

---

# Ansätze zur Emissionsminderung entlang der Prozesskette der Kunststoff-Verarbeitung

---



---

Dr. Jörg Woidasky, Dr. Jan Diemert

# Gliederung

---

- Fraunhofer-Gesellschaft
- Ansätze entlang der Prozesskette
  - Werkstoffe
  - Nachbehandlungsverfahren
  - Urformprozesse
- Zusammenfassung

# Fraunhofer-Gesellschaft

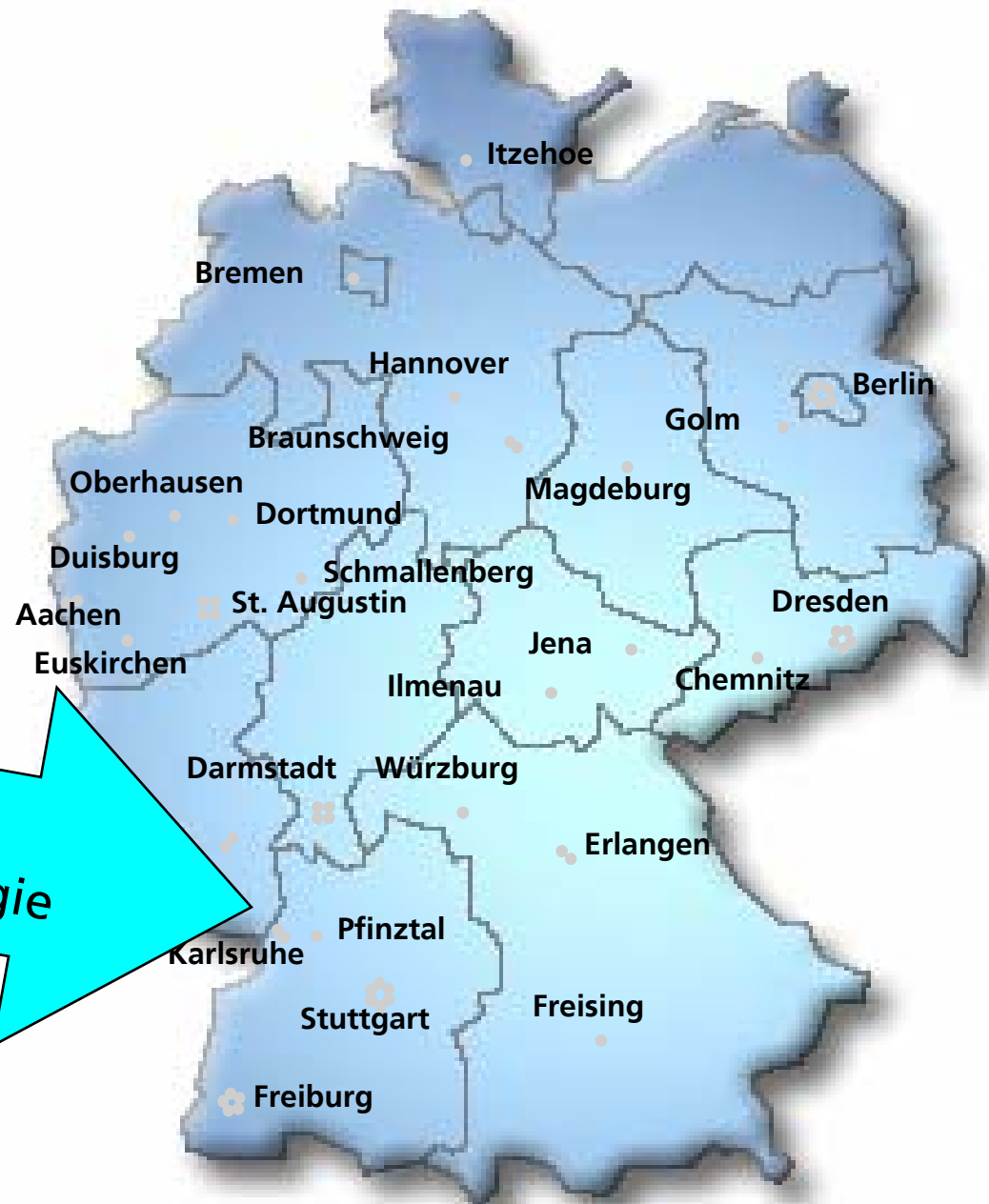
57 Institute

40 Standorte

1 Mrd. € Umsatz

13.000 Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut  
für Chemische Technologie



---

**ICT Institutsleitung (IL)**  
Prof. Dr. P. Elsner

**Querschnittsaufgaben (QA)**  
Dr. B. Hefer, C. Steuerwald

Finanzen  
Personal  
Organisation

**Controlling**  
C. Steuerwald

**Zentrales Management (ZM)**  
Dr. S. Tröster

Forschungsplanung  
Kommunikation  
Internationale Aktivitäten

**Energetische  
Materialien (EM)**  
Dr. H. Krause  
Dr. T. Keicher,  
Dr. S. Löbbecke

Analytik  
Synthese  
Reaktionstechnik  
Partikeltechnik  
Explosivstofftechnik

**Energetische Systeme  
(ES)**  
W. Eckl, G. Langer,  
Dr. N. Eisenreich

Systementwicklung  
Diagnostik  
Simulation und  
Modellierung  
Sicherheit und Schutz

**Angewandte  
Elektrochemie (AE)**  
Dr. M. Krausa  
Dr. K. Pinkwart

Batterien  
Brennstoffzellen  
Sensoren  
Elektrokatalyse

**Umwelt-  
Engineering (UE)**  
Prof. Dr. T. Hirth  
Dr. J. Woidasky  
R. Schweppe

Umweltfreundliche  
Produktionsverfahren  
Kreislauf- und  
Abfallwirtschaft  
Umweltsimulation

**Polymer-Engineering  
(PE)**  
Dr. F. Henning  
Dr. J. Diemert

Faserverbundtechnik  
Mikrowellen, Plasma  
Integrierte Prozesse  
Werkzeugtechnik  
Werkstoffe

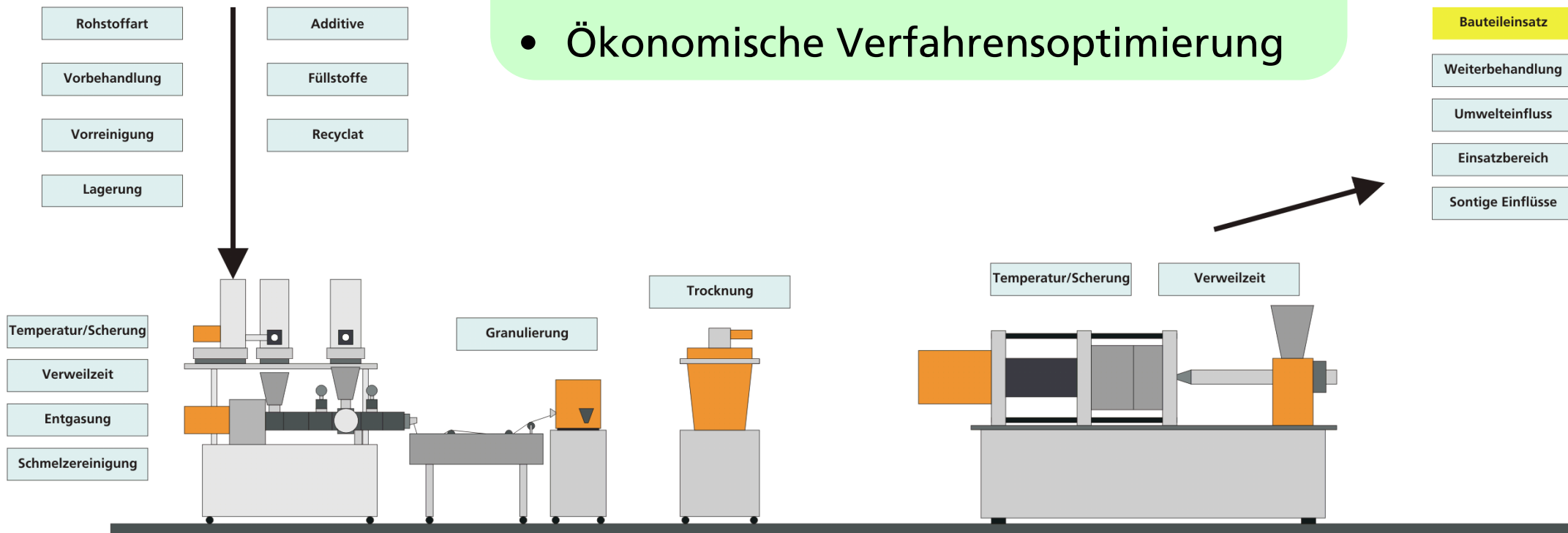
Archivierungsangaben

Seite 5

# Emissionsoptimierung entlang der Prozeßkette

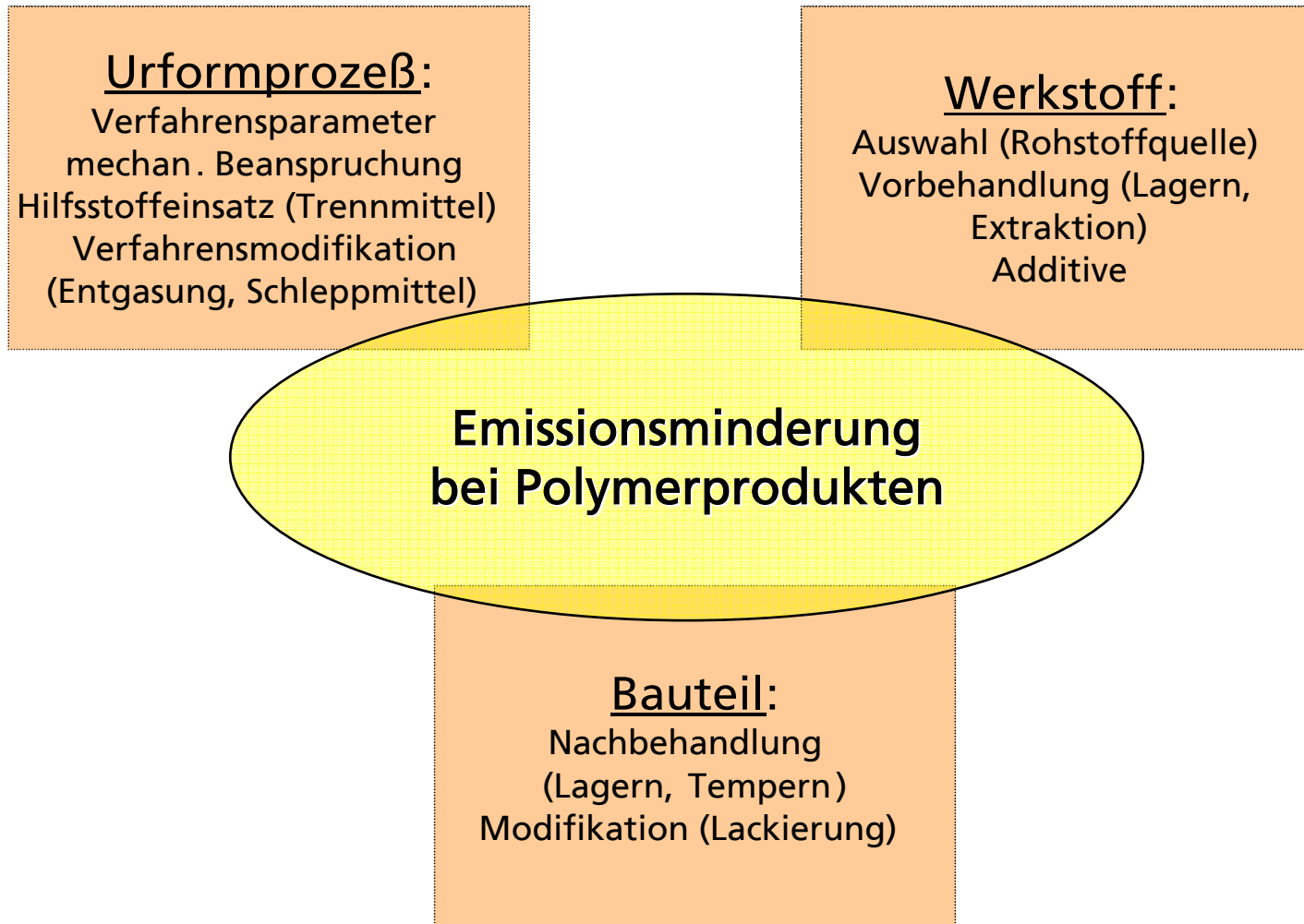
## Emissionsoptimierte Produkte:

