



**OHLF** OPEN HYBRID  
LABFACTORY

# TechnoHyb

Neue Ansätze für nachhaltige Produkte

Tim Fröhlich (TU Braunschweig, IK), Frank Schlegel (FIT-Umwelttechnik GmbH), Nicole Allgaier (EnerKite GmbH)

15.05.2025

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# TechnoHyb | Motivation



## Motivation

## Funktionsintegration und Circular Economy

## Vorgehen



nachhaltigerer Umgang mit Ressourcen



Materialmix häufig nicht zirkularitätsgerecht



nachhaltige und wirtschaftliche Integration von Funktionen



Quelle: Elli



Demontage- und Recyclinganalysen

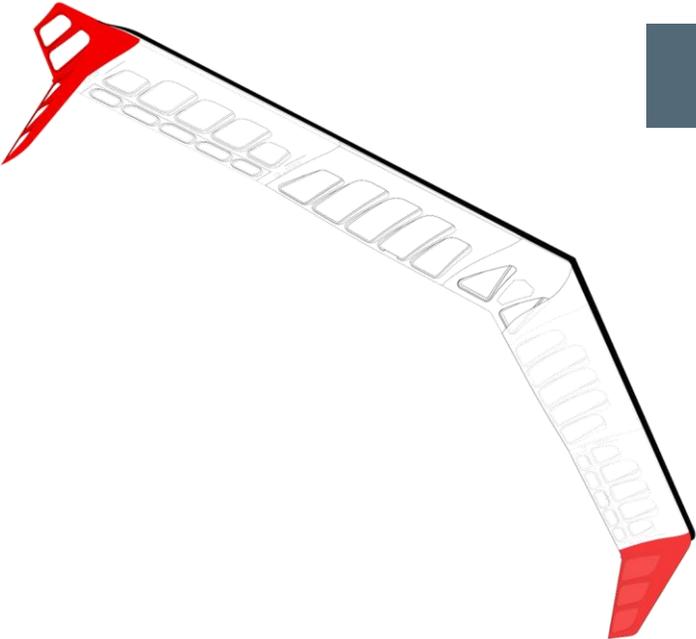


Zirkularitätsgerechte Funktionsintegration

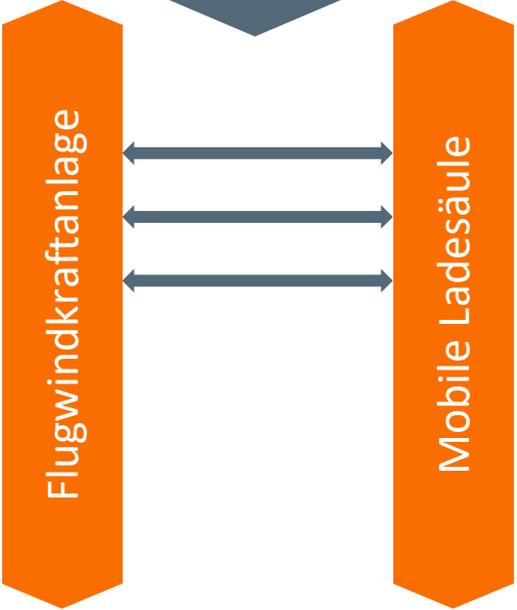


Unterschiedliche Anwendungsfälle

# TechnoHyb | Arbeitsschwerpunkte



Funktionsintegration und Circular Economy



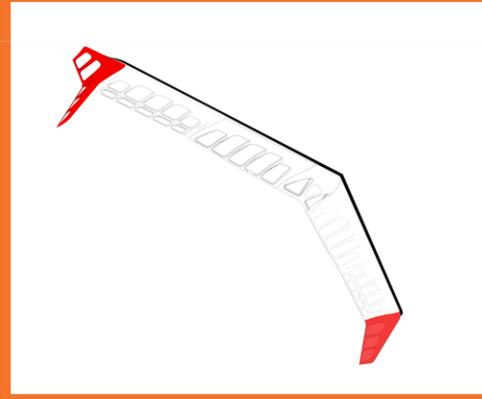
Quelle: Elli

# Themenschwerpunkte des Projekts

Fahrzeugheckklappe



Flugwindkraftanlage



Flexible Ladesäule



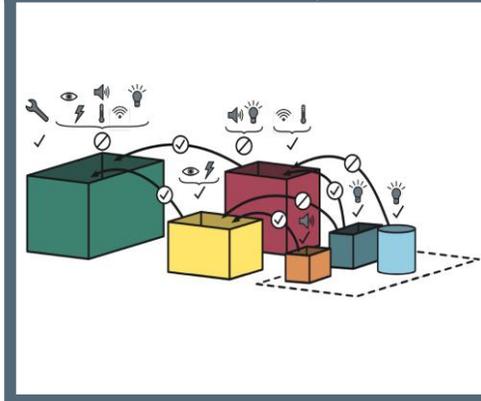
Autarke Mobile Ladeinfrastruktur



Additiv gefertigtes Werkzeug



Systematische Funktionsintegration





**OHLF** OPEN HYBRID  
LABFACTORY

# TechnoHyb

Ansätze zur Verbesserung der Zirkularitätseigenschaften von Produkten am Beispiel einer Flugwindkraftanlage

Tim Fröhlich, TU Braunschweig (Institut für Konstruktionstechnik)

