

# PFAS-Emissionen im Lebenszyklus eines Fahrzeuges

# PFAS-Anwendungen im Fahrzeug (Beispiel Pkw)

## Elastomere

- Dichtungen
- Schläuche
- Membranen

## Schmierstoffe

- Lenksäule
- E-Parkbremse
- Aktuatoren

## Reifen

- Prozessmittel zur Herstellung

## Elektronik

- Hochvolt-Anwendungen
- Sensoren
- Steuergeräte
- Halbleiter

## Gesamtmenge Fluorpolymere

- Ca. 600-800 g Fluorpolymere
- In ca. 5000-7000 Bauteilen pro Fahrzeug werden Fluorpolymere verwendet

## Brennstoffzelle

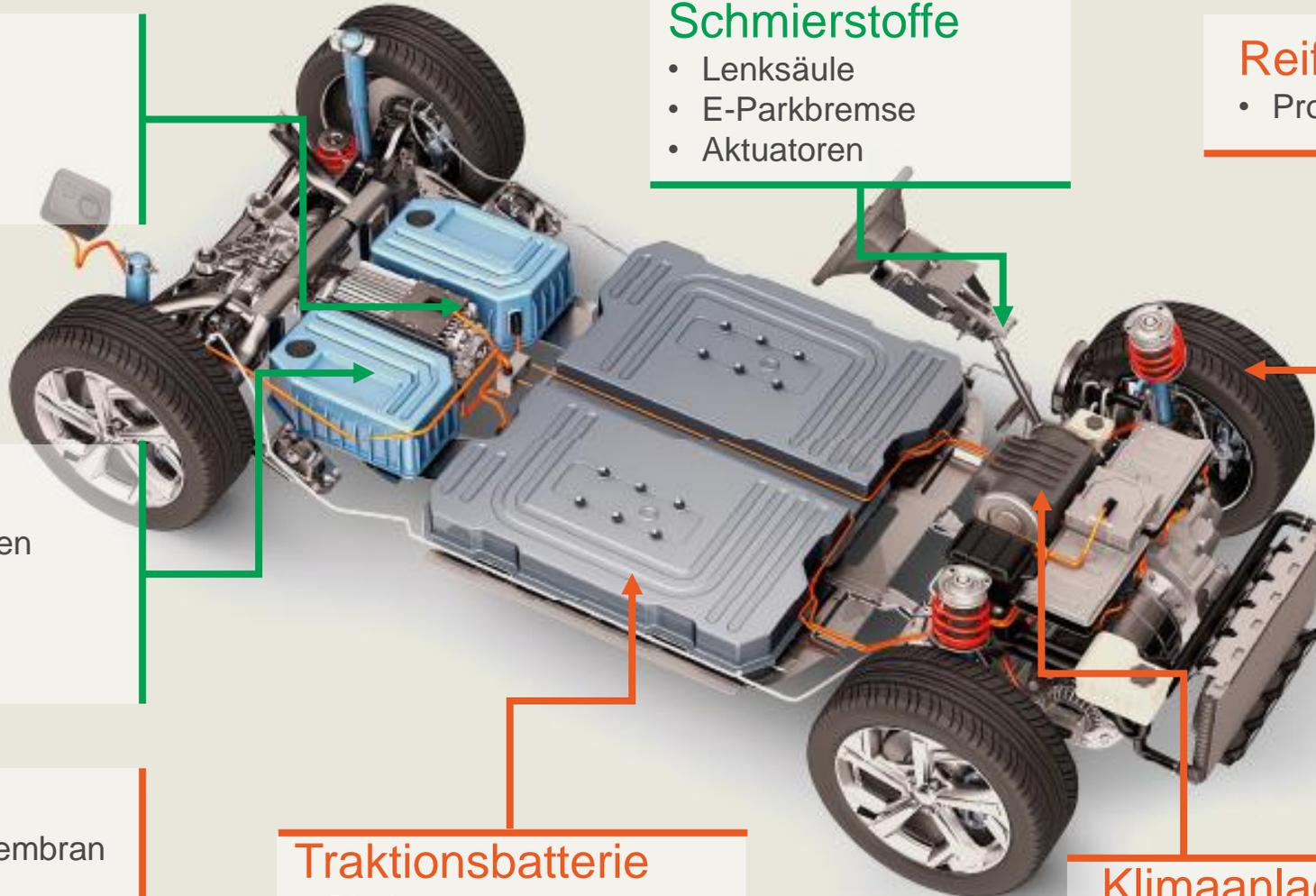
- Protonenaustauschmembran
- Elektroden
- Gasdiffusionsschicht
- Bis zu 1600 g PFSA/PTFE bei 160 kW brutto