- Identifikation der relevanten Verarbeitungsschritte
- Ökonomische Verfahrensoptimierung



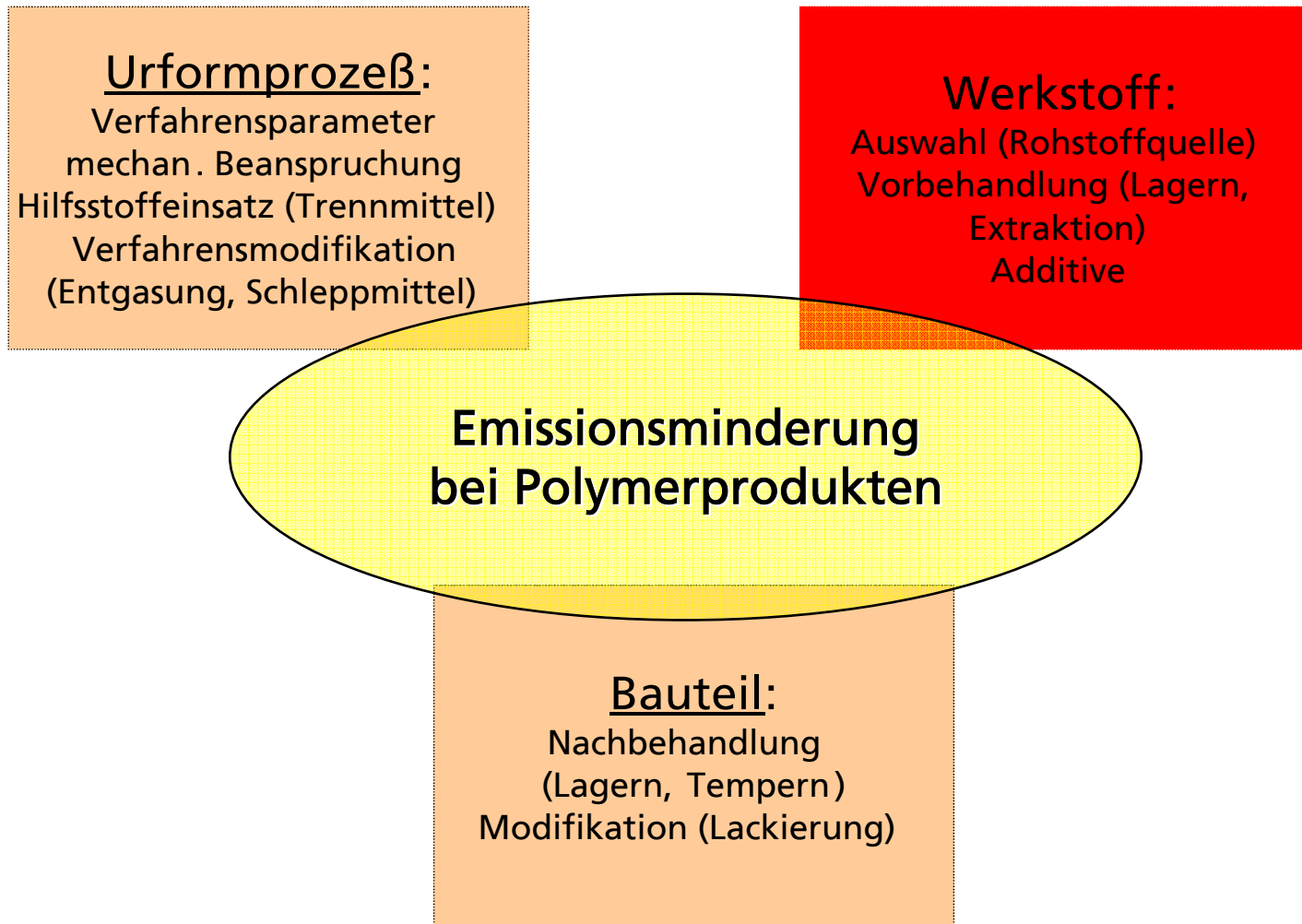
# Emissionsminderungsansätze für Polymerprodukte

---



# Emissionsminderung durch Werkstoffauswahl

---



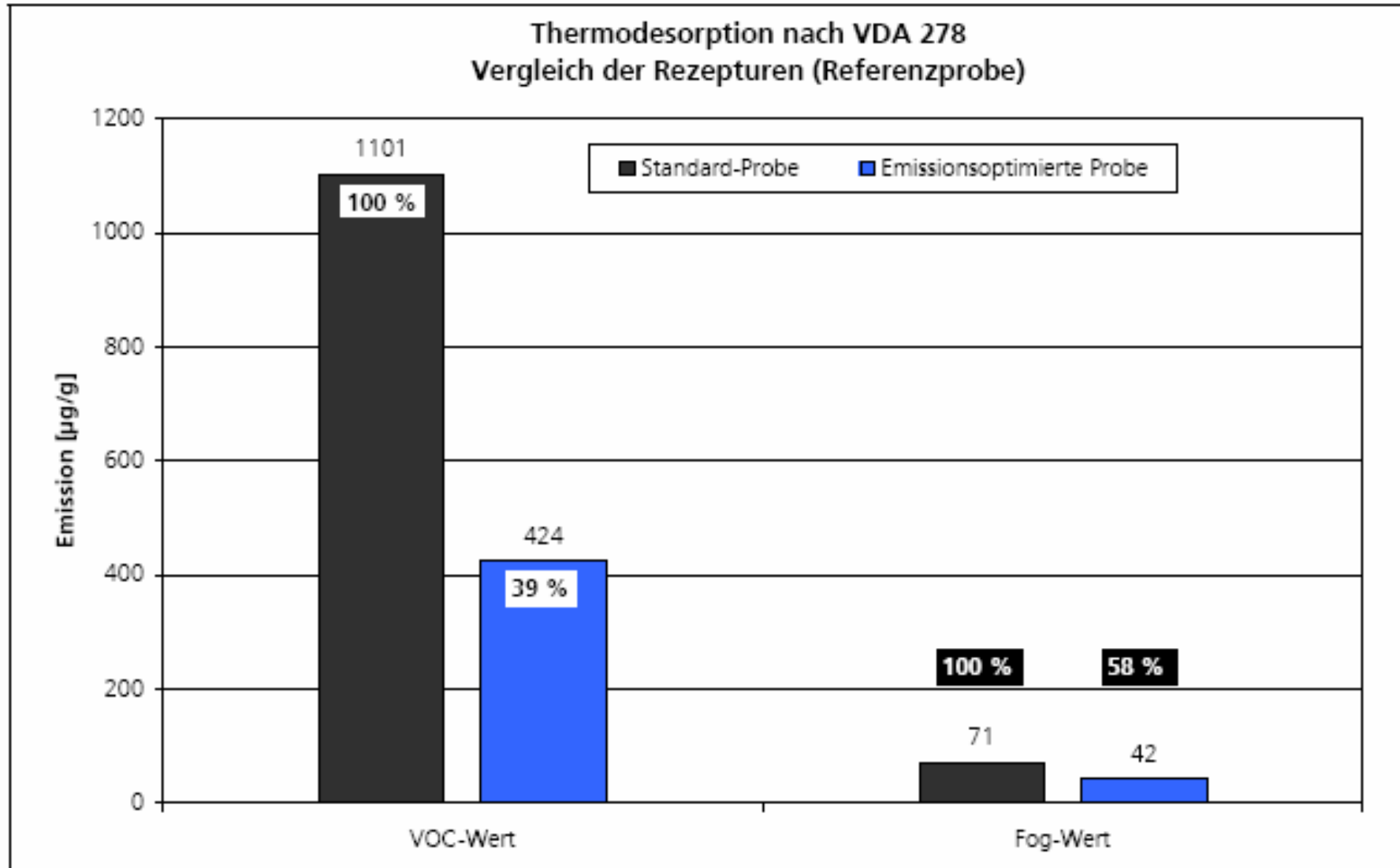
# Ursachenaufklärung: Herkunft von Emissionen in Compounds

VOC	Compound I		Quelle			
Retention [min]	Substanzname	Fläche in %	aus Vor-material 1	aus Vor-material 2	aus Vor-material 3	aus Vor-Material 4
3,837	Toluol	20,08	X			
5,064	2,4-Dimethylheptan	3,30				
6,400	p-Xylol	4,80	X			
11,062	Trimethylbenzol	5,59				
12,636	Limonen	4,59				
14,105	C12-Alkan 43 57 71 85	6,30				
23,593	C15-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155	8,11				
25,097	C15-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	5,13				
29,875	C18-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155	8,08				
30,286	BHT (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol)	13,40	X			
31,003	C18-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	6,59				
34,688	? C20- / C21-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	5,87				
35,405	? C20- / C21-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	4,74				
37,708	? C20- / C21-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	3,43				
	"Rechnerische Emissionseinsparung" bei Verzicht		ca. 38%	0	0	0
FOG						
Retention [min]	Substanzname	Fläche in %				
13,221	? Octadecanol 29 43 55 69 83 97 111 125	52,64			X	
13,701	? C21-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169 / 202	21,17	X	X	X	
14,054	? C21-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169 / 178 251	14,30				
15,020	? 29 43 55 69 83 97 111 127	5,07			X	
15,495	? C24- / C25-Alkan 43 57 71 85 / 99 113 127 / 155 169	6,83		X		
	"Rechnerische Emissionseinsparung" bei Verzicht		ca. 7%	ca. 15%	ca. 65%	0

