

Die zirkuläre Energiewirtschaft

„Potenziale der Kreislaufwirtschaft für die zukünftige
Energieversorgung“

06.04.2017

Doktorandensymposium
FfE-Fachtagung

1. Einführung

- Problemstellung und Zielsetzung
- Projektkontext
- Forschungsfragen
- Methodische Bausteine

2. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale

- Methodik
- Zwischenergebnisse

3. Fazit und Ausblick

1. Einführung

- Problemstellung und Zielsetzung
- Projektkontext
- Forschungsfragen
- Methodische Bausteine

1. Einführung – Problemstellung und Zielsetzung

Die Liberalisierung und die Energiewende führen zu einem **grundlegenden Umbau der Energieinfrastruktur**.

Zukünftige Schlüsseltechnologien (z. B. Batteriespeicher, Photovoltaik- und Windenergie-Anlagen) gehen mit einem **Bedarf an kritischen Rohstoffen** einher.

Zirkuläre Ansätze aus der Kreislaufwirtschaft bieten Möglichkeiten zur **Senkung des kritischen Rohstoffverbrauchs** und für **neue Geschäftsmodelle**.

Systematische Bewertung des Potenzials der Kreislaufwirtschaft zur Einsparung kritischer Rohstoffe für Schlüsseltechnologien der Energieversorgung

1. Einführung – Projekt „Ressourcensicht auf die Energiezukunft“

www.ffe.de

Kurzbeschreibung

Identifikation von Synergien zwischen Kreislauf- und Energiewirtschaft zur Senkung des kritischen Rohstoffverbrauchs von Schlüsseltechnologien der Energieversorgung

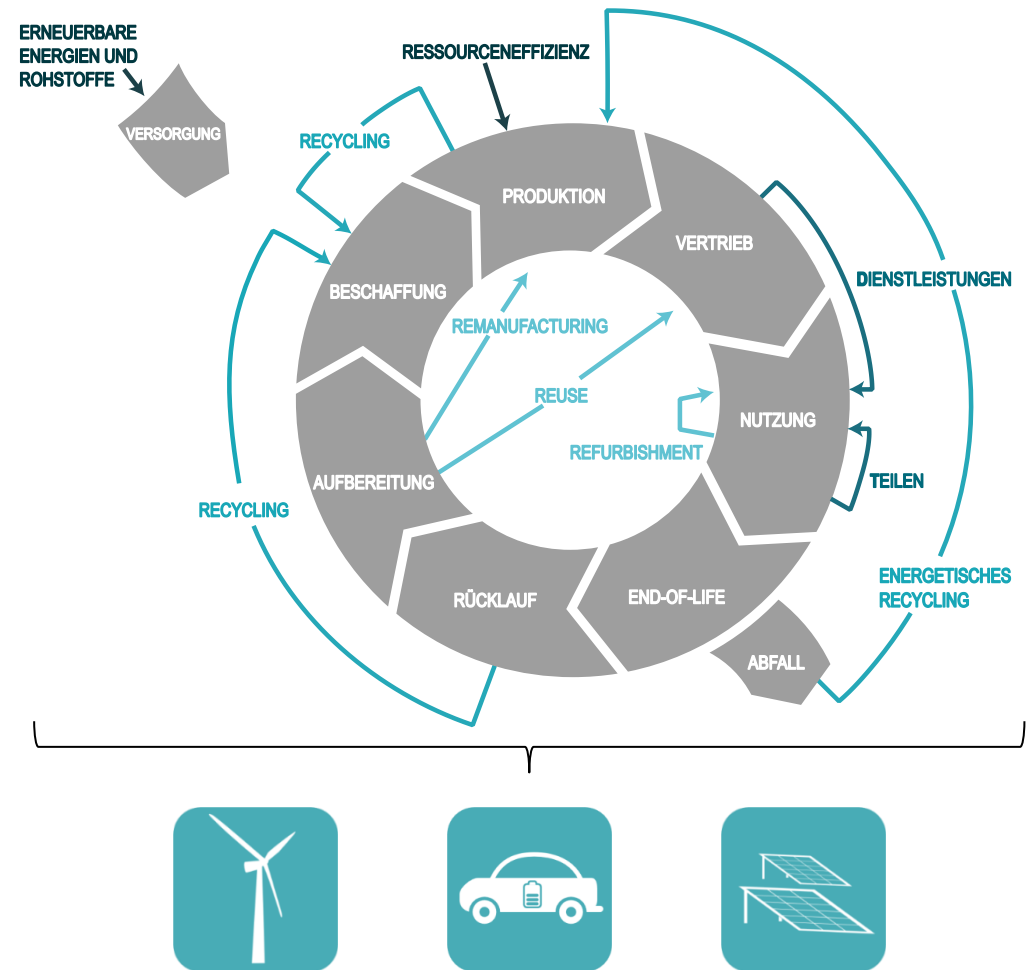
Eckdaten

Förderung:

- Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg
- Hans und Klementia Langmatz Stiftung

Projektlaufzeit:

- 04/2016 bis 12/2019



1. Einführung – Forschungsfragen

1

Rohstoffkritische Schlüsseltechnologien der Energieversorgung und **Ursachen der Kritikalität**?

2

Technische **Rohstoffeinsparpotenziale** durch **zirkuläre Ansätze** aus der Kreislaufwirtschaft?

