Multi-kriterielle Energiesystem-Optimierung: Kosten vs. Kritische Materialien

Karl-Kiên CAO, Lilli M. MARTENS, Eugenio S. ARELLANO RUIZ,
Steffen J. SCHLOSSER, Jan BUSCHMANN, Tobias NAEGLER

18. Symposium Energieinnovation 2024, Graz

Gefördert durch:

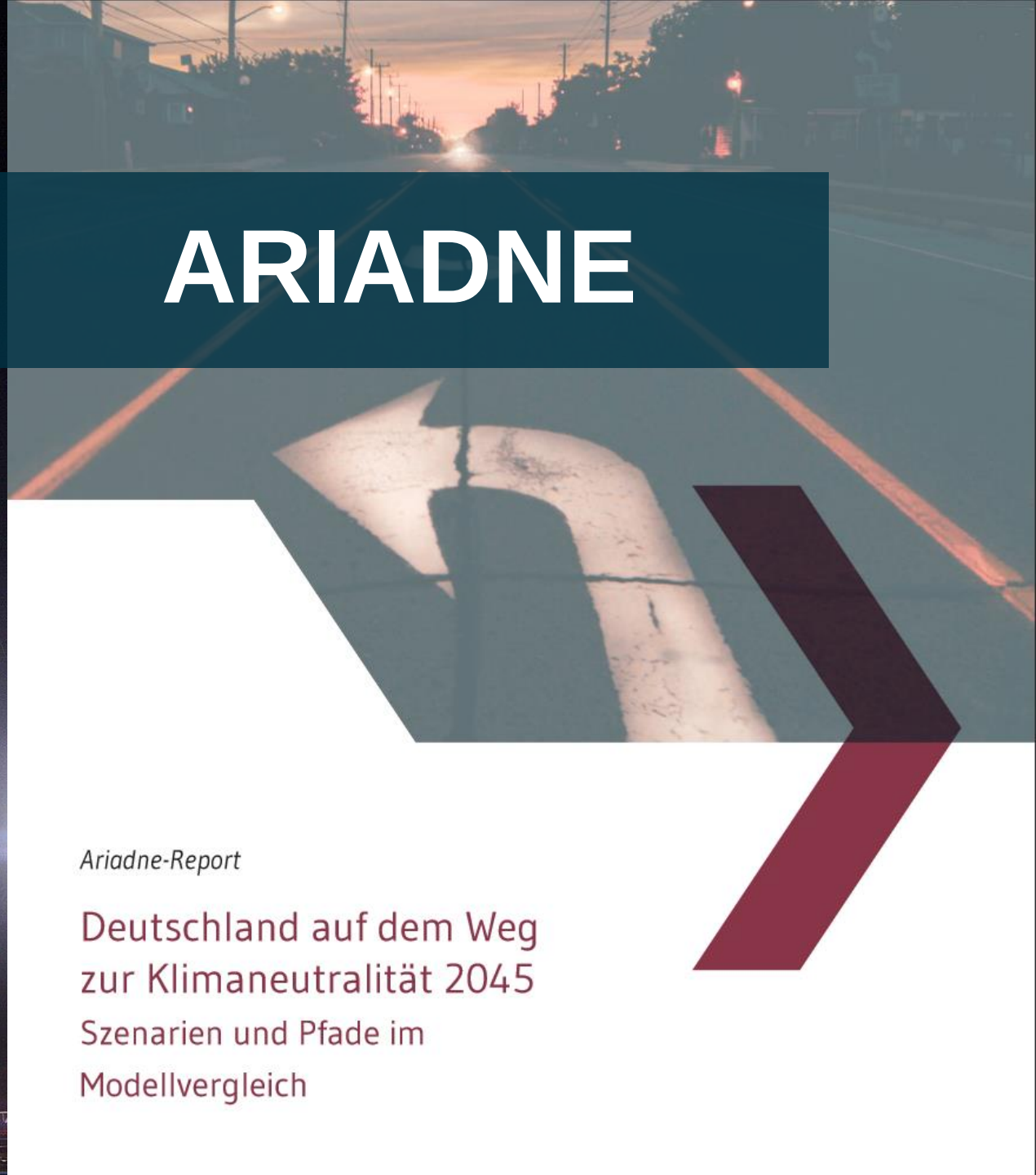
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