## Traktionsbatterie

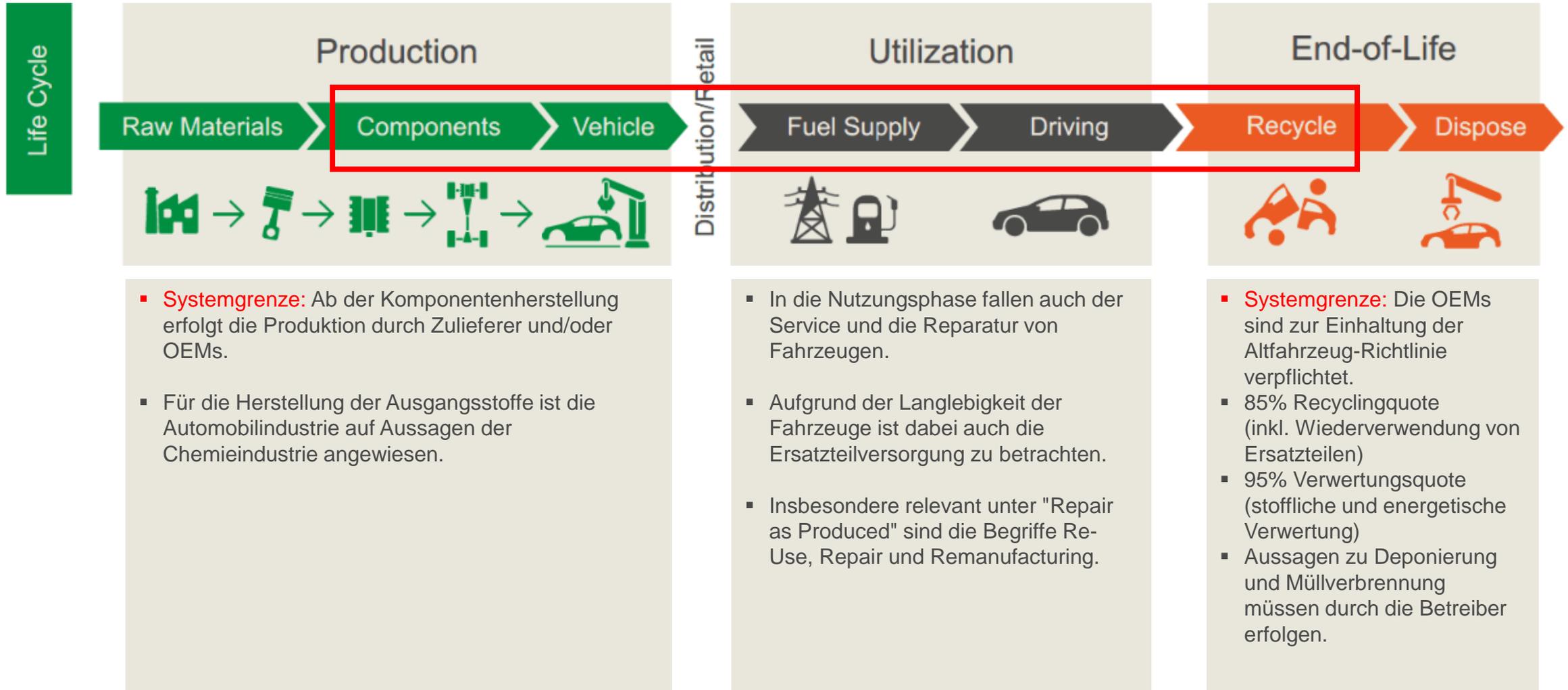
- Binder
- Adhäsionsschicht
- bis zu 6000 g PVDF bei 100 kWh

## Klimaanlage

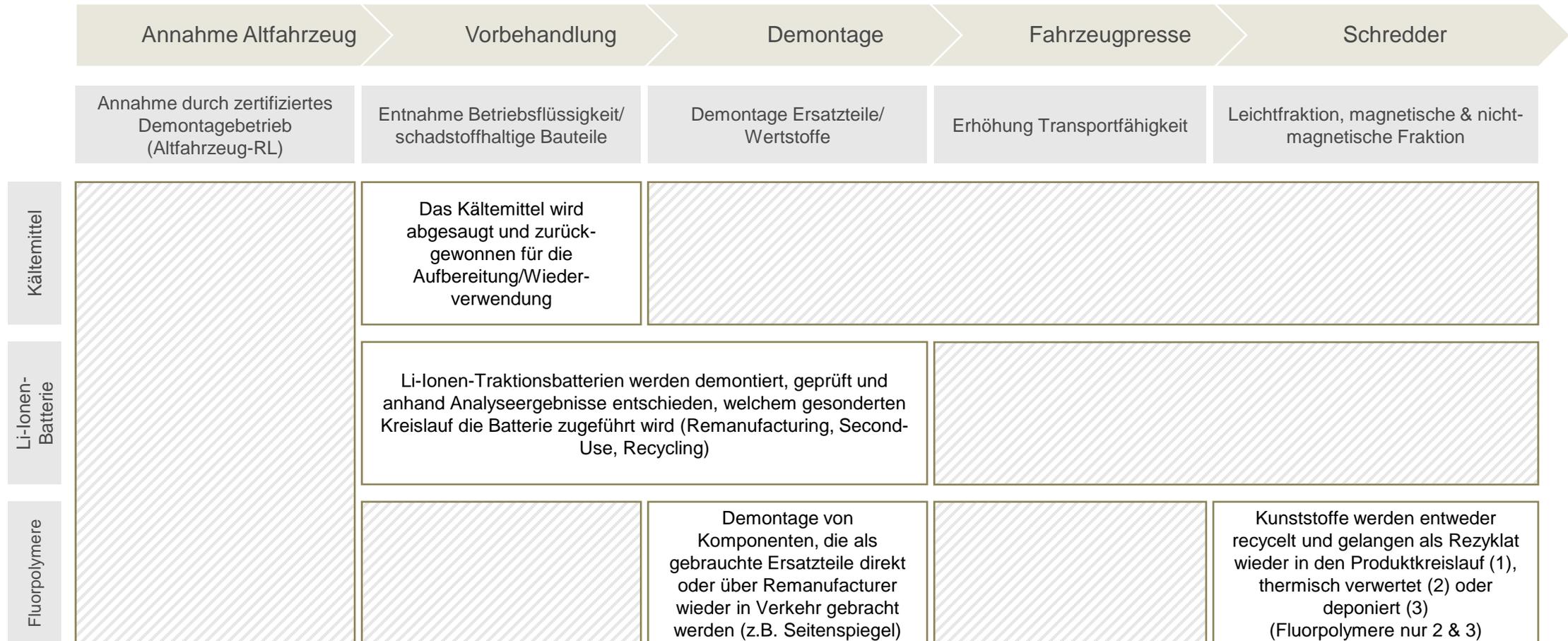
- Kältemittel
- Ca. 500 - 1400 g (R1234yf)