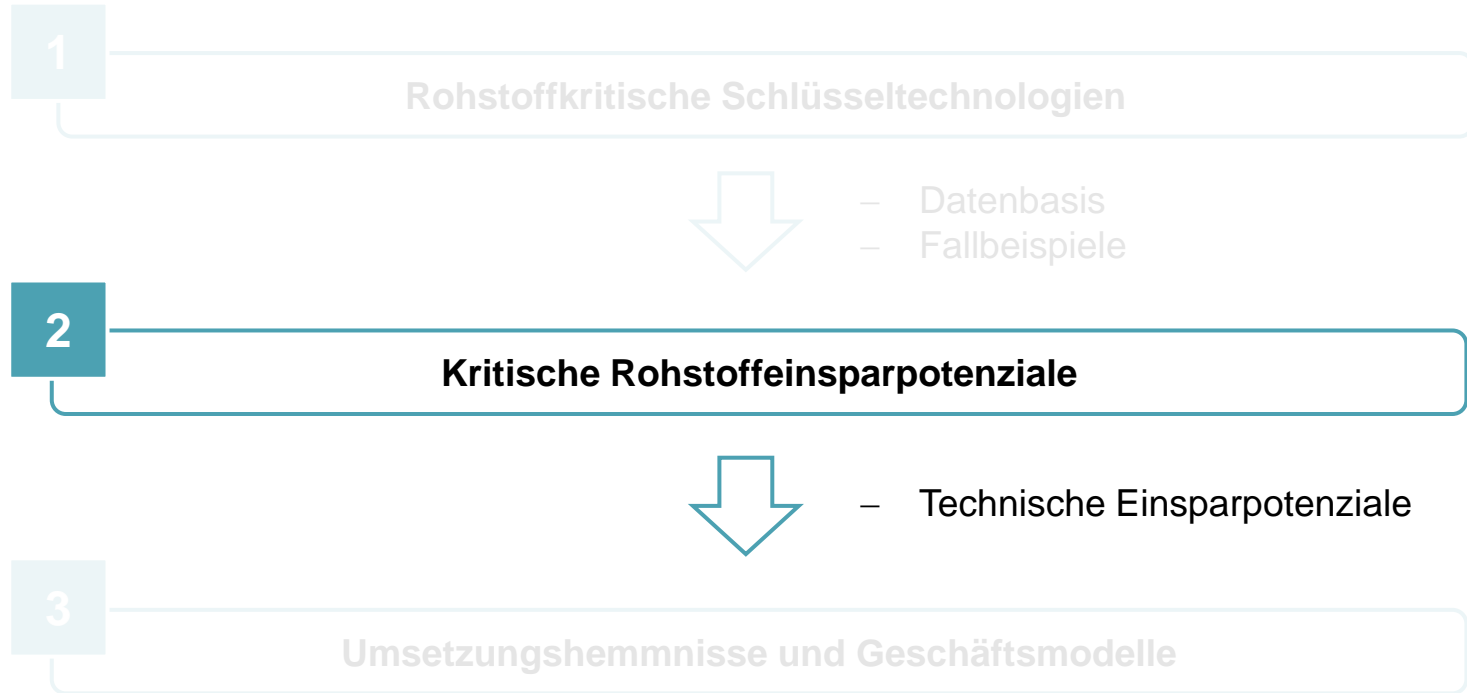
3

Treiber und Hemmnisse zur praktischen Umsetzung dieser Ansätze z. B. aus regulatorischer, wirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Sicht?

4

Allgemeine Methodik zur systematischen Bewertung des kritischen Rohstoffeinsparpotenzials der Kreislaufwirtschaft für die Energieversorgung?