DLR

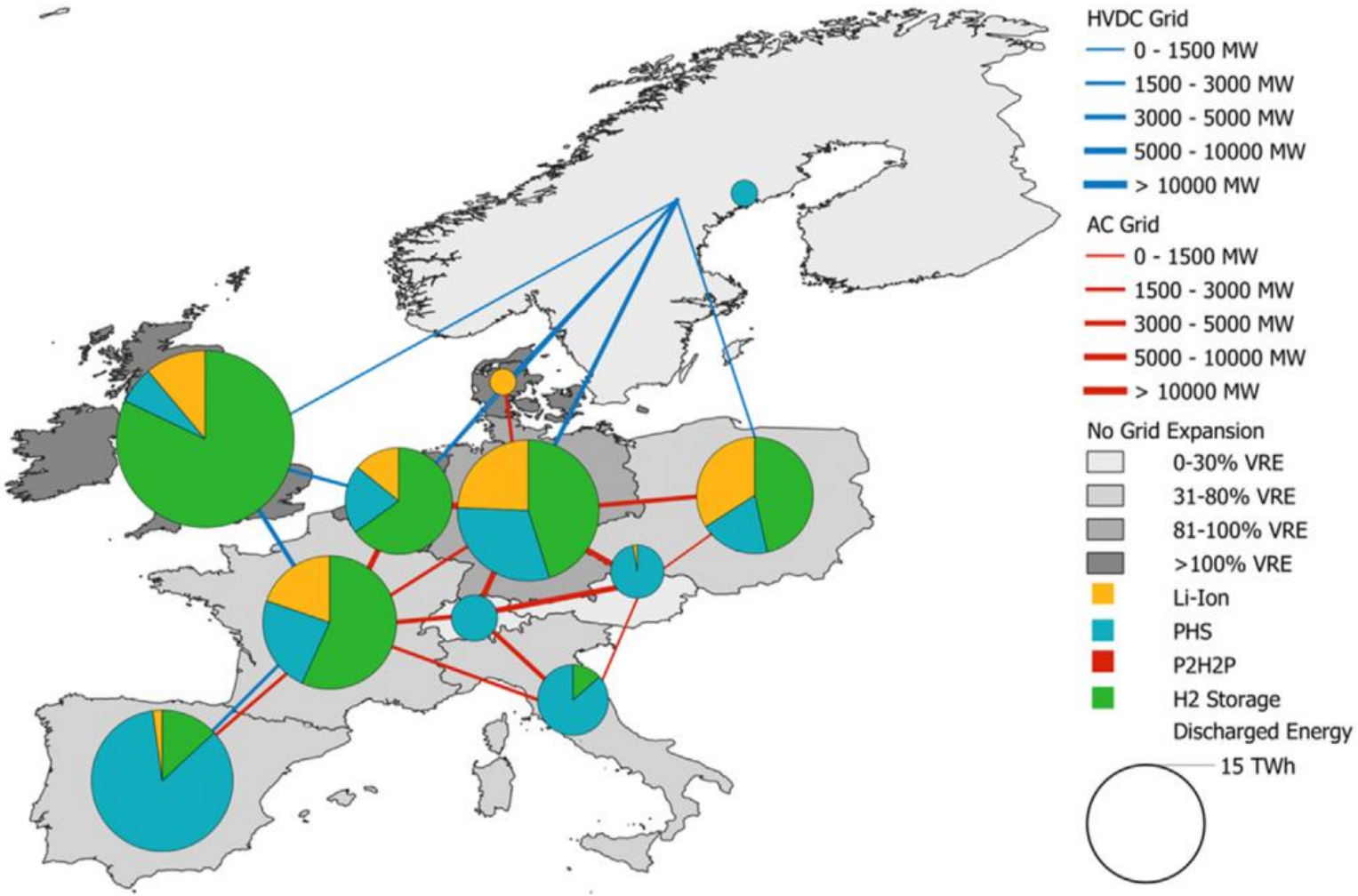
ARIANE

ARIADNE



MOTIVATION

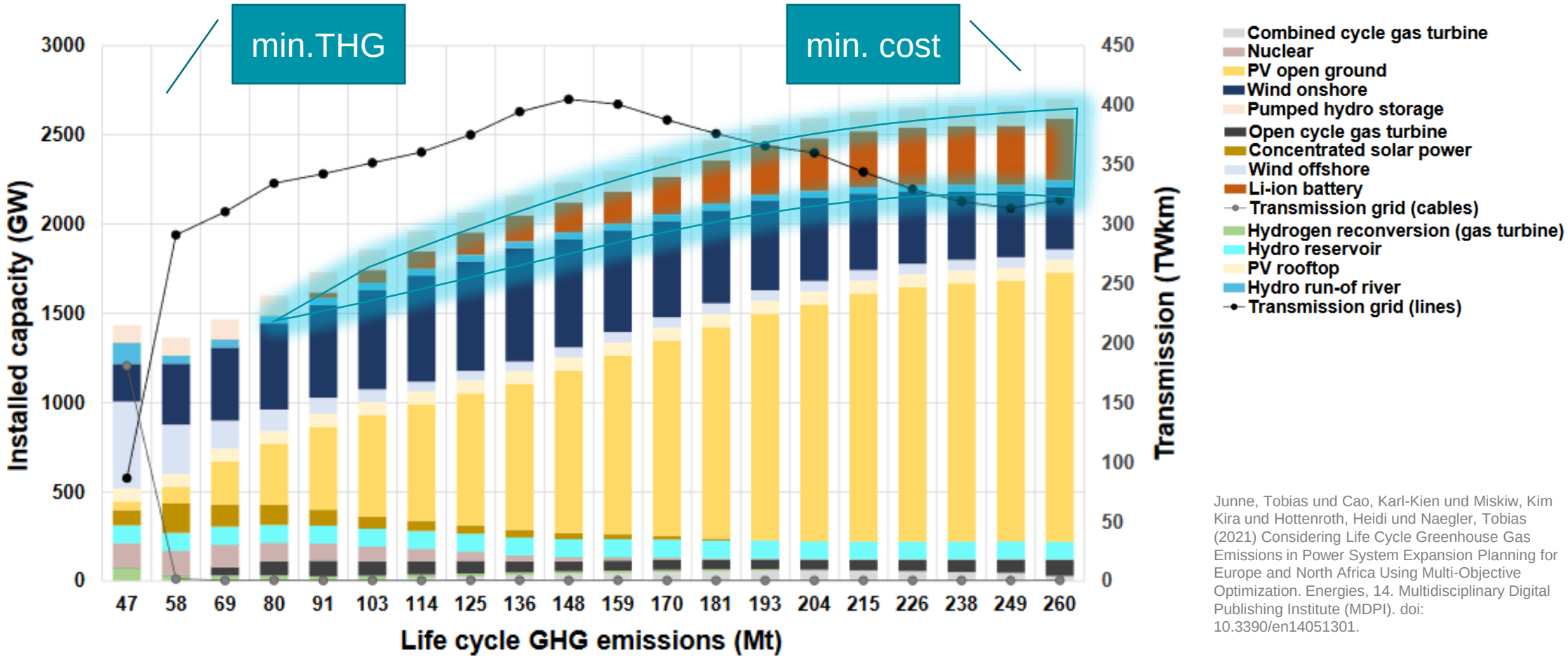
Energiesystemanalyse: Beispiel 1



Moser, Massimo und Gils, Hans Christian und Pivaro, Gabriel (2020) A sensitivity analysis on large-scale electrical energy storage requirements in Europe under consideration of innovative storage technologies. Journal of Cleaner Production, 269 (122261). Elsevier. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122261

