
Recycling von Kunststoffverpackungen – PET Getränkeflaschen und andere Anwendungen

Dr. Frank Welle

Fraunhofer Institut für
Verfahrenstechnik und Verpackung

9. BfR Forum Verbraucherschutz
28. Oktober 2010, Berlin

Recycling von Kunststoffverpackungen

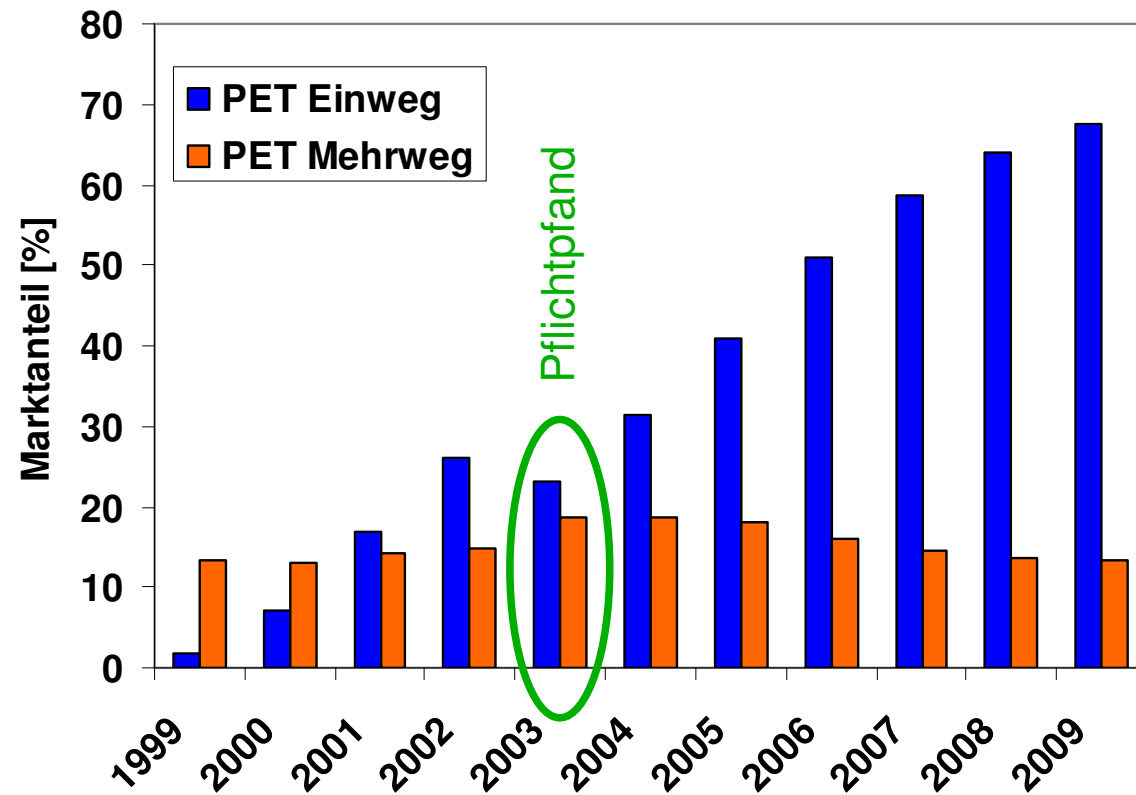
PET Verpackungsstruktur
Alkoholfreie Getränke in
Deutschland

**Ziel des "super-clean"
Recyclings ist die
Rückführung des Recyclats
in die PET Einwegflasche**

Steigerung von PET Einweg
hauptsächlich auf Kosten
von Glas Mehrweg und
Dose

PET Gesamt: 81% in 2009

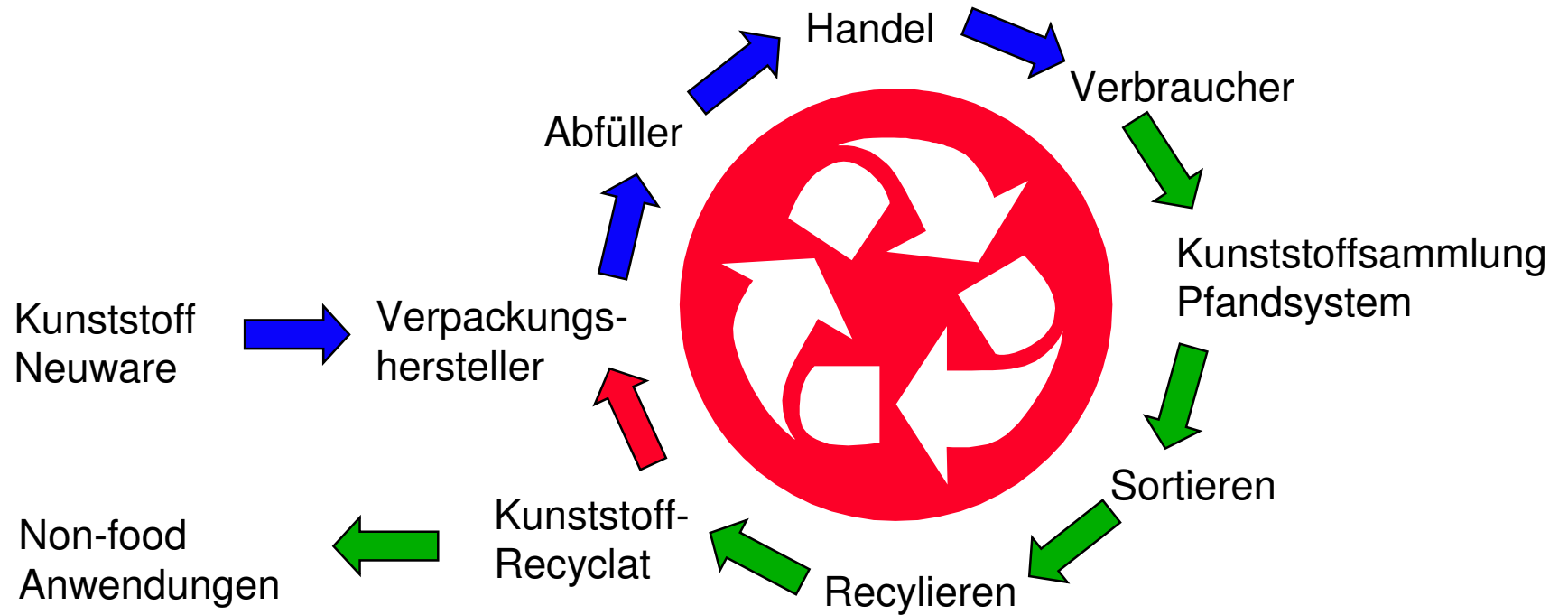
Quelle: GfK



Recycling von Kunststoffverpackungen

Verpackungsrecycling

"Closed loop Recycling"



Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling Voraussetzungen



- PET Flaschen sind weltweit in großen Mengen am Markt
- Sammelsysteme sind etabliert (Pfandsysteme, Kunststoffsammlungen)
- PET ist kaum additiviert und meist nicht gefärbt
- PET Flaschen sind nicht direkt bedruckt
- Alle im Verpackungsbereich (food/non-food) eingesetzten Rohstoffe sind für den Lebensmittelkontakt zugelassen
- PET ist ein sehr inertes Polymer (wenig Wechselwirkung mit dem Füllgut)

Recycling von Kunststoffverpackungen

Konventionelles
PET Recycling

Konventionelles
Recycling ist **immer** die
Vorstufe des "super-
clean" Recyclings!