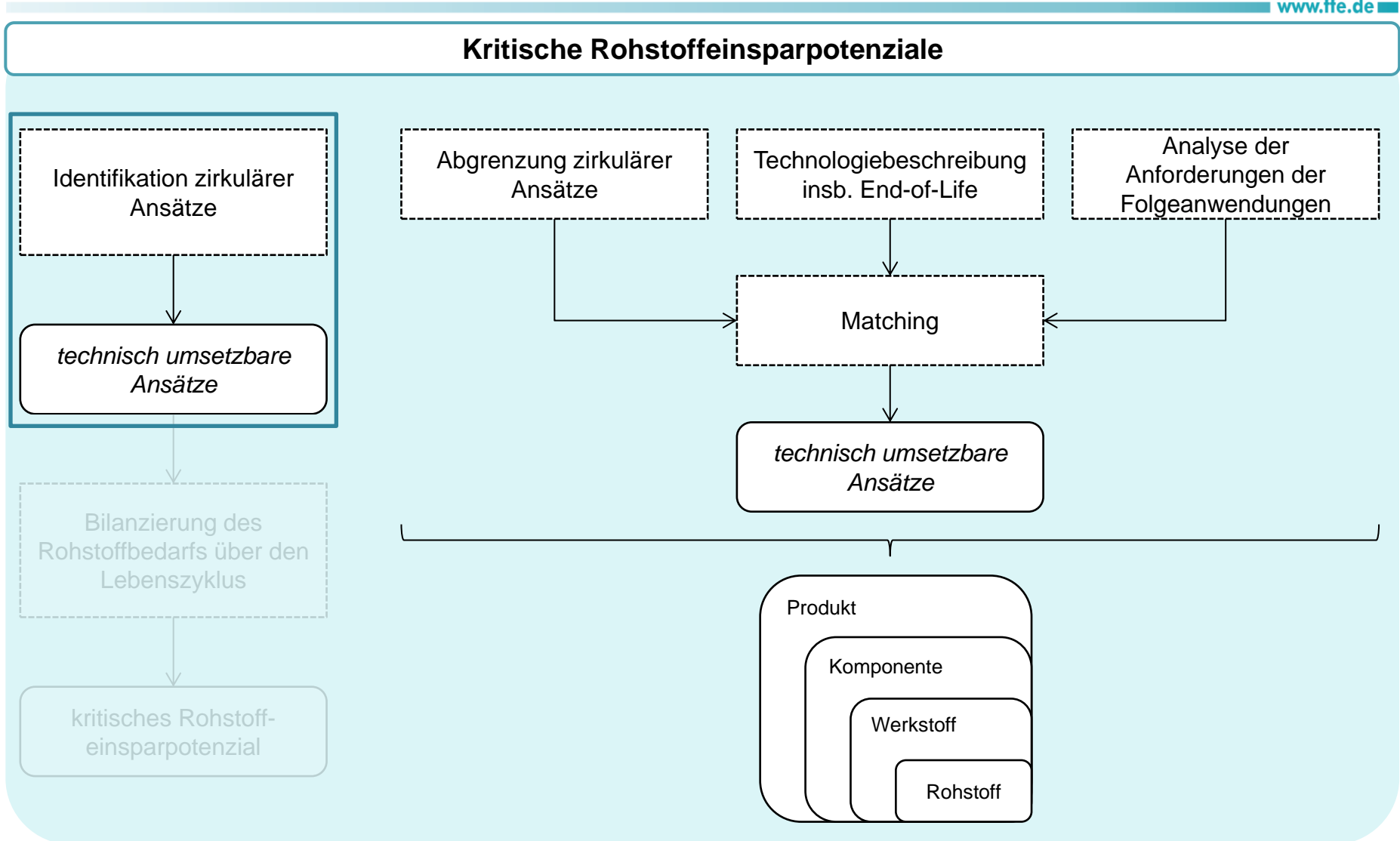
1. Einführung – Methodische Bausteine



2. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale

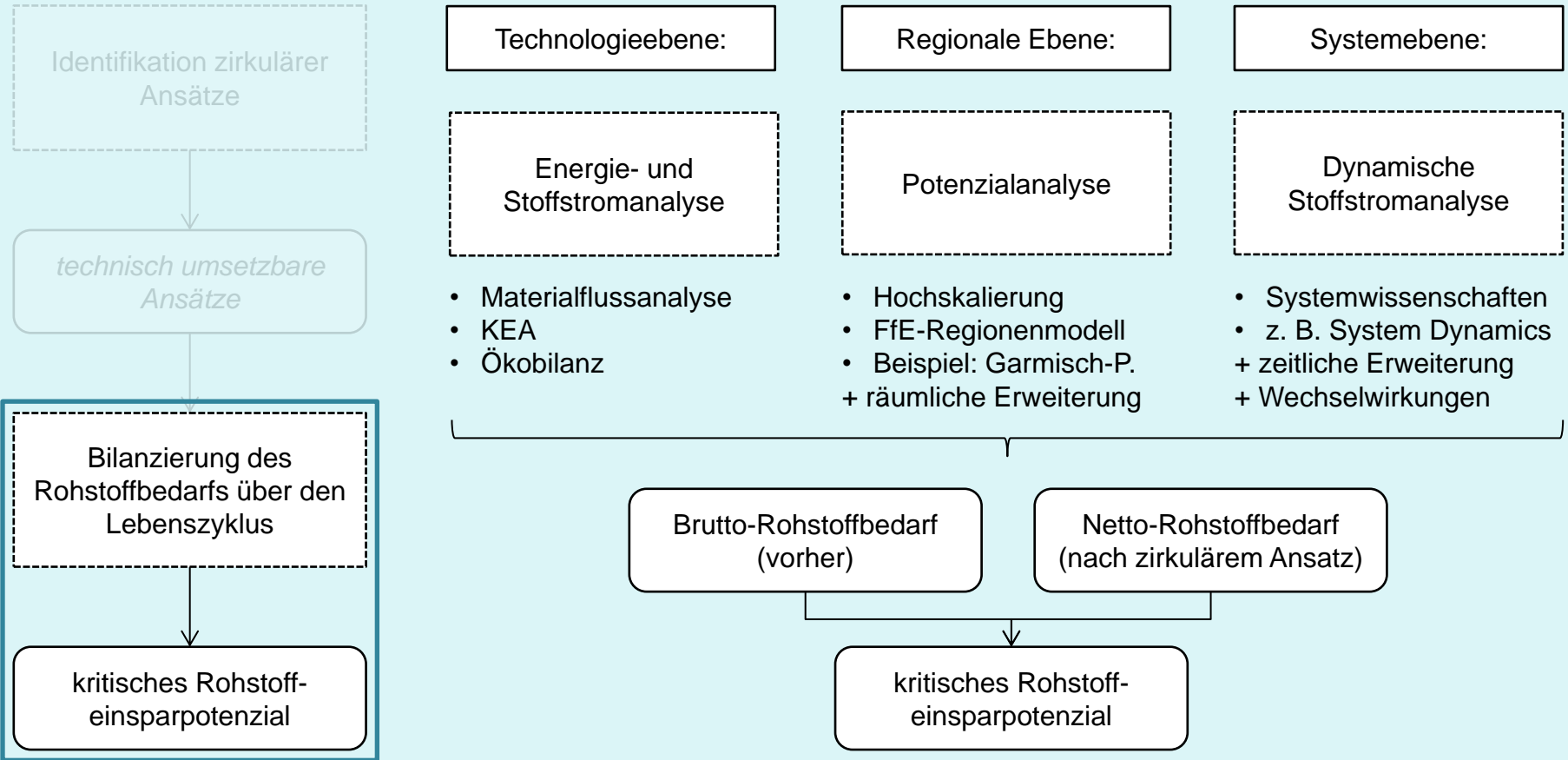
- Methodik
- Bilanzierung von Zweitanwendungen
- Einsparung kritischer Rohstoffe durch Second-Life-Anwendungen von Traktionsbatterien

3. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale – Methodik

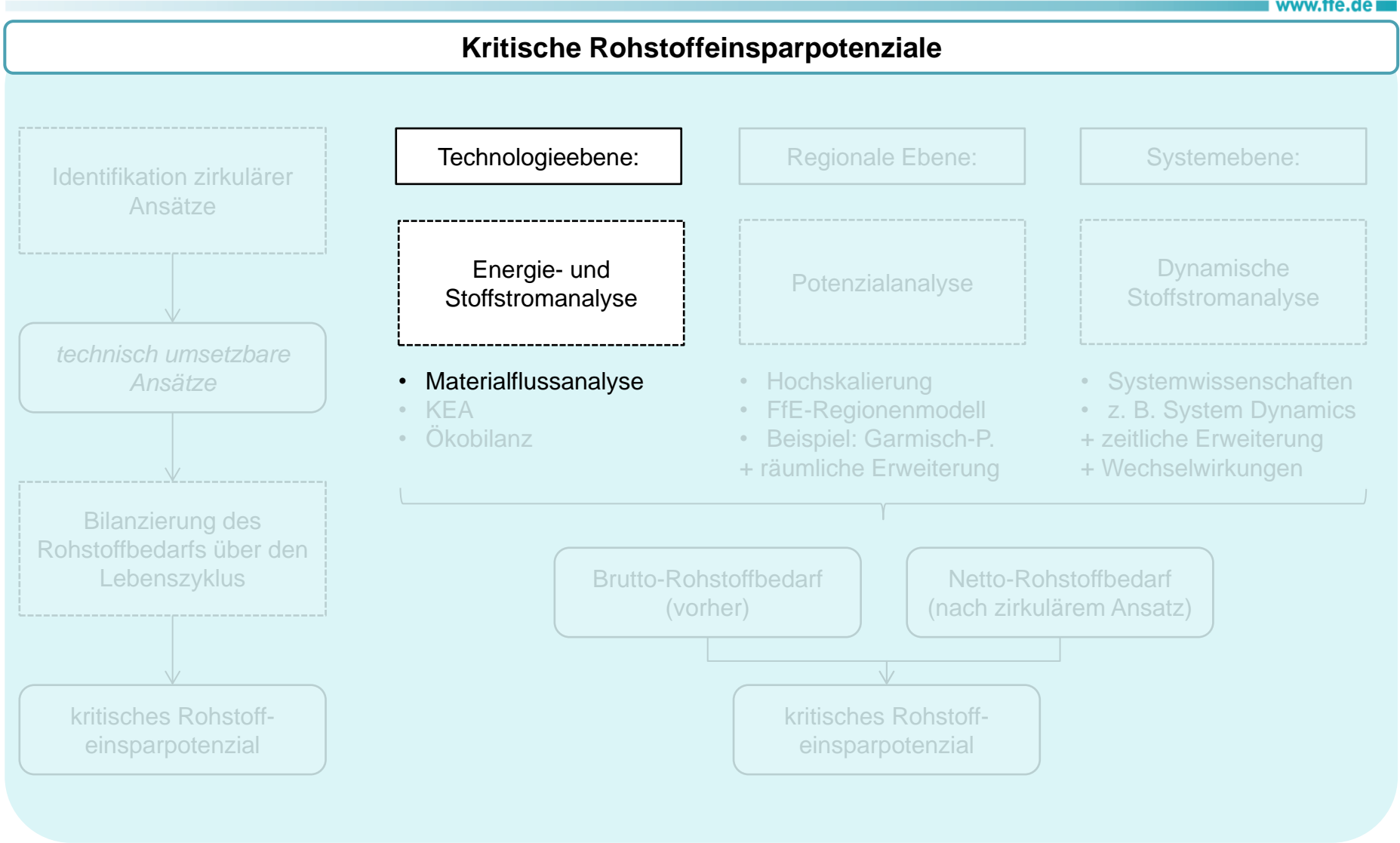


3. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale – Methodik

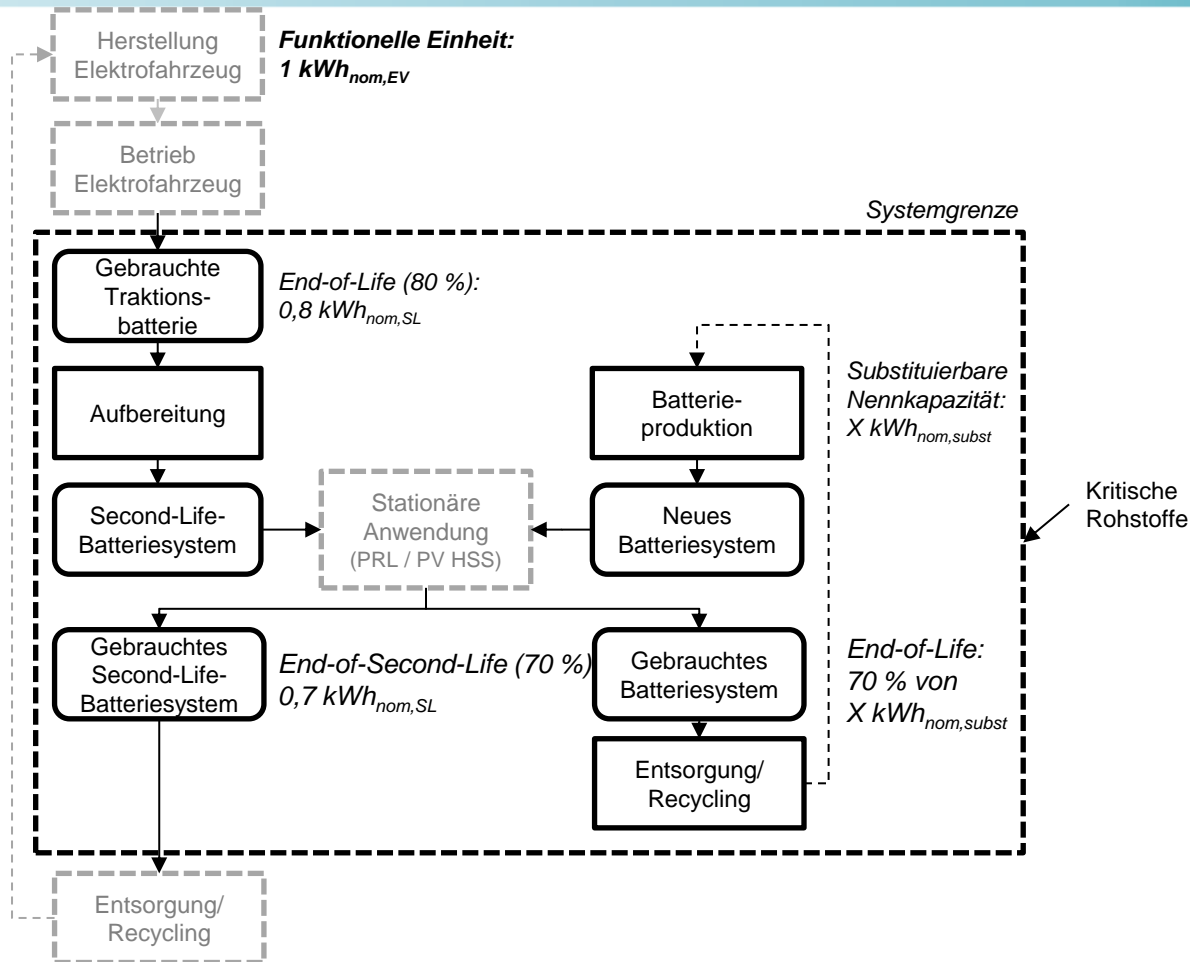
Kritische Rohstoffeinsparpotenziale



3. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale – Methodik



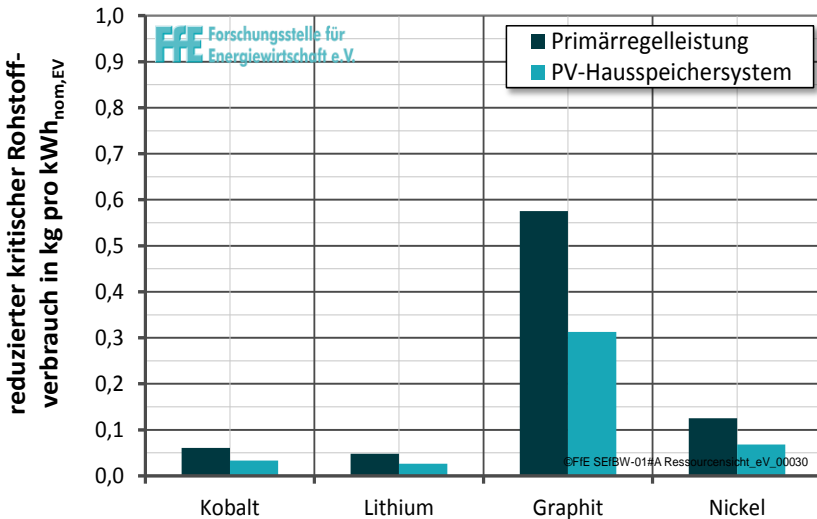
3. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale – Bilanzierung von Second-Life-Anwendungen



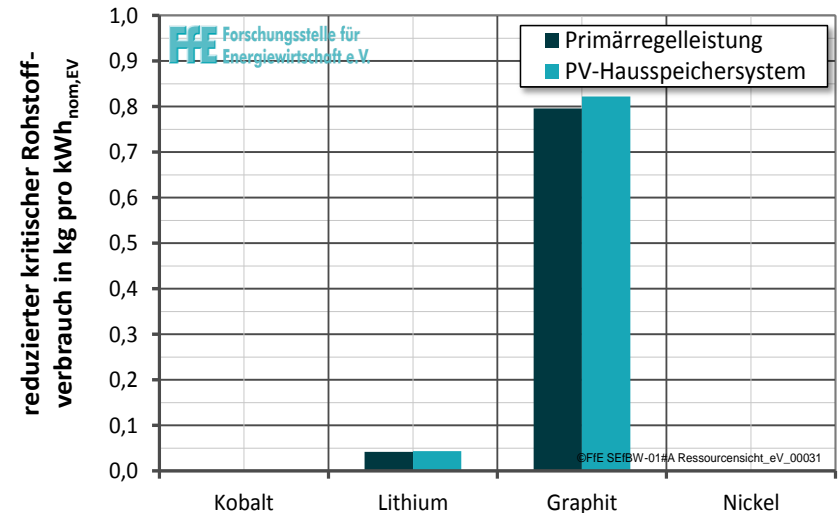
- Bilanzierung der eingesparten Rohstoffe durch die vermiedene Produktion einer Neubatterie über die substituierbare Nennkapazität¹
- Berücksichtigung von Alterung und Nutzungsdauer der Neu- und Second-Life-Batterie

3. Kritische Rohstoffeinsparpotenziale – Einsparung kritischer Rohstoffe durch Weiterverwendung von Traktionsbatterien

■ NMC-Batteriesystem:



■ LFP-Batteriesystem:



- Kritisches Rohstoffeinsparpotenzial ist stark von Batterietyp und Zweitanwendung abhängig
- Die Auswahl der Anwendung sowie die Auslegung der Second-Life-Batterie sind entscheidend
- Weitere wichtige Einflussfaktoren: spezifischer Materialbedarf, Sammel- & Recyclingeffizienzen

3. Fazit und Ausblick



5. Fazit und Ausblick

1


Ansätze aus der Kreislaufwirtschaft haben das Potenzial den kritischen Rohstoffverbrauch von Energietechnologien zu senken und die inländische Rohstoffverfügbarkeit zu erhöhen.

2

Die Bilanzierung auf Technologieebene bildet noch keine Rückwirkungen der zirkulären Ansätzen auf die Primärrohstoffnachfrage ab, hierfür ist eine dynamische Modellierung der Zusammenhänge notwendig.

3

Für eine ganzheitliche Bewertung von zirkulären Ansätzen sollten neben der Rohstoffeinsparung auch die Klimawirksamkeit und Wirtschaftlichkeit einbezogen werden.