# Lebenszyklus eines Fahrzeuges (Pkw)



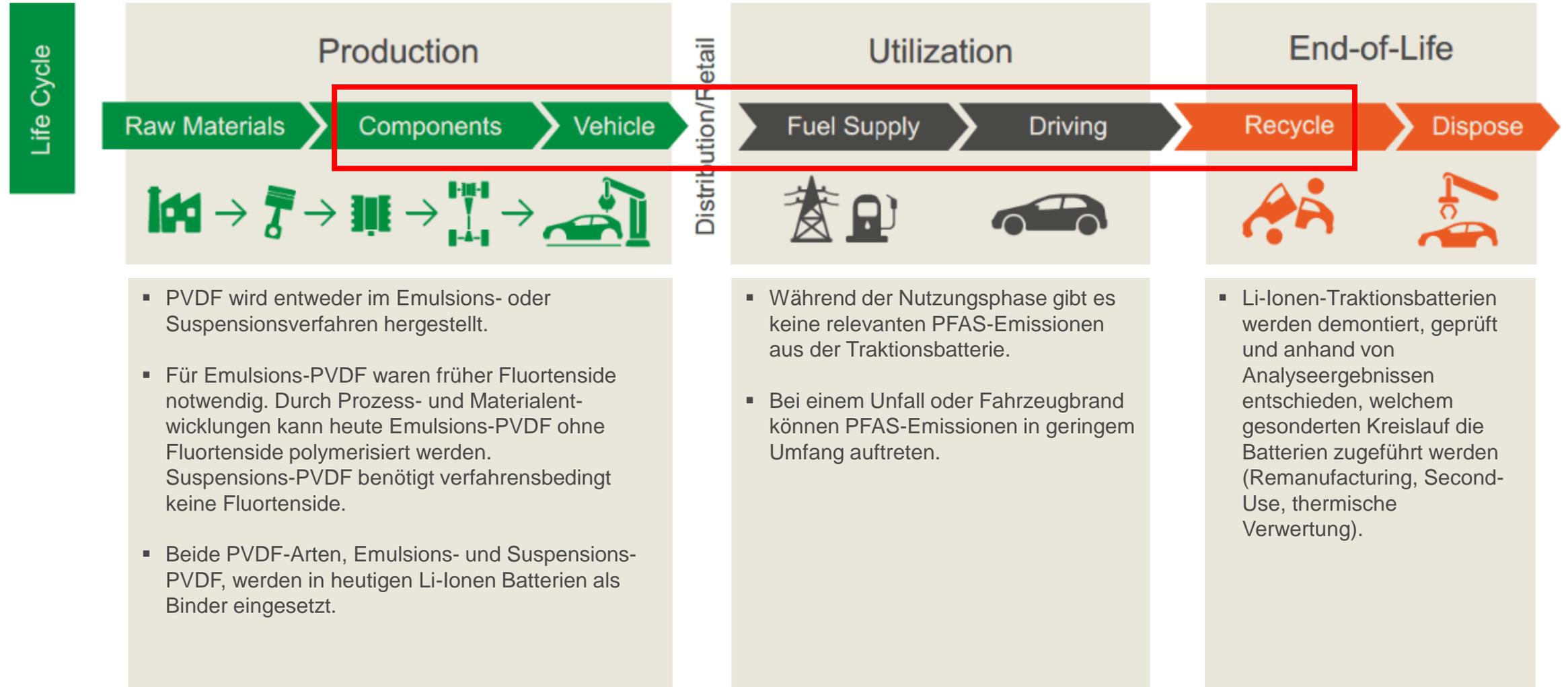
# PFAS im Verwertungsprozess von Altfahrzeugen (Pkw)



# Fokus Li-Ionen-Batterie

Dr. Thomas Ronge

# PFAS-Emissionen durch Li-Ionen-Batterien





# Verwertung der Li-Ionen-Batterien

- Heutzutage werden im Wesentlichen zwei Verfahren zur Wiedergewinnung der Kathodenmetalle angewendet: die Pyrometallurgie oder Hydrometallurgie (oder in Kombination).
- Direktes Recycling ist noch nicht möglich und erfordert grundlegend neue Batteriekonzepte.
- In erster Linie sollen bei der Verwertung von Batteriezellen die wertvollen Übergangsmetalle (Ni, Co, Mn) und ggf. das Lithium zurückgewonnen werden.
- Der Binder (PVDF) ist mit den Metalloxiden und dem Graphit verbunden (Blackmass) und kann nicht zurückgewonnen werden.
- Letztendlich wird das PVDF immer verbrannt. Das daraus entstehende HF wird dann über Gaswäscher (z.B. mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) abgefangen. Es entsteht anorganischer Flussspat ( $\text{CaF}_2$ )
- Traktionsbatterien mit einer Leistung von 100 kWh benötigen bis ca. 6.000 g PVDF\* pro Fahrzeug.

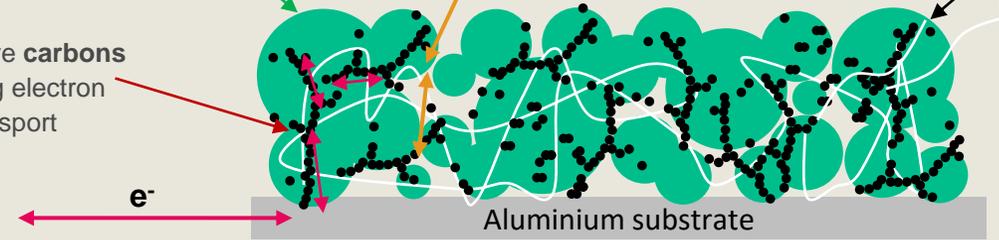
\*Abweichungen je nach Zellchemie und Fahrzeug nach oben und unten sind möglich

Active material (NMC or LFP) stores / provides energy by taking up / releasing electrons and  $\text{Li}^+$  ions

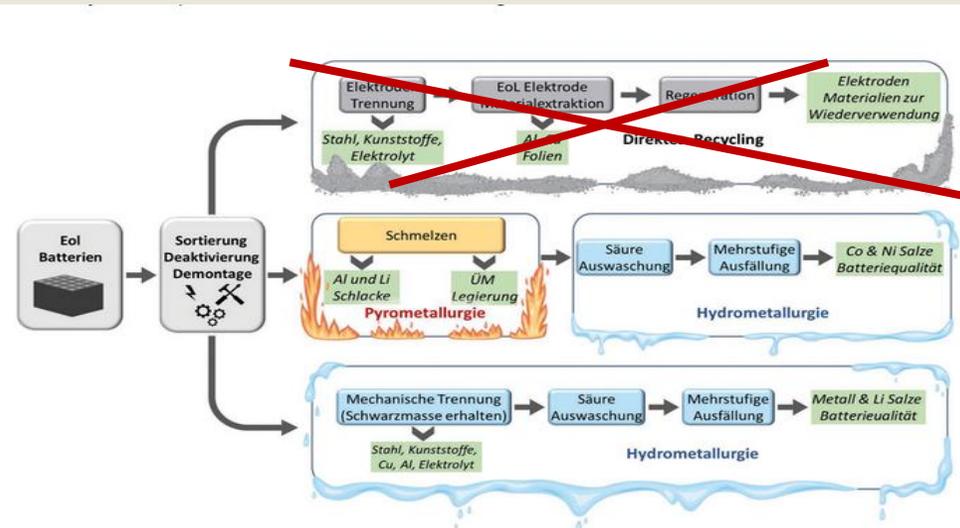
Conductive carbons enabling electron transport

$\text{Li}^+$  ions are transported via the electrolyte filling the pores

The PVDF acts as an adhesive substance binding the electrode materials to the current collector (substrate).



