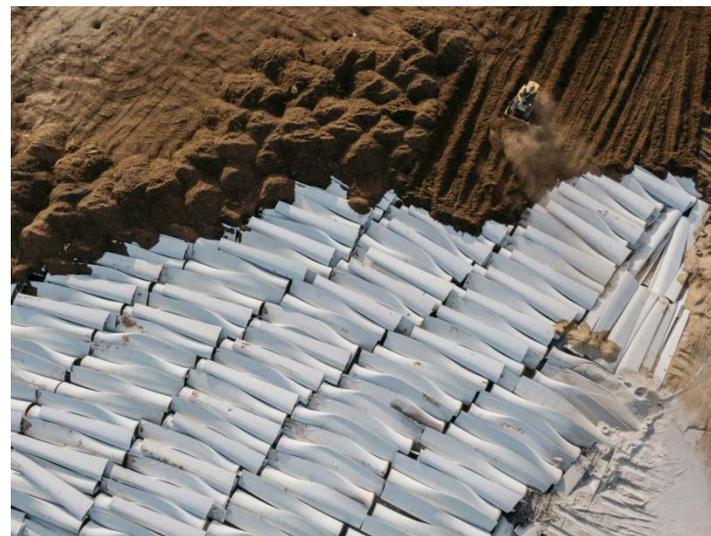
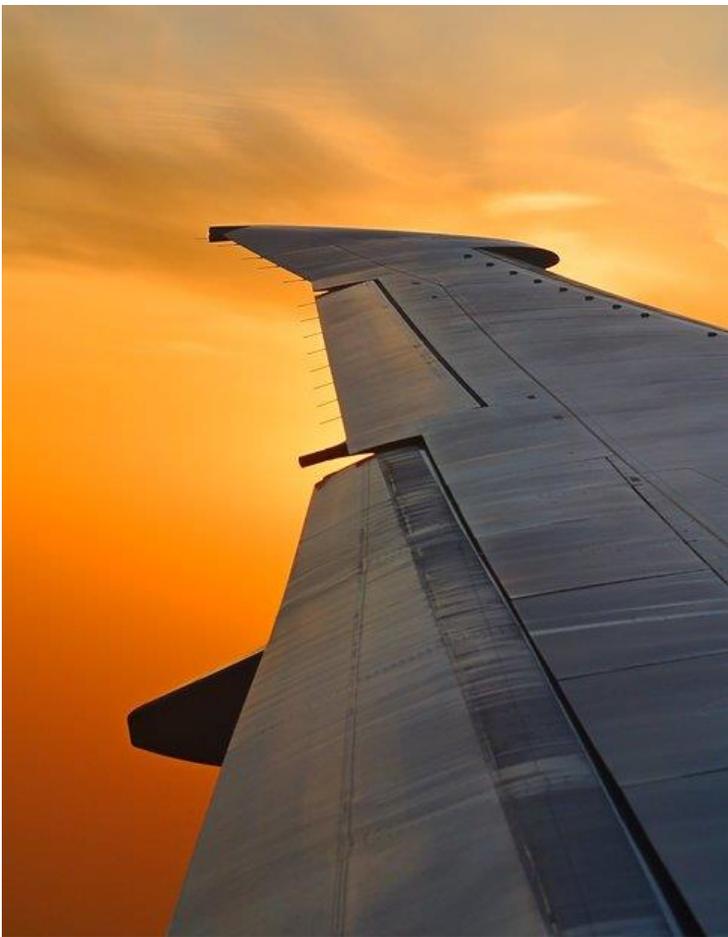


Kreislaufwirtschaft im Faserverbundleichtbau Ein Widerspruch?



[https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills]

DIE WELT | SAMSTAG, 2. NOVEMBER 2019

Wohin mit dem Windrad-Schrott?

Umweltbundesamt warnt vor hohen Kosten und Gefahren beim Recycling

Auf des ersten Wurfes hatte die Windradindustrie noch mit Bescheidenheit vergangen. Es war Anfang der 2000er Jahre, als die ersten Anlagen gebaut wurden. Die Betreiber hatten sich ein Bild gemacht: Die Rotorblätter werden aus Glasfasern und Kohlenstofffasern gefertigt. Diese Fasern sind schwer zu recyceln, aber die Rotorblätter sind aus einem Verbundmaterial, das sich in Schichten trennen lässt. Die Fasern können separat recycelt werden, während die Matrix in einer Deponie landet.

VON DANIEL WETTER

„Wir stellen mit massiven Subventionen Windräder auf, aber niemand hat sich Gedanken darüber gemacht, was danach mit den Anlagen passiert; dass die eingesetzten Mittel zum Beispiel auch recyclingfähig sein müssen“, erklärte damals Hermann-Wilms. Insbesondere bei den mit Glas- und Kohlenstofffasern verstärkten Kunststoffen für die Rotorblätter ist unter verlässlichen ökonomischen Bedingungen eine Aufbereitung kaum zu schaffen.“

Der Präsident des Bundesverbands Windenergie (BWE) wies als 12 Jahre später auf die Recyclingprobleme für solche Verbundstoffe, die je nach in Auto- und Flugzeugbau Verwendung finden, erklärte Hermann-Wilms damals: „Die Sorge, künftig vor Bergen aus Rotorblättern zu stehen, ist nicht als Utopie zu betrachten.“ Erst ab Ende dieser Woche ist es Realität – und durch die wissenschaftlichen Erkenntnisse, dass es sich um ein ernstes Problem, dessen Ausmaß sich in den nächsten Jahren immer mehr vergrößern wird. Laut der Studie fallen Tausende Tonnen Rotorblattschrott an, wenn in den nächsten Jahren immer mehr Windräder der ersten Generation das Ende ihrer

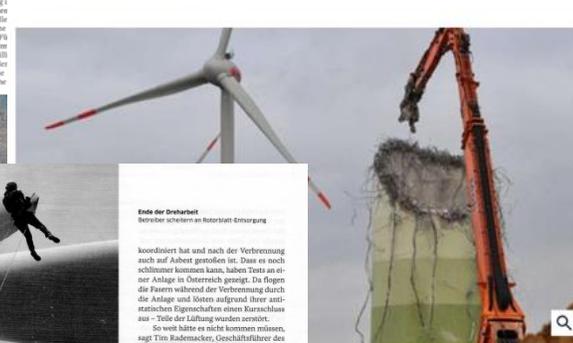


Prognose für Verbundwerkstoffe aus Glasfaser/verstärktem Kunststoff in Tonnen

er 20- bis 30-jährigen Lebensdauer. Die ersten Windräder sind heute noch in Betrieb, aber die ersten Anlagen werden in den nächsten Jahren abgebaut. Die Rotorblätter sind aus einem Verbundmaterial, das sich in Schichten trennen lässt. Die Fasern können separat recycelt werden, während die Matrix in einer Deponie landet. Die Studie zeigt, dass die Kosten für das Recycling von Rotorblättern zwischen 100 und 200 Euro pro Tonne liegen. Das Umweltbundesamt warnt vor hohen Kosten und Gefahren beim Recycling.

Süddeutsche Zeitung SZ.de Zeitung Magazin

1. November 2019, 14:58 Uhr Energie Umweltbundesamt sieht Probleme beim Recycling von Windrädern



Montage von Rotorblättern in Brandenburg, Foto: Patrick

Rotierende Probleme

In den nächsten Jahren erreichen Tausende Windräder das Ende ihrer Lebensdauer. Und stellen das Land vor ein ernstes Problem: Für die Flügel gibt es bis heute kein funktionierendes Entsorgungssystem.