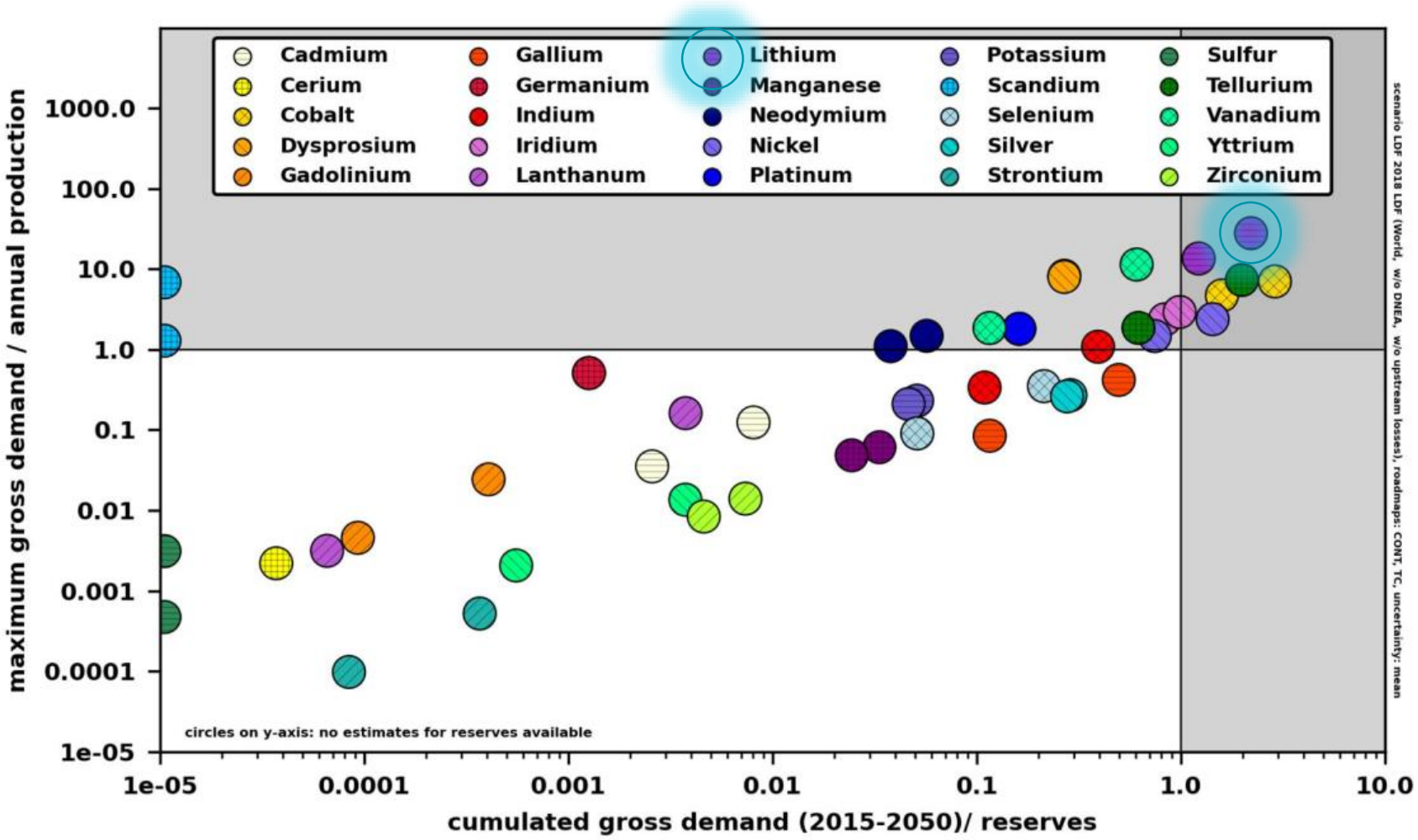
Energiesystemanalyse: Beispiel 2

Szenarien des Europäischen Stromversorgungssystems



Junne, Tobias und Cao, Karl-Kien und Miskiw, Kim Kira und Hottenroth, Heidi und Naegler, Tobias (2021) Considering Life Cycle Greenhouse Gas Emissions in Power System Expansion Planning for Europe and North Africa Using Multi-Objective Optimization. Energies, 14. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/en14051301.

Energiesystemanalyse: Beispiel 3



Schlichenmaier, Simon und Naegler, Tobias (2022) May Material Bottlenecks Hamper the Global Energy Transition Towards the 1.5°C Target? Energy Reports. Elsevier. ISSN 2352-4847. (eingereichter Beitrag)

VORGEHENSWEISE

Systemdefinition

Sektor	Strom
Betrachtungsgebiet	Kontinental-Europa
Betrachtungszeitraum	1 Szenariojahr
Technologien	„Klassisch“ +
Zielgrößen:	
1. Minimierung Systemkosten	Investitions- & Betriebskosten
2. Minimierung Kritische Materialien	

Optimierungsansatz

Systemkosten: c_{system}

Systemkritikalität: $crit_{system}$

$$\min \sum_{tech} crit_{tech} \cdot p_{tech}$$

$$\text{s.t. } c_{system} \leq c_{min} \cdot f$$

Parameter
Spez. Kritikalität (?/MW)

Variable
Installierte Leistung (MW)