Polyolefine

PET non-food
Anwendungen

Sammeln

Sortieren

Zerkleinern

Waschen

Trennen

PET Flakes

Pfandsysteme
Kunststoffsammlungen

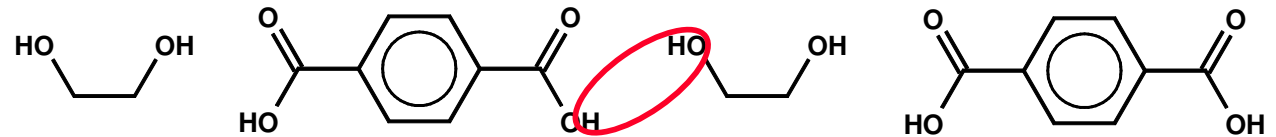
konventionelles Recycling

"super-clean" Recycling
Anwendung in Lebens-
mittelverpackungen

Recycling von Kunststoffverpackungen

Polyesterchemie

Terephthalsäure Ethylenglycol



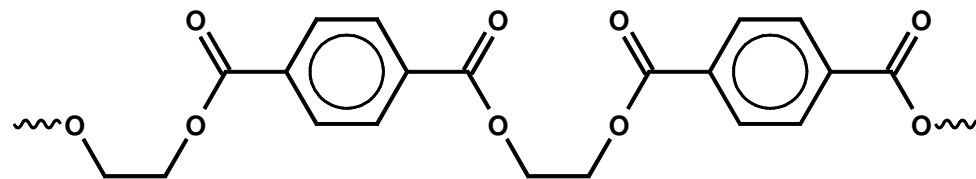
Der Katalysator verbleibt nach der Herstellung im Polymer

Beim PET Recycling können gebrochene Ketten wieder verknüpft werden!

Entfernen durch hohe Temperaturen und Vakuum

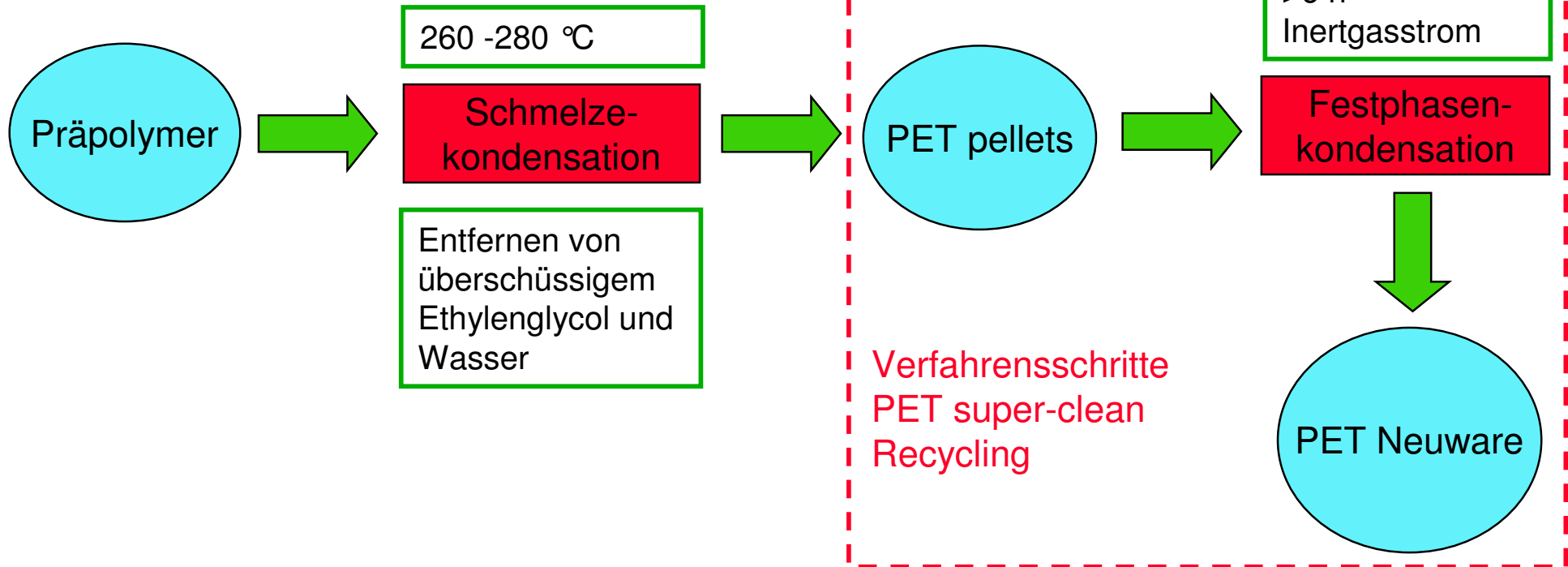
H₂O

Katalysator



Recycling von Kunststoffverpackungen

Herstellung
PET Neuware



Recycling von Kunststoffverpackungen

PET "super-clean" Recycling
Dekontamination Pellets

Prozessoption 1

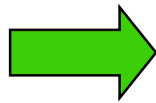
Prozess angelehnt an PET
Neuware-Herstellung

Anhebung der Viskosität
(Kettenverlängerung)