TEXT KONRAD FISCHER

Die Grafik erinnert an das Höhenprofil einer Rapppe der Tour de France: erst ein langes Flachstück mit ein paar Buckeln, ein knackiger Anstieg, eine Zwischenabfahrt und schließlich der große Berg vor dem Ziel. Nicht herausfordernd aus. Und das ist die Rapppe auch – obwohl sie mit Rennradern nichts zu tun hat. Die Linie zeigt die Zahl der zur Entsorgung anstehenden Windräder im Laufe der Jahre. 2019 markiert damit den Schluss des Flachstücks, das Ende der Gemütskurve oder, für einen für Mensch und Umwelt, wie es das Umweltbundesamt ausdrückt.

Hans verleiht. Für die Mischung aus der Bestandteile zu einer Masse zu verfrachten, kompaktiert ist es, es wieder zu trennen.

Altruismus Abwert
Eine dauerhafte Deponierung schließt Umweltgesetz aus. An der RWTH Aachen haben sie deshalb unglücklich versucht, die geschredderten Blätter mit den üblichen Verbrennungsmethoden zu vernichten und schickten „die Verwertbarkeit der Fasern in Müllverbrennungsanlagen ist meist zu gering“, die Kunststoffteile, die die Fasern in Bauteile zusammenschließen, werden dabei die Fasern aber verändern ebenfalls ihre Eigenschaften“, sagt Peter Quirke, der das Projekt

Ende der Dreharbeit

Betreiber schließen an Rotation Entsorgung

koordiniert hat und nach der Verbrennung auch auf Abfall getroffen ist. Das es noch schlimmer kommen kann, haben Tests an einer Anlage in Österreich gezeigt. Da liegen die Fasern während der Verbrennung durch die Anlage und lösen aufgrund ihrer antistatischen Eigenschaften einen Kurzschluss aus – Teile der Lüftung wurden zerstört.

So weit hätte es nicht kommen müssen, sagt Tim Rademacher, Geschäftsführer des Unternehmens CPK Valley Waste Recycling und für einige Unternehmen im Lande, der praktische Erfahrung mit der Verarbeitung von CPK hat. Geplant wurde sein Unternehmen vor ein paar Jahren vom mitteldeutschen Entsorgungsbetrieb Karl Meyer, nahe der niedersächsischen Küstenstadt Stade. In der Region wollte der Flugzeughersteller Airbus mit dem US-Konzern Dow Chemical CPK in der Fertigung einsetzen und suchte dafür ein Recyclingunternehmen. Vergänglich, aber haben wir uns was überlegt“, sagt Rademacher. Monate der Restriktionsarbeit und Millionen an Investitionen zusammen. Dann stand ein Verfahren, bei dem Materialien unter Luftabschluss erhitzt werden und sich in ihre Bestandteile zerlegen.

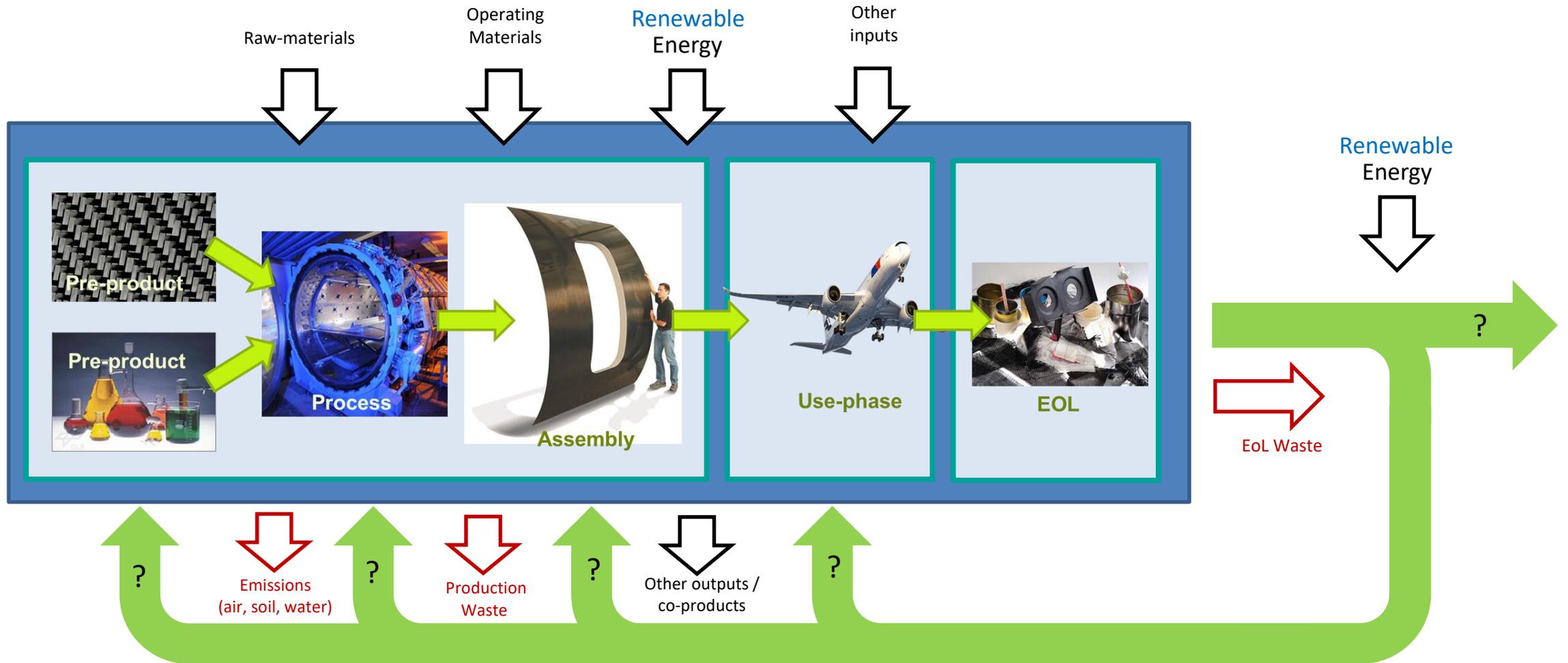
„Am Ende haben wir wieder Carbonfasern, die es qualitätsmäßig Neulieferanten aufnehmen können“, sagt Rademacher. Die Anlage bei Stade kann 1000 Tonnen CPK im Jahr verarbeiten. Nach einer Schätzung des Unternehmens Remondis werden 2021 mehr als 16 000 Tonne Rotorblätter zu verarbeiten sein. Rademacher würde seine Anlage gerne erweitern. Doch da gibt es ein Problem: Industriell erzeugte Carbonfasern haben keine bestmögliche Länge, sie sind unendlich aufgewickelt. Rademacher Fasern sind das nicht. Das macht die für die Verbrennung überaus hohen Umverteilung“, sagt er. Kunden aus der Automobilbranche sind beim Flugzeugbau eher schon überzeugbar können, auch als Rohmaterial in Rotorblättern kommen seine Fasern aufgrund ihrer antistatischen Eigenschaften zum Einsatz. Die Windkraftbranche aber nicht, da sie den kurzen Fasern misstraut. Zu Unrecht, meinte auch der Aachener Entsorgungsfachberater Quirke. „Wenn die Fasern als grobkörniger und sauberer Stoff in Form anfallen, dann hat das wiederverwertete Material gute Eigenschaften.“ Er nicht dennoch klare Grenzen für dieses Recycling. „Wenn eine Faser ein- oder zweimal wiederverwertet werden ist, ist sie Müll“, dann bleibt nur noch die Verbrennung.“ Wie das aber ablaufen sollte, das wisse bisher keiner.

„Die Hitze in Müllverbrennungsanlagen ist zu gering“
PETER QUIRKE
Entsorgungsfachberater RWTH Aachen

Schätzung des Umweltbundesamtes g ausrangierter Windräder vorbereitet.