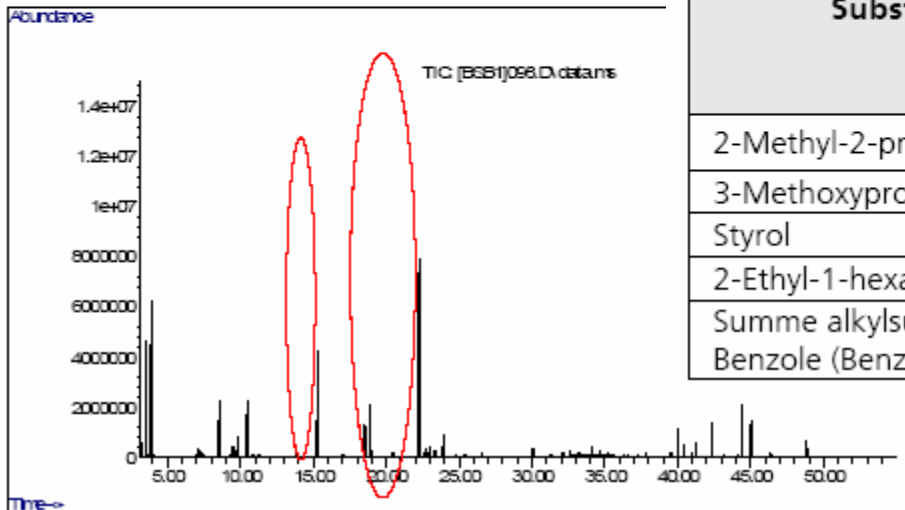
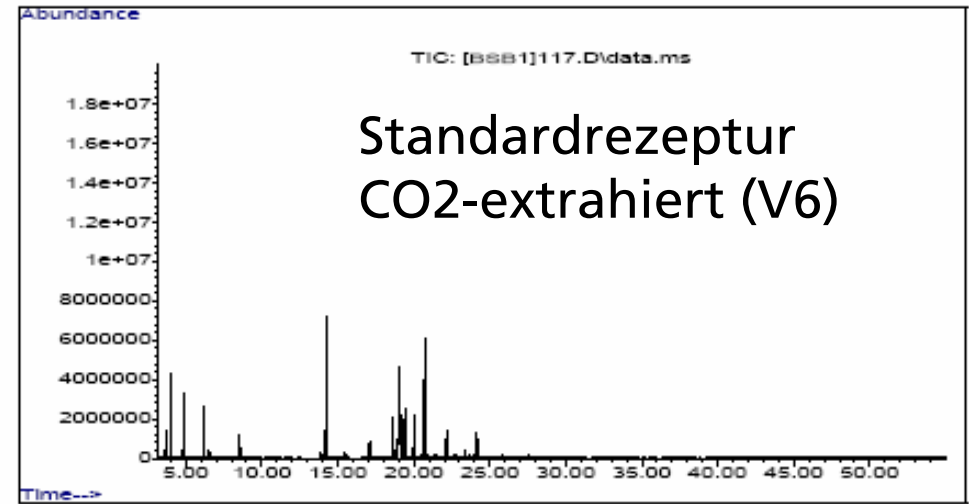
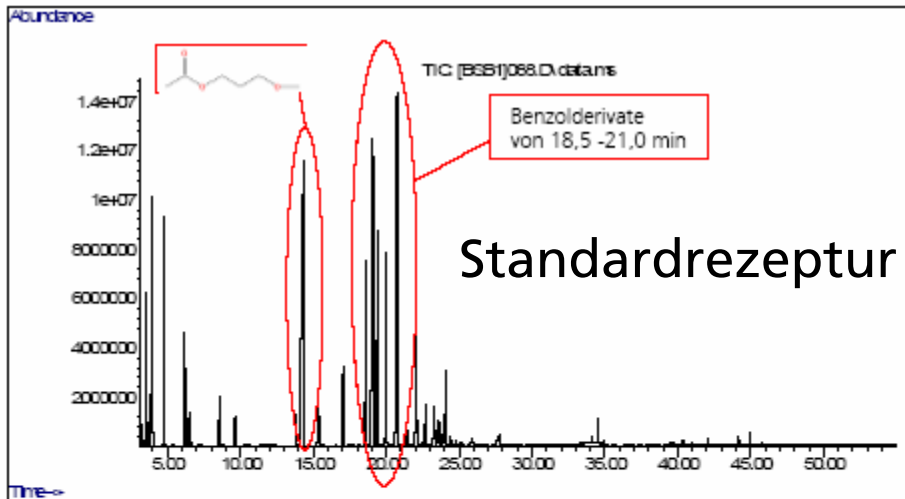
weiß <5%  
gelb 5-10%  
rot >10%



# Emissionen der Standard- und emissionsoptimierten SMC-Rezeptur



# SMC: Einzelstoffe

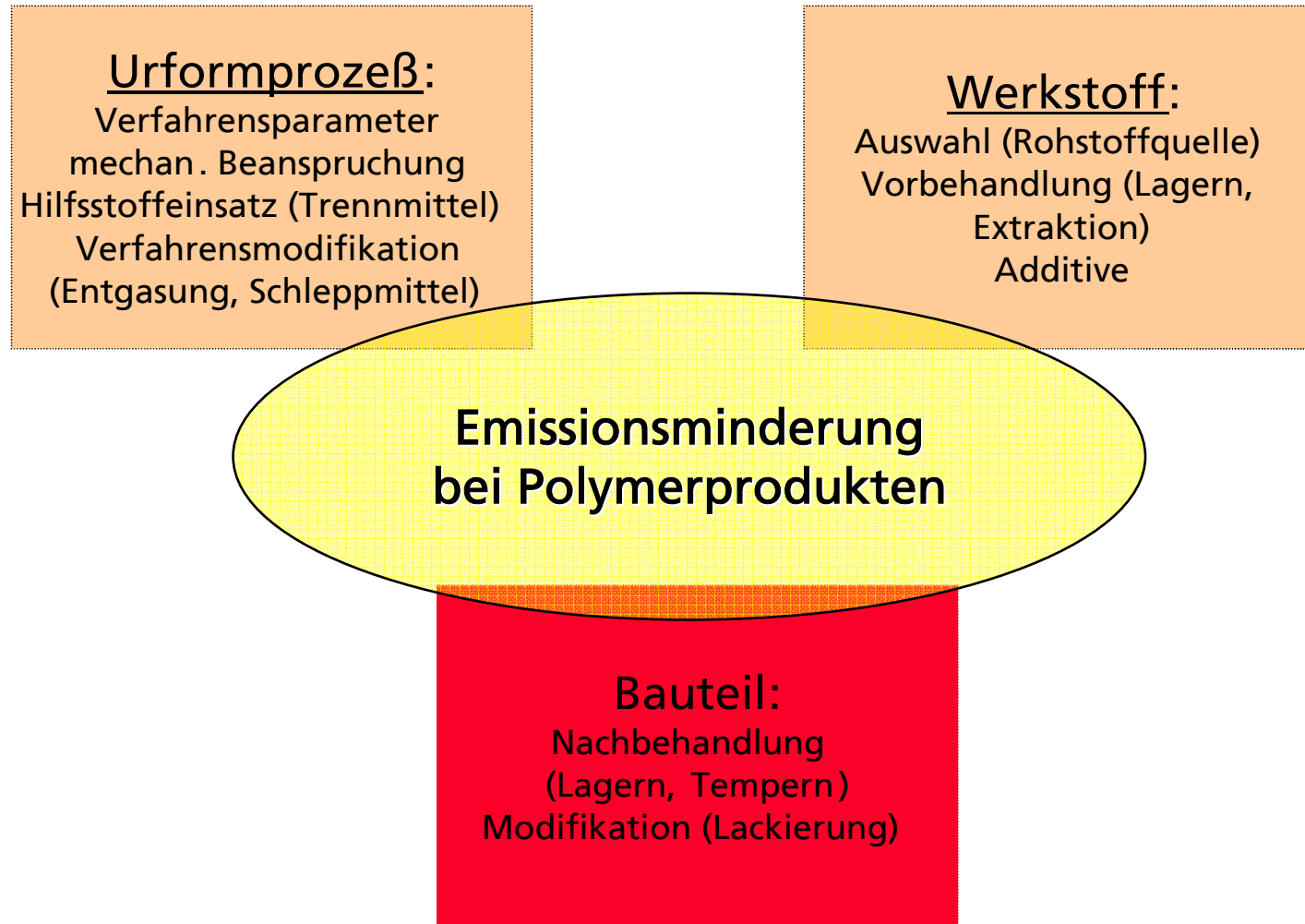


Substanz	Retentionszeit [min]	Standard SMC		Emissionsoptimiertes SMC	
		Abs. Anteil [µg/g]	Rel. Anteil an Gesamtfläche	Abs. Anteil [µg/g]	Rel. Anteil an Gesamtfläche
2-Methyl-2-propanol	3,9	72	6,5 %	53	12,5 %
3-Methoxypropylacetat	14,4	215	19,5 %	0	0 %
Styrol	15,3	11	1,0 %	43	10,1 %
2-Ethyl-1-hexanol	22,2	6	0,6 %	101	23,9 %
Summe alkylsubstituierte Benzole (Benzolderivate)	-	639	58,0 %	11	2,6 %