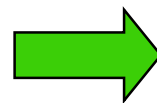
super-clean
PET pellets



gewaschene
rPET flakes



Extrudieren



rPET pellets



Dekontaminieren

Konventionelles
Recycling

>280 °C
1-4 min
Vakuum-
entgasung

"super-clean"
Recycling

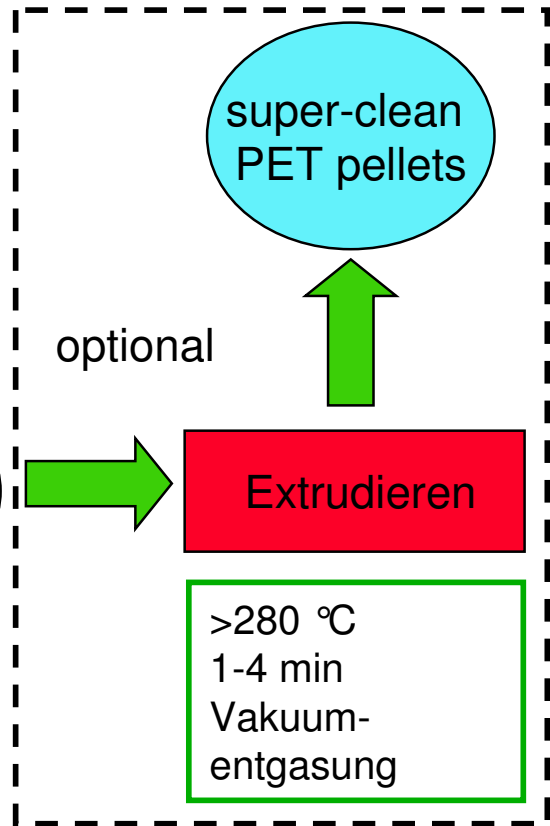
190-210 °C
4-20 h
Vakuum oder
Inergasstrom

Recycling von Kunststoffverpackungen

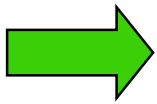
PET "super-clean" Recycling
Dekontamination Flakes

Prozessoption 2

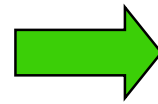
Kurze Dekontaminationszeiten
Kaum Kettenverlängerung
Flakes schlecht mit PET Neuware
(Granulat) verarbeitbar



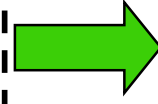
gewaschene
PET flakes



Dekontaminieren



super-clean
PET flakes



Extrudieren

Konventionelles
Recycling

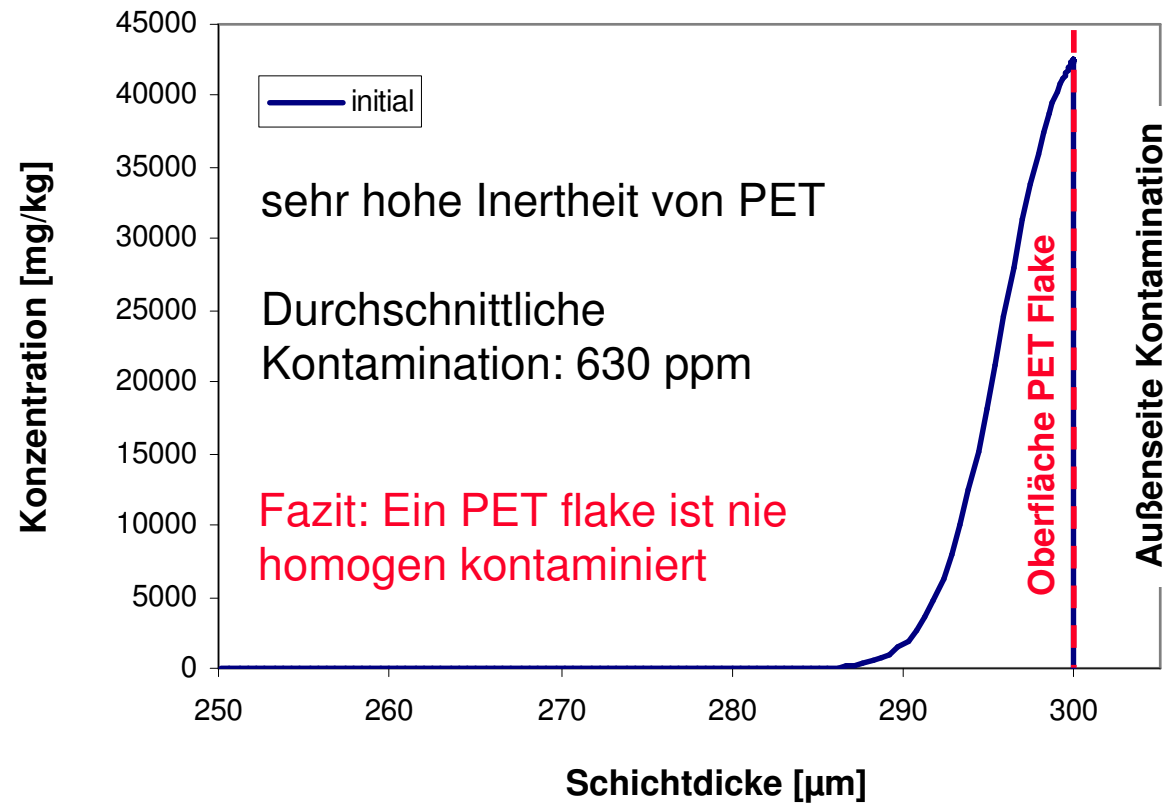
190-210 °C
Ca. 1 h
Vakuum oder
Inertgasstrom

>280 °C
1-4 min
Vakuum-
entgasung

Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling
Konzentrationsverteilung
potentieller Kontaminanten

Schichtdicke Flake: 300 μm
Künstliche Kontamination:
500 ppm Toluol,
7 d bei 55 $^{\circ}\text{C}$