- 
- Systematische Anwendung der erläuterten Methodik auf die drei Fallbeispiele
 - Entwicklung eines Modells zur Abbildung von Systemrückwirkungen
 - Identifikation von Umsetzungshemmnissen und Geschäftsmodellansätzen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ansprechpartnerin:

Anika Regett, M.Sc.
+49 (89) 158121-45
ARegett@ffe.de

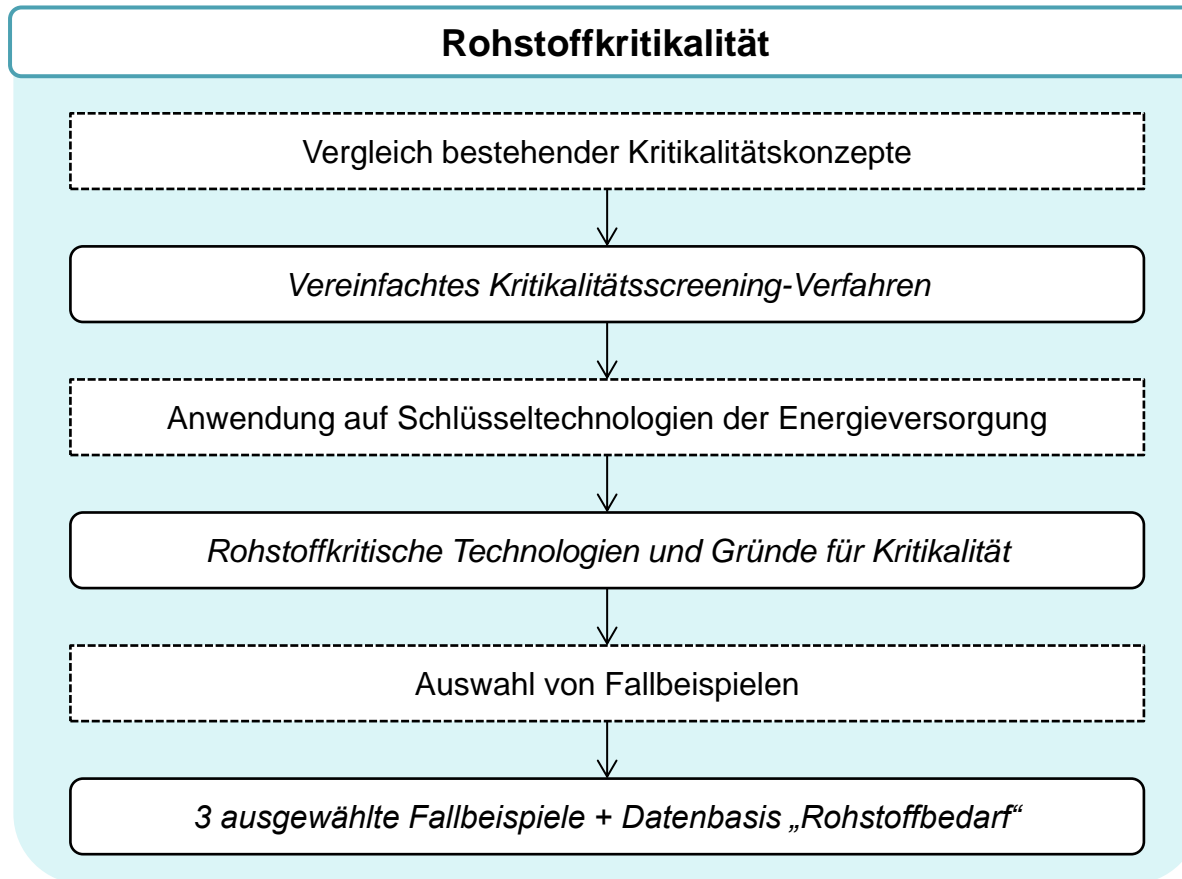
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
Am Blütenanger 71
80995 München
www.ffe.de



