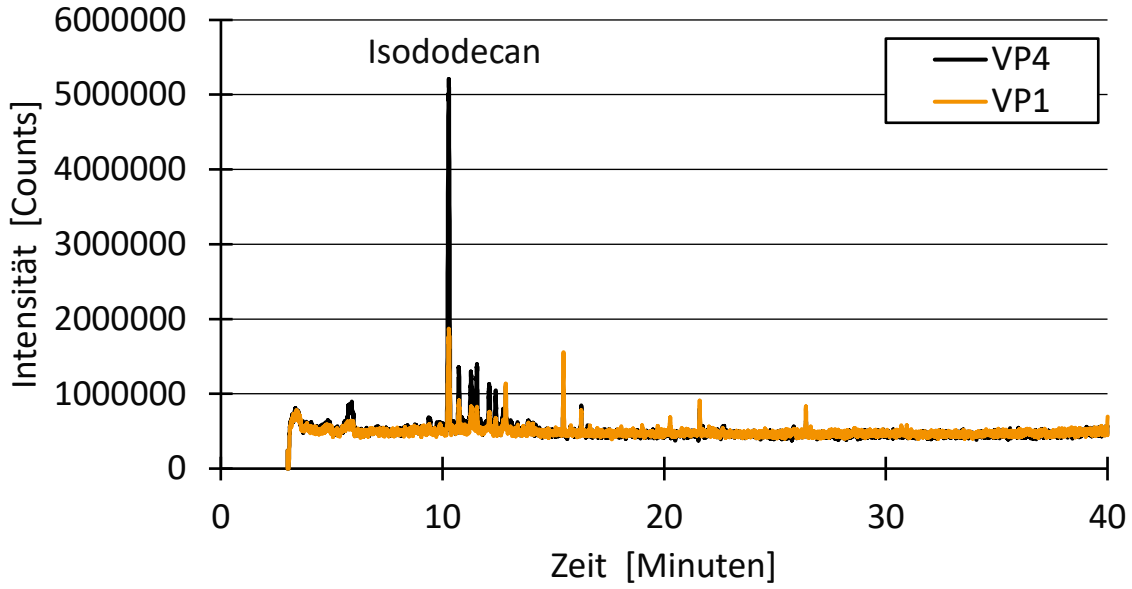


- Potenzielle Herkunft des Isododecan:
  - Flüchtiges Lösungsmittel, Spreitmittel und Trägeröl in Kosmetika (z. B. in Mascara, langanhaltendem Make-up, Lippenstiften, Deodorants und Haarpflegeprodukten)
  - Verdünner, Trägerflüssigkeit für Entschäumer, Reinigungsmittel oder als Lösemittelkomponente für Kleb- und Beschichtungsstoffe (z. B. bei Etiketten und Druckfarben von Verpackungen)
  - Abbauprodukt von Polypropylen
    - Hypothese: PP altert durch die wiederholte thermische Beanspruchung in der Wärmebehandlung und zersetzt sich bei erneuter Erwärmung und Extrusion zu Isododecan

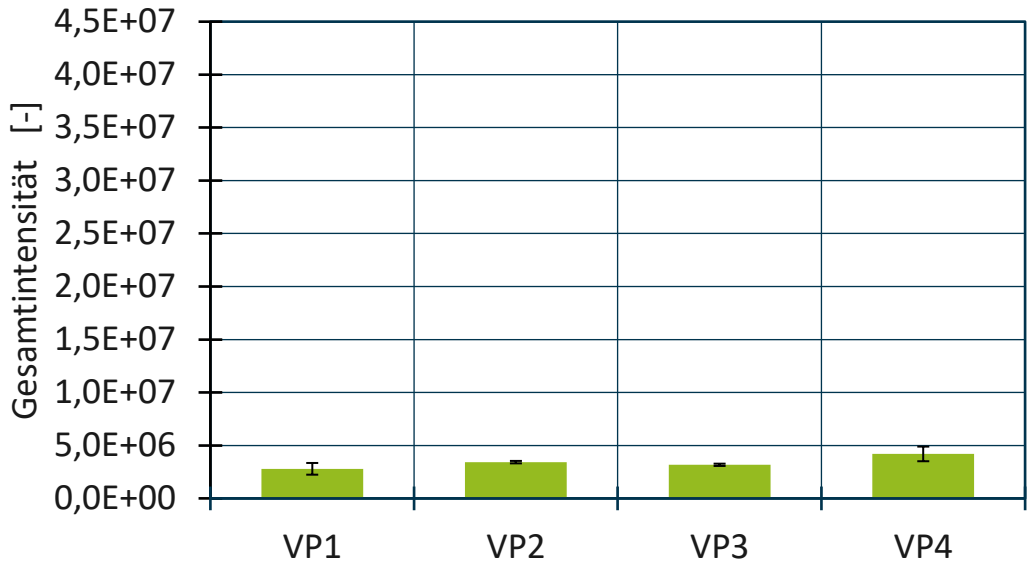
Detaillierte Analyse der Foliensysteme

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

GCMS-Spektren der beiden Extremfälle



Bereinigte Gesamtintensitäten der Blasfolien



- Bereinigung der Gesamtintensitäten um den Isododecan Peak liefert stark relativierte Unterschiede.
- **Fazit:** Sortierung und Wäsche/De-Inking muss verbessert werden, damit der Anteil an Fremdpolymeren oder Kontaminationen aus Kosmetika / Verpackungen minimiert wird.

Fazit und Ausblick

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

- Die Wärmenachbehandlung reduziert die VOC-Belastung für die Verarbeiter drastisch
- Teilweise werden für maximale Geruchsreduktion weitere Anlagen/Investitionen benötigt.
- Die Herstellungsprozesskette muss ganzheitlich betrachtet werden.

- Es besteht ein Zusammenhang zwischen thermischer Alterung der Kunststoffe insb. von Fremdpolymeren und Kontaminanten in den Dekontaminationsschritten und der Geruchsbelastung im Produkt.
    - Die Dekontamination darf nicht beliebig lange andauern, da hierdurch Fremdpolymere, Kontaminanten und Additive/Prozesshilfen degradieren können.

- Die Sortierung muss verbessert werden - maximale Sortenreinheit für bessere Ergebnisse.
- Die Recyclingprozesskette muss um weitere Prozessschritte wie das De-Inking erweitert werden.
- Rezyklate werden durch die Maßnahmen zur Erreichung einer höheren Qualität definitiv teurer.
    - Zur langfristigen Etablierung einer echten Kreislaufwirtschaft ist dies jedoch unabdingbar.

Danksagung

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Das diesem Vortrag zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 033R387A gefördert. Dem BMFTR gilt unser Dank.

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

ptj projektträger jülich

DECHEMA

Weiterhin danken wir dem Konsortium sowie der Firma Vogt-Plastic GmbH für großzügige Materialspenden.

vogt plastic

Projektkonsortium:

INSTITUT FÜR KUNSTSTOFF VERARBEITUNG

KREYENBORG

coperion

3S Gas sensing solutions

SIEGWERK

Reifenhäuser

rkw

KuRT
Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Patrick Stolz, IKV Aachen
patrick.stolz@ikv.rwth-aachen.de, 0241 80 28312

www.ikv-aachen.de