Standardzellen NMC oder LFP enthalten zwischen 30-60 g PVDF pro kWh



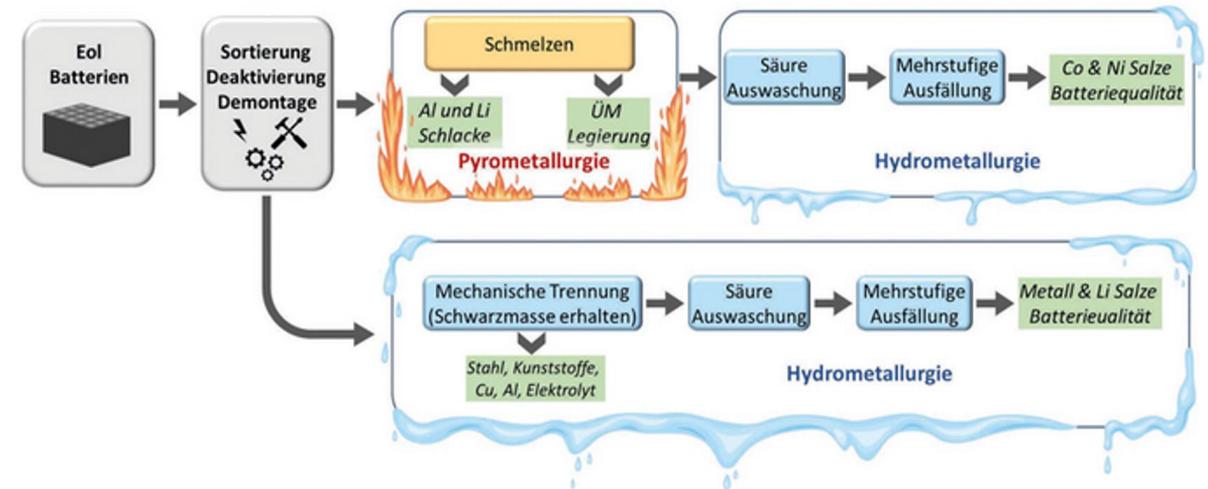
Flussdiagramm typischer industrieller Recyclingverfahren für die Rückgewinnung von Aktivmaterialien in Lithium-Ionen-Batterien (vereinfacht). © KIT

# Rückgewinnung der Kathodenmetalle

Bei der **Pyrometallurgie** können ganze Zellen (z.B. Pouch-Zellen) arbeitet werden. Das PVDF wird bei der Pyrometallurgie gemeinsam mit dem Leitgraphit verbrannt.

Die daraus entstehenden Abgase (HF) werden dann über Gaswäscher (z.B. mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) geleitet. Es entsteht anorganischer Flussspat ( $\text{CaF}_2$ ). Die gewonnene Nickel- und Cobalt-haltige Legierung wird anschließend hydrometallurgisch aufbereitet.

Als Vorbereitung für die **Hydrometallurgie** muss die Batterie zur Herstellung des schwarzen Pulvers geschreddert und per HV-Destillation und thermischer Prozessierung der Elektrolyt abgezogen werden. Das schwarze Pulver dient als Vorstufe der Hydrometallurgie (z.B. Auslaugen mit Schwefelsäure und  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Das PVDF wird in der Hydrometallurgie nicht zerstört und gelangt in den Filterkuchen, der hauptsächlich aus Graphit besteht. Im Wesentlichen wird der Filterkuchen verbrannt, ggf. auch deponiert. Es gibt Ansätze das Alt-Graphit zu regraphitisieren (hohe Temperaturen bis  $3000^\circ\text{C}$ ) oder als Reduktionsmittel in der Stahlindustrie zu verwenden, In allen diesen Prozessen wird der Binder verbrannt und die dabei entstehenden Abgase (HF) über Gaswäscher (z.B. mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) gereinigt. Es entsteht anorganischer Flussspat ( $\text{CaF}_2$ )