Emissionsoptimierte Rezeptur

# Emissionsminderung durch Bauteilbehandlung

---



# Extraktion von SMC-Bauteilen

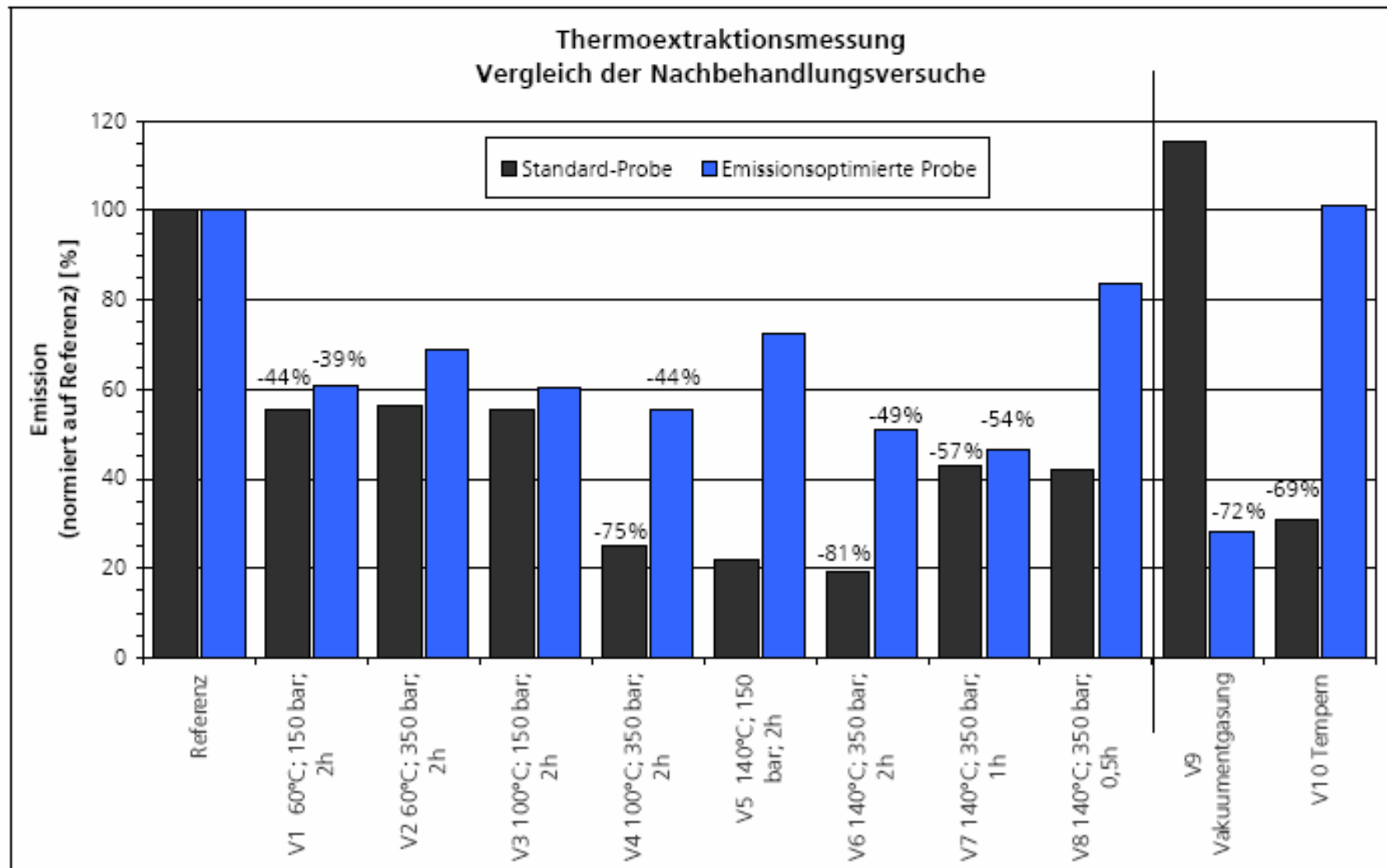
---



Hochdruckextraktionsanlage

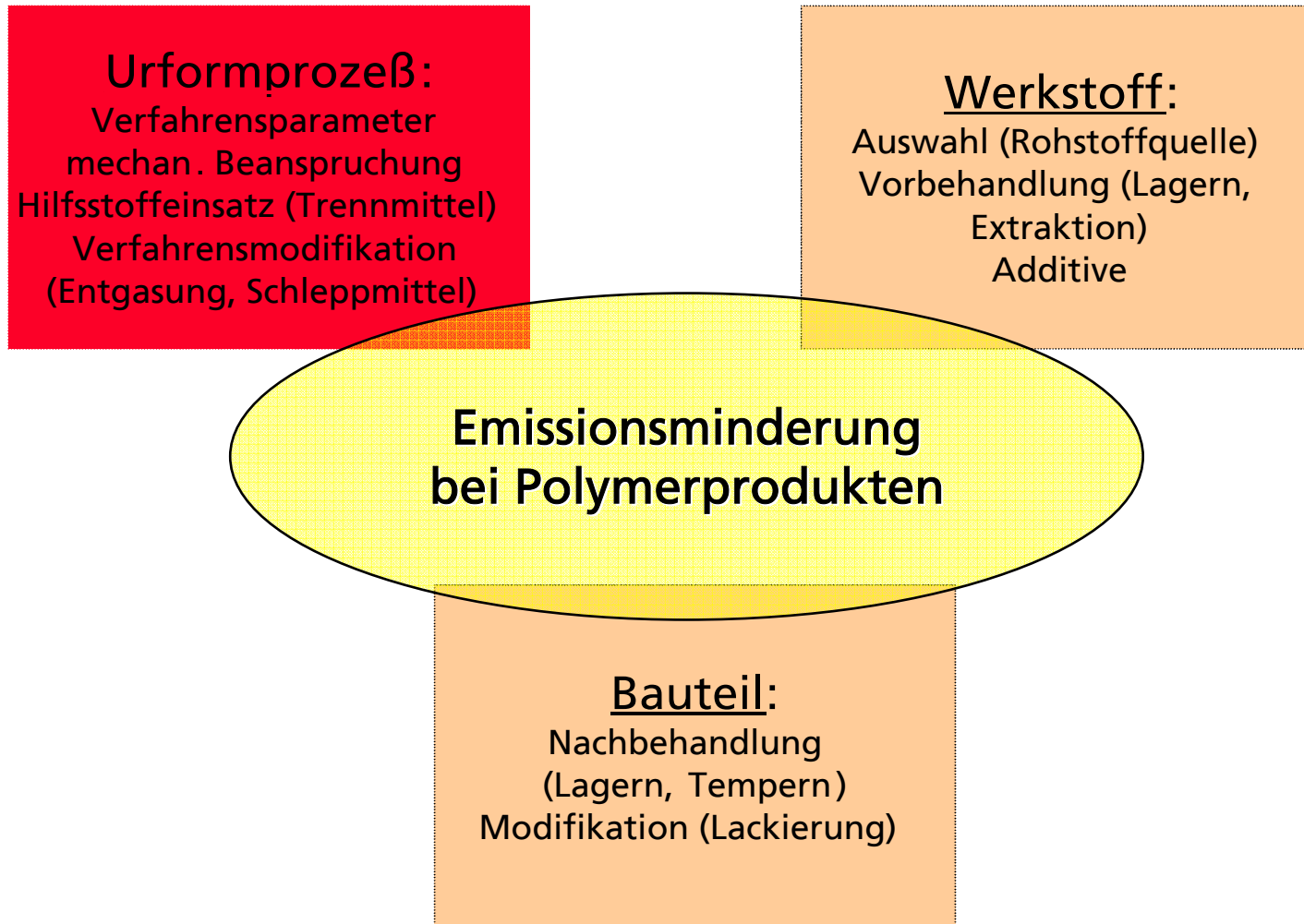
- Anlage
  - 2 x 5 l Extraktor (450bar)
  - 2 l Abscheider (80bar)
- Extraktionsdruck
  - 100-450 bar
- Extraktionstemperatur
  - 25 -160 °C (Thermoöl)
- CO<sub>2</sub>-Durchsatz
  - 2 - 12 kg/h

# Effekt der Nachbehandlung auf die SMC-Emissionen

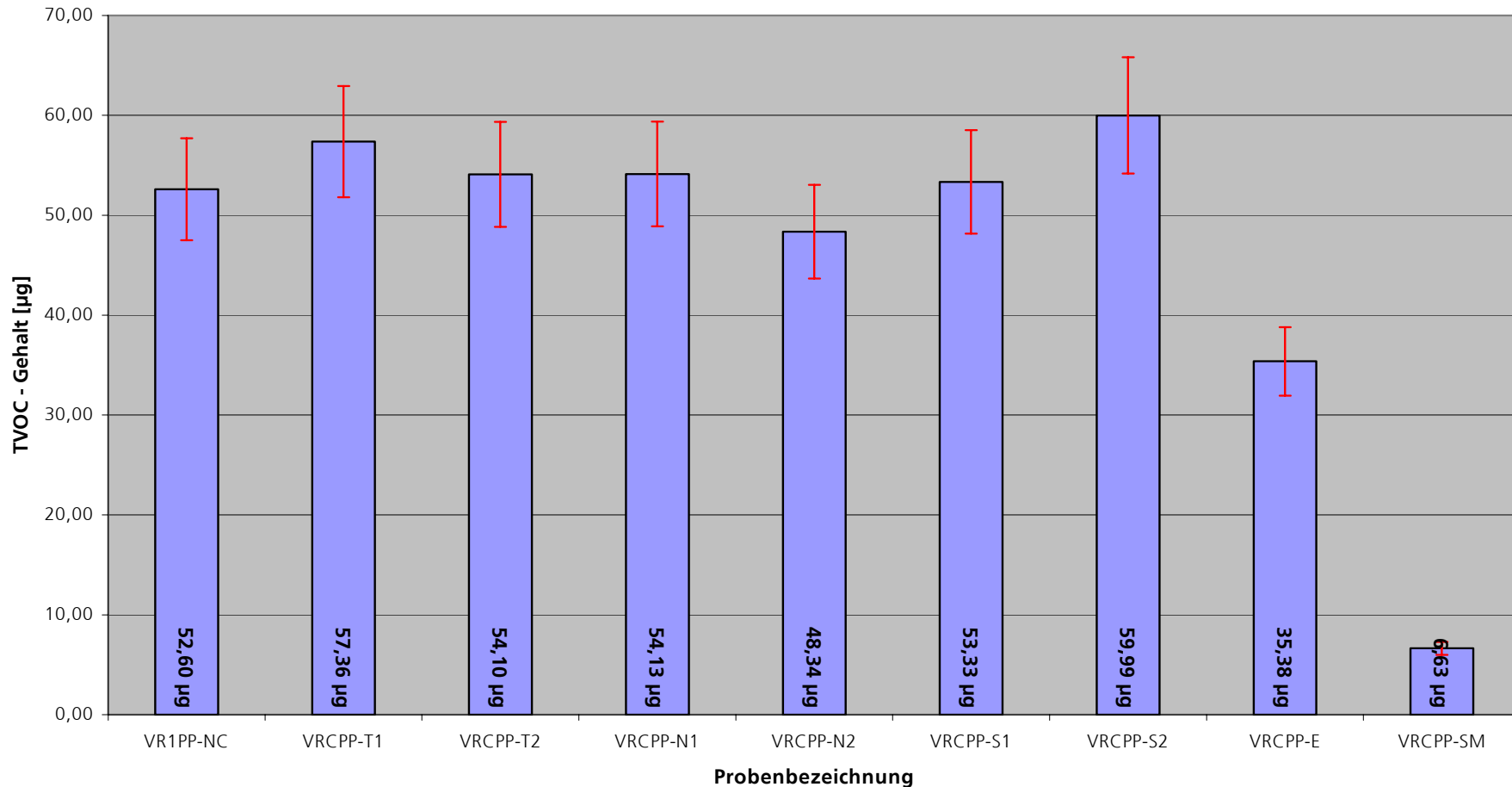


# Emissionsminderung durch integrierte Prozesse

---



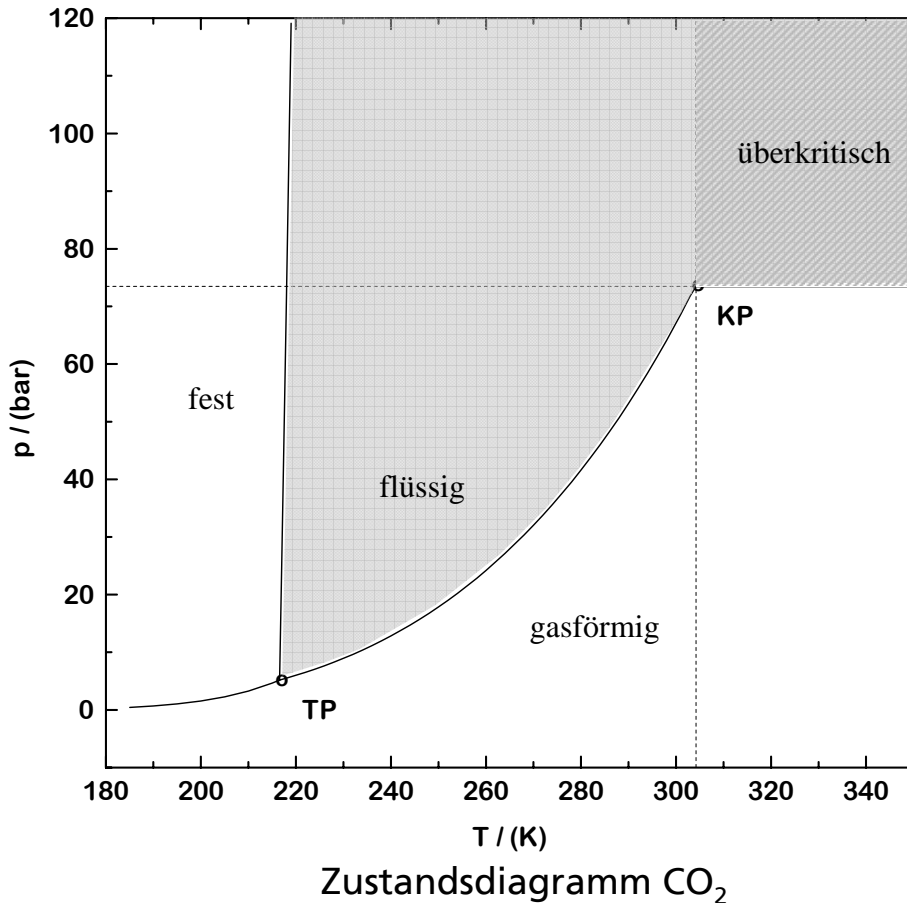
# Parametervariation bei der Compoundierung von PP



- **30% Emissionsrückgang bei Entgasung** (bezogen auf Referenzmaterial)
- **70% Emissionsrückgang bei Schleppmitteleinsatz** (bezogen auf Referenzmaterial)
- **Übrige Emissionswerte schwanken lediglich im Rahmen der Messgenauigkeit**