Parameter
skaliertes Systemkostenminimum

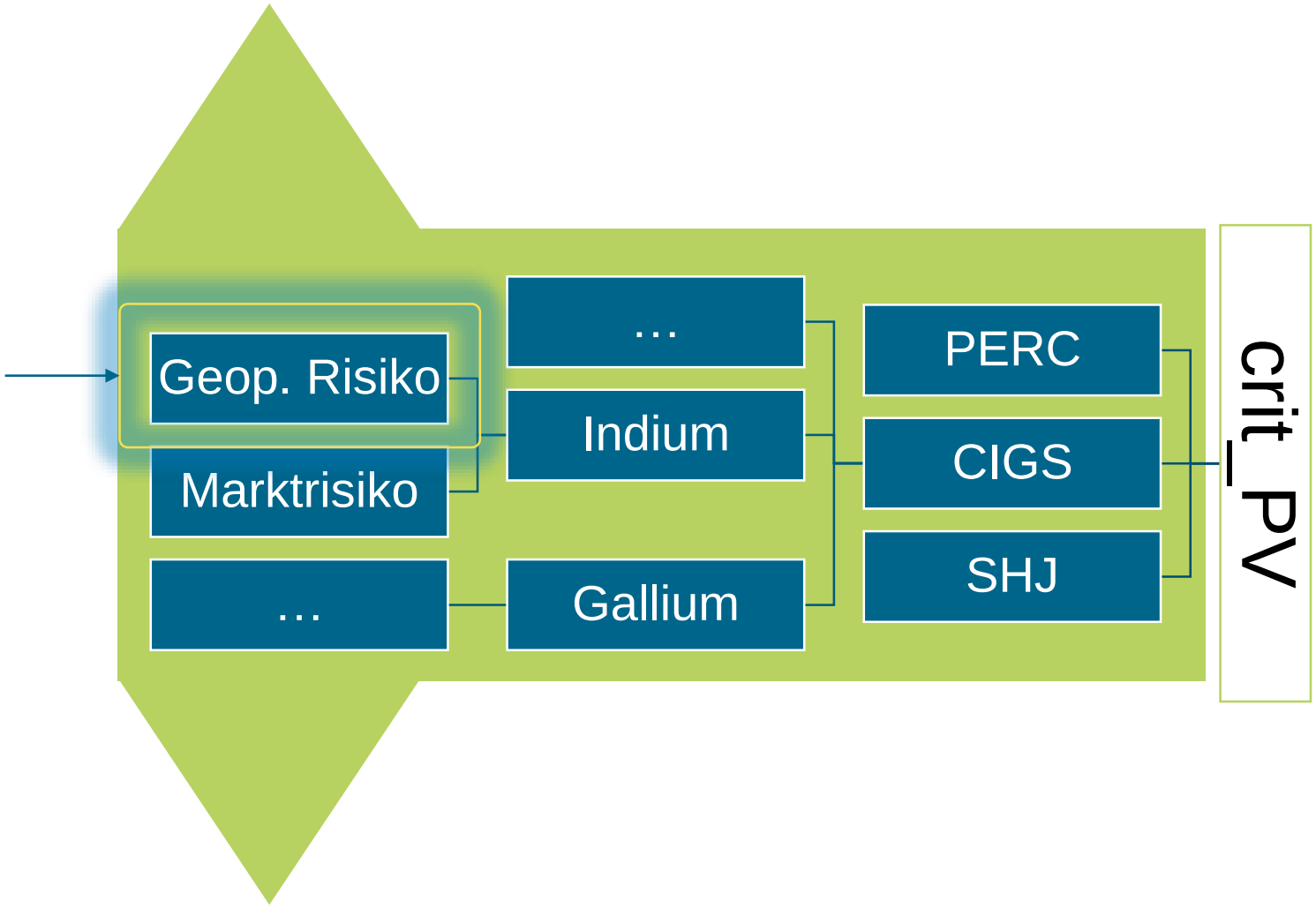
Energiesystemoptimierung

Kritikalitätsindikatoren

European Commission;
Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs; Grohol, M.; Veeh, C.

Study on the critical raw materials for the EU 2023

Final report; Publications Office of the European Union, 2023. DOI: 10.2873/725585.