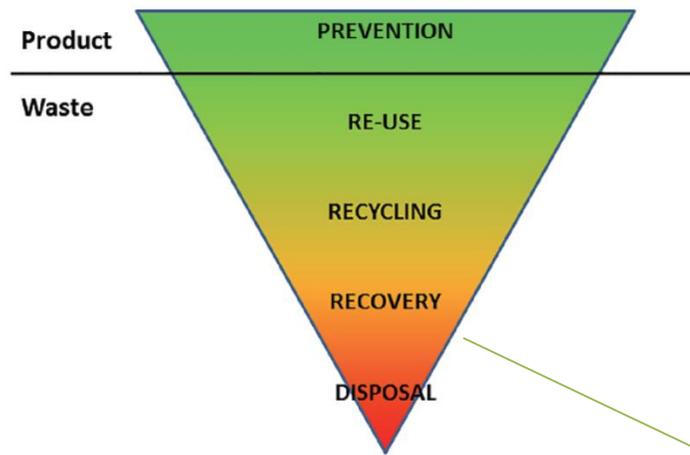


Linearwirtschaft → Kreislaufwirtschaft



Kreislaufwirtschaft

„10R“

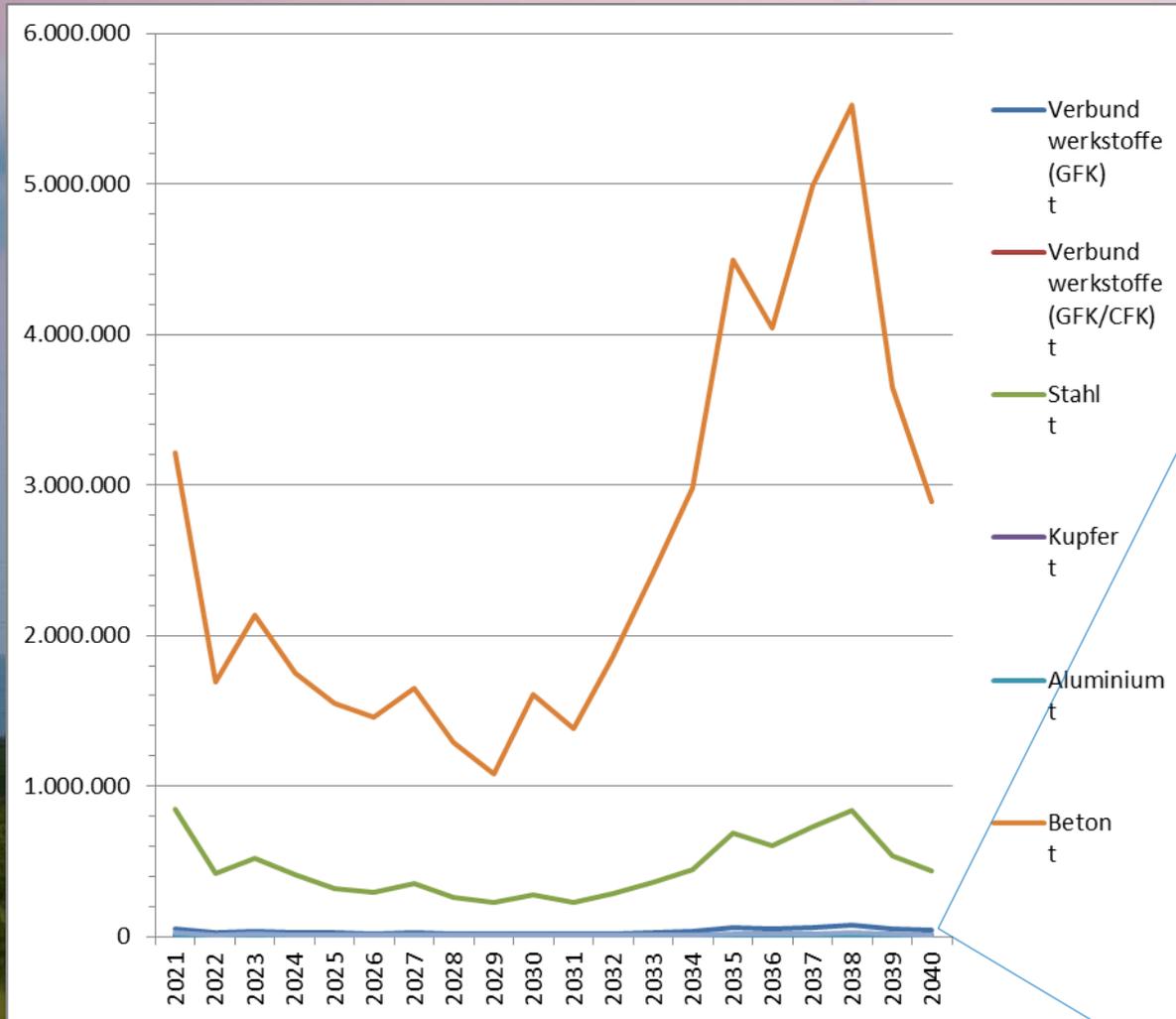


[European Waste Framework Directive 2008/98/EC]

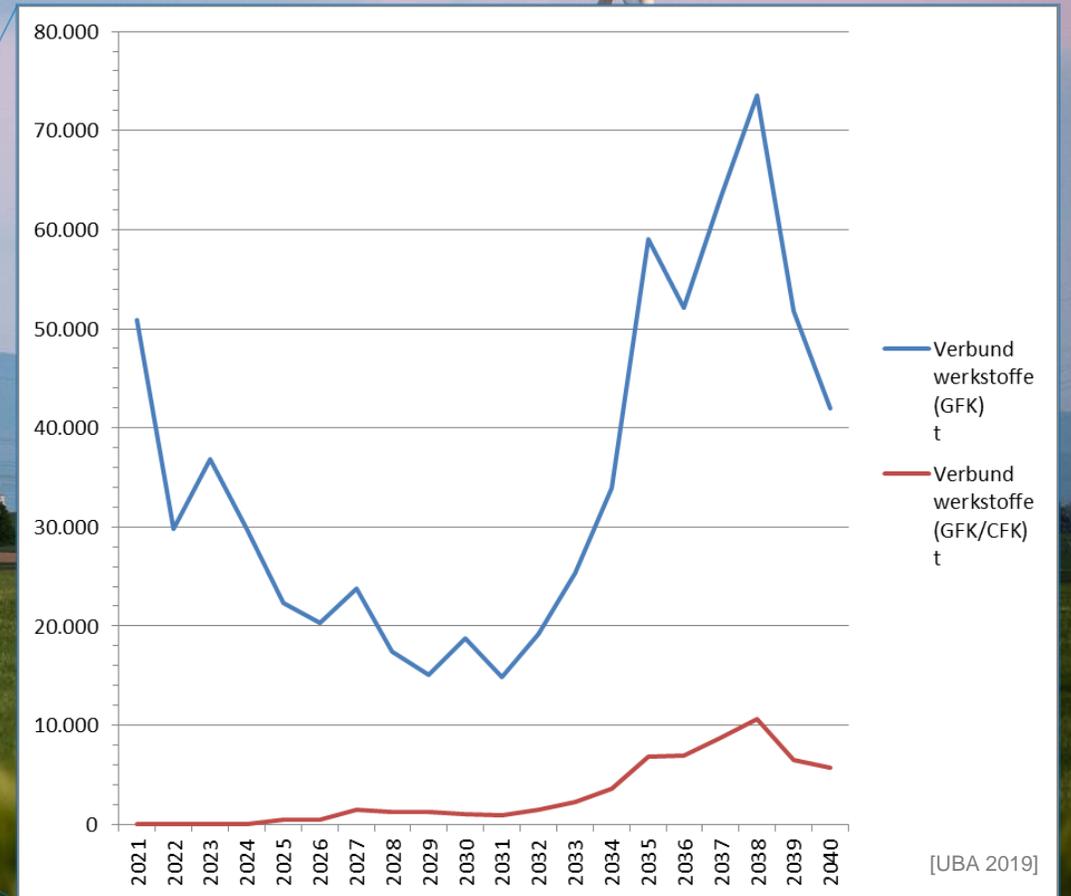
Smarter product use and manufacture	R0	Refuse
	R1	Rethink
	R2	Reduce
Extend lifespan of product and its parts	R3	Re-Use
	R4	Repair
	R5	Refurbish
	R6	Remanufacture
	R7	Repurpose
Useful application of materials	R8	Recycle
	R9	Recovery