Seite 29

# Überkritische Fluide - Kohlendioxid

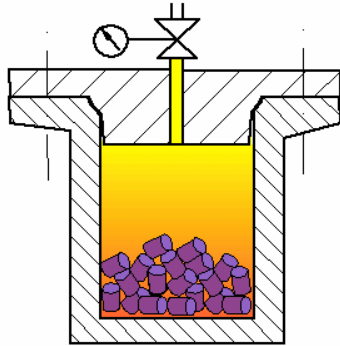


Medium	$\rho$ [g / cm <sup>3</sup> ]	$\eta$ [mPa s]	$D_{11}$ [m <sup>2</sup> / s]
Gase	$0,6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-5}$
Überkritische Fluide	0,2 - 1,0	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-8}$
Flüssigkeiten	0,6 - 1,8	1 - 50	$2 \cdot 10^{-10} - 2 \cdot 10^{-9}$

Größenordnung physikalischer Eigenschaften von Gasen,  
überkritischen Fluiden und Flüssigkeiten;  
 $\rho$  = Dichte,  $\eta$  = Viskosität und  $D_{11}$  = Selbstdiffusionskoeffizient



# Eigenschaften und Anwendungen von überkritischem Kohlendioxid

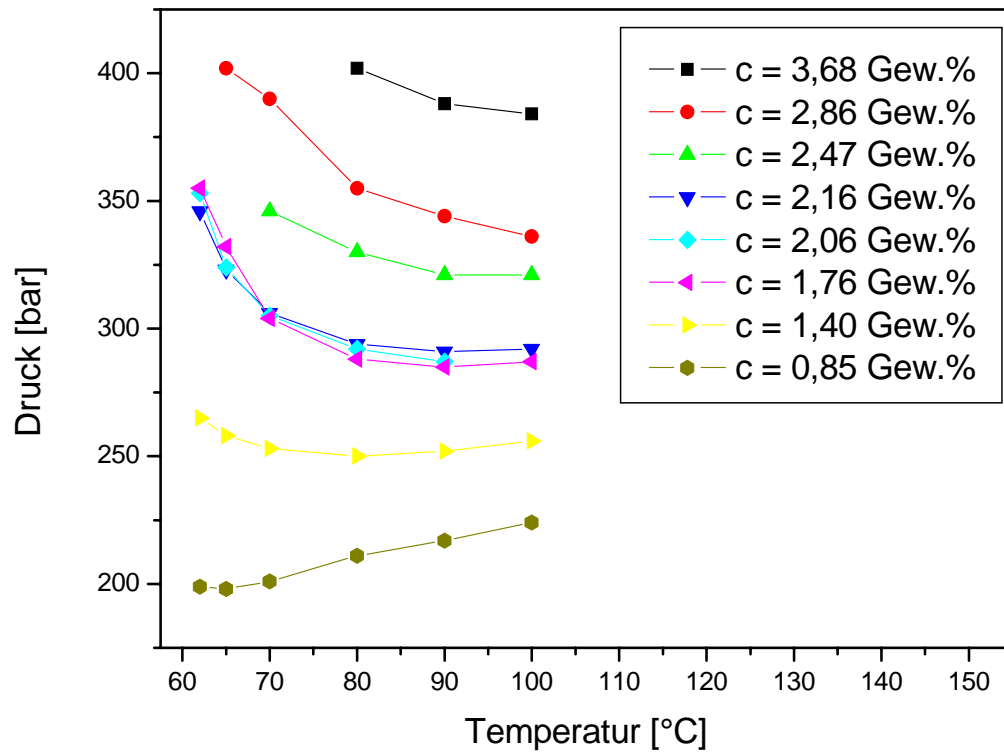


Diskontinuierliche Prozesse  
mit hoher Effektivität:

- Entkoffeinierung
- Hopfenextraktion
- Aromenextraktion

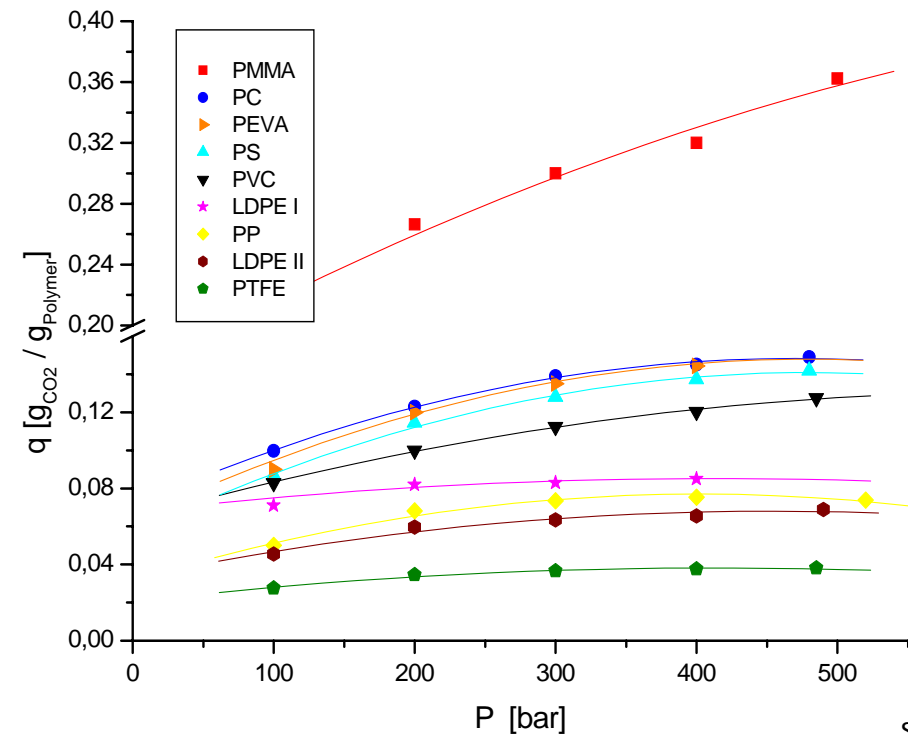


# Eigenschaften von Kohlendioxid



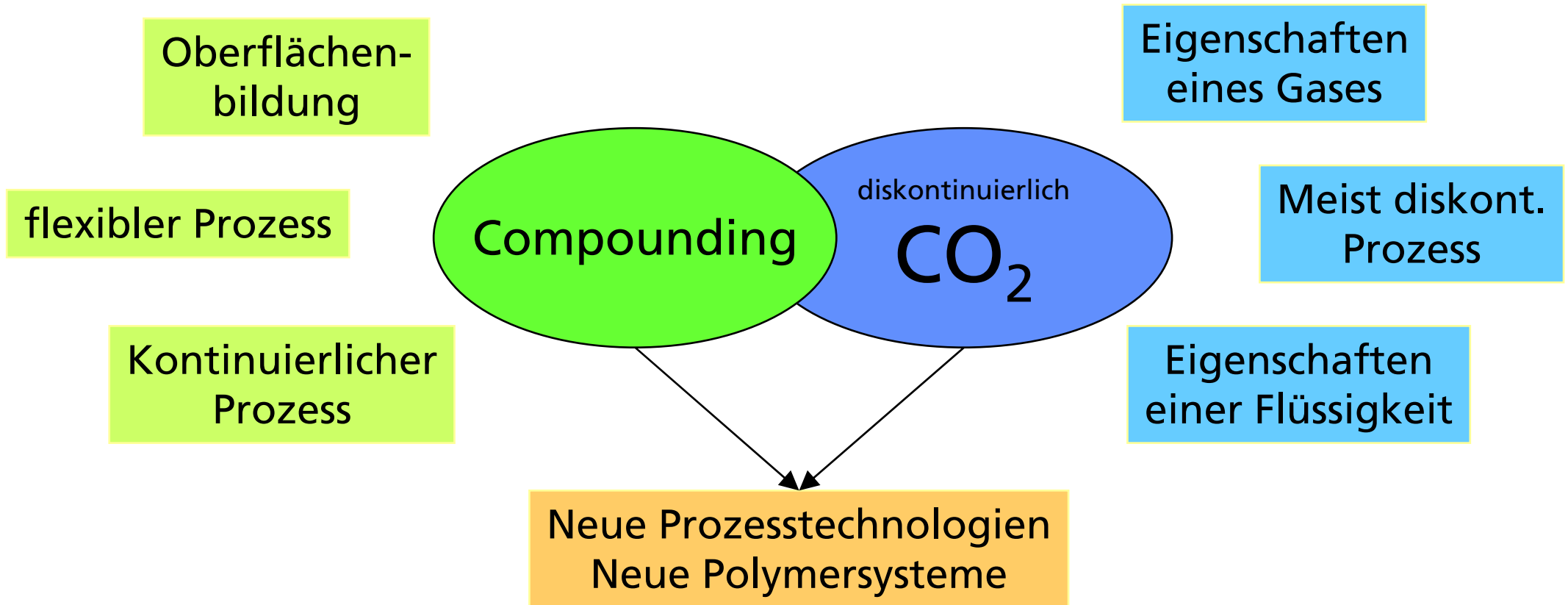
## Löslichkeit von Paraffinen

## Quellung von Polymeren



# Prozeßintegration - Ansatz

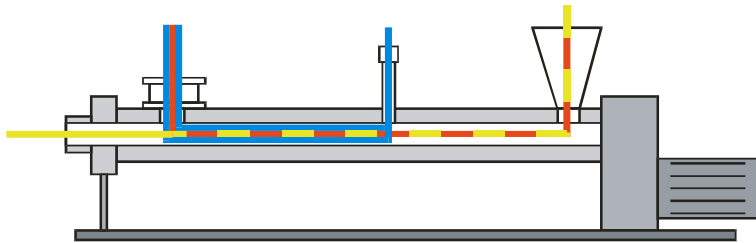
Integrierte Prozesse aus Compounding und Hochdrucktechnik  
Nutzung des synergetischen Potenzials von Kunststoff-Compoundierung  
und Hochdruckverfahrenstechnik



# Verfahrensintegration

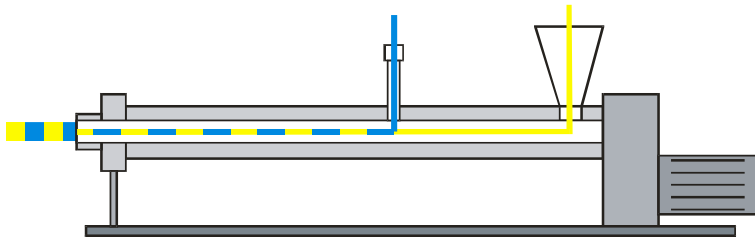
## Moderne integrierte Extrusionsprozesse – Integrationsmöglichkeiten mit der Hochdruckverfahrenstechnik