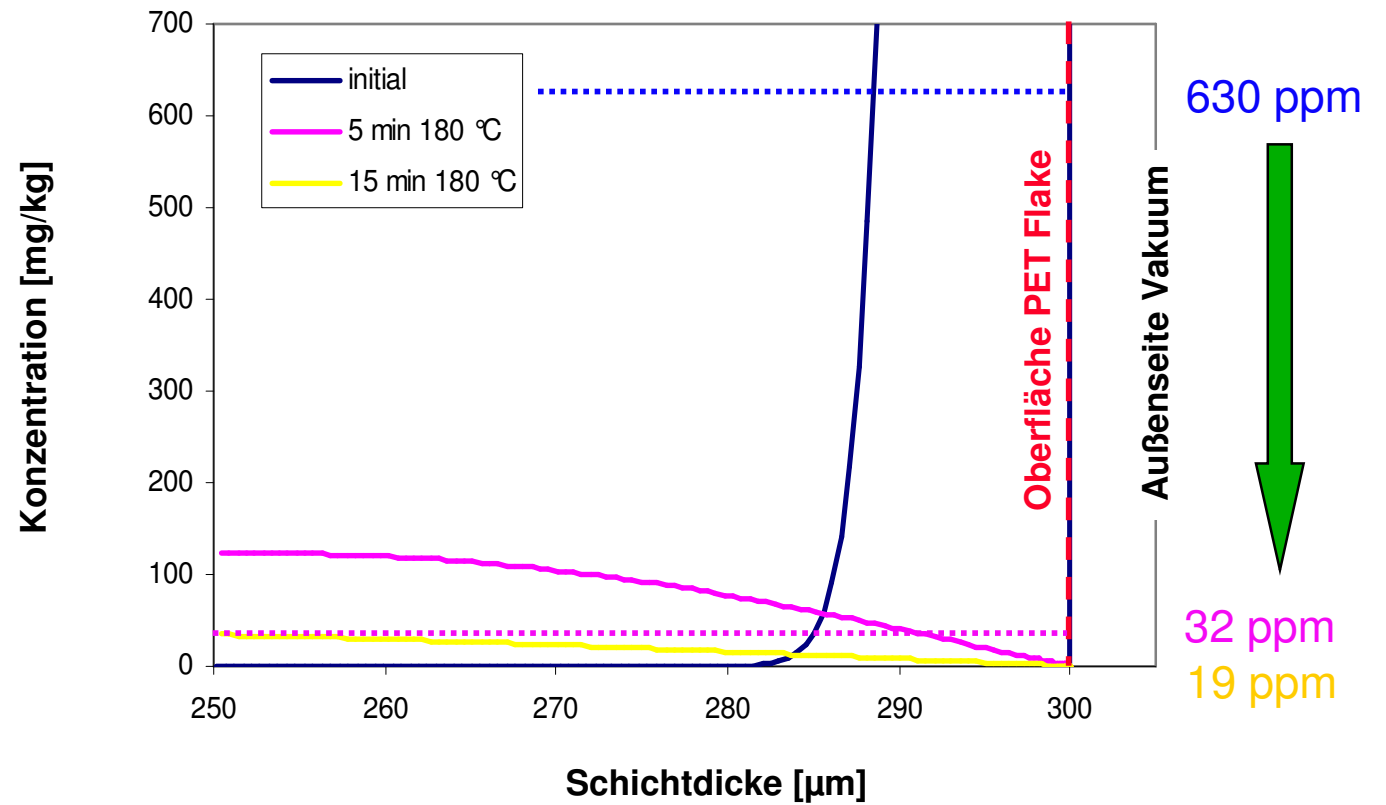


Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling Dekontamination Flakes

sehr schnelle
Dekontamination

aber kaum Viskositäts-
erhöhung (keine
Kettenverlängerung)



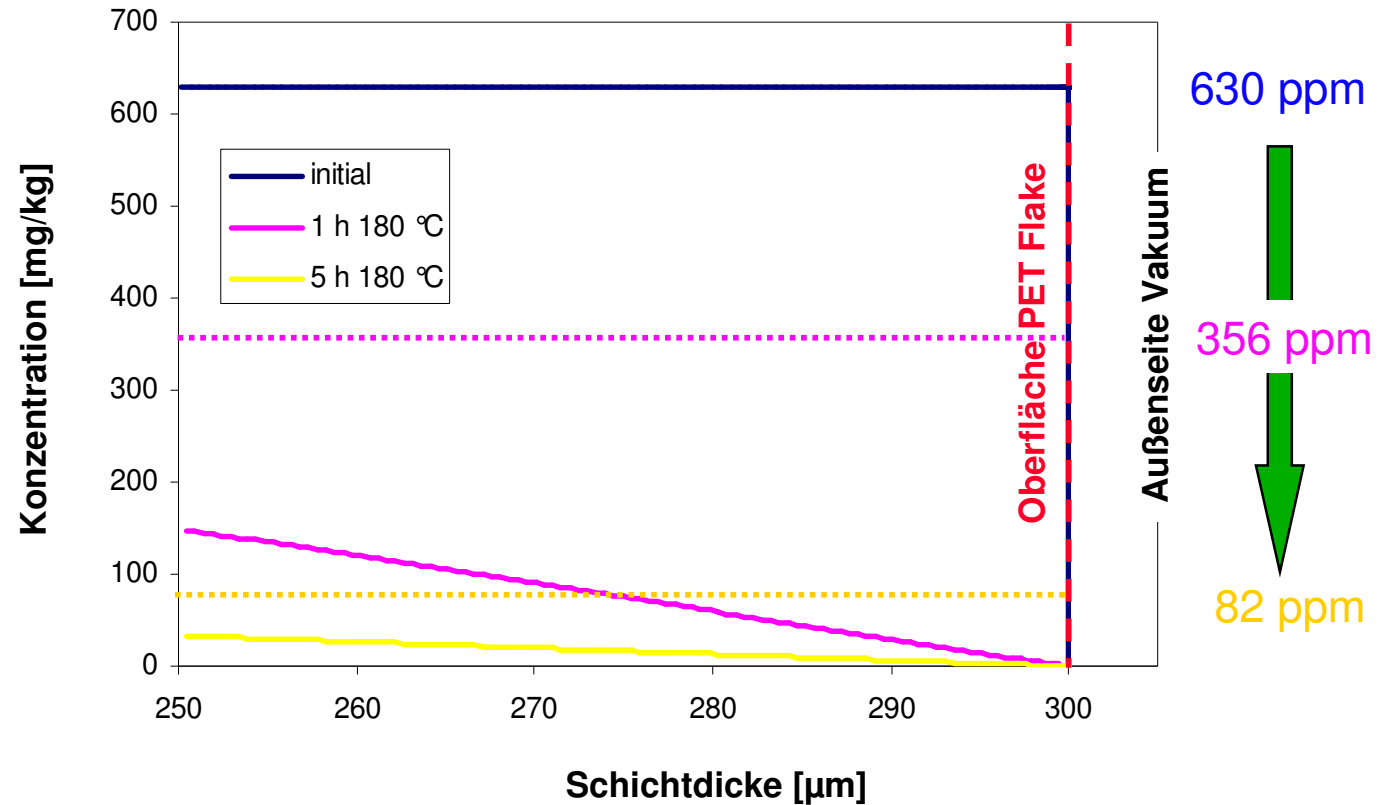
Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling Dokontamination Pellets

homogene Verteilung der Kontaminanten durch Aufschmelzen der Flakes

deutlich längere Chargenzeiten bei pellets

Viskositätserhöhung (Kettenverlängerung)