Systemdefinition

Modell	REMix[1] Renewable Energy Mix : *RE-Europe*[2]
Sektor	Strom
Betrachtungsgebiet	Kontinental-Europa
Betrachtungszeitraum	1 Szenariojahr
Technologien	„Klassisch“ + Subtechnologien • Wind: EESG, PMSG • PV: SHJ, PERC • Batterie: LFP, NMC, Redox-Flow Blei-Säure
Zielgrößen: 1. Minimierung Systemkosten	Investitions- & Betriebskosten
2. Minimierung Rohstoff-Kritikalität	Geopolitisches Risiko „kritischer Rohstoffe“

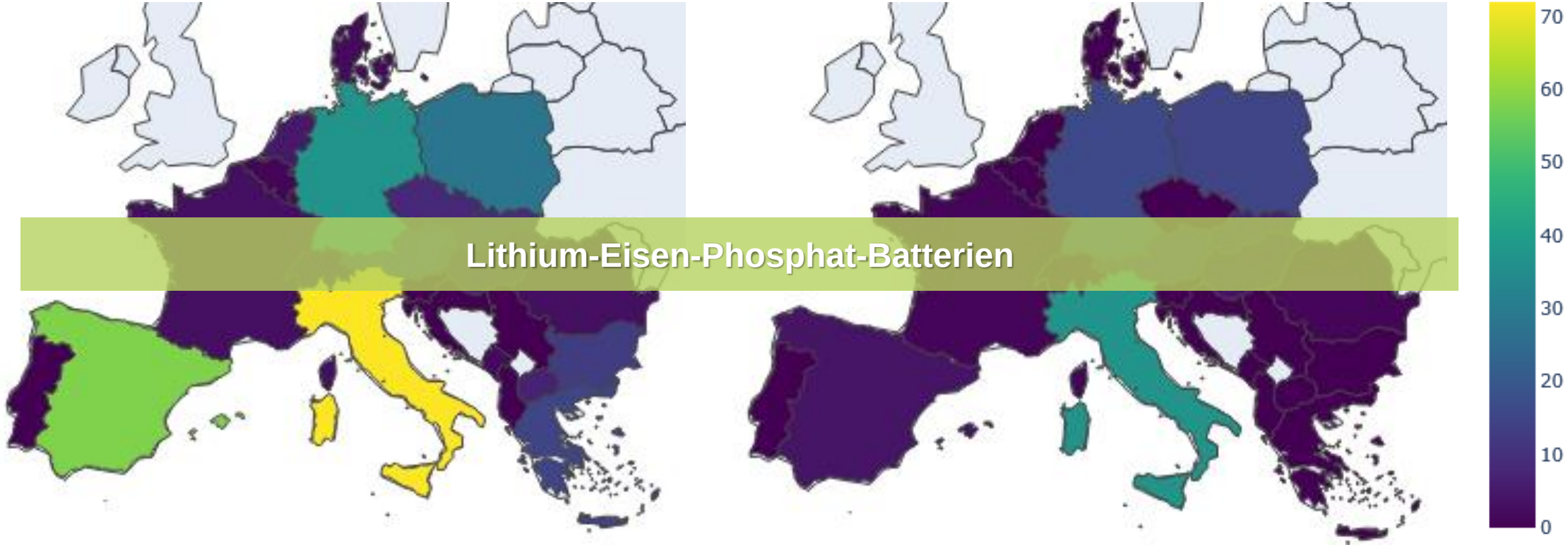
1: https://gitlab.com/dlr-ve/esy/remix/framework
2: https://gitlab.com/dlr-ve/esy/remix/projects/re-europe