Abfallentwicklung



[UBA 2019: Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen]



[UBA 2019]

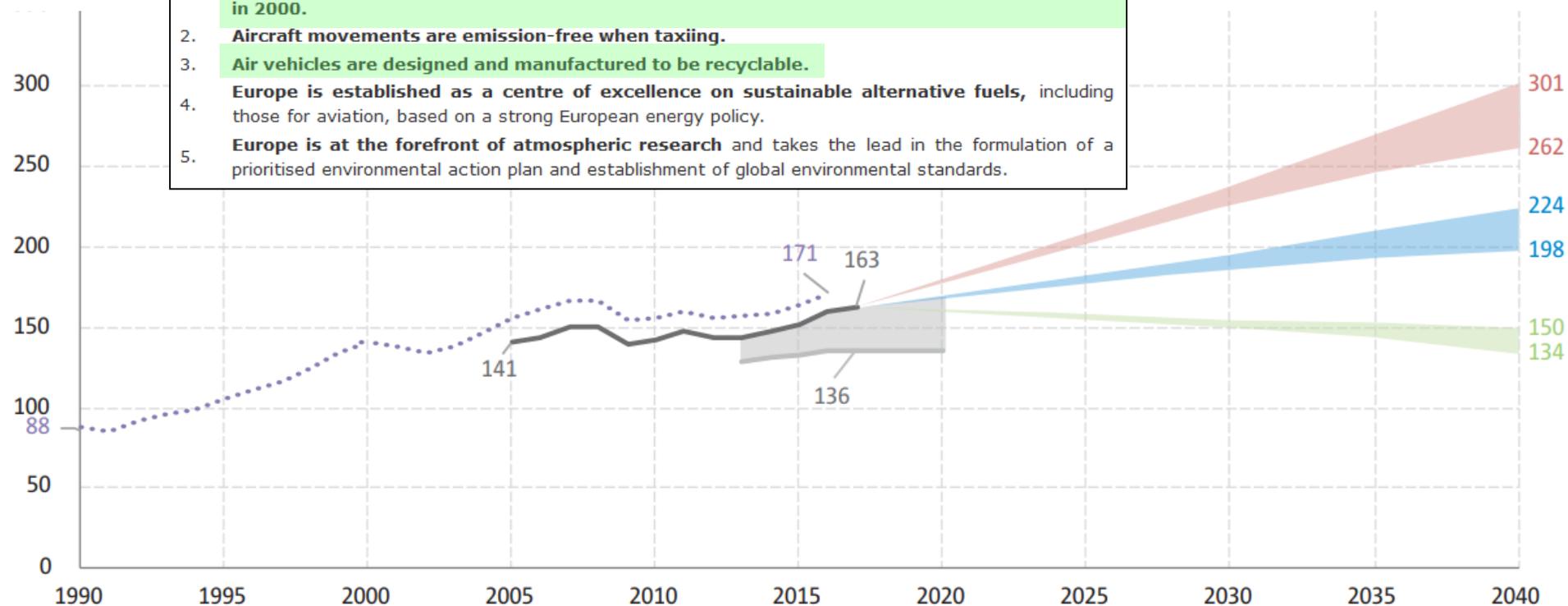
Zielkonflikt?

The goals of Flightpath 2050

[<https://www.acare4europe.org/sria/flightpath-2050-goals/protecting-environment-and-energy-supply-0>]

1. In 2050 technologies and procedures available allow a **75% reduction in CO₂ emissions** per passenger kilometre and a **90% reduction in NO_x emissions**. The perceived noise emission of flying aircraft is reduced by 65%. These are relative to the capabilities of typical new aircraft in 2000.
2. Aircraft movements are emission-free when taxiing.
3. Air vehicles are designed and manufactured to be recyclable.
4. Europe is established as a centre of excellence on sustainable alternative fuels, including those for aviation, based on a strong European energy policy.
5. Europe is at the forefront of atmospheric research and takes the lead in the formulation of a prioritised environmental action plan and establishment of global environmental standards.

Full-flight CO₂ emissions
of all departures from EU28+EFTA (million tonnes)



— IMPACT, 2005 - 2017

— IMPACT, 2013 - 2017 & base forecast,
with effect of EU ETS

..... EEA/UNFCCC

■ IMPACT, high traffic forecast

■ IMPACT, base traffic forecast

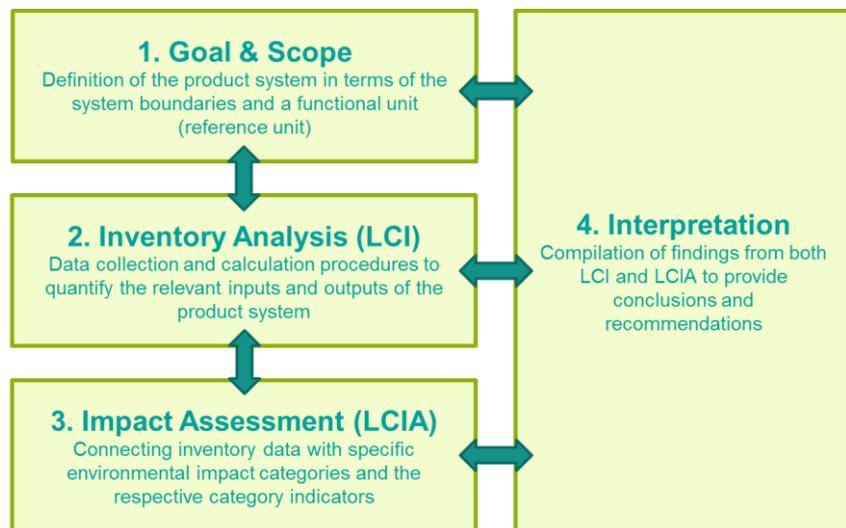
■ IMPACT, low traffic forecast

For each traffic forecast, the upper bound of the range reflects the 'frozen' technology scenario, and the lower bound reflects the 'advanced' technology scenario.

[European Aviation Environmental Report 2019]

Ökobilanz / Life Cycle Assessment (LCA)

- ISO14040-14044
- ILCD, PEF, ...