Reinigung

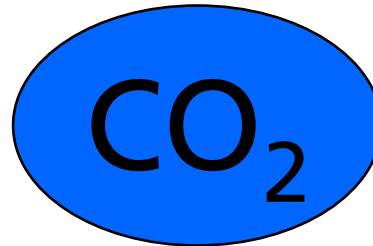


Lösungsmittel und Träger

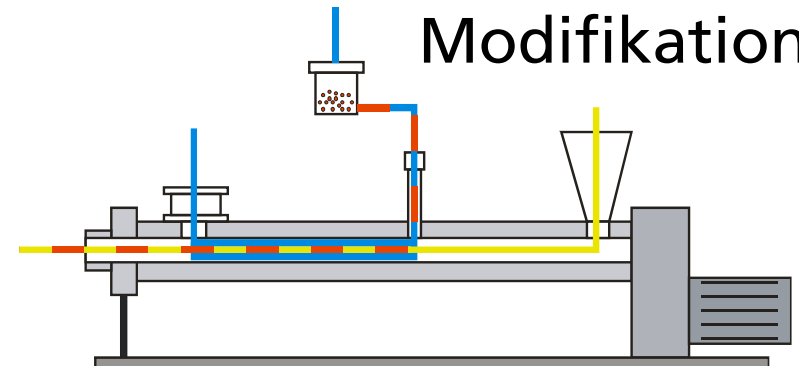
Schäumen



Treibmittel

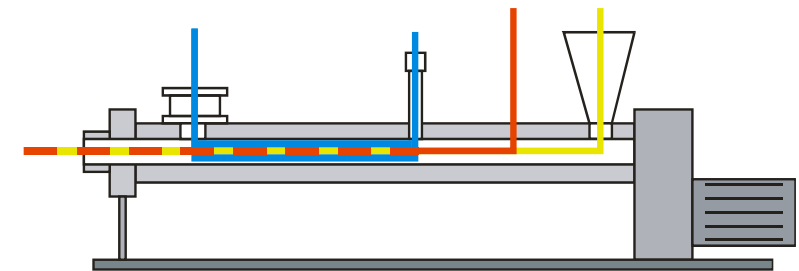


Modifikation



Träger- und Reaktionsmedium

Polymerisation

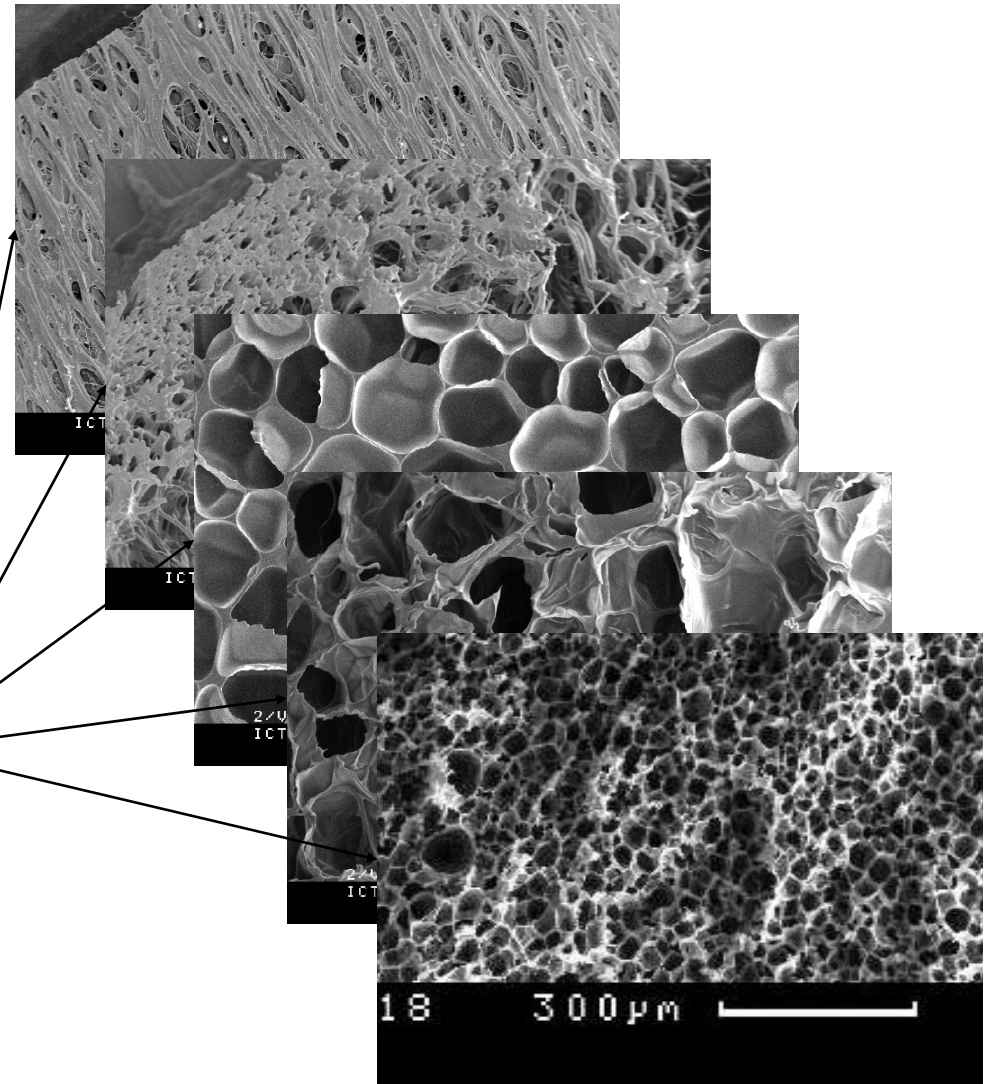
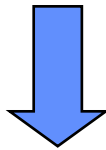
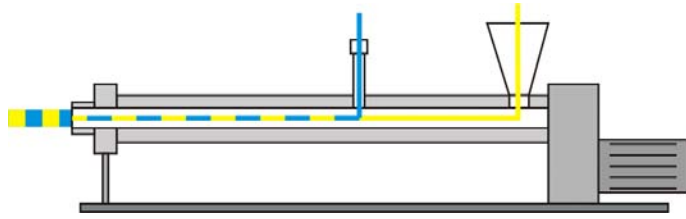


Reaktions- und Trägermedium

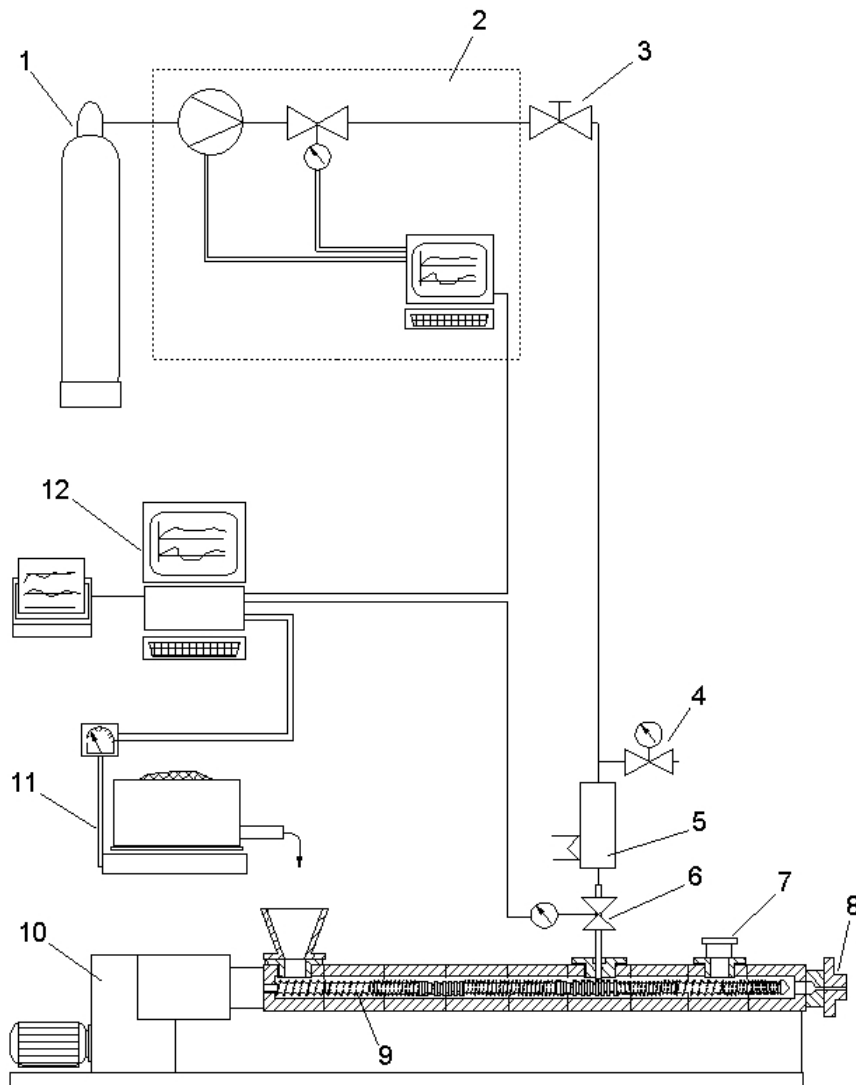
SEITE 35



# Schaumextrusion – vielfältige Möglichkeiten



# Anlagentechnik Polymermodifikation / Schaumextrusion



## Verfahrensablauf:

Lösen von reaktiven Komponenten im CO<sub>2</sub>

Reaktion der Komponenten mit dem Polymer

Extraktion des CO<sub>2</sub> aus der Schmelze

## Verfahrensvorteile:

Schnellere Homogenisierung

Verarbeitung thermisch sensibler Additive

Inerte Eindosierung kritischer Substanzen

Patentiertes Verfahren: EP 1 092 527 B1

# Integrierte Extrusionsprozesse - Ein Konzept für neue Werkstoffe



Beispiel:  
Farbstofftransport

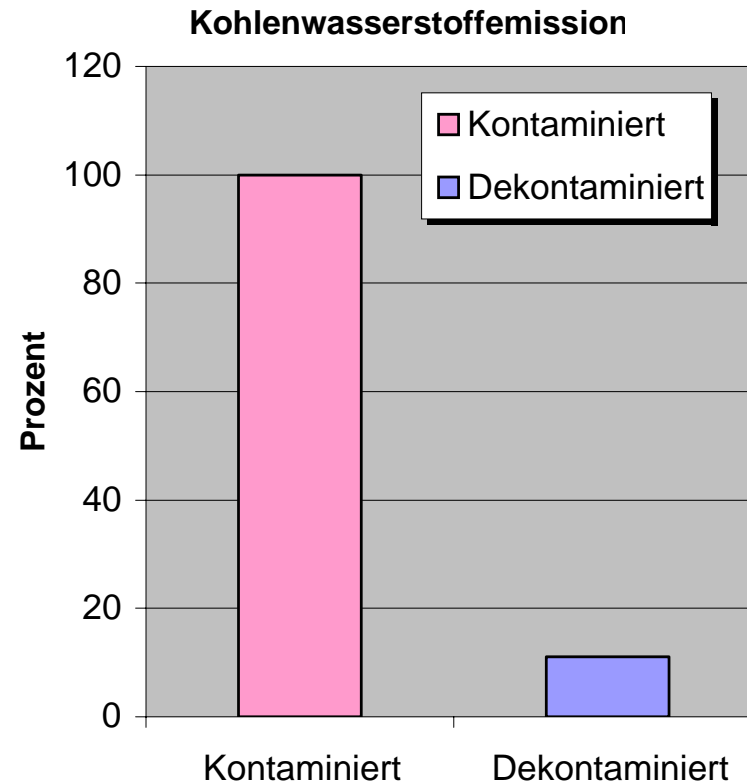
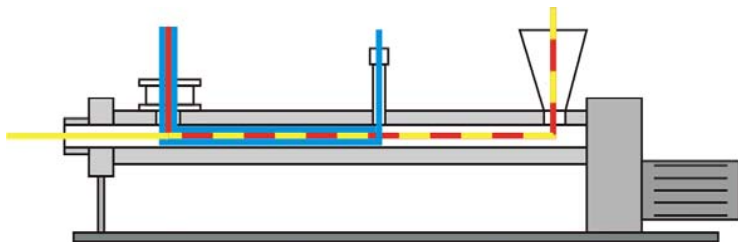