Recycling von Kunststoffverpackungen

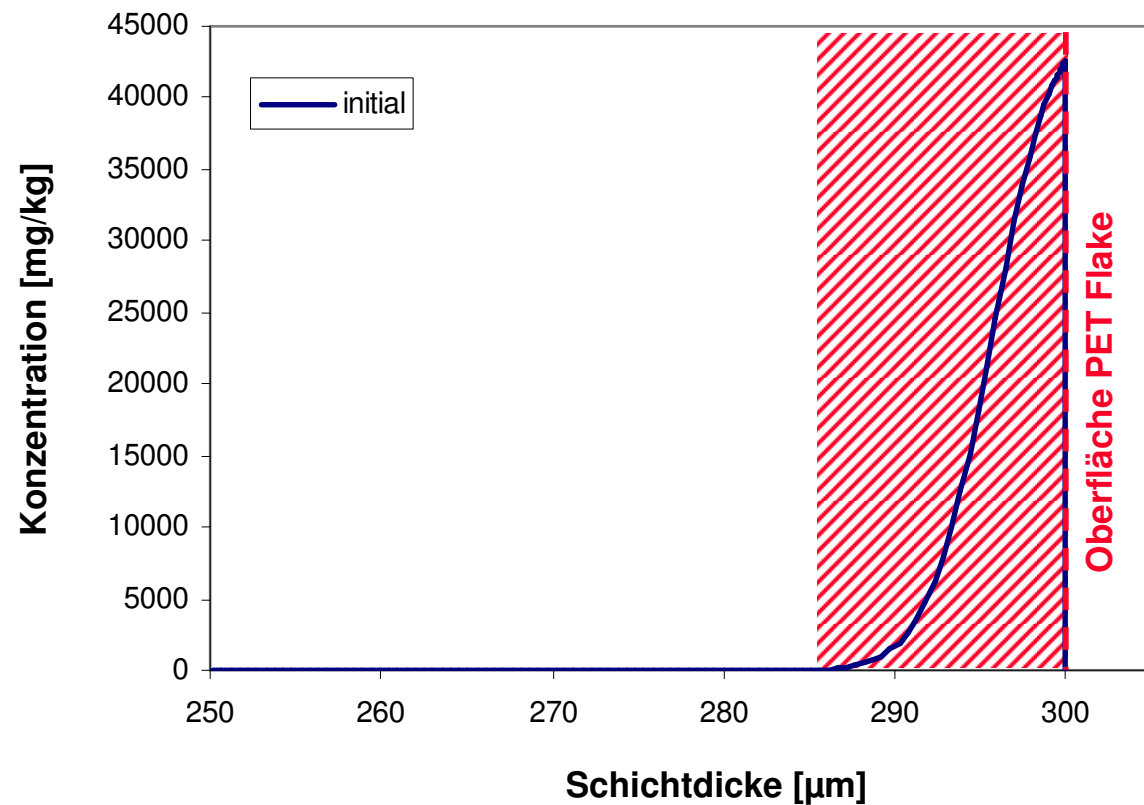
PET "super-clean" Recycling Dekontamination Flakes

Ablösen der obersten
Polymerschicht

Ablösung von ca. 15 μm der
Oberfläche (auf beiden
Seiten)

10% des Polymers gehen
verloren!