ERGEBNISSE

Experiment 1: Speicherausbauplanung

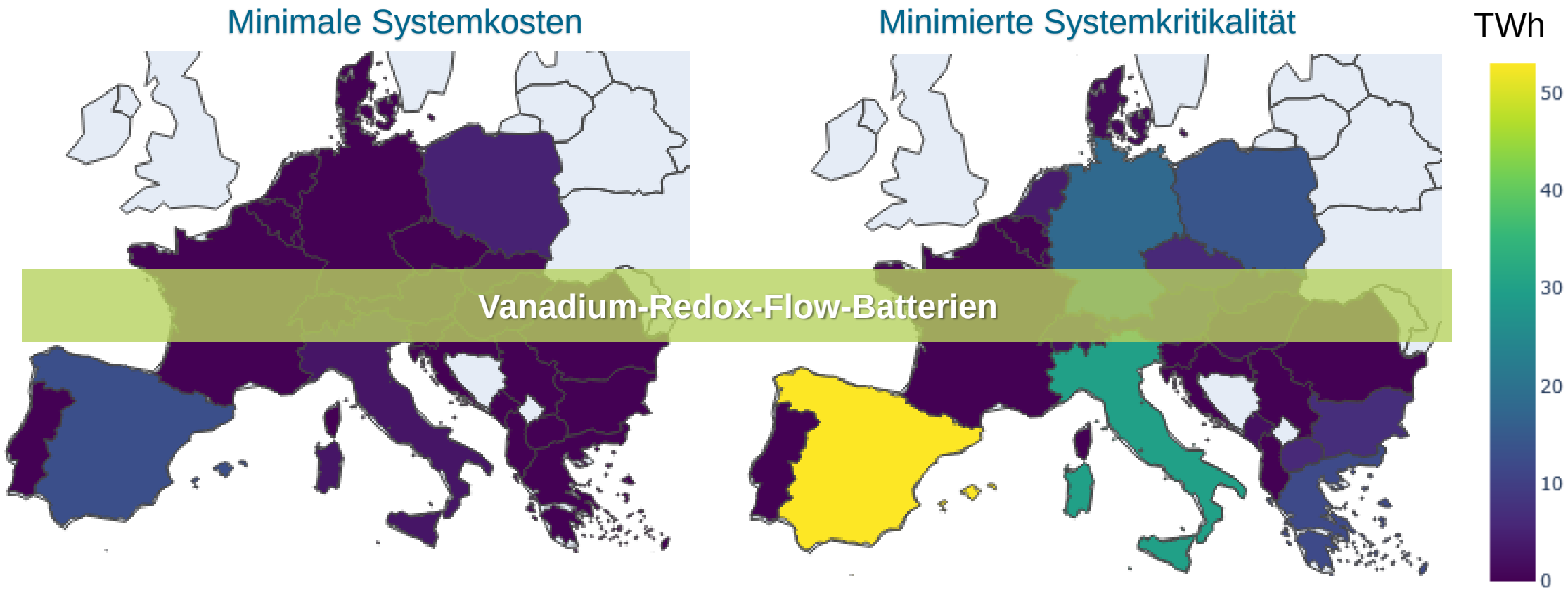
Minimale Systemkosten

Minimierte Systemkritikalität



Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien

Experiment 1: Speicherausbauplanung

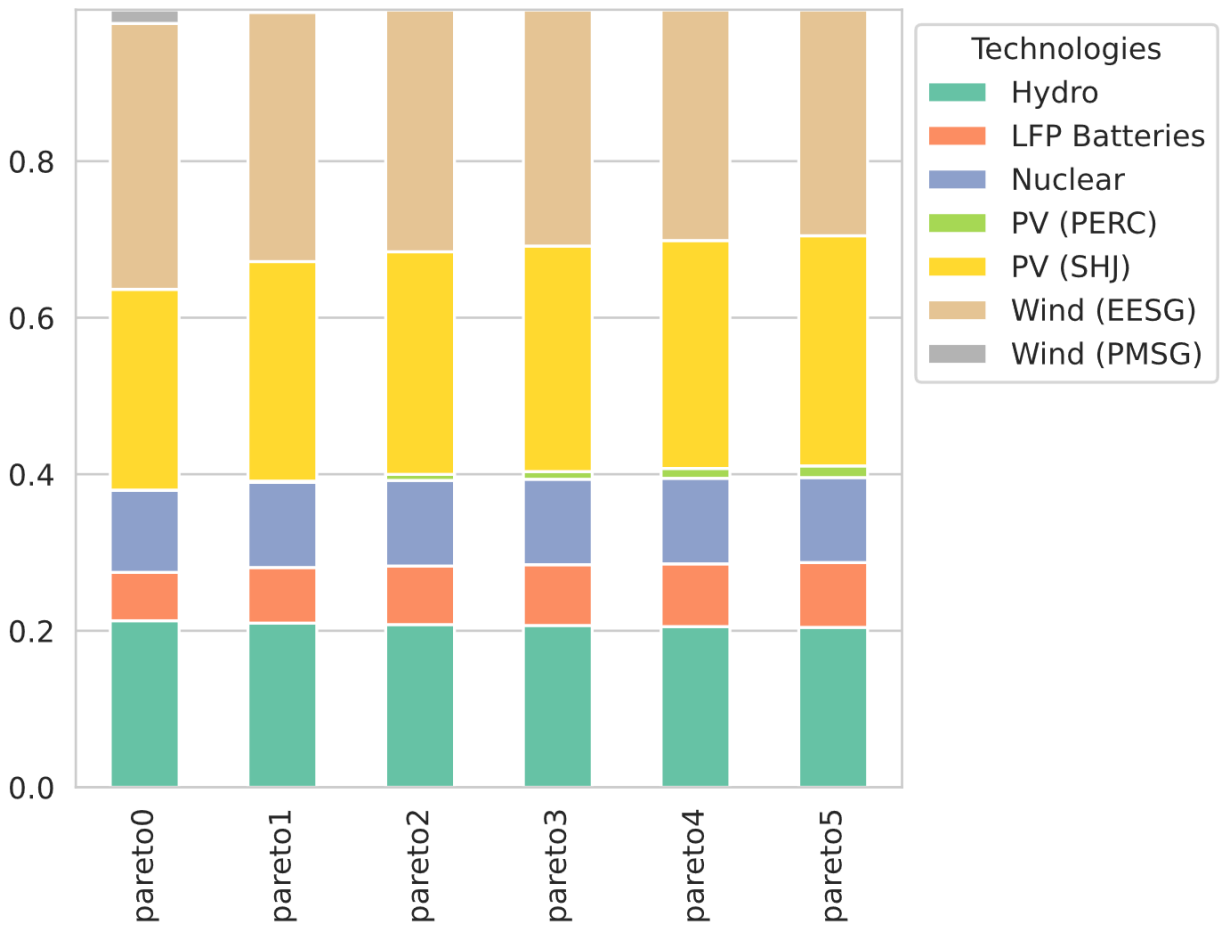


Vanadium-Redox-Flow-Batterien

Experiment 2: Erneuerbare und Speicher

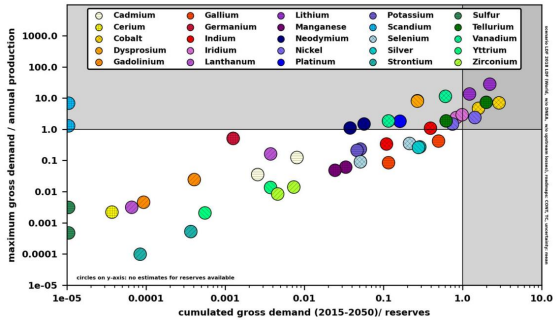
$c_{system} \rightarrow crit_{system}$