Anwendungspotential:  
Peroxide  
Wirkstoffe  
Precursor-Substanzen

# Integrierte Reinigungs- und Compoundierprozesse

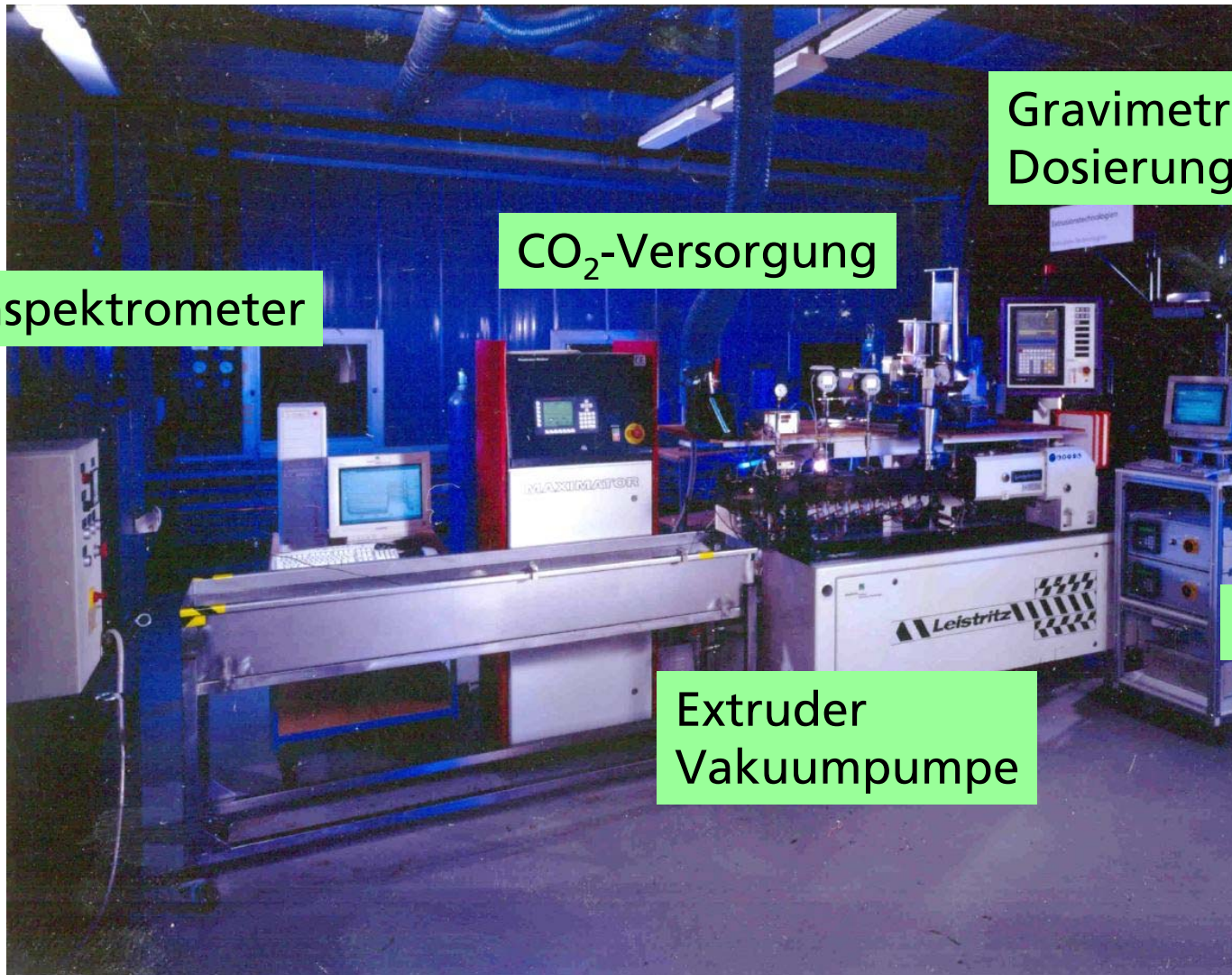
## Motivation:

- Wiederverwendung kontaminierter Kunststoffe
- Rezyklateinsatz in hochwertigen Bauteilen
- Reduktion der VOC-Werte
- Geruchsreduktion
- Restmonomerentfernung
- Reinigung von Neuware





# Integrierte Verfahrenstechnik zur Reinigung und Compoundierung



Massenspektrometer

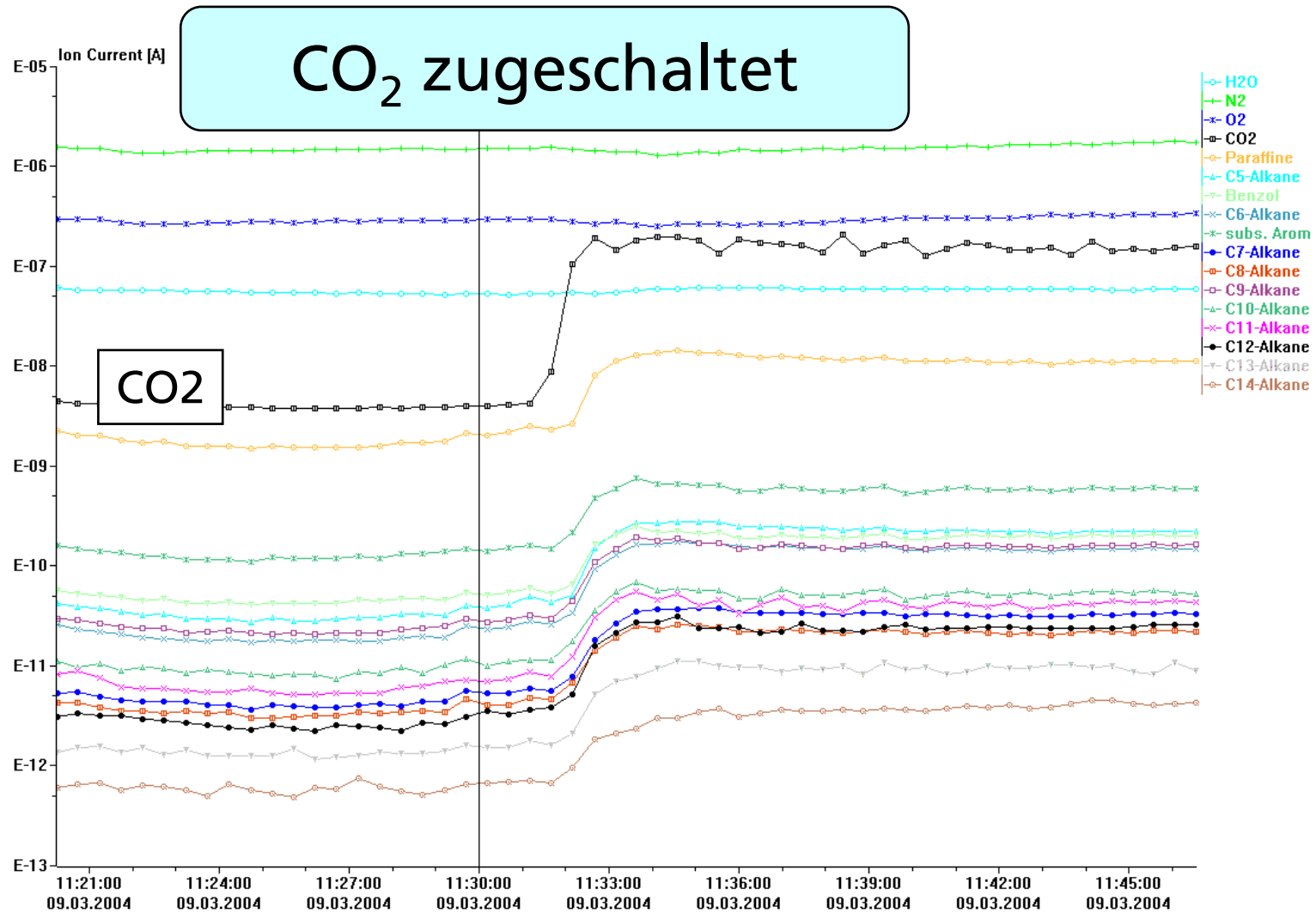
CO<sub>2</sub>-Versorgung

Gravimetrische  
Dosierung

Extruder  
Vakuumpumpe

Meßtechnik

# MS-Emissionmessung online am Vakuumdom



# Forschungsvorhaben

Entwicklung und Umsetzung eines Verfahrens zur Herstellung emissions- und geruchsarmer Kunststoffe beginnend mit PP-Rezyklaten aus Automobilanwendungen.

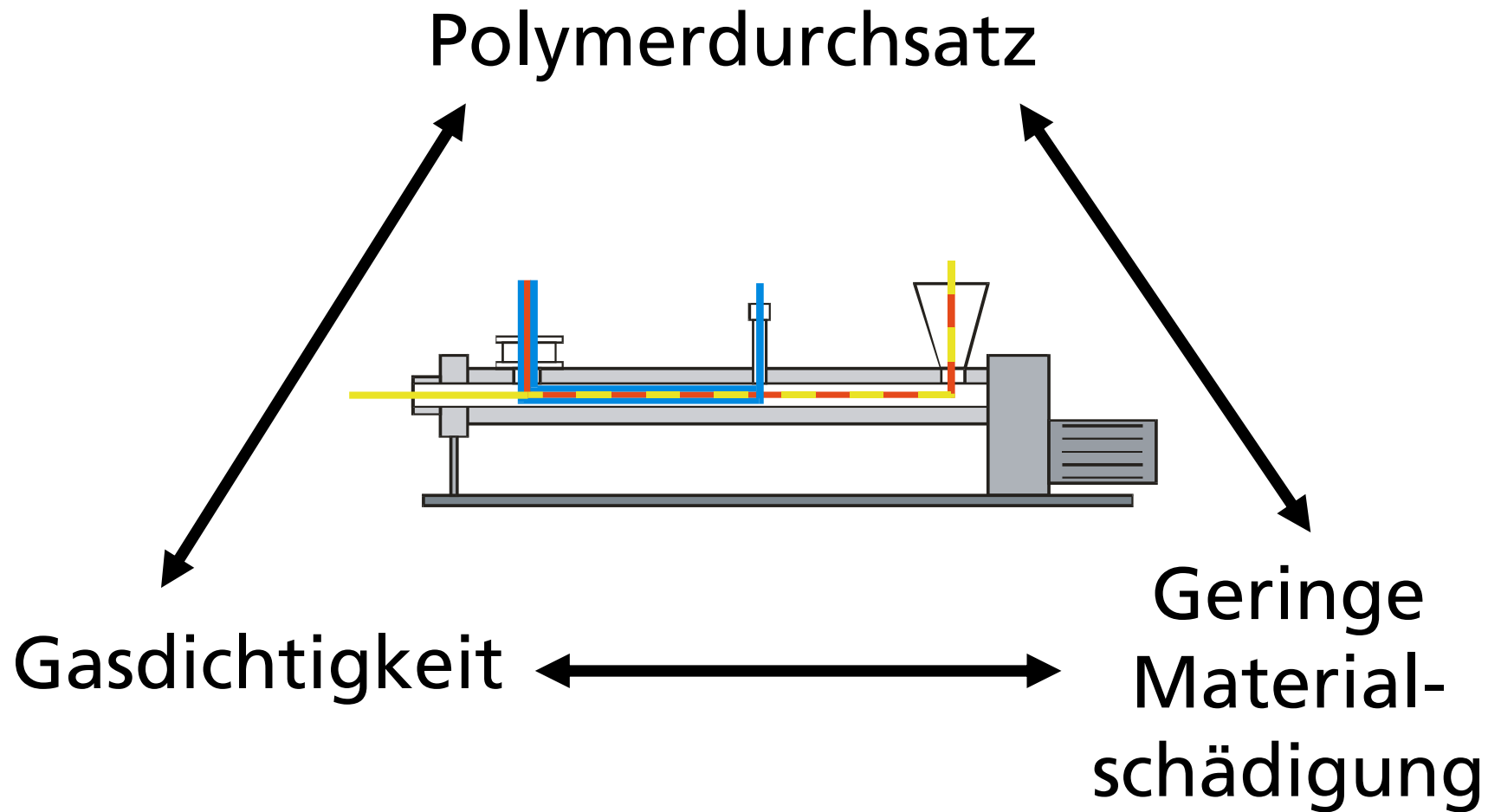
Es soll ein kontinuierliches und kostengünstiges Verfahren zur Polymerreinigung entwickelt werden

Zielvorgabe sind  $<0,2$  €/kg Mehrkosten gegenüber der heutigen Verfahrenstechnik ohne Emissionsminderungsmaßnahmen.