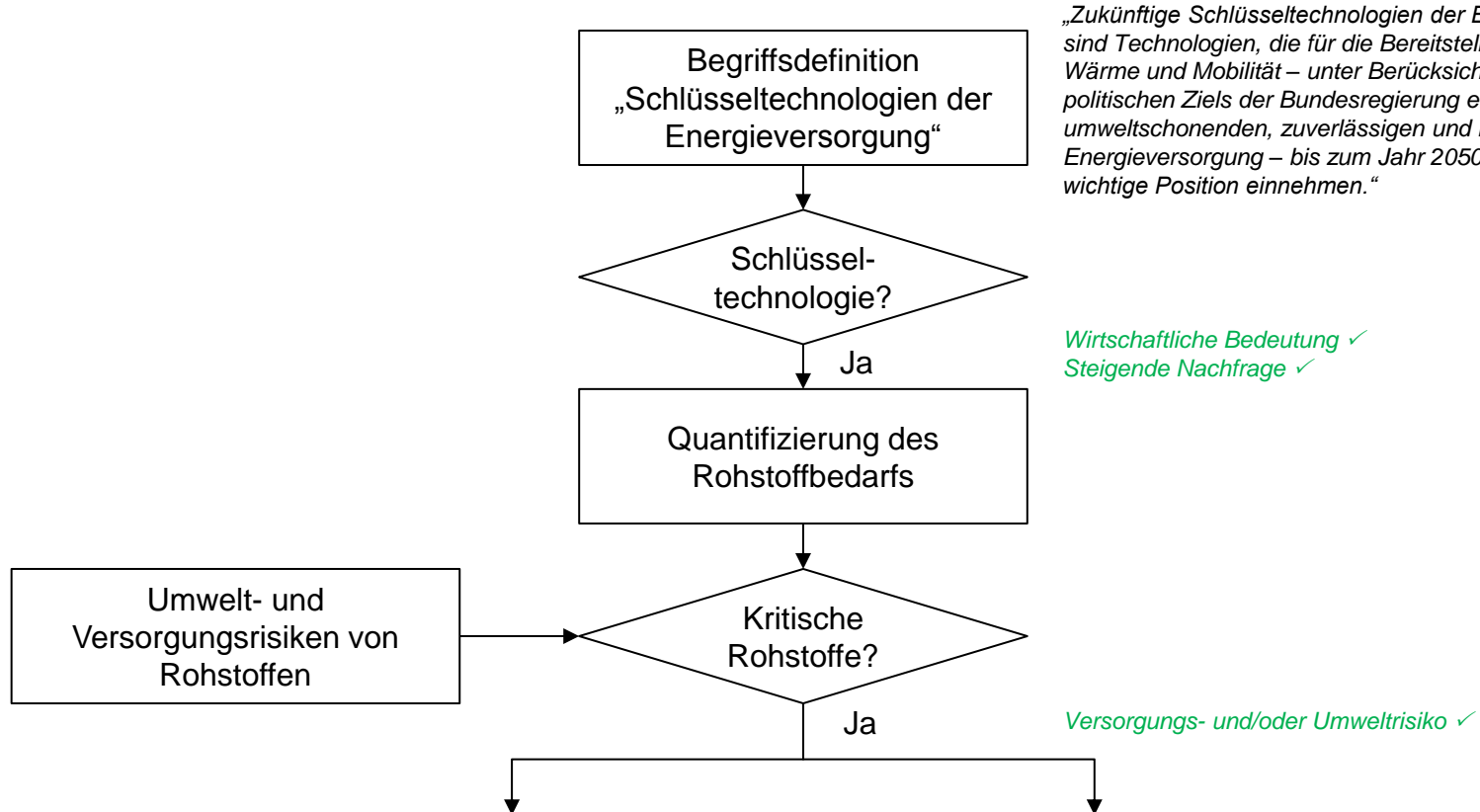
Backup



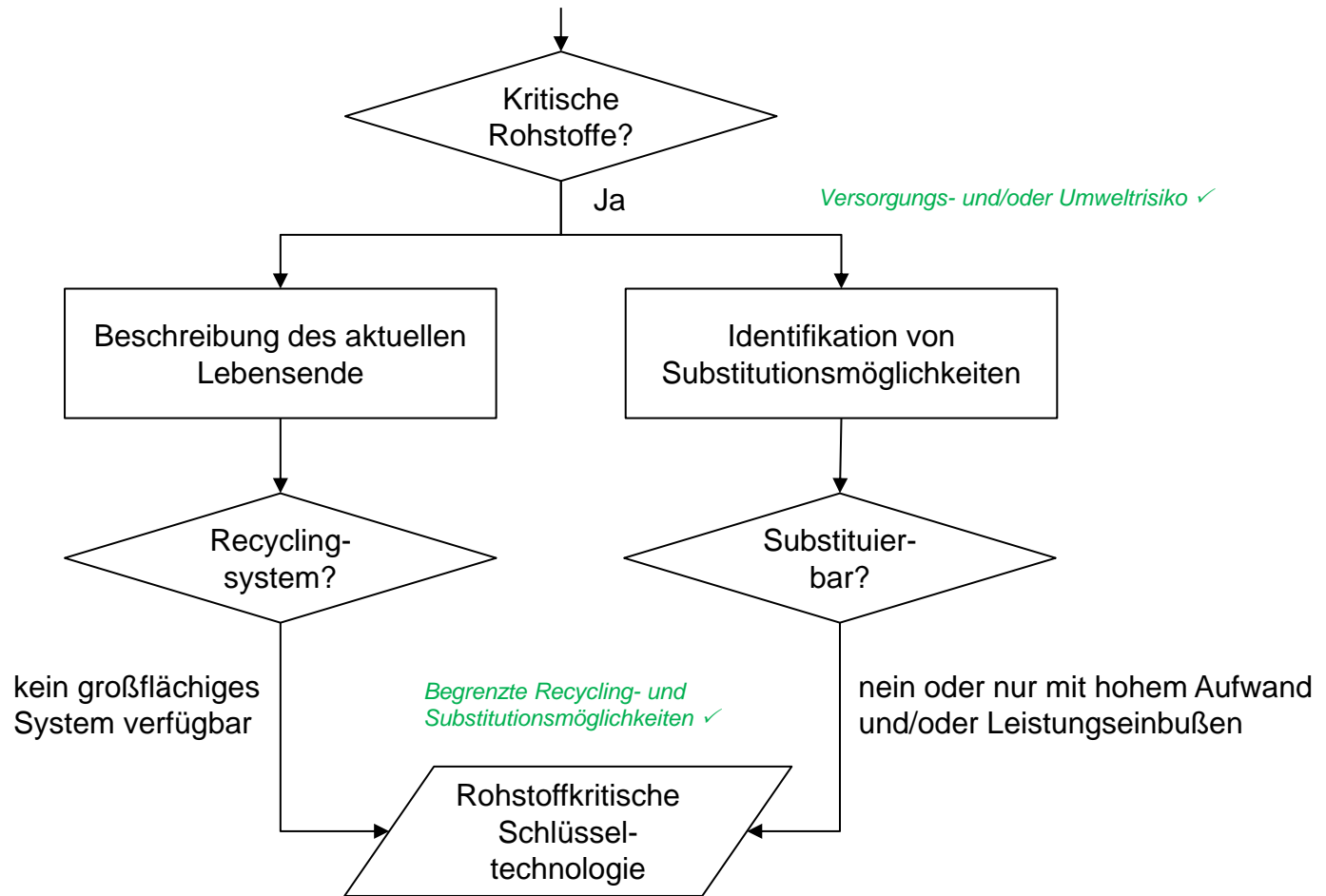
Rohstoffkritische Schlüsseltechnologien der Energieversorgung und Ursachen der Kritikalität?