15.05.2025

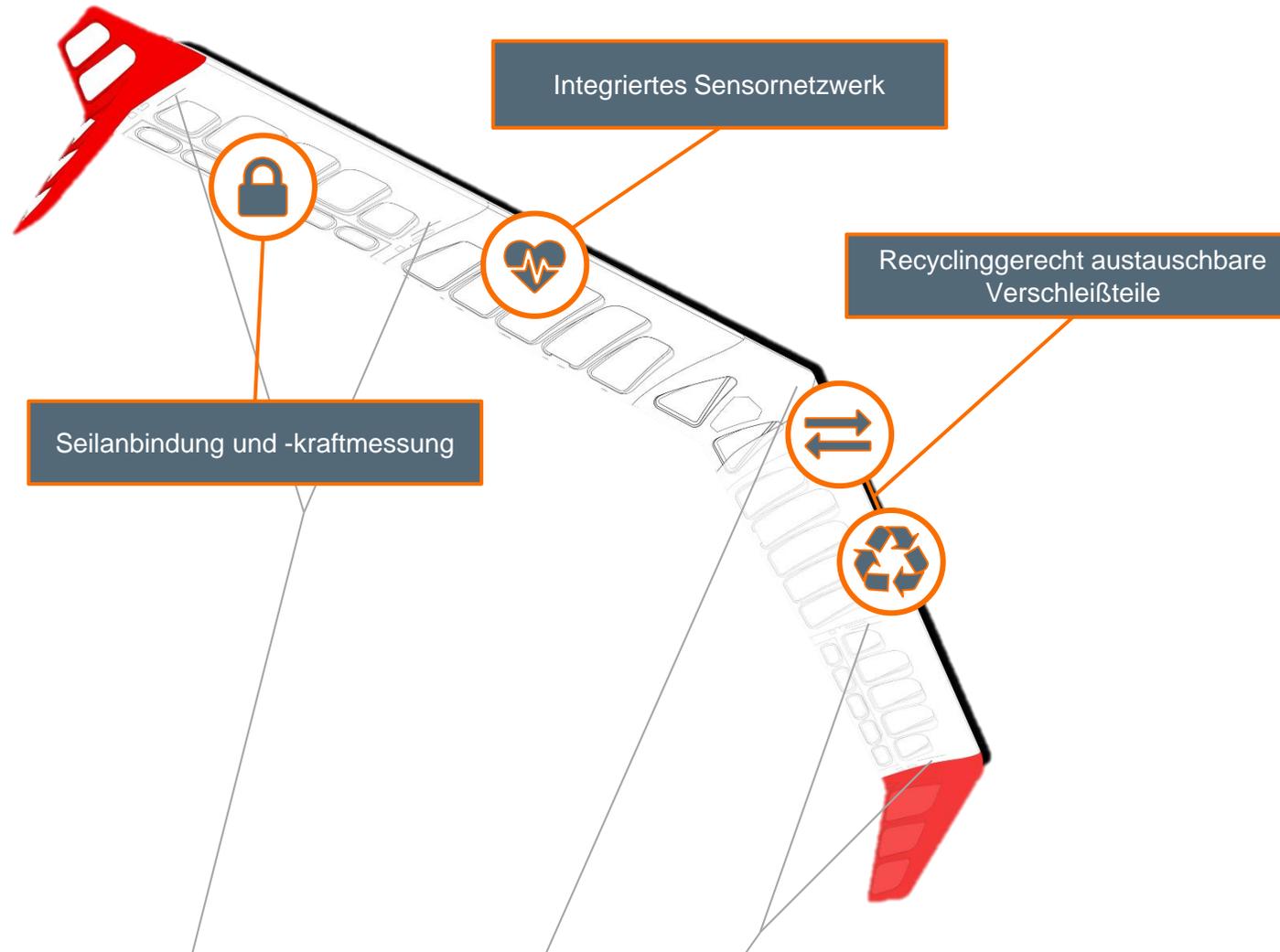
GEFÖRDERT VOM



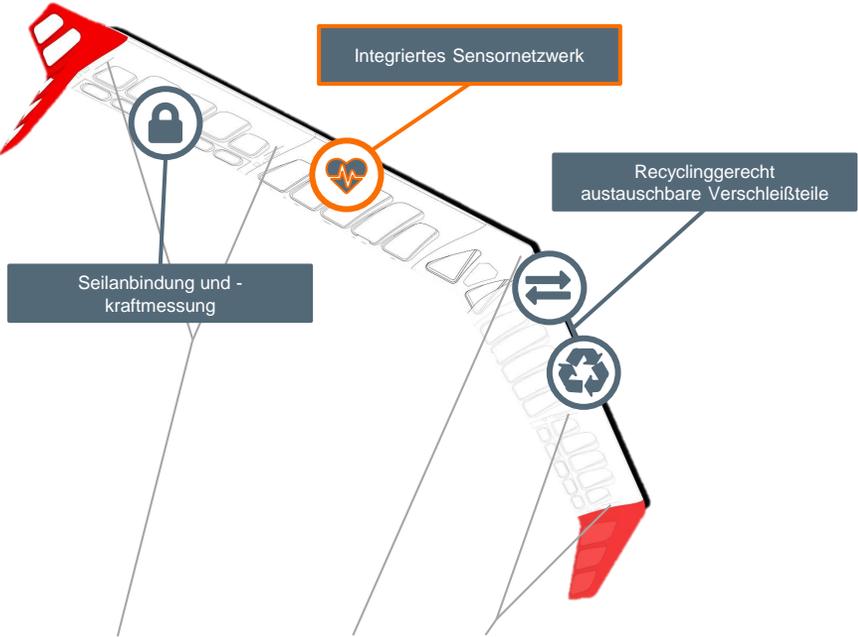
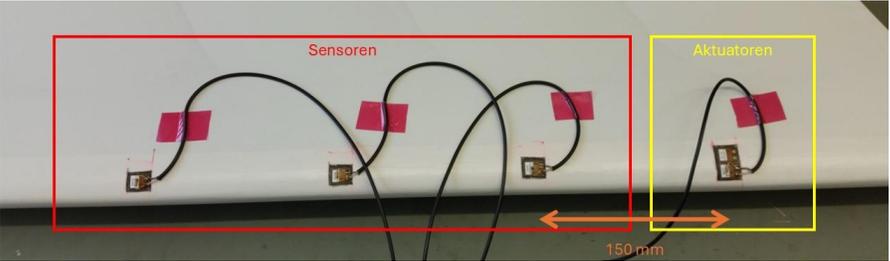
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



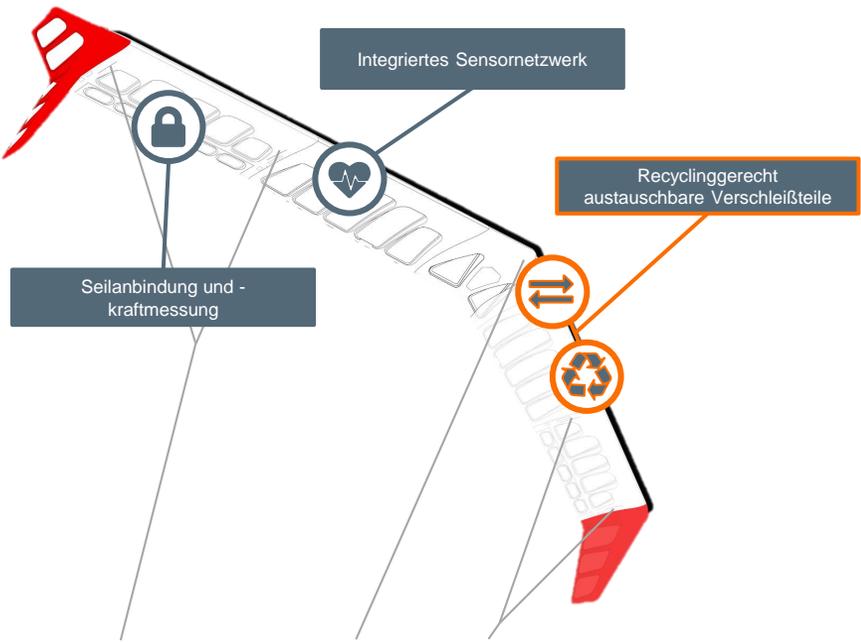
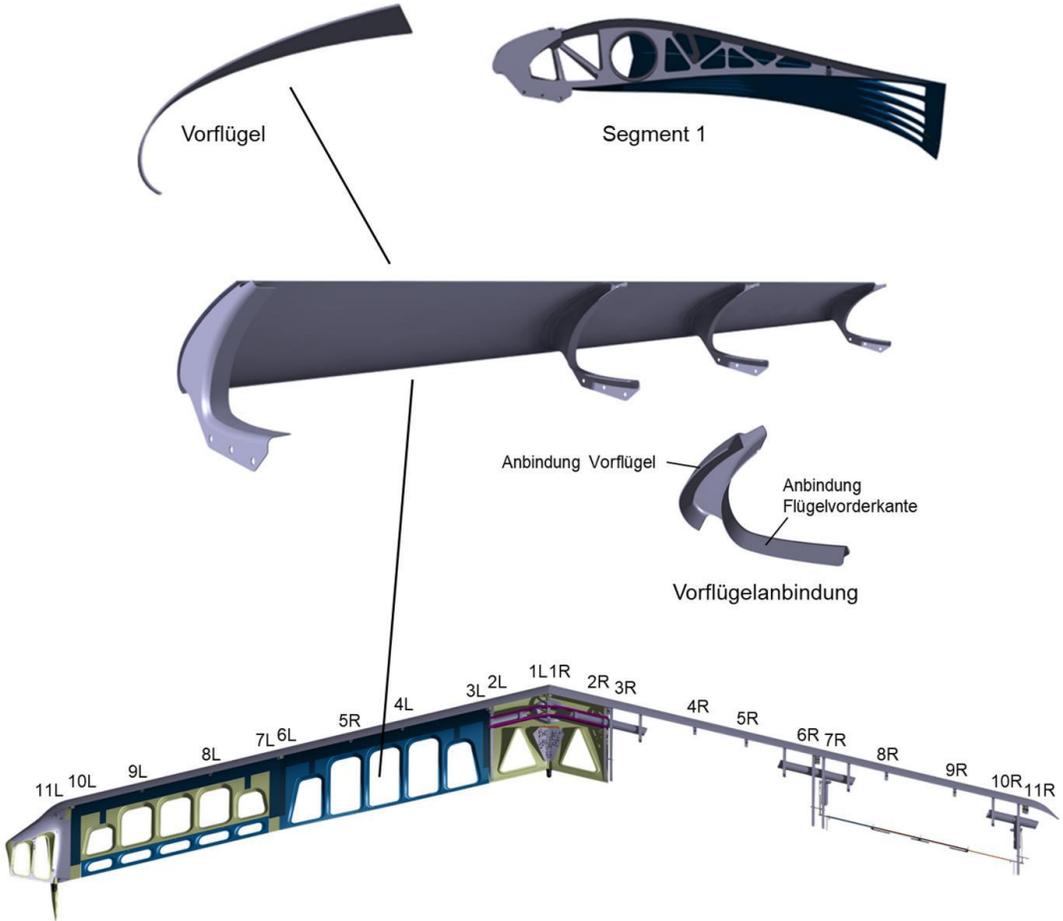
# Themenschwerpunkte am Flügel der Flugwindkraftanlage



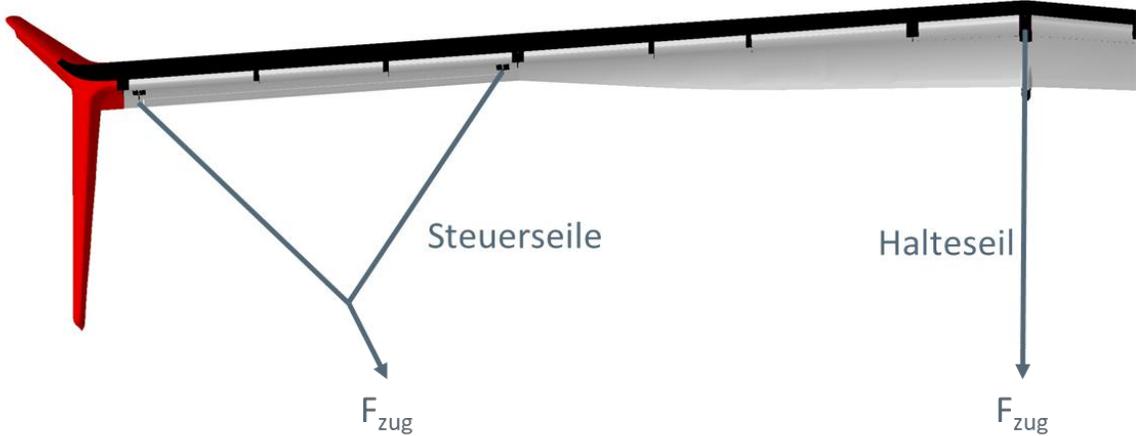
# Themenschwerpunkte am Flügel der Flugwindkraftanlage



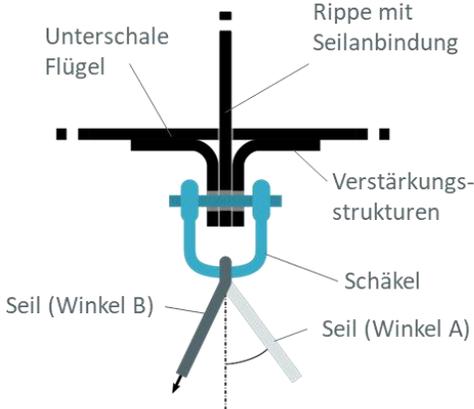
# Themenschwerpunkte am Flügel der Flugwindkraftanlage