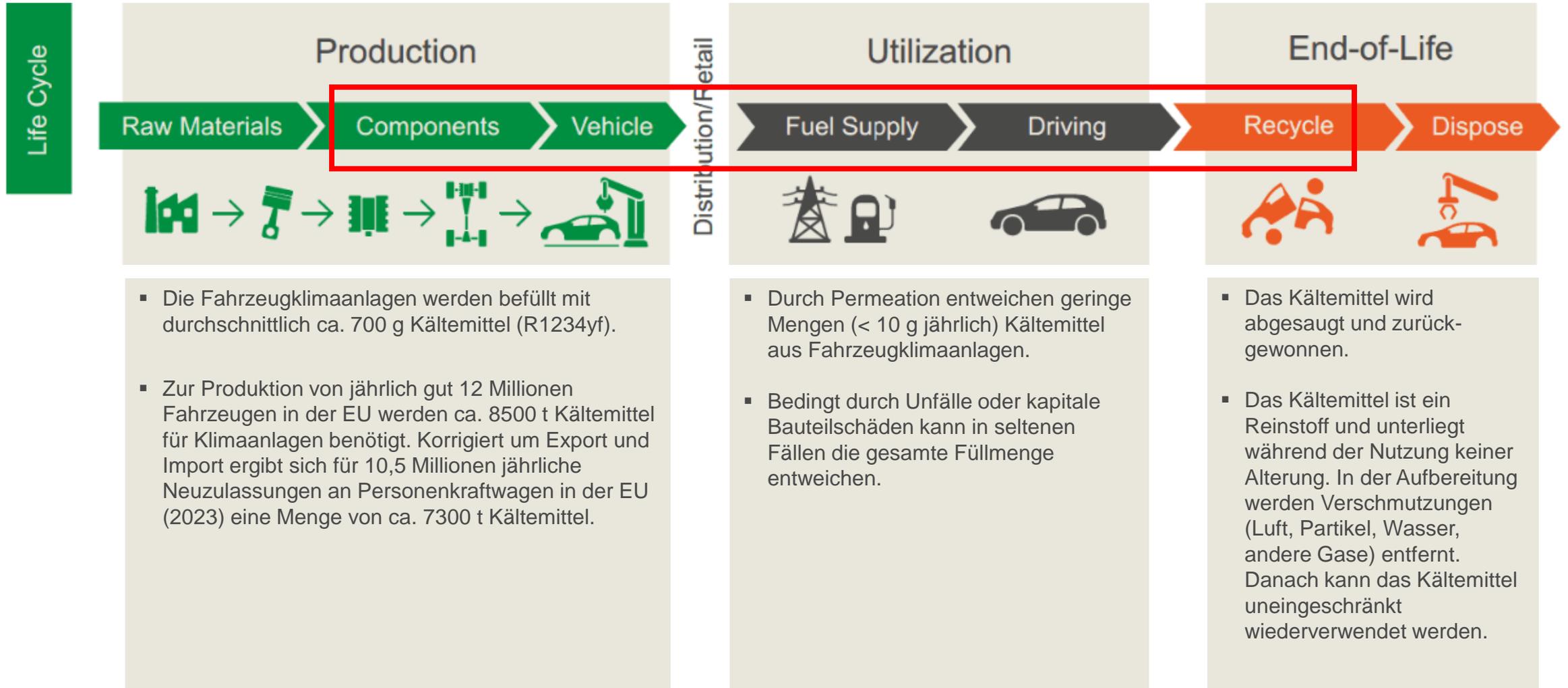


Flussdiagramm Recyclingverfahren für die Rückgewinnung von Aktivmaterialien in Lithium-Ionen-Batterien KIT