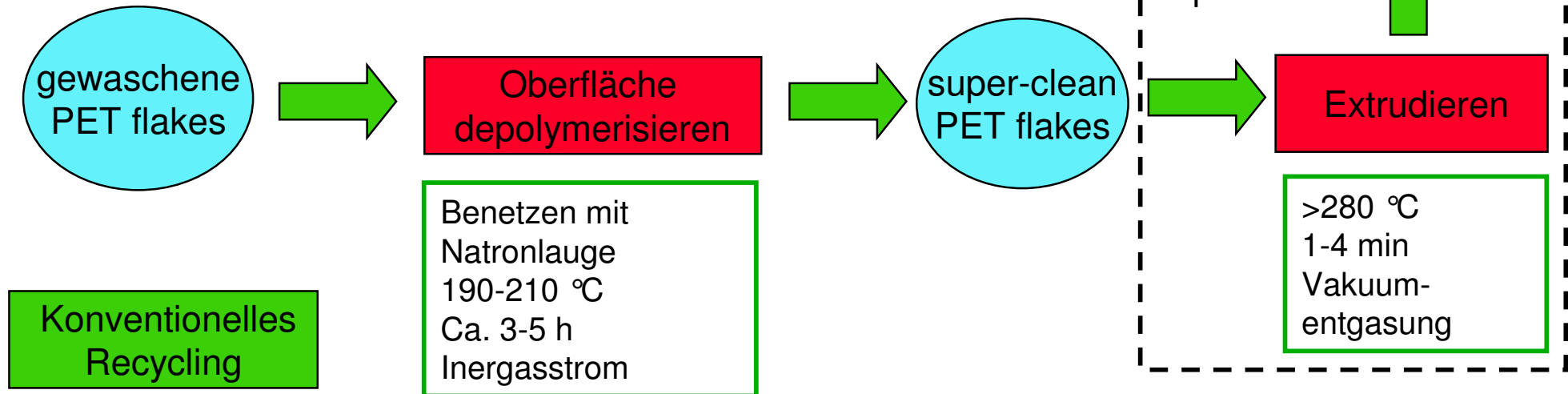
Keine Viskositätserhöhung



Recycling von Kunststoffverpackungen

PET "super-clean" Recycling
Depolymerisation
der Oberfläche

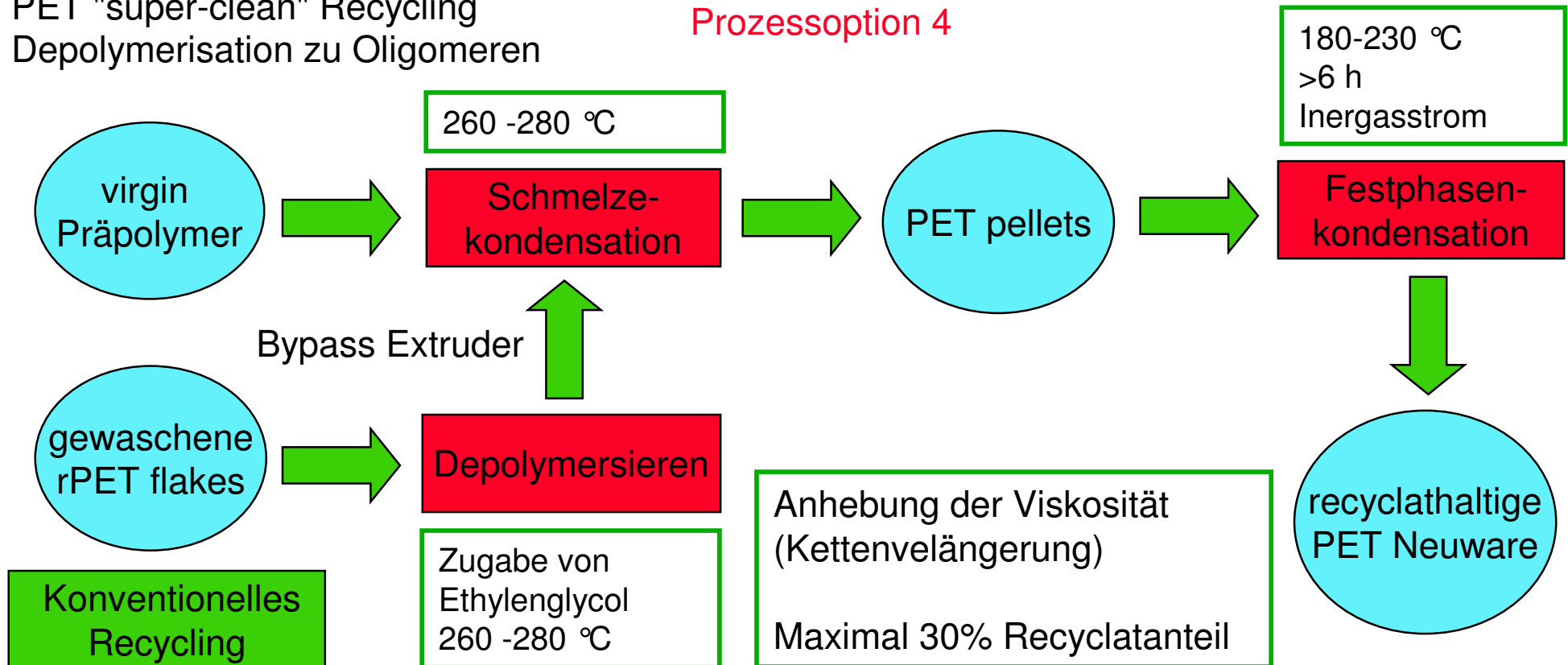
Prozessoption 3



Recycling von Kunststoffverpackungen

PET "super-clean" Recycling
Depolymerisation zu Oligomeren

Prozessoption 4



Recycling von Kunststoffverpackungen

PET "super-clean" Recycling
Reinigungseffizienzen aus
Challenge Tests

Reinigungseffizienz

leichtflüchtige
Kontaminanten

schwerflüchtige

Reinigungseffizienzen trotz
unterschiedlicher Prozesse
sehr ähnlich

pellet
Dekontamination

>99%

>99%

flake
Dekontamination

ca. 95%-99%

ca. 80%-99%

partielle
Depolymerisation
der Oberfläche

nicht publiziert

partielle
Depolymerisation
zu Oligomeren

>99%

>99%

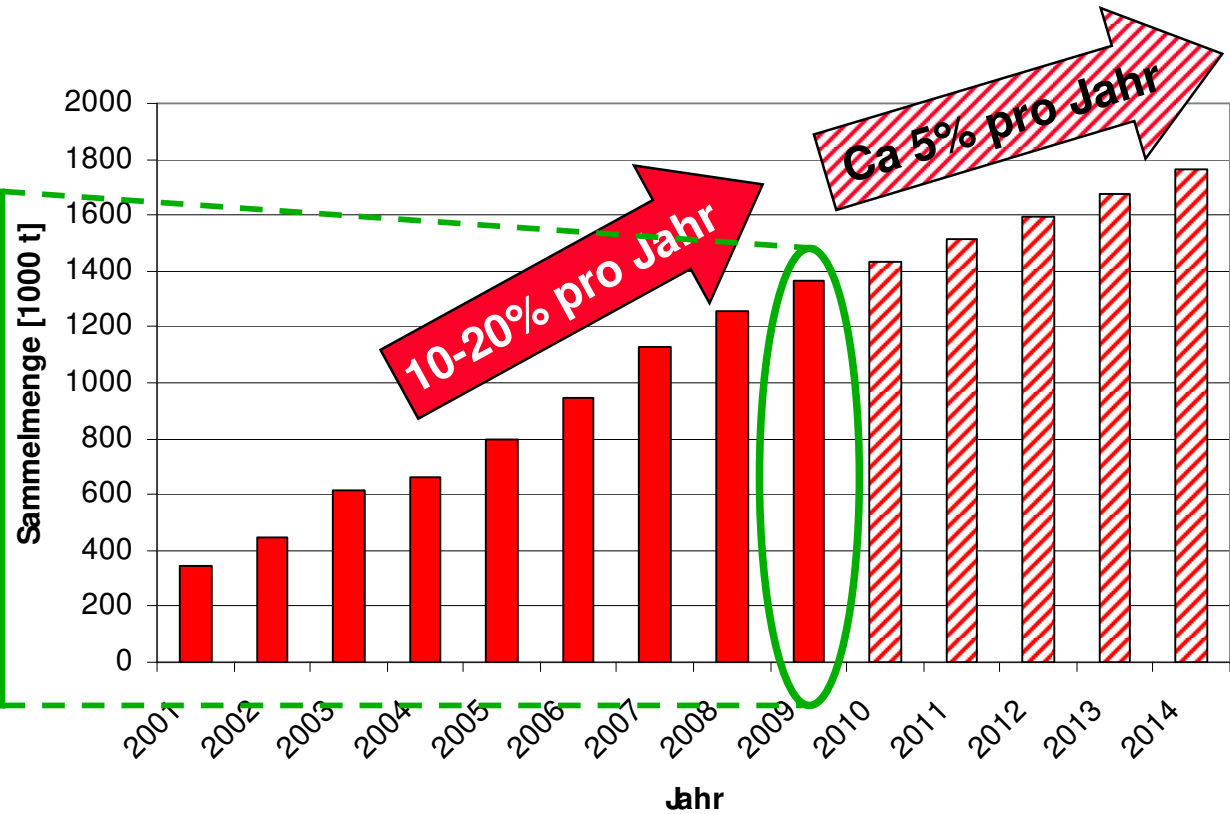
Quellen: Franz et al, Deutsche
Lebensmittel-Rundschau, 1998, 94,
303-308; Franz, Welle, Deutsche
Lebensmittel-Rundschau, 1999, 95,
424-427; Franz, Welle, Food Additives
and Contaminants, 2002, 19, 502-511;
Blanchard, Kunststoffe, 2003, 93,
145-148; Welle, Food Additives and
Contaminants 2008, 25, 123-131

Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling Sammelmengen in Europa

Sammelmenge: 1 363 000 t
 Export: 223 000 t
 Import: 67 000 t
 Verlust: 302 000 t
 (Verschlüsse, Etiketten, ...)