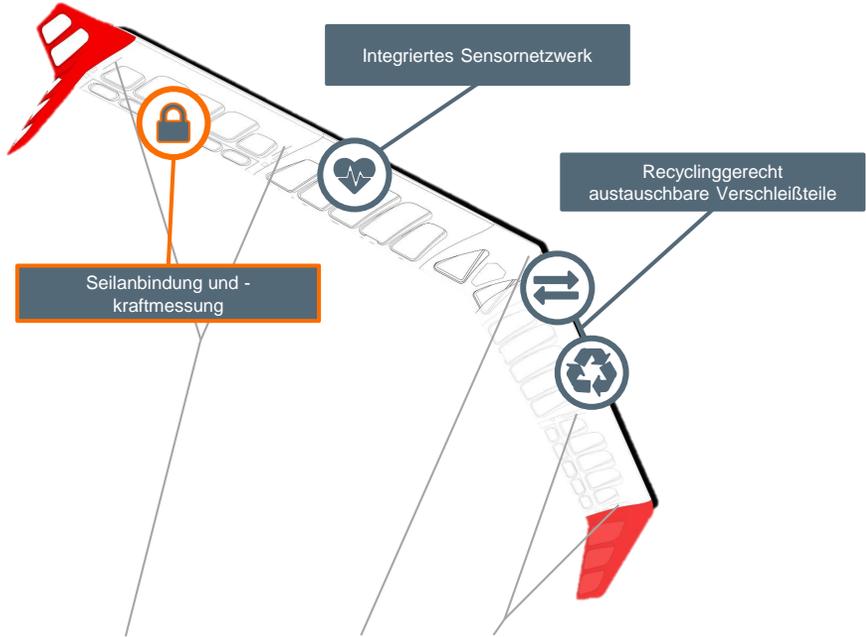
# Seilanbindung und -kraftmessung



Rippenstruktur mit Seilanbindung



Status Quo der Seilanbindung





**OHLF** OPEN HYBRID  
LABFACTORY



# TechnoHyb

Ansätze zur Verbesserung der Zirkularitätseigenschaften von Produkten am Beispiel einer flexiblen Ladesäule

Frank Schlegel, FIT-Umwelttechnik GmbH

15.05.2025

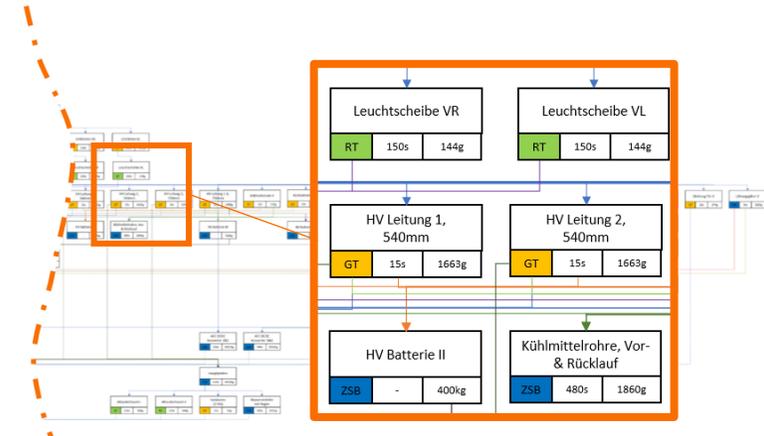
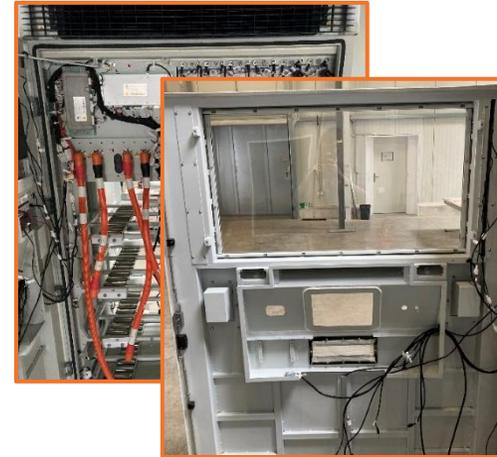
GEFÖRDERT VOM



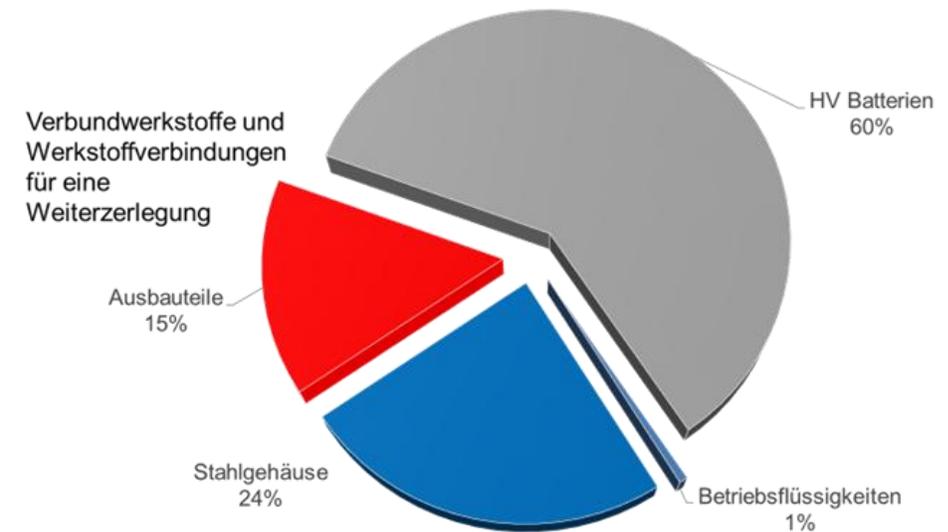
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# TechnoHyb | Arbeitsschwerpunkt *Mobile Ladesäule*

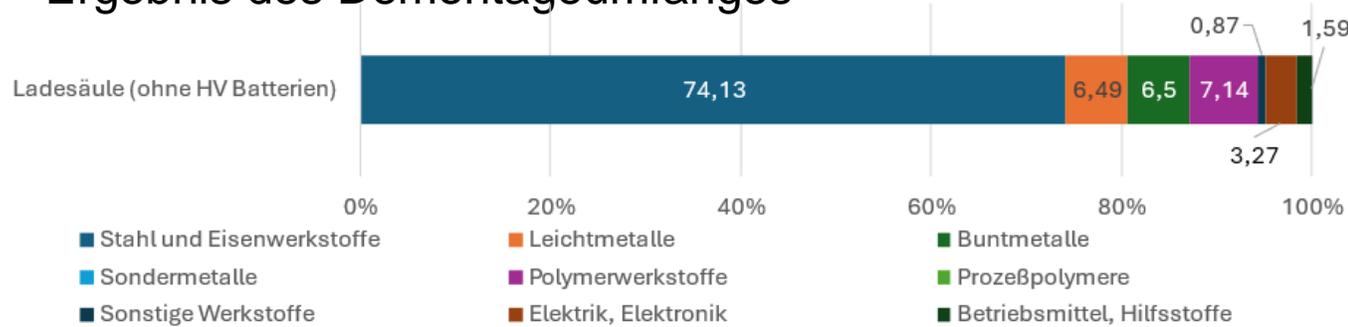


Verbesserung der Demontage- und Recyclingeigenschaften anhand der aktuellen, stahldominierten Bauweise



# Demontage und Recyclinganalyse

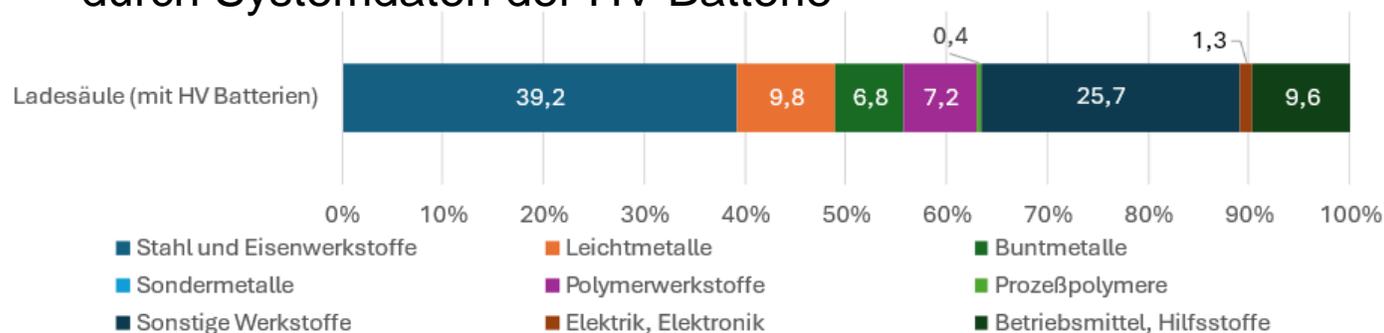
## Ergebnis des Demontageumfanges



$$R_{cyc} = \frac{m_{\text{Verwertung Metall}} + m_{\text{Verwertung Thermoplast}}}{m_{\text{Produkt}}}$$

$$R_{cyc} = \frac{897,33 \text{ kg} + 10,79 \text{ kg}}{1030 \text{ kg}} = 0,88 = 88 \%$$