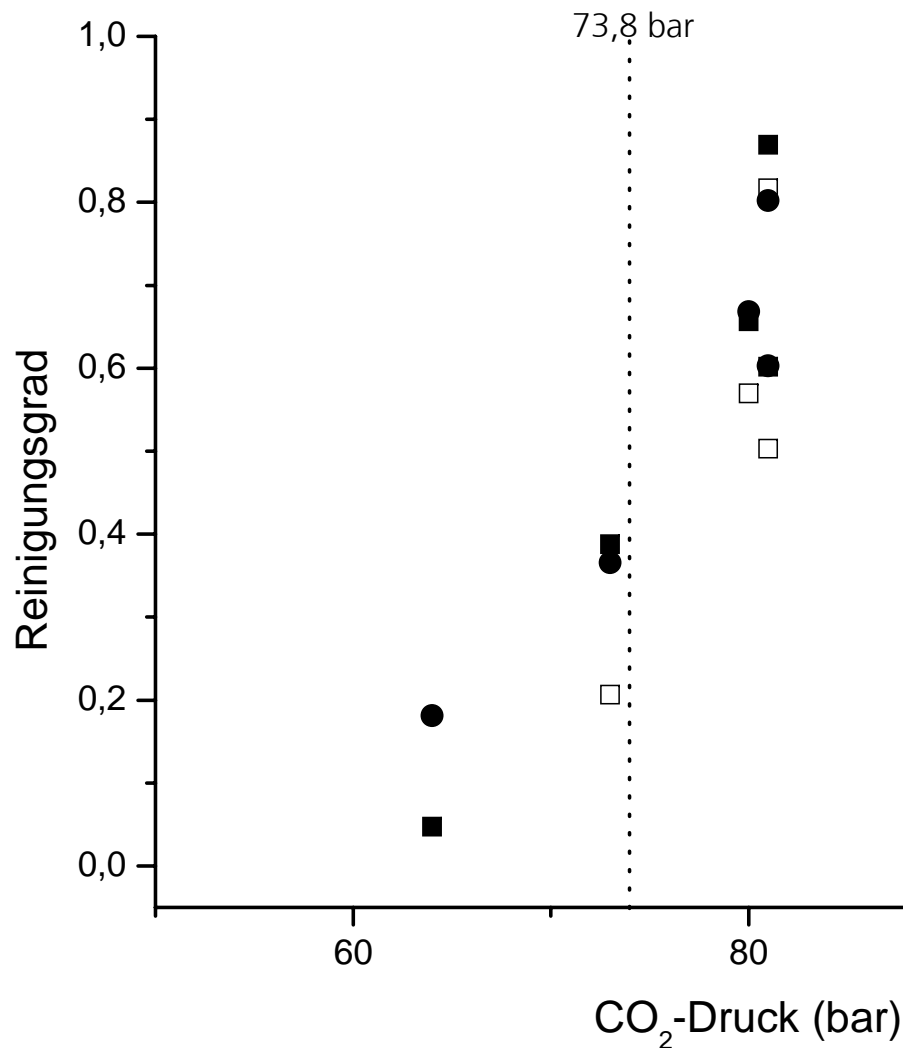
[jced.jocogov.org/images/hhw/hhw\\_batteries.jpg](http://jced.jocogov.org/images/hhw/hhw_batteries.jpg)





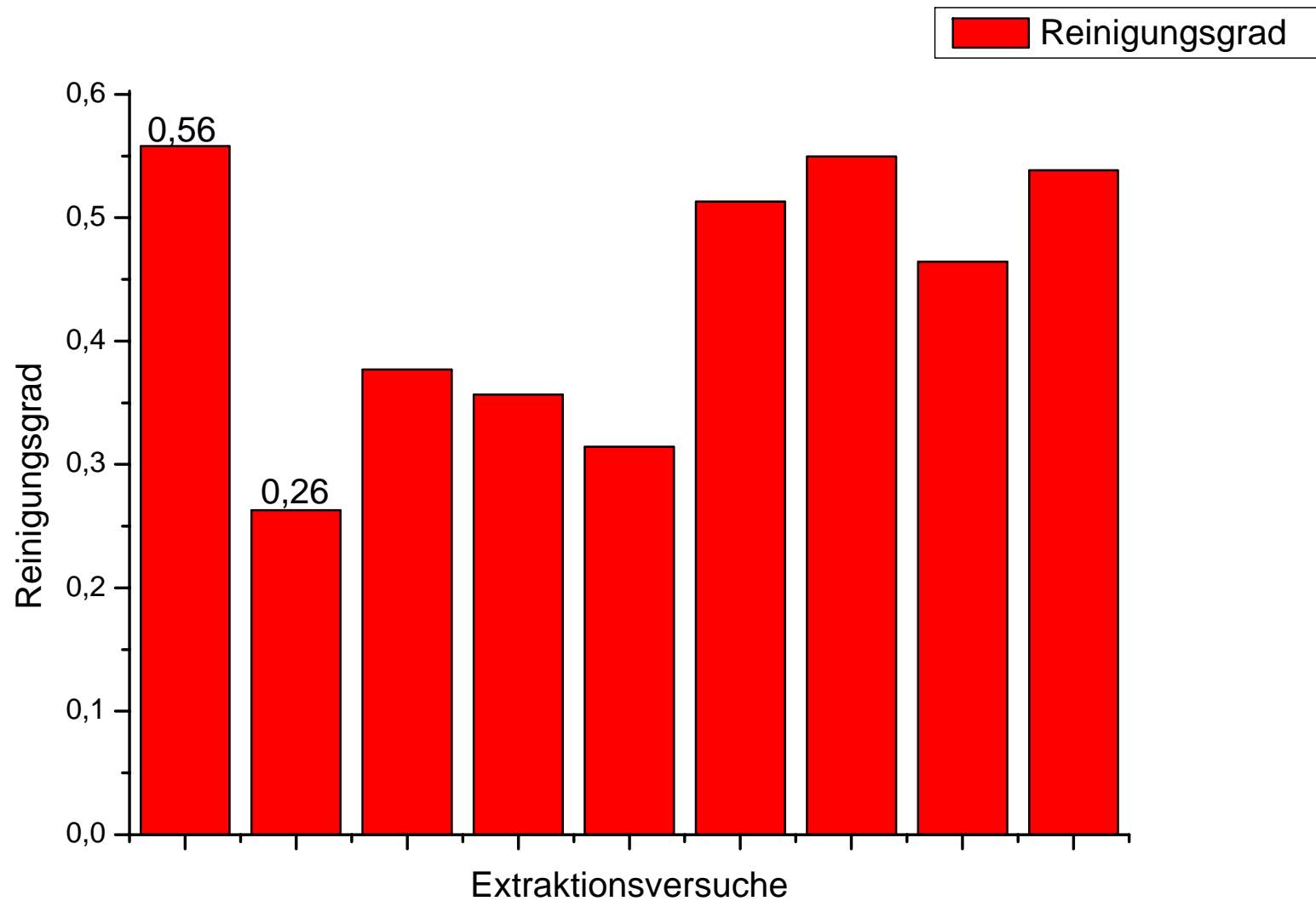


# Druckabhängigkeit der Reinigung (HS-MS-Messungen)



Massenzahl	Substanz(klasse)	Bemerkung
57 amu	Summe Paraffine	Mitdetektion auch bei Masse 141, 145, 155, 165, 169
91 amu	substituierte Aromaten	Massen 105, 119 sind auch typisch für Aromaten wie z. B. Toluol, Xylol, Ethylbenzol. Das Tropyliumkation (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> <sup>+</sup> ) ist der Summenparameter für alle alkylsubstituierten Aromaten
69 amu	Langkettige Alkohole	1-Octadecanol als "Leitsubstanz" der Fog-Messung des VDA 278-Verfahrens

# Reinigungsgrade der extraktiven Extrusion (VOC-Werte)



# Zusammenfassung

---

Ansatzpunkte zur Minimierung von Polymeremissionen

im Bereich der

-Werkstoffe

-Urform-/Umformverfahren

-Nachbehandlung von Produkten

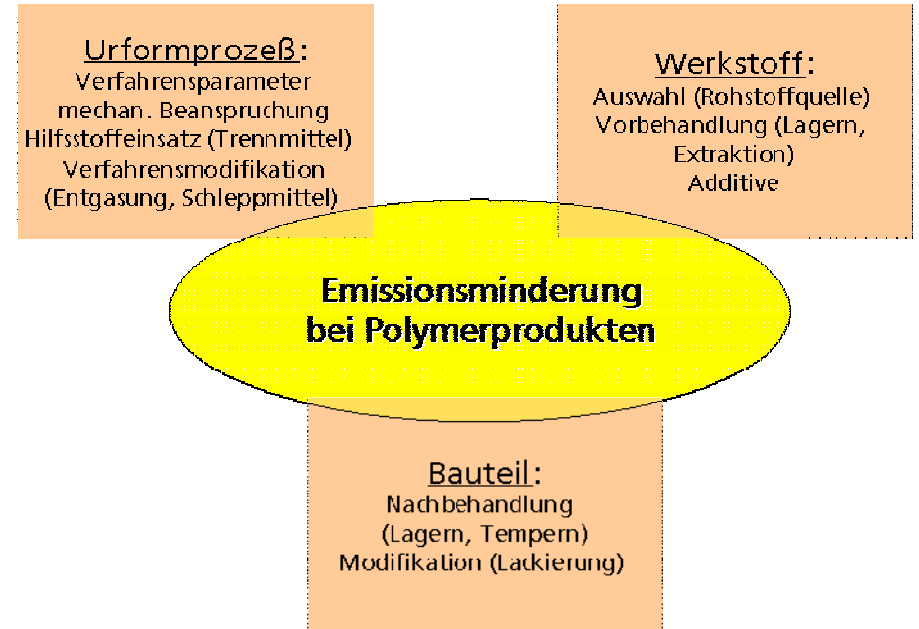
Einflußmöglichkeiten durch Variation der  
Prozessparameter (Verarbeitungsfenster) gering

Einsatz komprimierter Gase erreicht Minimierungsraten  
um 60% bei kontinuierlichen Prozessen und  
über 90% bei Batchprozessen

Integrierte Verfahren in der Thermoplastverarbeitung an der Schwelle zur Umsetzung

Hohe Anforderungen an Online- und Offline-Meß-/Analysenverfahren

Ausblick: Prozessverständnis verbessern, Ergebnisse übertragen



---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

An der Erarbeitung der vorgestellten Ergebnisse wirkten unter anderem mit

- Tobias Kieliba
- Gaby Gromer
- Lars Walter
- Benjamin Sandoz
- Oliver Klein
- Orestes Perivolaris
- Kathrin Buchholz

**Kontakt:**  
Jörg Woidasky

Fraunhofer ICT  
Umwelt-Engineering

Tel. +49-721-4640-367

Fax +49-721-4640-650  
e-mail [woi@ict.fhg.de](mailto:woi@ict.fhg.de)

[www.ict.fraunhofer.de](http://www.ict.fraunhofer.de)