Bilanz 2009: 905 000 t
 (gewaschene PET Flakes)



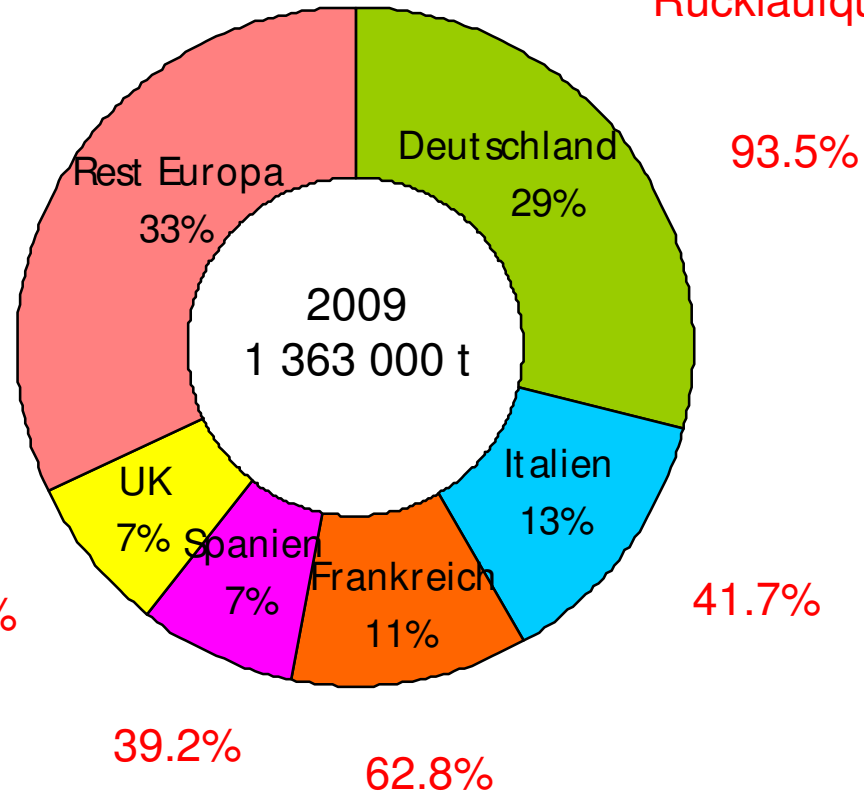
Quelle: PETCORE/PCI

Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recycling
Sammelmengen
nach Ländern

Norwegen:	90.5%
Schweiz:	86.4%
Island:	85.5%
Dänemark:	81.8%
Estland:	81.1%
Niederlande:	80.0%
:	
:	
Griechenland:	11.3%

Rücklaufquoten



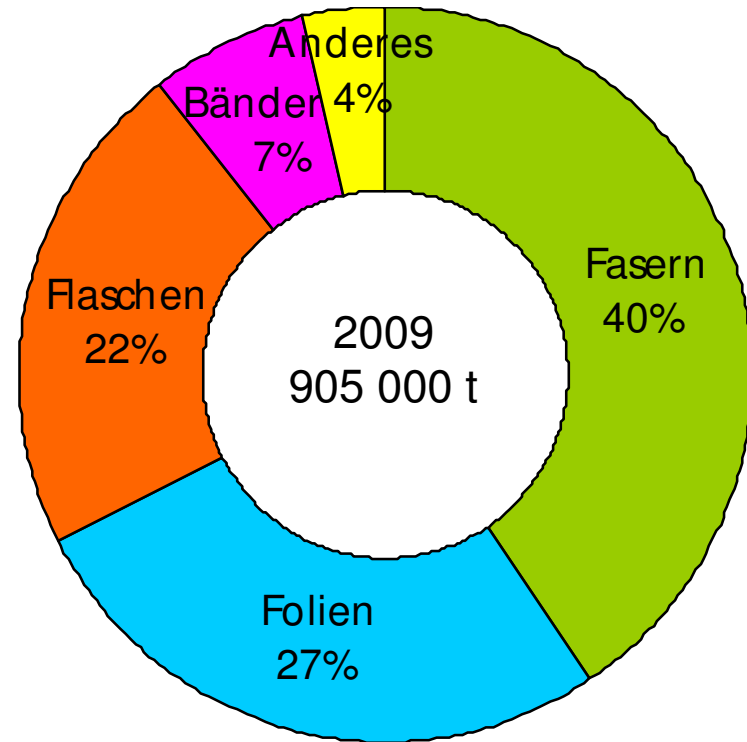
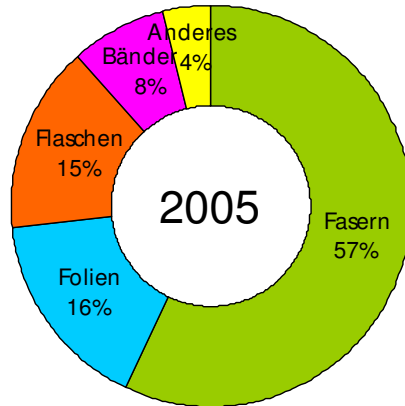
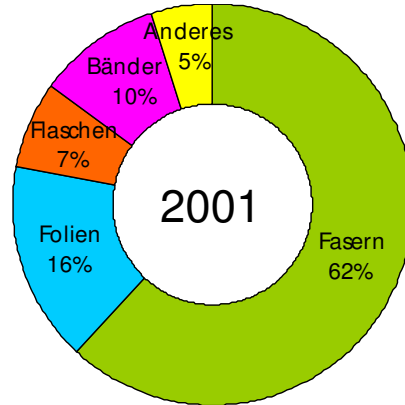
Rücklaufquote 2009
Europaweit: 48.4%