## Ergebnis des Demontageumfanges, komplettiert durch Systemdaten der HV-Batterie

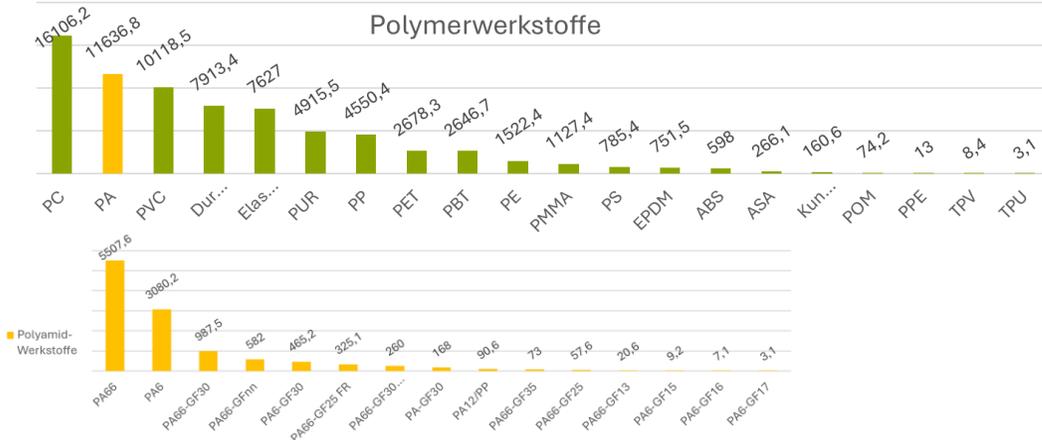
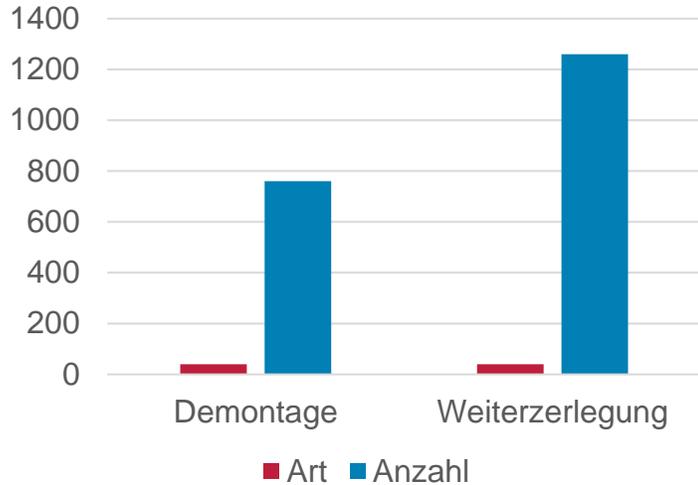


$$R_{cyc} = \frac{m_{\text{Verwertung Metall}} + m_{\text{Verwertung Thermoplast}} + m_{\text{Batterie (50\%)}}}{m_{\text{Produkt}}}$$

$$R_{cyc} = \frac{897,33 \text{ kg} + 10,79 \text{ kg} + 772,5 \text{ kg}}{2575 \text{ kg}} = 0,65 = 65 \%$$

# Optimierungspotential Demontage / Werkstoffe

## Verbindungselemente



### Definition Kreislaufeignungswert für Re use

$$KE \text{ Wert (Wiederverwendung)} = \frac{\text{Kosten Neuteil} + \text{Kosten Entsorgung Altteil}}{\text{Kosten Aufarbeitung Altteil}} > 1$$

Demontage  
 Reinigung  
 Prüfung  
 Sortierung  
 Aufarbeitung  
 Remontage  
 Qualitätssicherung

Kostenoptimierung

Handlungsfelder Verbindungselemente
Auffindbarkeit
Lösbarkeit
Zugänglichkeit
Anzahl
<b>Vielfalt</b>
Werkzeugbedarf
Mechanisierbarkeit/ Automatisierbarkeit

### Definition Kreislaufeignungswert für stoffliche Verwertung

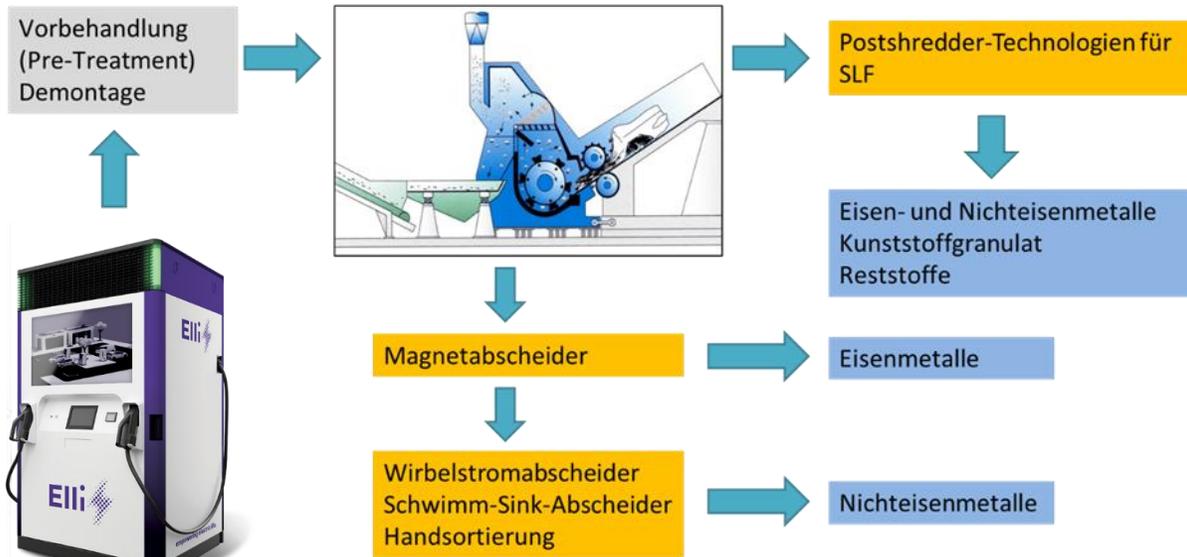
$$KE \text{ Wert (Materialrecycling)} = \frac{\text{Kosten Neuteil} + \text{Kosten Entsorgung Altteil}}{\text{Kosten Aufbereitung Altteil}} > 1$$

Zerlegung  
 Zerkleinerung  
 Klassierung  
 Sortierung  
 Veredelung

Kostenoptimierung

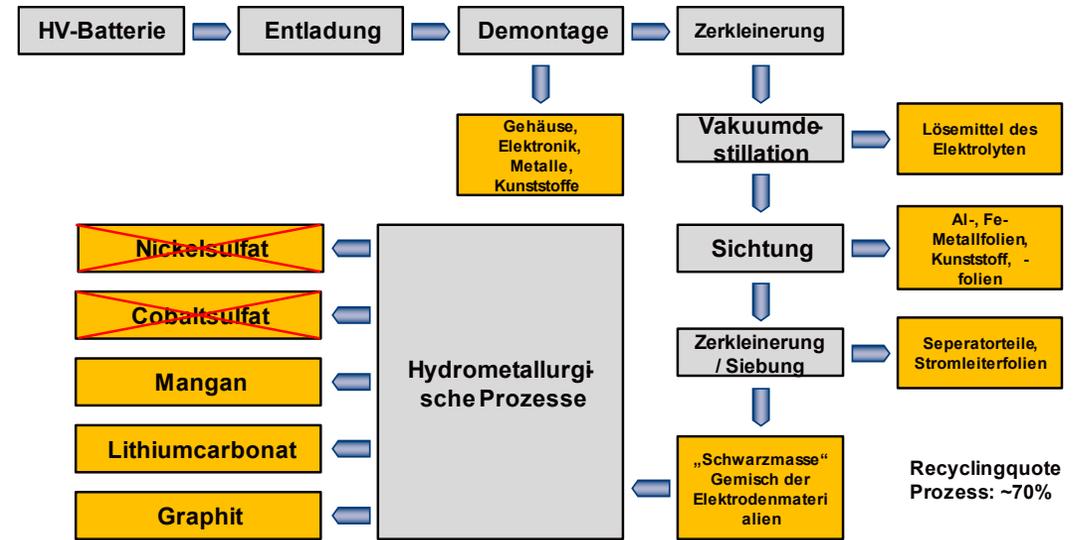
Handlungsfelder Aufbereitungsgerechtigkeit
Zerlegegerechte Baustruktur
Entnahmemöglichkeit für Schadstoffe
Trockenlegung flüssigkeitstragender Bauteile
<b>Identifizierbarkeit der Materialien</b>
Identifizierbarkeit der Schadstoffe
Verwertbarkeit der Materialien
Verträglichkeit der Materialien
Trenn- und Separierbarkeit der Materialien
<b>Vielfalt der Materialien</b>