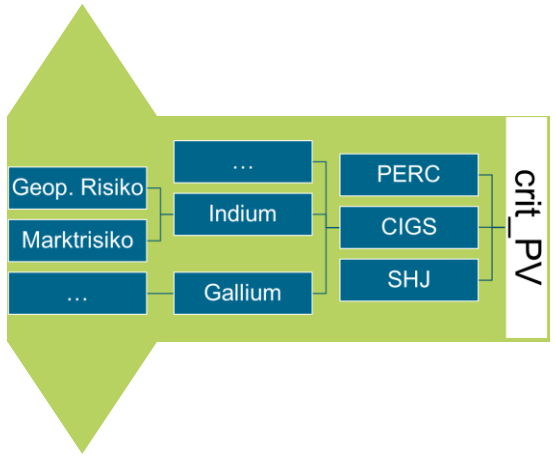
- ▼
- ▲
- =



Zusammenfassung

Critical raw materials

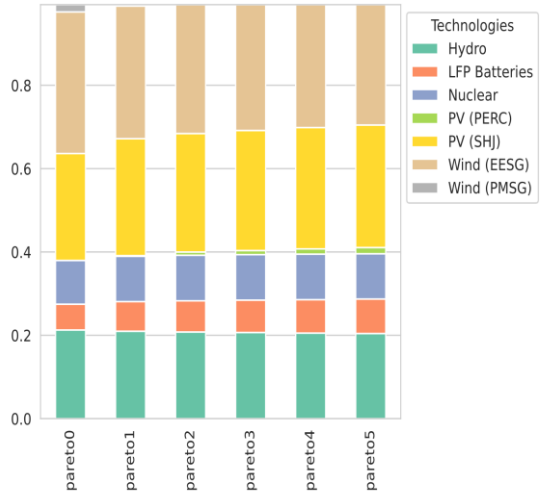




$crit_{tech}$

$$\min \sum_{tech} c_{tech} \cdot p_{tech}$$

$$\text{s.t. } A \cdot p \leq b$$



Ausblick

- 3 Dimensionen (Marktrisiken)
- Daten & Sub-Technologien
- Transformationspfade
- Methodenvergleich & Performance
- Unsicherheiten

VIELEN DANK!

karl-kien.cao@dlr.de