Rohstoffkritikalität – Kritikalitätsscreening-Verfahren (1/2)



3. Rohstoffkritikalität – Kritikalitätsscreening-Verfahren (2/2)

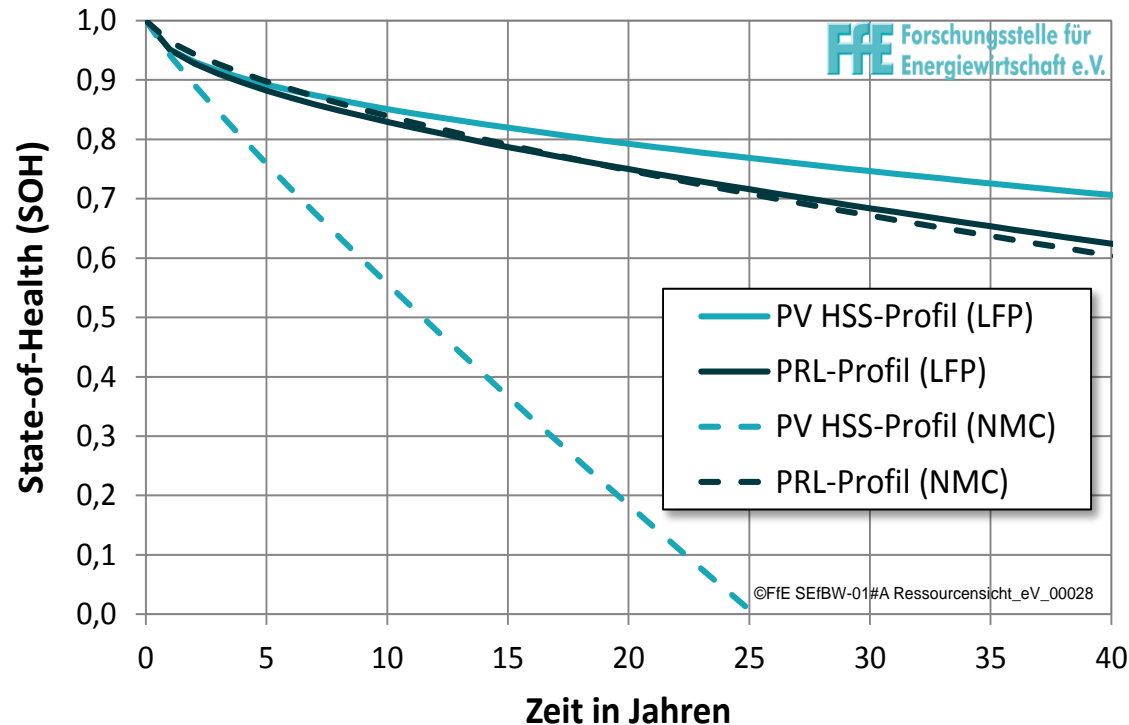


Berechnung des kritischen Rohstoffeinsparpotenzials

$$RCRC_{m,SLA,BT} = (CMD_{BT} - RCM_{BT}) \times \boxed{SNC_{SLA,BT}}$$

- RCRC: Eingesparter kritischer Rohstoffverbrauch in $\text{kg/kWh}_{\text{nom,EV}}$
- m: Material (Kobalt, Lithium, Nickel oder Graphit)
- SLA: Second-Life-Anwendung (PRL oder PV HSS)
- BT: Batterietyp (NMC oder LFP)
- CMD: Kritischer Rohstoffbedarf von Batteriesystemen in $\text{kg/kWh}_{\text{nom}}$
- RCM: Recycelte kritische Rohstoffe von Batteriesystemen in $\text{kg/kWh}_{\text{nom}}$
- SNC: Substituierbare Nennkapazität in $\text{kWh}_{\text{nom,subst}}/\text{kWh}_{\text{nom,EV}}$

Alterungsverläufe zur Bestimmung der substituierbaren Nennkapazität



Substituierbare Nennkapazität
(in $\text{kWh}_{\text{nom,subst}}/\text{kWh}_{\text{nom,EV}}$):

- PRL (LFP): 0,51
- PV HSS (LFP): 0,53
- PRL (NMC): 0,47
- PV HSS (NMC): 0,26

- Für die verwendeten Alterungsmodelle¹ und Lastprofile stärkere Alterung für NMC als für LFP
- LFP: Höhere Zyklenfestigkeit, aber höhere Abhängigkeit von Temperatur- und C-Rate
- NMC: Für das PV HSS-Lastprofil lässt sich aufgrund der tiefen Be- und Entladezyklen eine starke Alterung und somit eine geringe substituierbare Nennkapazität beobachten

NMC:

- $C_{PCR}(t) = 1 - 0.03599 \times t^{0.65}$
- $C_{PV\ HSS}(t) = 1 - 0.05843 \times t^{0.88}$
 - C: Battery capacity in kWh
 - PCR: Primary Control Reserve
 - PV HSS: Photovoltaic Home Storage System
 - t: Time in years

LFP:

- $SOH_c = SOH_{start} - A \times e^{\frac{B}{R \times T}} \times Ah(SOH)^C$
- $SOH_t = SOH_{start} \times (D + (E + t)^F)$
 - SOH: State-Of-Health
 - T: Temperature in Kelvin
 - A,B,C: Parameter as f(C-Rate)
 - D,E,F: Parameter as f(T, SOC)
 - t: Time in days
 - Ah: Ah-throughput as f(SOH)
 - R: Universal gas constant

Kritischer Rohstoffbedarf, Sammel- und Recyclingeffizienz

- Spezifischer kritischer Rohstoffbedarf:

Type	Unit	Kobalt	Lithium	Graphit	Nickel
NMC	g/kWh _{nom}	223	131	1214	444
LFP	g/kWh _{nom}	–	107	1563	–

- Sammel- und Recyclingeffizienz

	Typ	Kobalt	Lithium	Graphit	Nickel
Niedrig	Mix (NMC/NCA*/LFP)	43 %	23 %	0 %	40 %
Hoch	NMC	100 %	93 %	0 %	97 %
	LFP	–	80 %	0 %	–