# Recyclingkonzept



Quelle: Elli

## ■ Recyclingkonzept

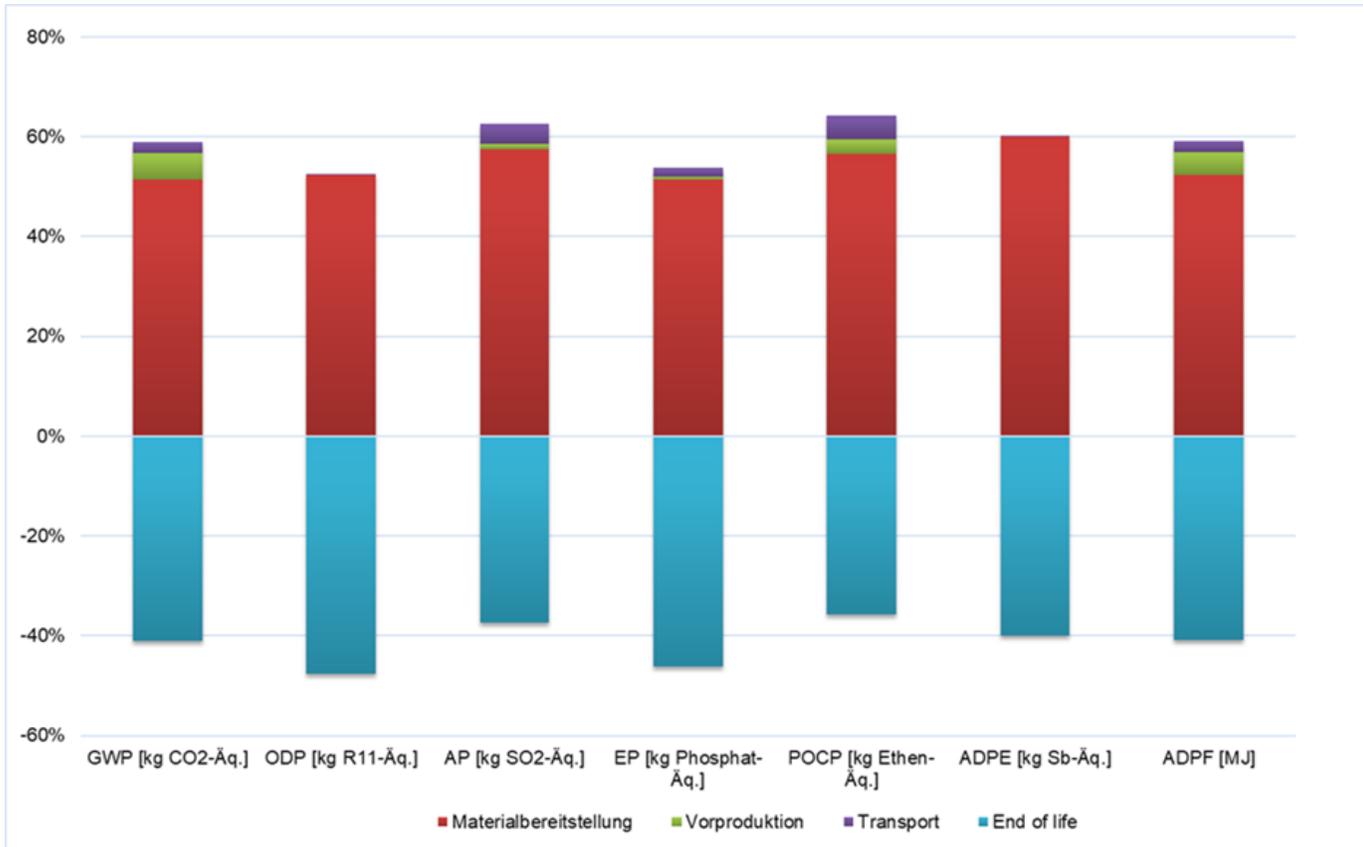


Materialerlös [€]



## ■ HV-Batterierecycling

# LCA des Verwertungskonzeptes

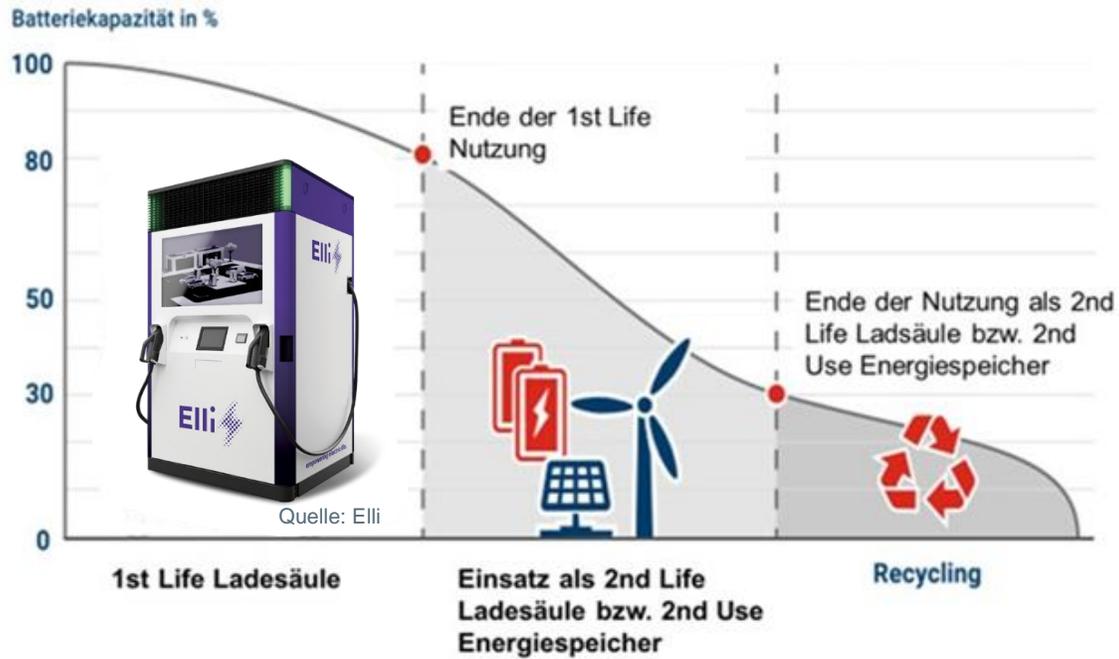


Material	Anteil im Eol Prozess [%]
<b>Stoffliche Verwertung</b>	
Aluminium	95
Edelstahl	95
Kupfer	95
Messing	95
Stahl	95
PC+ABS (Lüftungsgitter)	95
PC (Abdeckscheibe TV)	95
Blei	95
Batteriesäure	95
<b>Thermische Verwertung</b>	
Polymere	100
Naturfaser	100
Papier	100

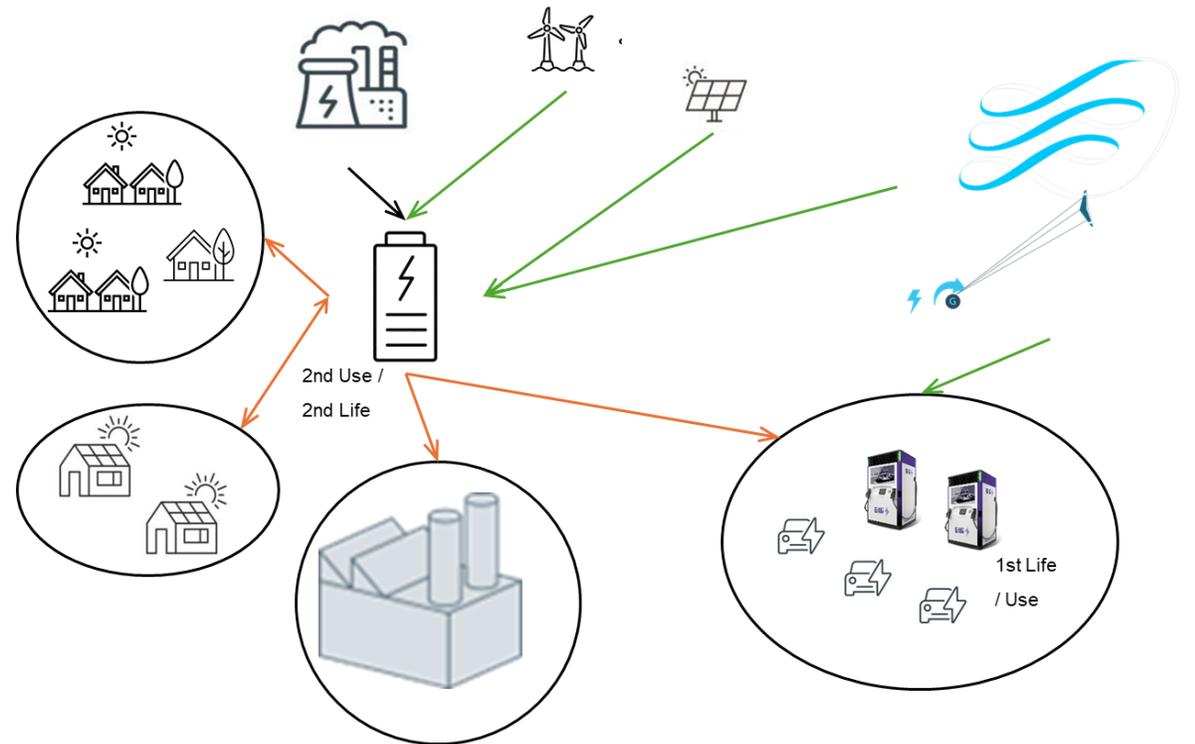
Material	Anteil im Eol Prozess [%]
<b>Stoffliche Verwertung</b>	
Kältemittel	100
Kühlwasser	50

Komponente	Anteil im Eol Prozess [%]
<b>Wiederverwertung</b>	
HV- Batterie 1-4	100
AFC DCDC 1-4 60A Converter	100
AFC ACDC Conv 1+2	100

# Szenario Recycling, Weiter- und Wiederverwendung



- Weiterverwendung (2nd Use) einer leicht modifizierten Ladesäule als Energiespeicher
- Weiterverwendung geprüfter HV-Module als Komponenten in Großenergiespeichersystemen



# TechnoHyb | Arbeitsschwerpunkt *Mobile Ladesäule*



## Schwer sichtbare Außenbereiche

Beispiel: Lüftungsgitter  
OHG: mittel (Geruch: hoch)  
Struktur: niedrig  
Sonstige: Wärmebeständigkeit

## Interaktionsbereiche

Beispiel: Bedienpanel  
OHG: sehr hoch  
Struktur: mittel  
Sonstige: Formkomplexität

## Strukturelle Innenteile

Beispiel: Gestellprofile  
OHG: niedrig  
Struktur: sehr hoch  
Sonstige: Anbindung

## Externe Zusatzelemente

Beispiel: Anfahrschutz  
OHG: mittel/gering  
Struktur: hoch  
Sonstige: Beständigkeit

## Nicht sichtbare Außenbereiche

Beispiel: Dachoberseite  
OHG: niedrig  
Struktur: sehr hoch  
Sonstige: Akustik/Vibration