# Fokus Kältemittel

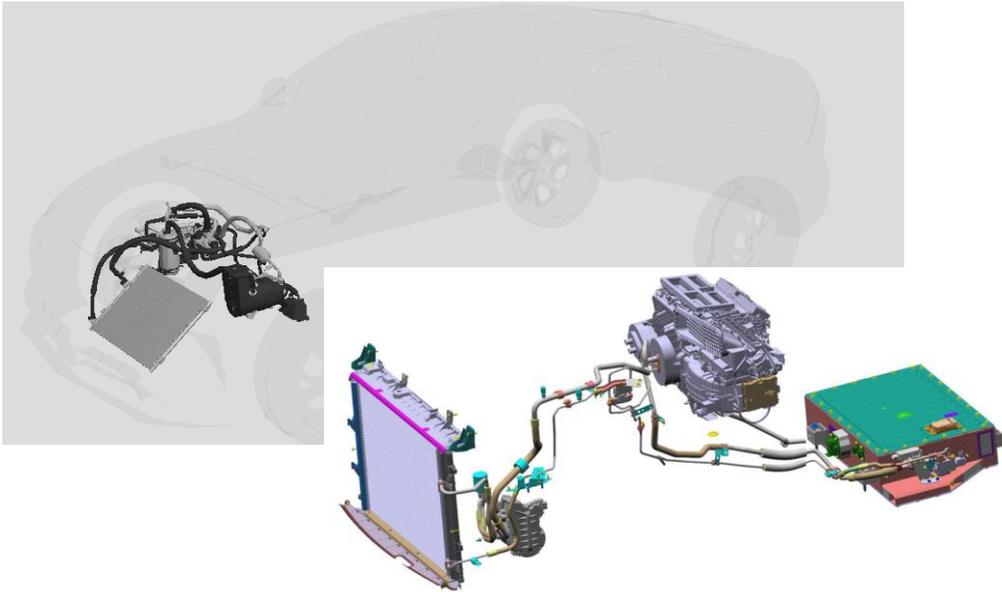
Sandra Wernecke

# PFAS-Emissionen durch Kältemittel

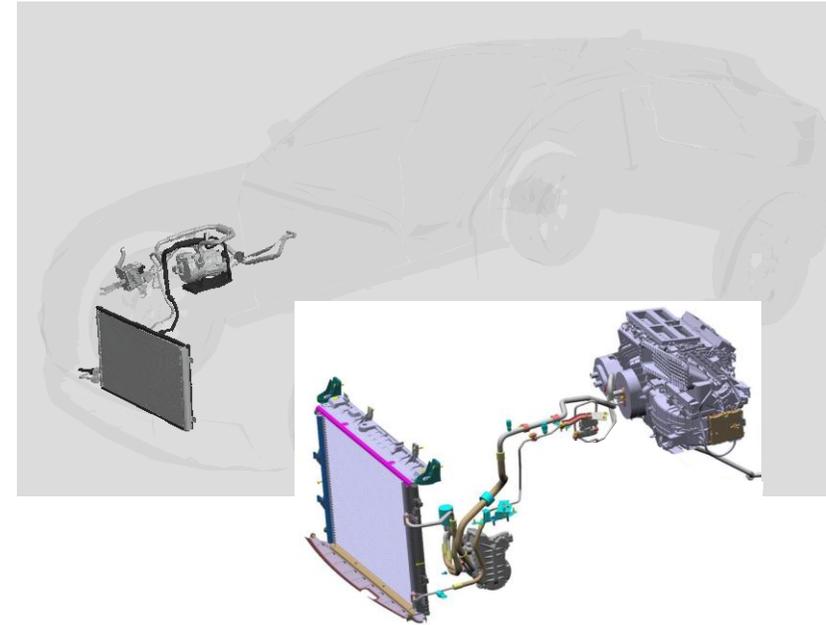


# Emission von Kältemittel in der Nutzungsphase.

## Klimaanlage Elektrofahrzeug



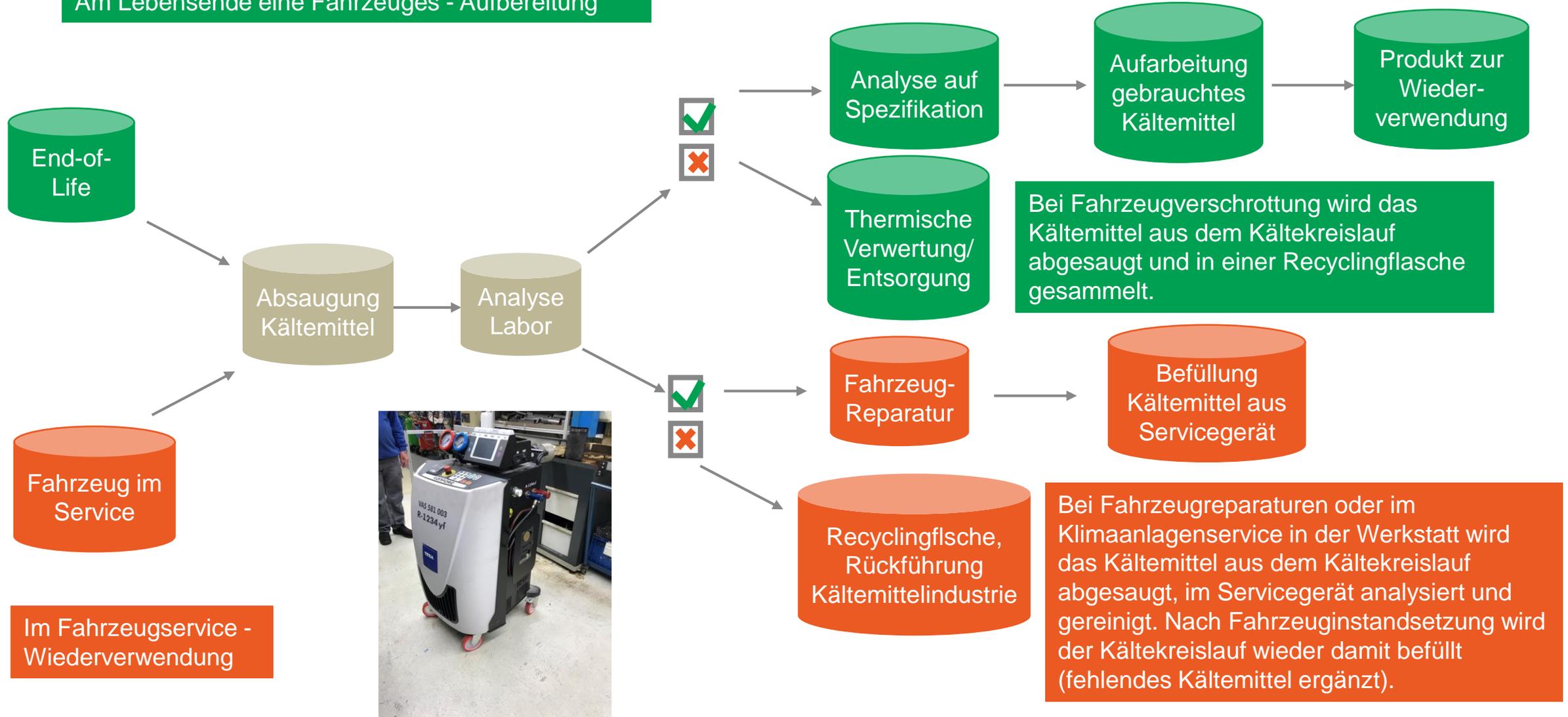
## Klimaanlage Verbrennerfahrzeug



Kältekreisläufe von Fahrzeugklimaanlagen sind hochintegrierte Systeme, deren Komponenten im Fahrzeug verteilt sind. Dementsprechend können sie nicht hermetisch ausgeführt werden (wie z.B. Kühlschränke). Durch Schläuche und Dichtungen kann Kältemittel entweichen, wobei die Leckage von xEV mit elektrischem Kompressor geringer ist als die von Verbrennerfahrzeugen mit riemengetriebenem Kompressor: xEV ca. 5 bis 7 g/a; ICE ca. 8 bis 10 g/a.

# Kältemittelkreislauf

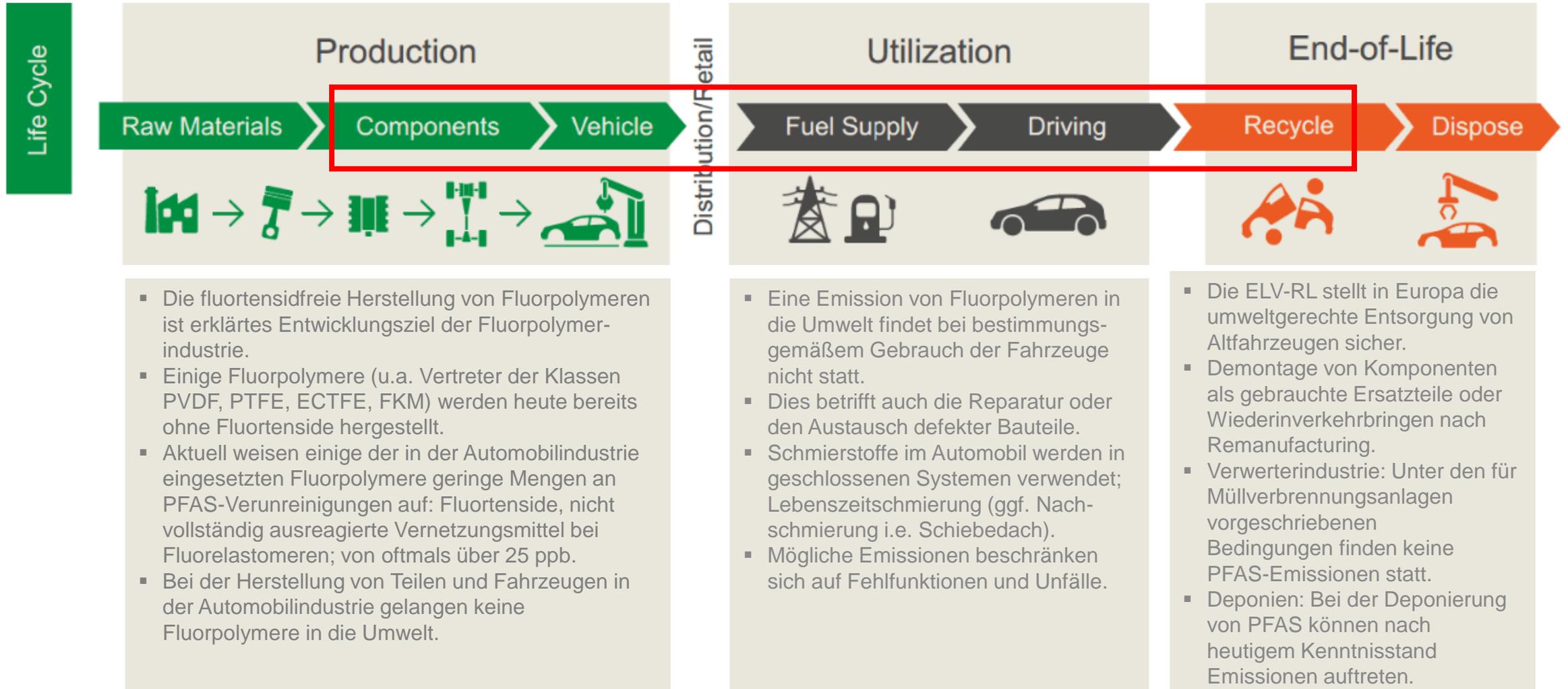
Am Lebensende eines Fahrzeuges - Aufbereitung