Quelle: PETCORE/PCI

Recycling von Kunststoffverpackungen

PET Recyclate Anwendungsgebiete

49% der PET Recyclate gingen 2009 bereits zurück in Verpackungsanwendungen

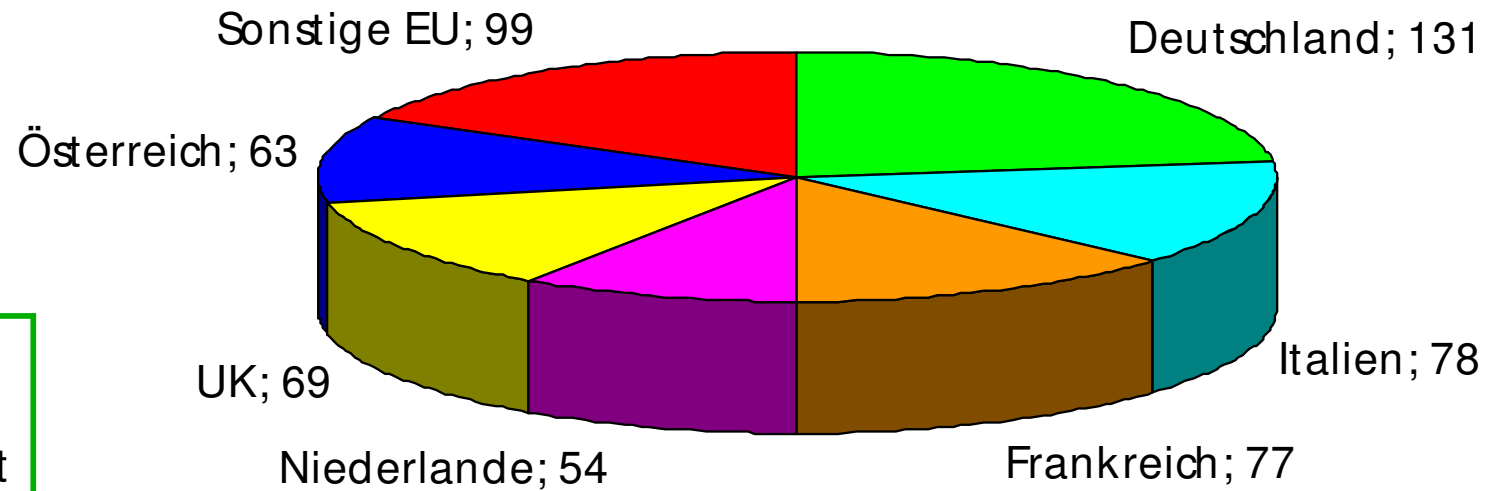


Quelle: PETCORE/PCI

Recycling von Kunststoffverpackungen

PET "super-clean"
Kapazitäten europaweit 2010

In 1000 t pro Jahr



Gesamtkapazität
"super-clean"
Recycling: 571 000 t

Quelle: Fraunhofer IVV

Recycling von Kunststoffverpackungen

Anlagenbauer
"super-clean" Recycling

Know how für den
Anlagenbau hauptsächlich
in Europa und USA!

Anlagen werden weltweit
exportiert!

Bühler	Schweiz
EREMA	Österreich
Krones	Deutschland
OHL	Deutschland
Starlinger	Österreich
URRC	USA

installierte Anlagen
in Europa

Bandera	Italien
Bepex	USA
Gneuss	Deutschland
UOPS	USA
UIF	Deutschland

FDA Approval, aber
noch keine installierte
Anlage in Europa

Quelle: Fraunhofer IVV

Recycling von Kunststoffverpackungen

HDPE "super-clean" Recycling



Quelle: Kunststoffinformation

Sortenreiner, unbedruckter HDPE Rücklauf aus Lebensmittelverpackungen nur in Großbritannien verfügbar

HDPE Milchflaschen als Quelle (Sortiereffizienz muss >99% sein!) und als Anwendungsbereich

Recyclatanteil in HDPE Milchflaschen in UK

- bisher ca. 10%
- ab Oktober 2010: 15%
- Ziel 2020: 50% Recyclatanteil

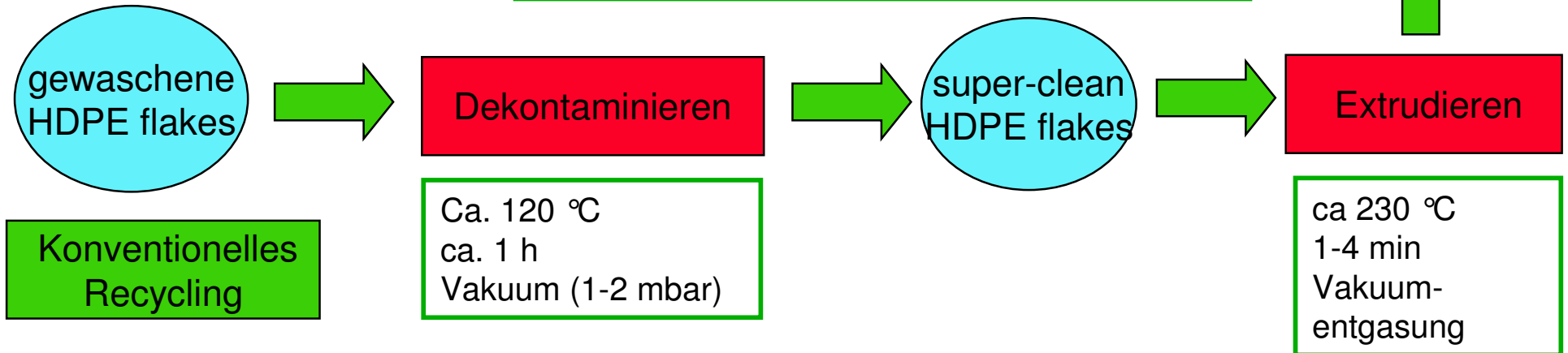
Zwei Recyclinganlagen produzieren derzeit "food grade" HDPE Recyclat in UK

Recycling von Kunststoffverpackungen

HDPE "super-clean" Recycling
Dekontamination Flakes

Reinigungseffizienzen:
leichtflüchtige Substanzen: >99%
schwerflüchtige Substanzen: 94-99%

Sortiereffizienz ist deutlich wichtiger als bei
PET (nur Milchflaschen!)



Quelle: Welle, Food Additives and Contaminants, 2005, 22, 999-1011

Recycling von Kunststoffverpackungen

weitere "super-clean"
Recyclingkandidaten

bisher kein "super-clean"
Recycling etabliert

Ausblick:

- PP: schwierig da zu hoher non-food Rücklauf
- PS: kaum geeignete Sammelmengen
- PLA: wäre interessant

Polypropylen (PP)

- hoher Anteil im Verpackungsbereich
- hoher non-food Anteil
- direkt bedruckt (Druckfarbenproblematik)
- geringe Inertheit

Polystyrol (PS)

- mittlerer Anteil im Verpackungsbereich
- zwei Materialtypen (HIPS, GPPS)
- direkt bedruckt (Druckfarbenproblematik)
- hohe Inertheit

Polymilchsäure (PLA)

- viel zu geringe Sammelmengen

Recycling von Kunststoffverpackungen

Zusammenfassung und Ausblick

- PET "super-clean" Recycling ist in Europa (weltweit) etabliert (in Europa seit ca. 15 Jahren)
 - PET "super-clean" Recycling: Vier Grundverfahren, viele Prozessvarianten
 - PET "super-clean" Kapazität derzeit bei ca. 600 000 t/y
 - Europäische Recycling Regulation 282/2008 führte zu einem verstärkten Einsatz von "super-clean" PET und zum Aufbau weiterer Recyclingkapazitäten
 - 50% Recyclatanteil bei PET-Flaschen problemlos möglich (z.T. schon am Markt)
 - HDPE Milchflaschenrecycling nur in UK (10% Recyclatanteil seit 2008 etabliert)
 - Andere Polymere: PS aussichtsreichster Kandidat
-