## Sichtbare Außenbereiche

Beispiel: Außenblech  
OHG: hoch  
Struktur: hoch  
Sonstige: Akustik/Vibration

## Funktionale Innenteile

Beispiel: Wärmedämmung  
OHG: niedrig  
Struktur: niedrig  
Sonstige: Wärmeleitung

## Verdeckte Außenbereiche

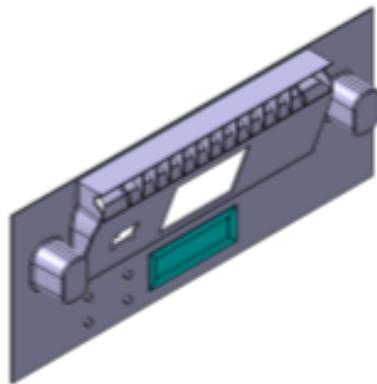
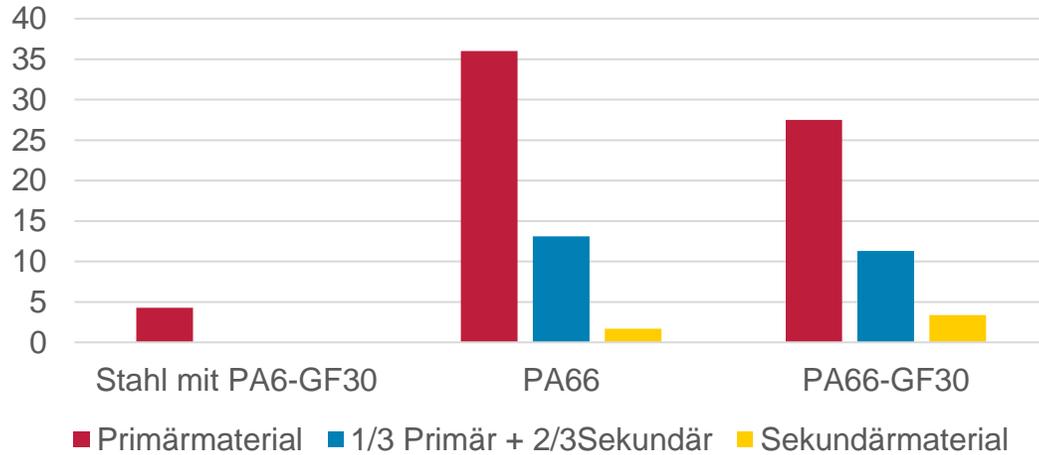
Beispiel: Folierte Außenhaut  
OHG: mittel/gering  
Struktur: hoch  
Sonstige: Akustik/Vibration

OHG: Optik, Haptik, Geruch

Einsatz von Kunststoffen als Alternative zu Stahl zur Verbesserung der technischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Zirkularität. Verifizierung der Konzepte durch LCA Berechnungen.

# Circular Economy - Materialkonzepte

## GWP im Vergleich



Originalbauteil:  
 12,1 kg Stahlblech mit 0,64 kg PA6-GF30  
 Spritzgussteil mit gleicher Wandstärke  
 4,95 kg PA66  
 Spritzgussteil mit gleicher Wandstärke  
 4,95 kg PA66-GF30

## Materialkonzepte im Vergleich

Material	Stahl			Aluminium		PA66		PA66 GF30		PA66 GF20		CFK				PA66 Rezyklat		PA66 25% Primär 75% Rezyklat		
	1,5	1	0,7	1,5	1	2,5	2	2,5	2	2,5	2	1,5	1	0,7	0,5	2,5	2	2,5	2	
Wandstärke (mm)	1,5	1	0,7	1,5	1	2,5	2	2,5	2	2,5	2	1,5	1	0,7	0,5	2,5	2	2,5	2	
Kategorie Umweltwirkung	GWP 100 Jahre	100%	67%	47%	125%	83%	78%	62%	61%	49%	55%	51%	150%	100%	70%	50%	3%	3%	22%	18%
	ODP, katalytisches	100%	67%	47%	105%	70%	87%	70%	147%	118%	131%	98%	1311%	874%	612%	437%	32%	26%	46%	37%
	AP	100%	67%	47%	306%	204%	43%	34%	68%	54%	61%	46%	106%	71%	50%	35%	3%	2%	13%	10%
	EP	100%	67%	47%	235%	157%	91%	72%	79%	63%	70%	64%	206%	137%	96%	69%	4%	3%	26%	21%
	POCP	100%	67%	47%	161%	107%	86%	69%	73%	58%	65%	59%	110%	73%	51%	37%	1%	1%	23%	18%
	ADPE	100%	67%	47%	8%	5%	2%	1%	87%	70%	78%	46%	4%	3%	2%	1%	0%	0%	1%	0%
	ADPF	100%	67%	47%	137%	91%	153%	122%	115%	92%	103%	98%	262%	175%	122%	87%	3%	3%	40%	32%
	PENRT	100%	67%	47%	156%	104%	152%	121%	116%	93%	103%	98%	276%	184%	129%	92%	5%	4%	42%	33%
	PERT	100%	67%	47%	1121%	747%	68%	55%	113%	90%	100%	76%	979%	653%	457%	326%	34%	27%	43%	34%
	Wasserverbrauch	100%	67%	47%	2438%	1625%	238%	190%	205%	164%	183%	166%	542%	361%	253%	181%	30%	24%	82%	66%
	Luftverschmutzung	100%	67%	47%	119%	80%	52%	42%	51%	41%	46%	40%	100%	67%	47%	33%	2%	2%	15%	12%
	Wasserverschmutzung	100%	67%	47%	163%	109%	279%	223%	223%	179%	199%	185%	669%	446%	312%	223%	17%	14%	83%	66%
	Gefährlicher Abfall (Deponie)	100%	67%	47%	2%	2%	2%	1%	2%	2%	2%	2%	20%	14%	10%	7%	0%	0%	0%	0%
	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall	100%	67%	47%	2666%	1777%	29%	23%	85%	68%	76%	52%	64%	43%	30%	21%	59%	47%	52%	41%
	Esorgter radioaktiver Abfall	100%	67%	47%	1007%	671%	106%	85%	133%	106%	118%	96%	931%	621%	434%	310%	94%	75%	97%	78%

# TechnoHyb | Arbeitsschwerpunkt *Mobile Ladesäule*







**OHLF** OPEN HYBRID  
LABFACTORY

# TechnoHyb

## Autarke Mobile Ladeinfrastruktur

Nicole Allgaier, EnerKíte GmbH

15.05.2025

GEFÖRDERT VOM

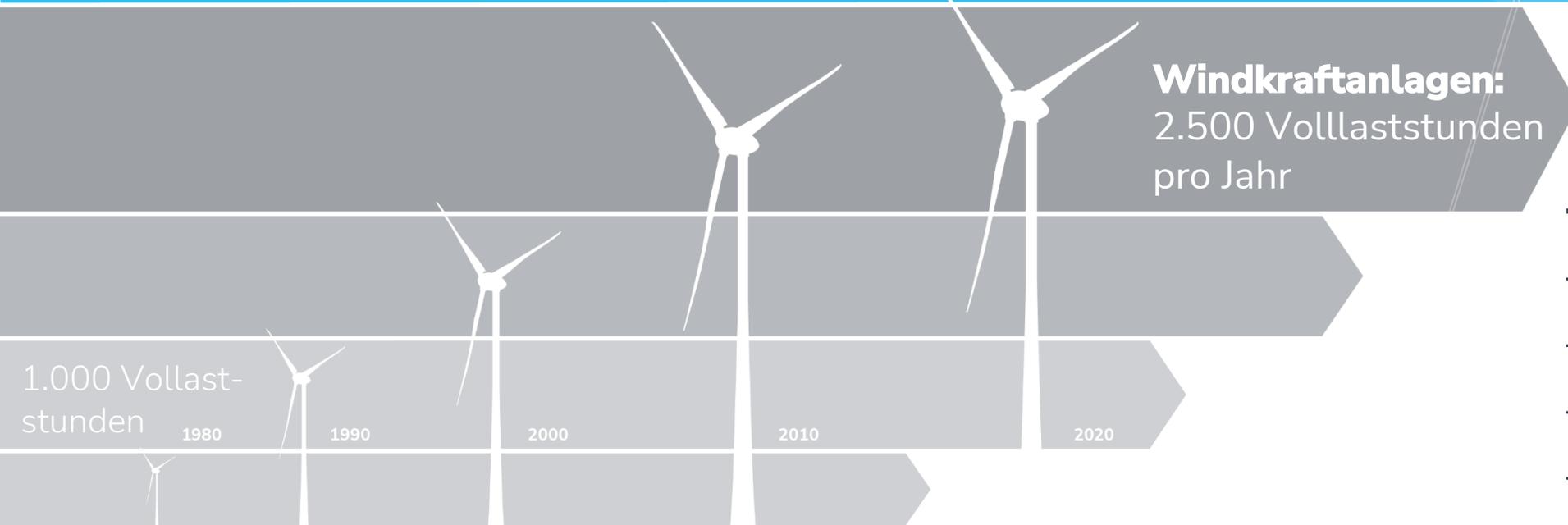
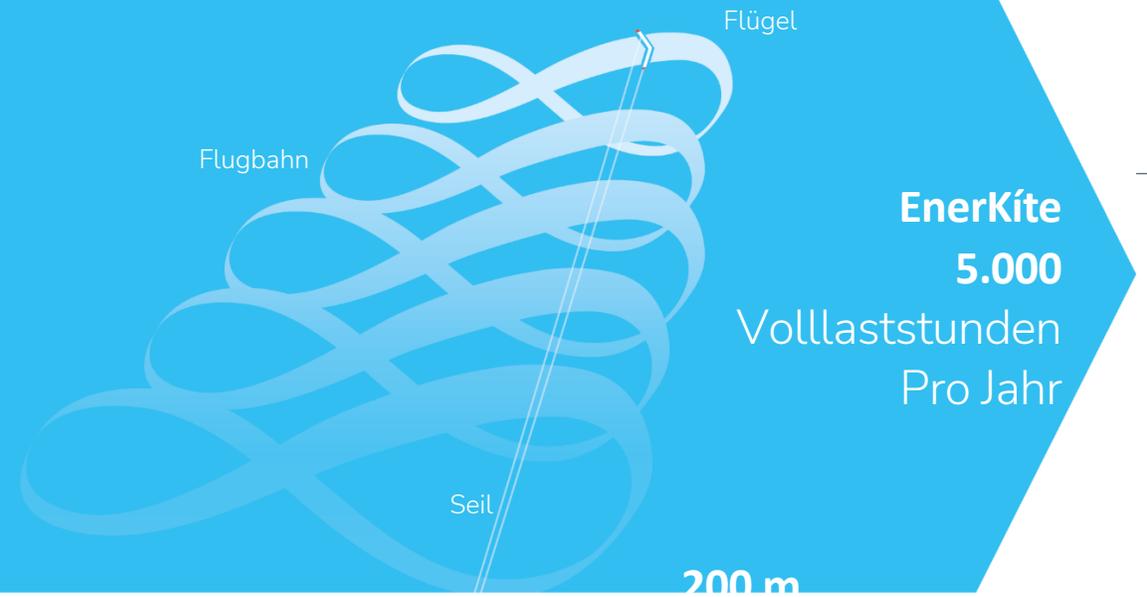