# Fokus Fluorpolymere

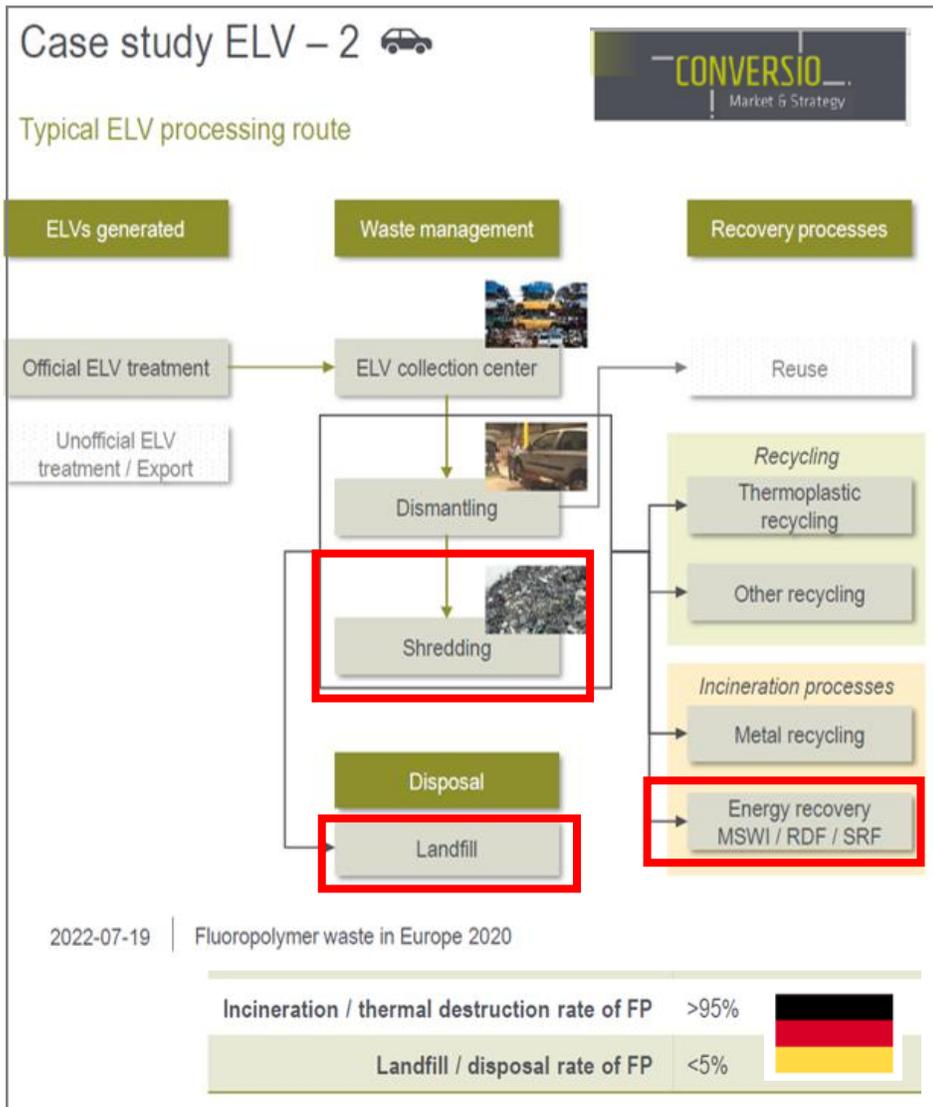
Dr. Ruth Bieringer, Dr. Carsten Tüchert, Dr. Wolfgang Marquardt