[EN ISO 14040]



ILCD 2.0.8 2018 midpoint

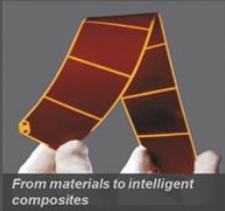
- climate change, climate change biogenic [kg CO₂-Eq]
- climate change, climate change fossil [kg CO₂-Eq]
- climate change, climate change land use and land use change [kg CO₂-Eq]
- climate change, climate change total [kg CO₂-Eq]
- ecosystem quality, freshwater and terrestrial acidification [mol H⁺-Eq]
- ecosystem quality, freshwater ecotoxicity [CTU]
- ecosystem quality, freshwater eutrophication [kg P-Eq]
- ecosystem quality, marine eutrophication [kg N-Eq]
- ecosystem quality, terrestrial eutrophication [mol N-Eq]
- human health, carcinogenic effects [CTUh]
- human health, ionising radiation [kg U235-Eq]
- human health, non-carcinogenic effects [CTUh]
- human health, ozone layer depletion [kg CFC-11-Eq]
- human health, photochemical ozone creation [kg NMVOC-Eq]
- human health, respiratory effects, inorganics [disease incidence]
- resources, dissipated water [m³ water-Eq]
- resources, fossils [MJ]
- resources, land use [points]
- resources, minerals and metals [kg Sb-Eq]



Beispiele aus FA Projekten

Multifunctional Materials

Prof. Dr. P. Wierach

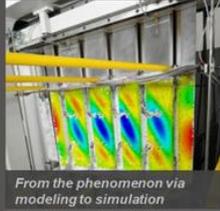


From materials to intelligent composites

- Fiber- and nanocomposites
- Smart materials
- Structural health monitoring
- Material characterization
- Eco-Composites / LCA

Structural Mechanics

Dr. T. Wille

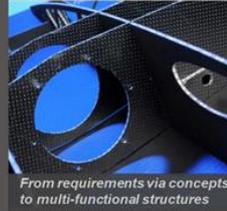


From the phenomenon via modeling to simulation

- Global design methods
- Stability and damage tolerance
- Structural dynamics
- Thermal analysis
- Multi-scale analysis
- Process simulation

Composite Design

Prof. Dr. C. Hühne

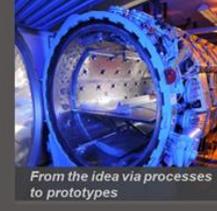


From requirements via concepts to multi-functional structures

- Design and sizing
- Structure concepts and assessment
- Multifunctional structures
- Shape-variable structures
- Hybrid structures

Composite Technology

Dr. M. Kleineberg

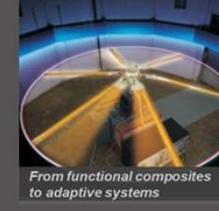


From the idea via processes to prototypes

- New technologies for manufacturing
- Hybrid manufacturing
- Assembly
- Repair
- Process automation

Adaptronics

Prof. Dr. H. P. Monner/
Dr. J. Riemenschneider



From functional composites to adaptive systems

- Simulation and demonstration of adaptive systems
- Active vibration control
- Active noise control
- Active shape control
- Self-sufficient systems

Composite Process Technologies

Dr. J. Stüve



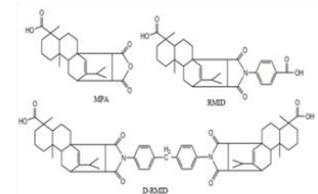
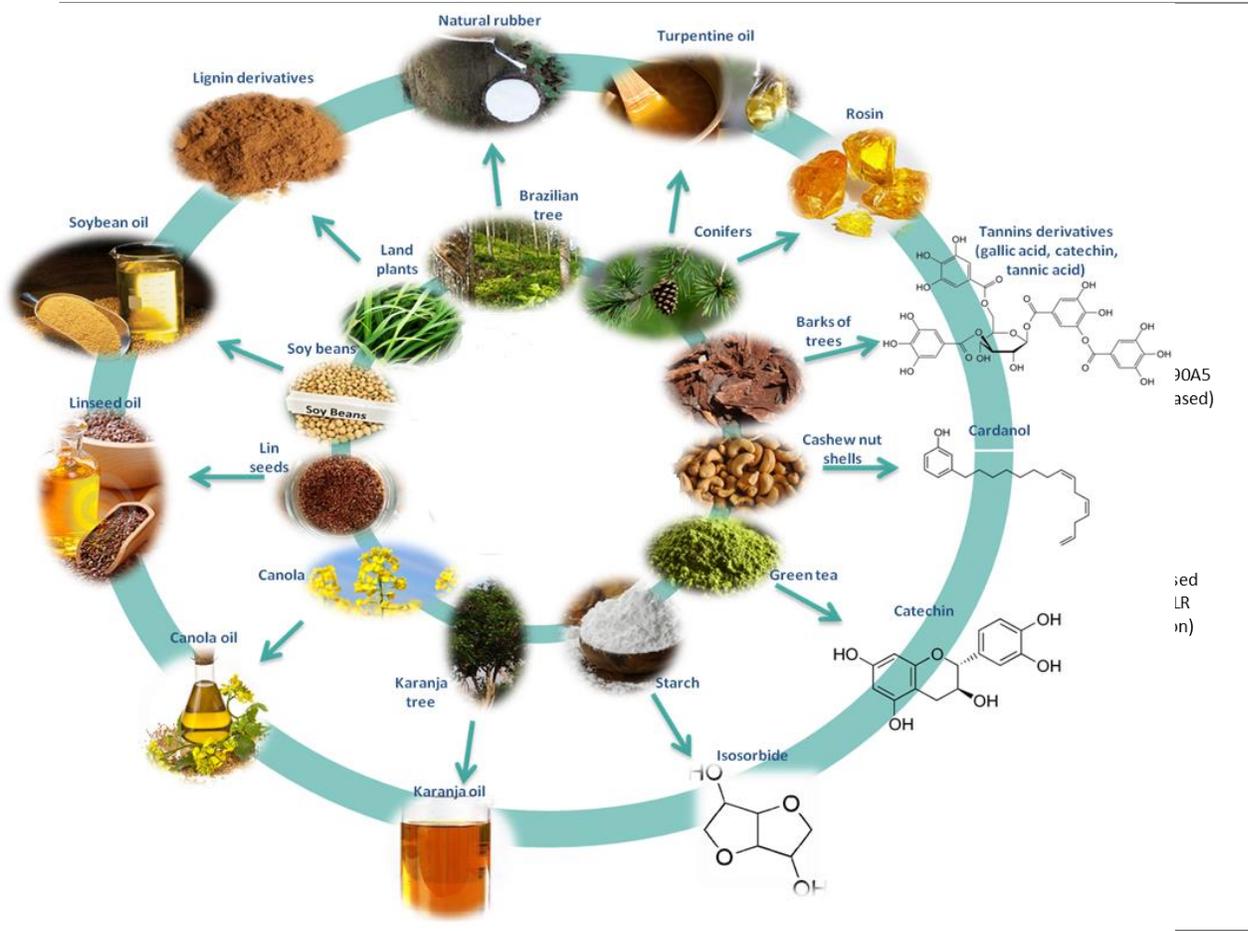
New methods in industrial scale

- Automated Fiber placement und Tape Laying
- Online Quality assessment within autoclaves
- Automated manufacturing for mass production
- Simulation methods for process reliability and process assessment