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Flugwindkraft mit EnerKite

EnerKite-Systeme erreichen kraftvolle und stetige Höhenwinde mit Drachen zur konstanten Stromerzeugung am Boden



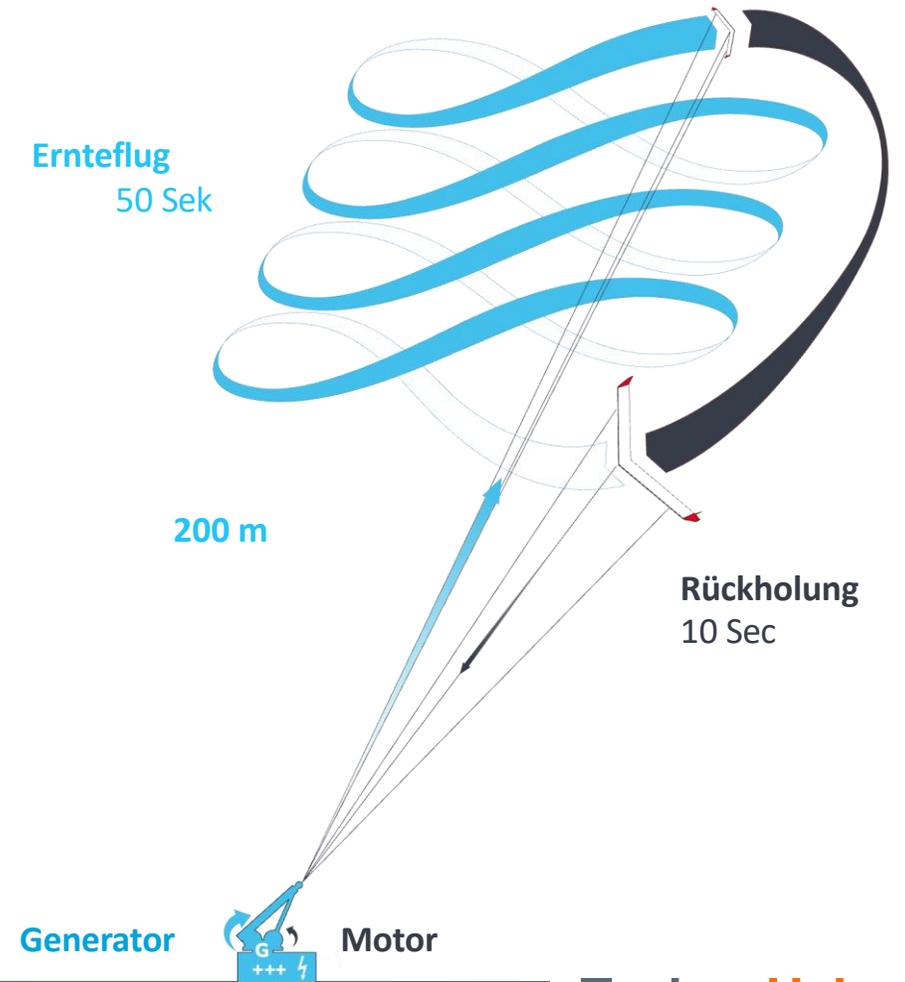
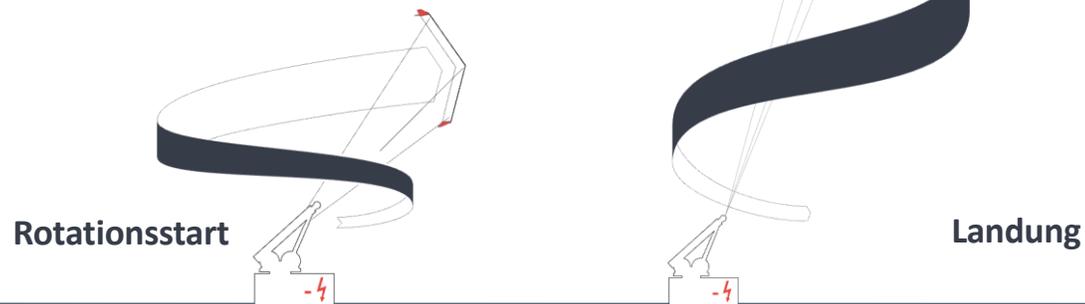
- + **90 % weniger Material**
- + Minimaler visueller Einfluss
- + Einfacher Transport
- + Schnelle Inbetriebnahme
- + Investitionssicherheit

Bodenstation

# Vollständig autonomer Betrieb

Eine Einschaltwindgeschwindigkeit von 4 m/s bedeutet eine hohe Wahrscheinlichkeit für geeignete Windbedingungen in 200 m Höhe

Das Starten und Landen ist auch bei Windstille am Boden möglich, sodass der Drachen in die Betriebshöhen gebracht werden kann

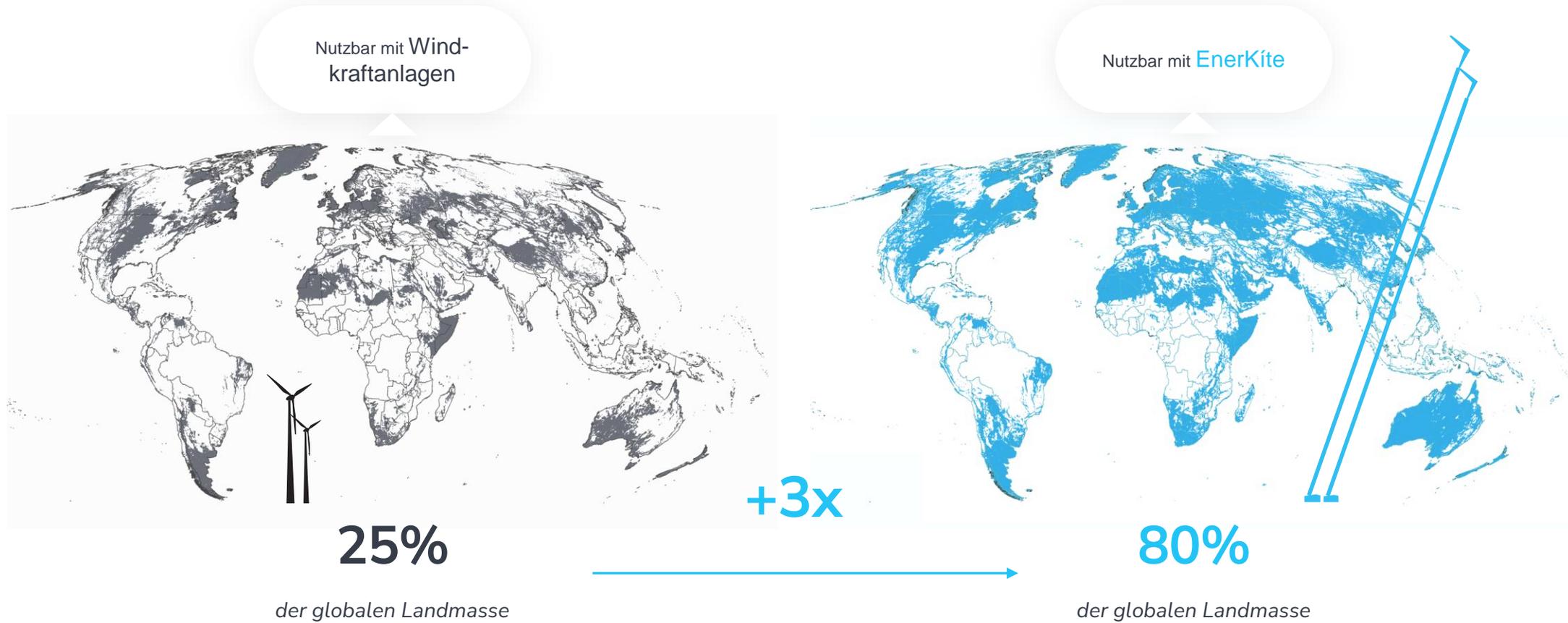


# Vollständig autonomer Betrieb



[Link zum Video](#)