# PFAS-Emissionen durch Fluorpolymere



# Fluorpolymere in der Schredderleichtfraktion von Altfahrzeugen

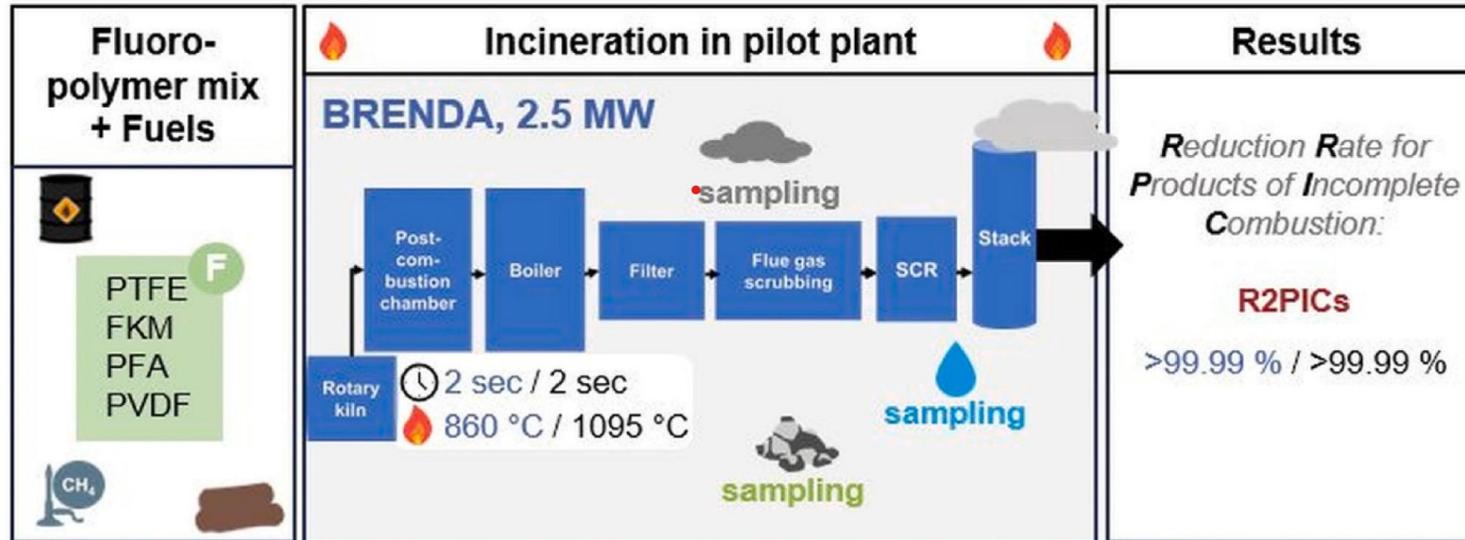
## Studienübersicht



- Annahme: Die Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Fluorpolymeren unterscheidet sich mit Ausnahme der Batterie nicht wesentlich zwischen ICE und BEV.
- Ein Auto enthält ca. 600-800 g Fluorpolymere (ohne Batterie)
- Fast ausschließlich thermische Verwertung der PFAS in den Schredderfraktionen von Altfahrzeugen in Deutschland.
- Auf alle Industriesektoren in Europa gerechnet liegt der Anteil der Deponierung von Fluorpolymeren allerdings bei ca. 13 %.
- UBA Studie von Mai 2024 zeigt das normale Müllverbrennungsanlagen (850 °C, Verweilzeit 2 s, entspricht (2010/75/EU) (IED)) Fluorpolymere ohne PFAS-Emissionen mineralisieren.
- 69. RAC Meeting: Verbrennung bei 1100 °C (Bedingungen für gefährliche Abfälle, 17.BImSchV) zerstört PFAS, aber die Deponierung trägt relevant zu PFAS Emissionen bei.
- 70. RAC Meeting: Verbrennung unter 1100 °C/Sauerstoffarm führt zu PFAS-Emissionen.
- Chemosphere Publikation 9/2024 (Mineralization of fluoropolymers from combustion...) zeigt wiederum bei 860 °C keine PFAS-Emissionen im Abgasstrom (siehe nächste Folie).

# PFAS-Emissionen bei der thermischen Verwertung

Chemosphere Publikation 9/2024 (Mineralization of fluoropolymers from combustion...) Gehrman et al.



## Studienergebnisse:

- PFAS konnten im Abgasstrom nicht oder nur in vernachlässigbaren Konzentrationen nachgewiesen werden.
- Es gab keine erkennbaren Auswirkungen der Temperatur (860 vs. 1095 °C) auf die Mineralisierung der Fluorpolymere.

## Studienbedingungen:

- Verbrennungsanlage BRENDA beim Karlsruhe Institut of Technology (KIT) nach 17 BImSchV.
- Zwei Verbrennungsbedingungen:
  - 1) 860 °C und 2 s Verweilzeit (Bedingungen für kommunale Müllverbrennung)
  - 2) 1095 °C und 2 s Verweilzeit (Bedingungen für gefährliche Abfälle).
- Eine repräsentative Mischprobe von Fluorpolymeren, die 80 % der handelsüblichen Fluorpolymere ausmacht, wurde getestet.

# Automotive Anwendungen von Fluorpolymeren im Zyklus eines Fahrzeugmodells\*

Vorschlag VDA zum Beschränkungstext

## Zukünftige Entwicklungen

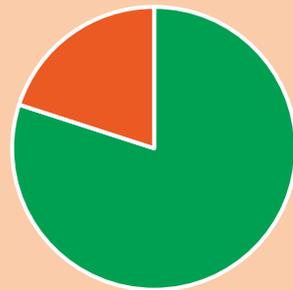
5.ff. product and process orientated re-research and development  
 5.ff PFAS that represent new technologies with significant benefits if it can be demonstrated that no substitute is available and that the risk to human health and the environment is manageable **NEU**

## Entwicklungsphase

in accordance with the requirements for the authorisation of substances. This exemption shall be reviewed and assessed by the Commission no later than 13.5 years after EiF

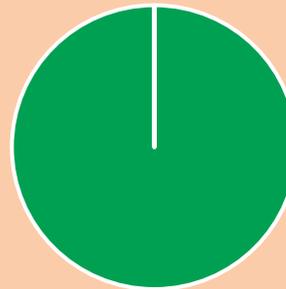
## Aktuelle Produktion

Anteil der Komponenten mit Fluorpolymeren im Fahrzeug



■ Ohne Fluorpolymere ■ Mit Fluorpolymer ■ Andere Materialien ■ Fluorpolymere

Gewichtsanteil Fluorpolymere im Fahrzeug



## Herstellungphase

6.o. applications affecting the proper functioning or safety of transport vehicles, or affecting the safety of operators, passengers, or goods. **This exemption shall apply perpetually but maybe reviewed and reassessed by the Commission no later than 13.5 years after EiF.**

**ANGEPASST**

## Fahrzeuge im Bestand

Anteil Inverkehrbringer von Gebrauchtfahrzeugen



■ Markenhersteller  
 ■ Gebrauchtwagenhändler  
 ■ Privatpersonen

Anteil wiederaufbereitete Komponenten bei Ersatzteilen



■ REMAN Teile ■ Ersatzteile

## Teileversorgungsphase

5.xy. transport vehicles already placed on the market for the first time

**NEU**

5.xy. spare parts and remanufactured parts, whenever placed on the market, for use in the maintenance and repair of transport vehicles already placed on the market for the first time **NEU**

Auch relevant für sämtliche Produktionsanlagen