Materialien Nachwachsende Rohstoffe

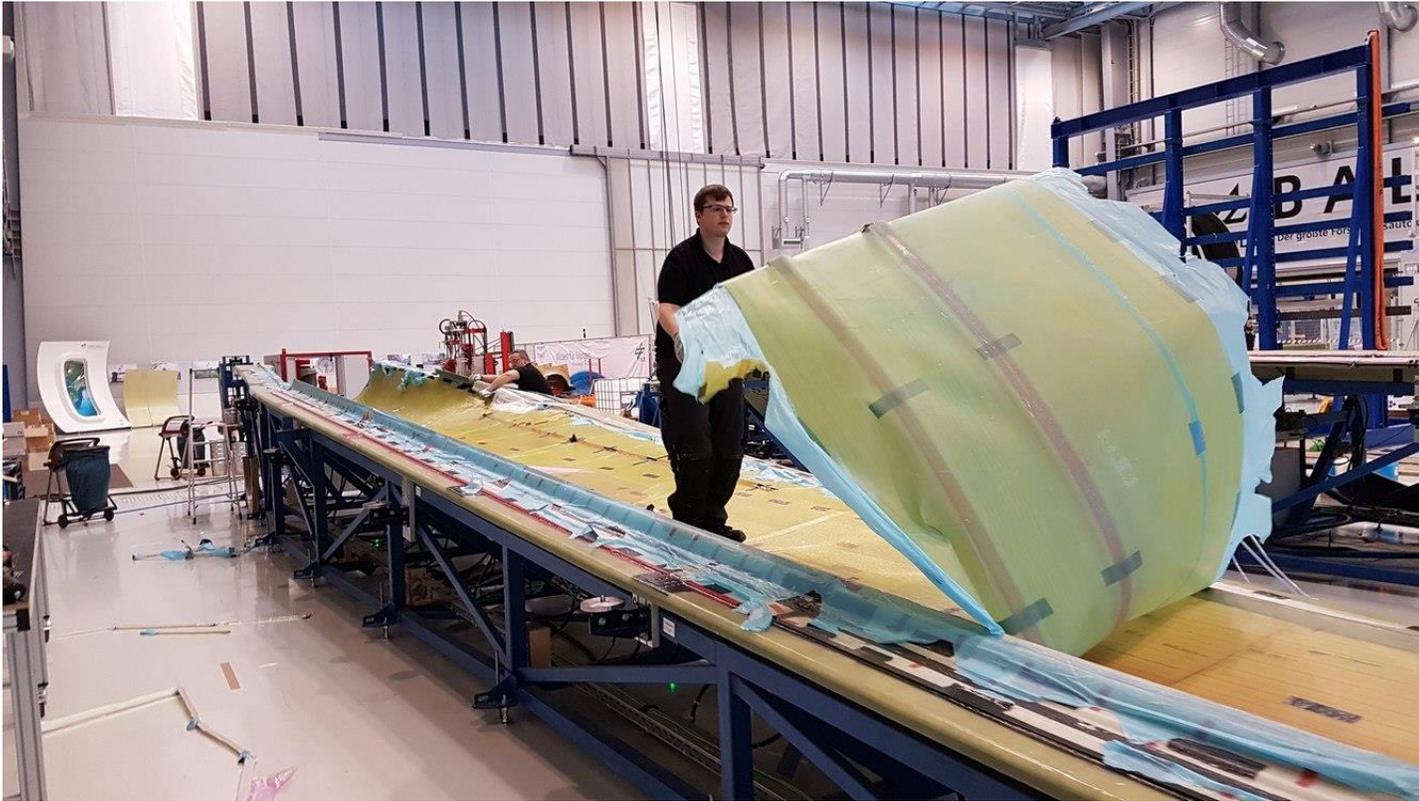
R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery



Rosin-sourced epoxy hardener



Produktion Fertigungsabfall



R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery

Digitaler Zwilling

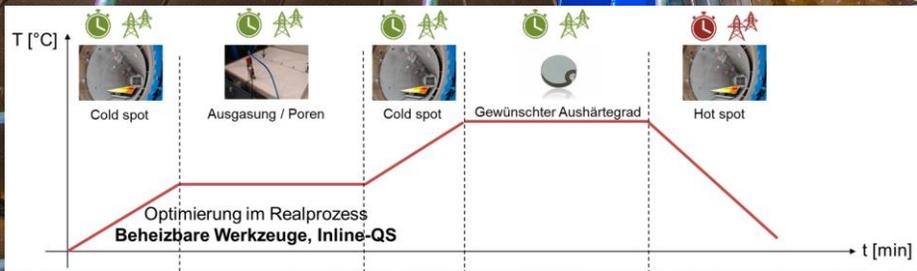
Optimierung
Pre- bis Post-
Prozess

Wärmeverteilung

Beheizbare
Formwerkzeuge
Strömungsmanipulation

Inline-QS

Durchflussmessung
Aushärtedetektion



Vakuumaufbau

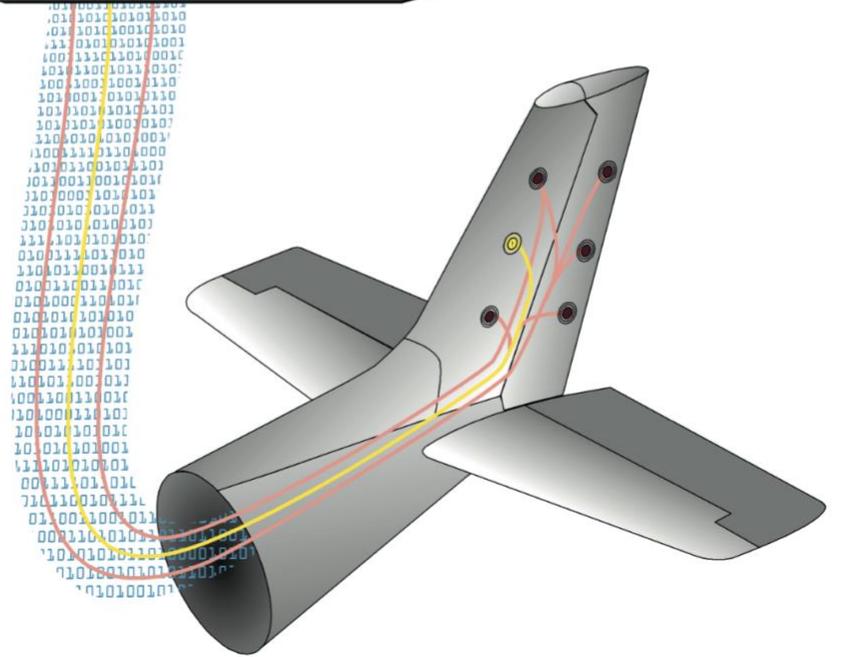
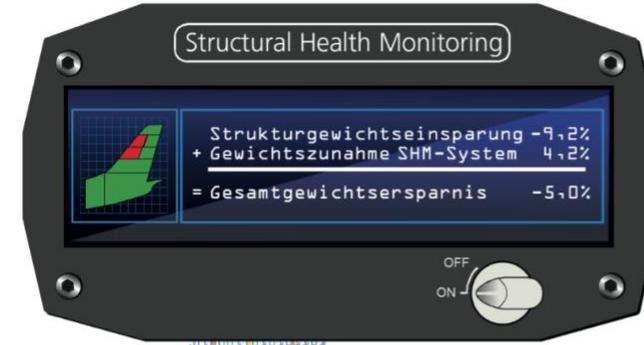
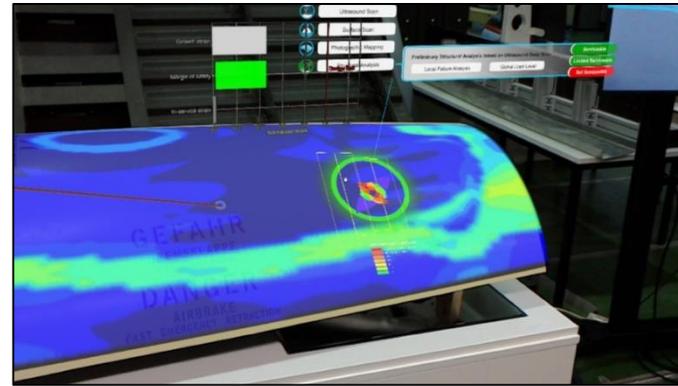
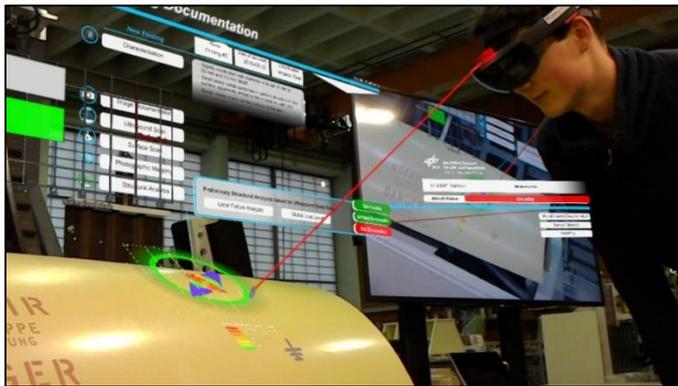
Hilfsstoffe
Leckage Erkennung