# Schwachwinddesign für jeden Standort

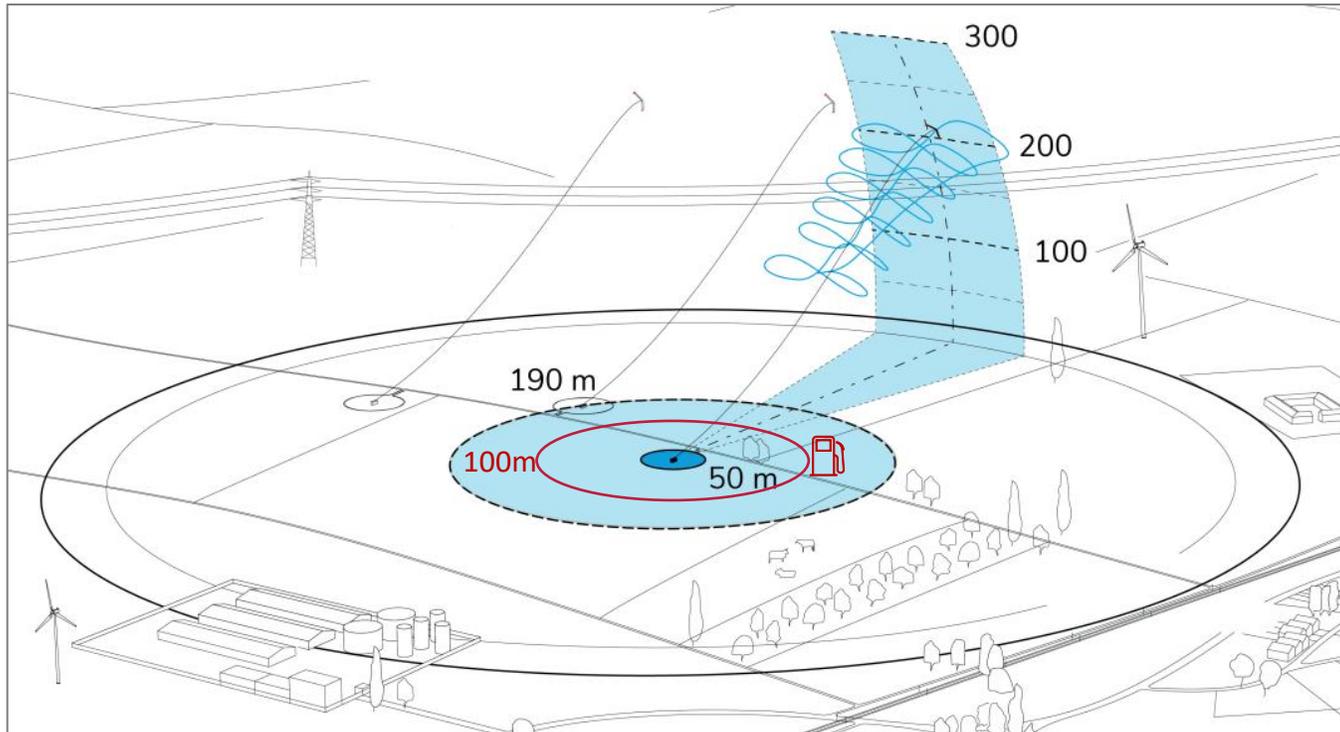


# Autarke Mobile Ladeinfrastruktur

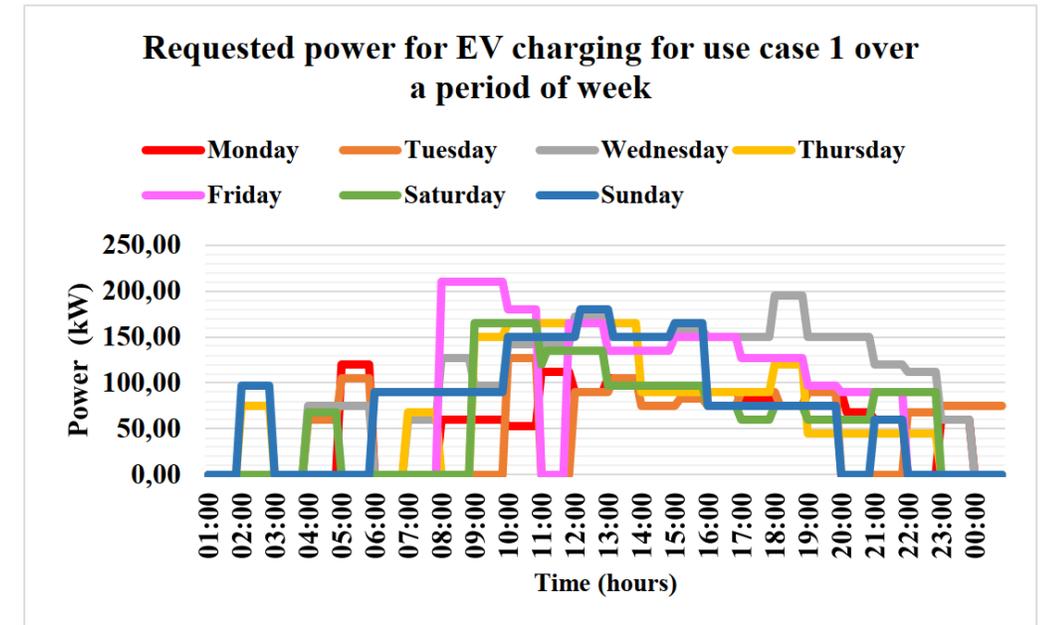
## Anforderungs- und Szenarientwicklung



# Ausschnitt Anforderungen und Szenarien-Eigenschaften

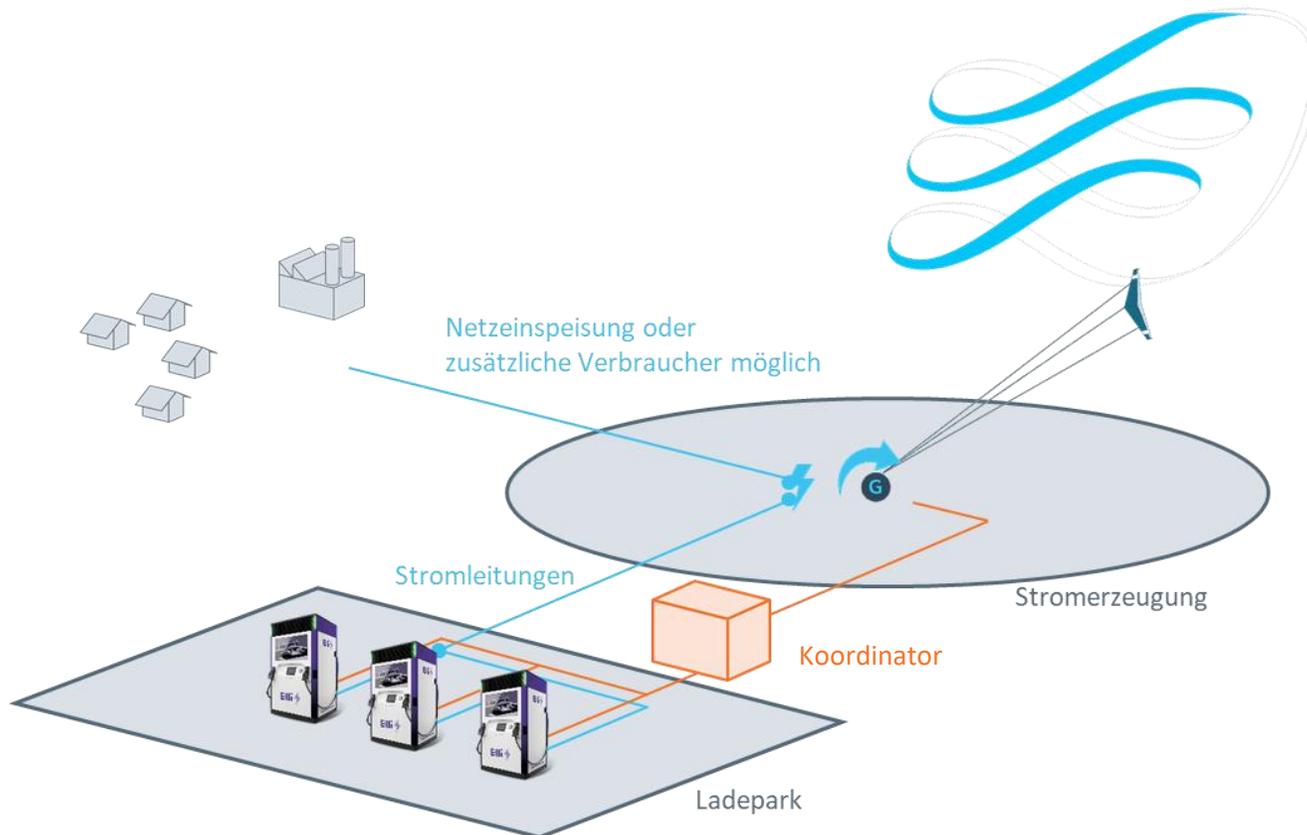


Standortkriterien & Betriebskonzept



Frequenzierung

# Technisches Konzept



Alle Use Cases weisen Stromgestehungskosten von **15 - 25ct/kWh** auf.  
→ Sinnhaftigkeit nachgewiesen

Besonders sinnvoll in **Off-Grid Regionen**



**OHLF** OPEN HYBRID  
LABFACTORY

**Vielen Dank!**

Tim Fröhlich (TU Braunschweig, IK), Frank Schlegel (FIT-Umwelttechnik GmbH), Nicole Allgaier (EnerKite GmbH)

15.05.2025

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