Wärme-

Management

Nutzungsphase und EoL Strukturüberwachung

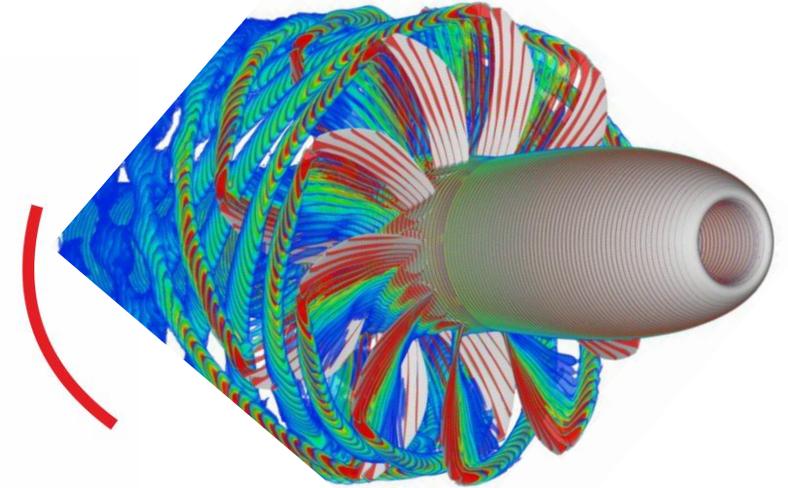
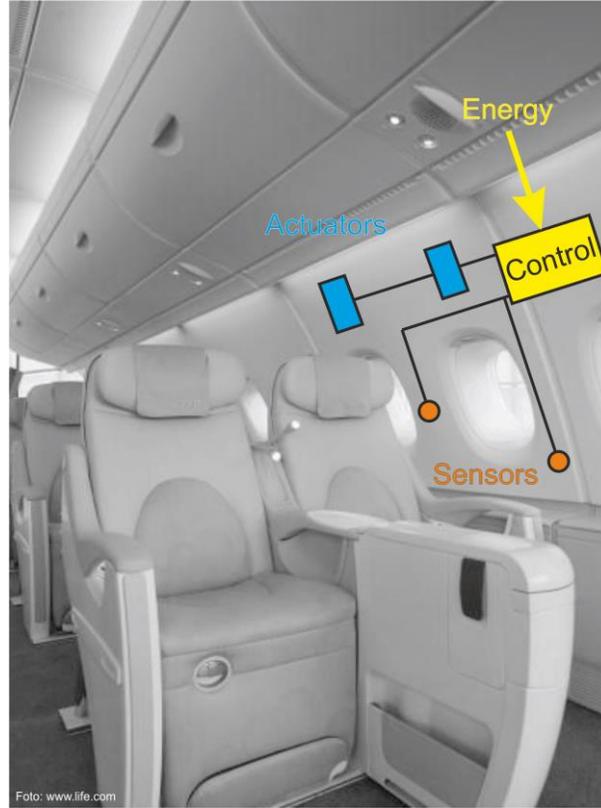
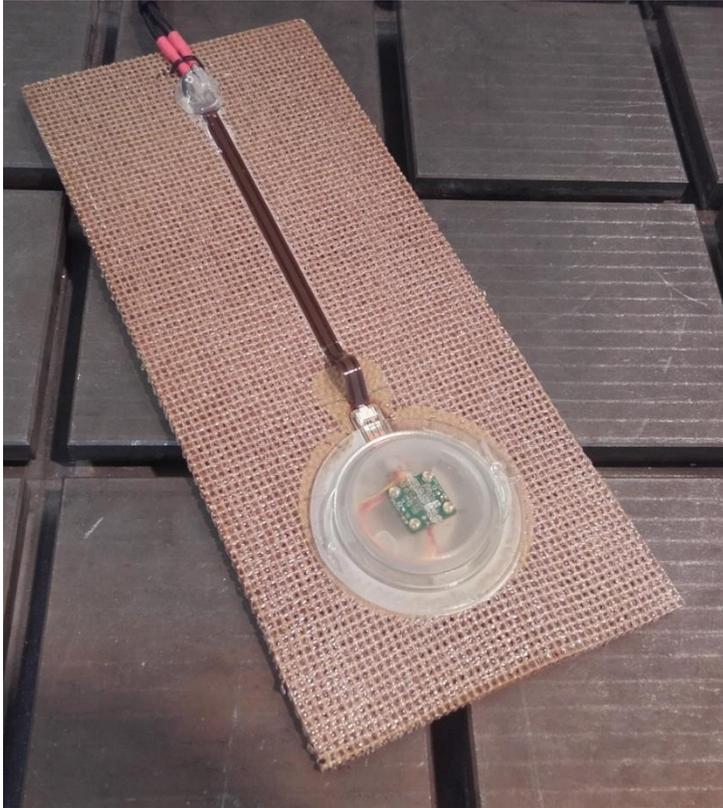
- Heute: Schadenstoleranz Auslegung
- Strukturüberwachung ermöglicht:
 - Kleinere Sicherheitsfaktoren = Gewichtseinsparung
 - Schadensbewertung = Unterstützung bei MRO
- Zusätzlicher Nutzen der Strukturüberwachung für die Kreislaufwirtschaft:
 - Historie von Beanspruchungen und möglicher Schädigungen während der Nutzungsphase
 - Bewertungsfähigkeit potentieller Wege der Weiterverwendung in anderen Anwendungen (optimale Verwertungskette)



R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery



Nutzungsphase Adaptive Systeme und Kreislaufwirtschaft?

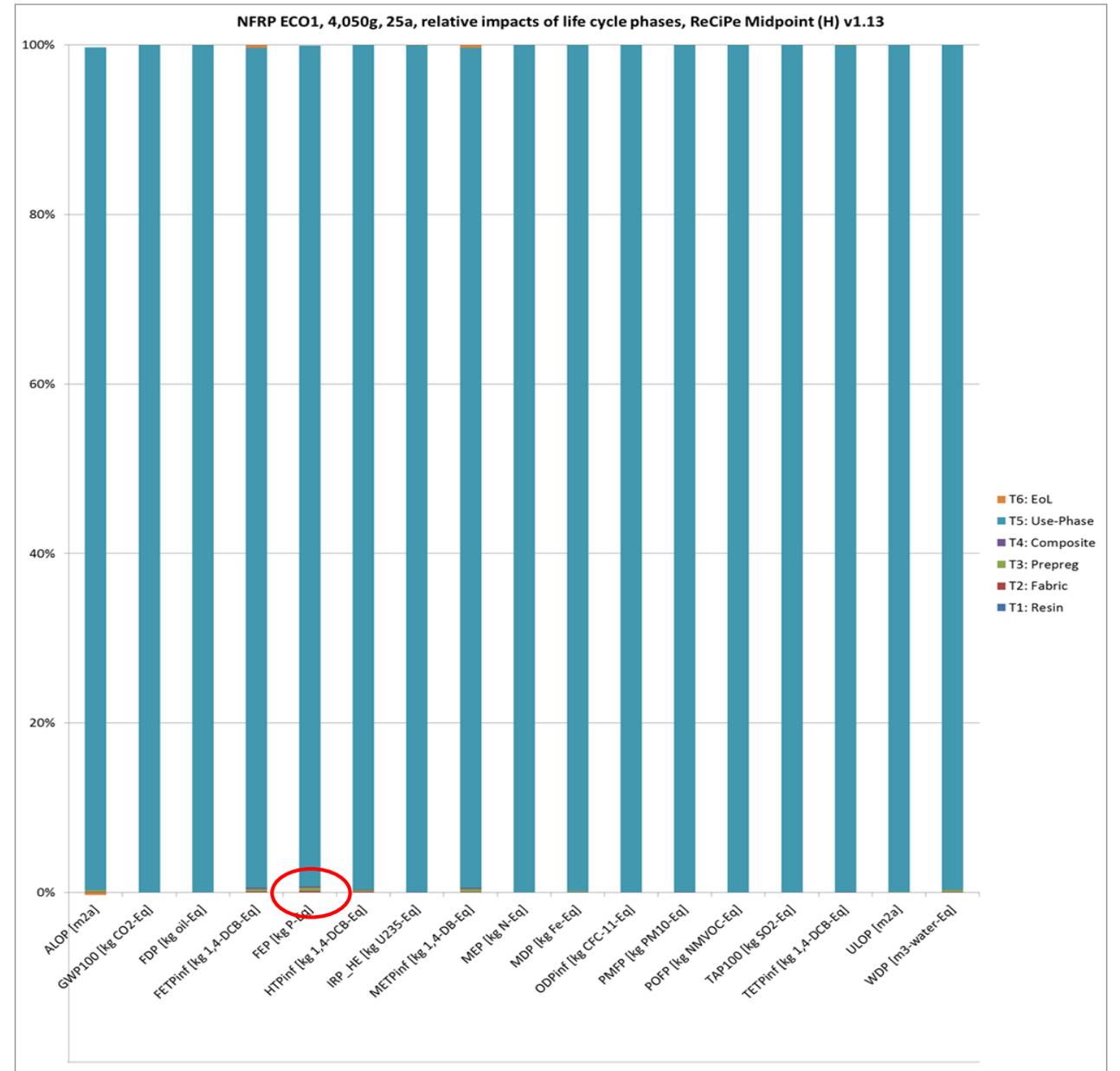


R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery



LCA

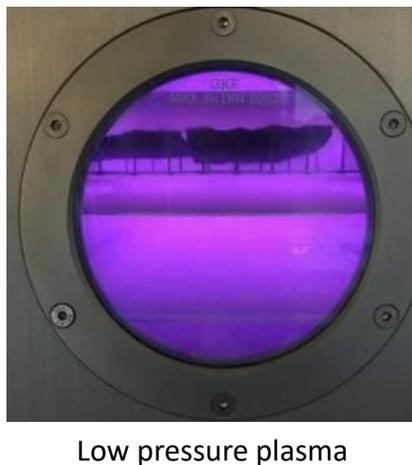
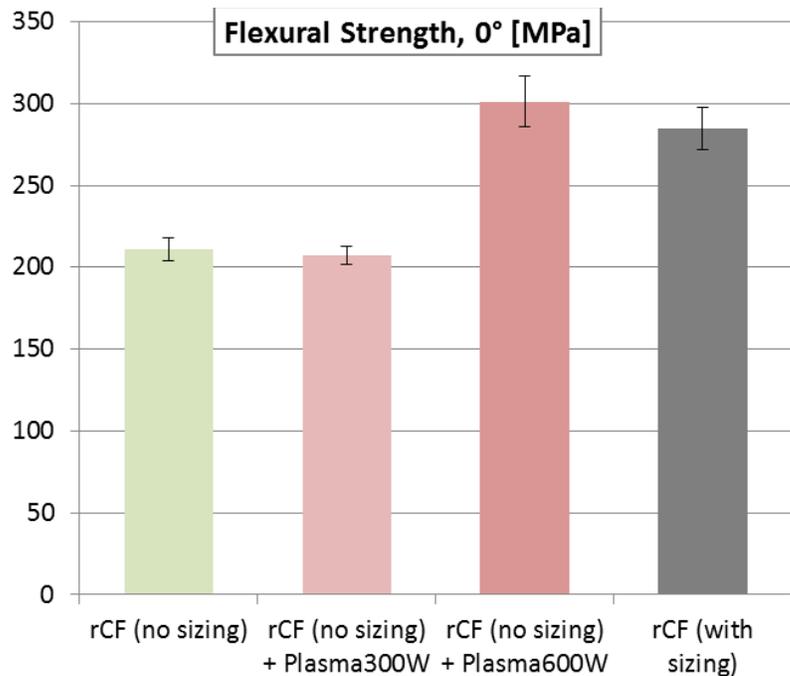
Beispiel Nutzungsphase Luftfahrt



EoL CF Recycling

R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery

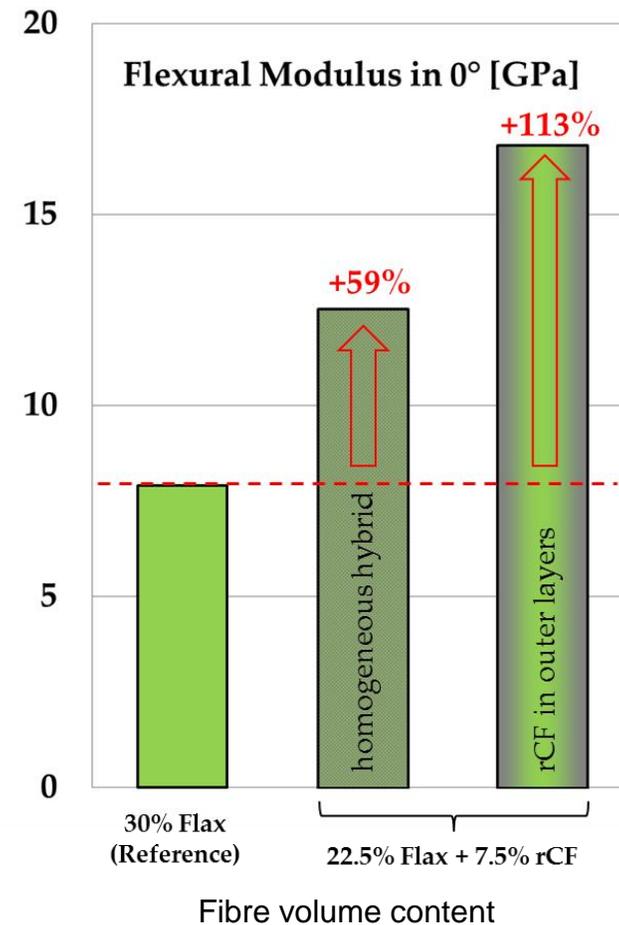
Plasma treatment (rCF, flax)
22% FVC



+



Hybrid nonwoven (rCF, flax)



Techtextil 2019 forum, TTF 9 - sustainable fibre innovations & applications: "Plasma treatment of bio-based and recycled fibres for eco-composites", R Garcia, LEITAT

Aerospace 2018, 5(4), 107; <https://doi.org/10.3390/aerospace5040107>
Aerospace 2018, 5(4), 120; <https://doi.org/10.3390/aerospace5040120>



Kreislaufwirtschaft Verwertungskette

R0	Refuse
R1	Rethink
R2	Reduce
R3	Re-Use
R4	Repair
R5	Refurbish
R6	Remanufacture
R7	Repurpose
R8	Recycle
R9	Recovery



Ausblick

Faserverbundleichtbau und Kreislaufwirtschaft: Kein Widerspruch.

- Einbindung von Aspekten der Kreislaufführung ab der frühesten Entwicklung
- Beachtung aller Produktlebensphasen
- Sinnvolle Verwertungsketten, minimaler Qualitätsverlust
- Nachverfolgbarkeit, Demontage
- Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standardisierung, Qualitätssicherung
- Umfassende Technologiebewertung inklusive LCA / LCC / LCE
- Vermeidung der Verschiebung von Umweltlasten bei eindimensionaler Betrachtung von CO₂-Äquivalenten

→ DLR FA - Strategiefeld Kreislaufwirtschaft



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit.

Jens Bachmann

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik Multifunktionswerkstoffe

Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Telefon 0531 295-3218
jens.bachmann@dlr.de
www.DLR.de

