



Institut für ZukunftsEnergie-  
und Stoffstromsysteme

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

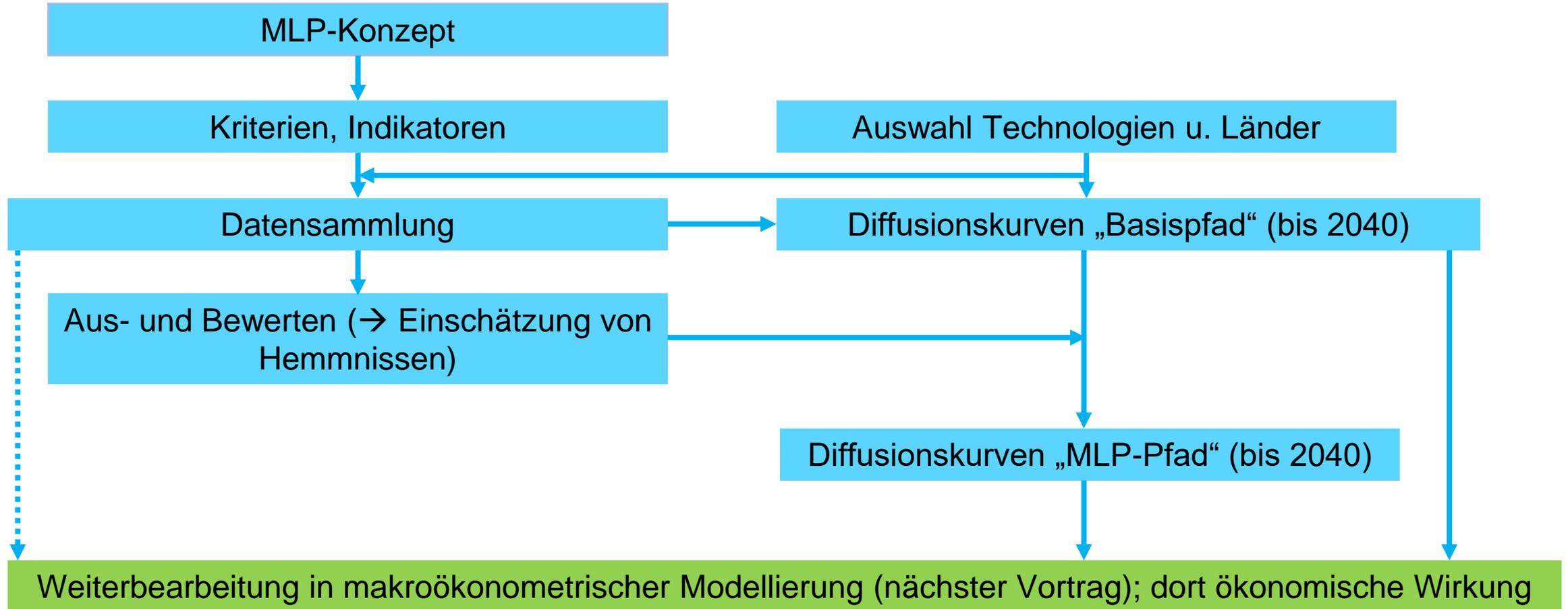
# Low Carbon Leakage – Abschlussveranstaltung

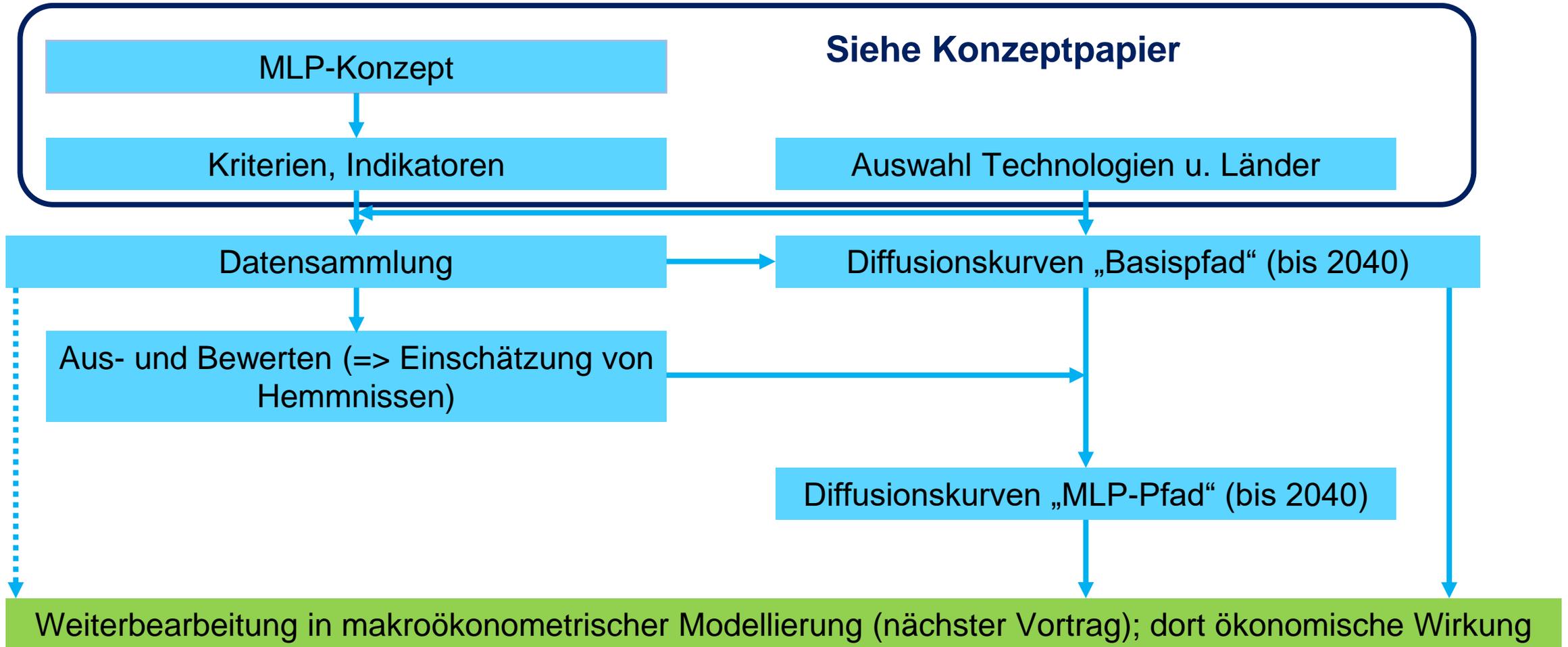
## Block II: Soziotechnische Analyse zu Technologieausbau & Hemmnissen: ein Datenbasierter MLP-Ansatz; vorläufige Ergebnisse

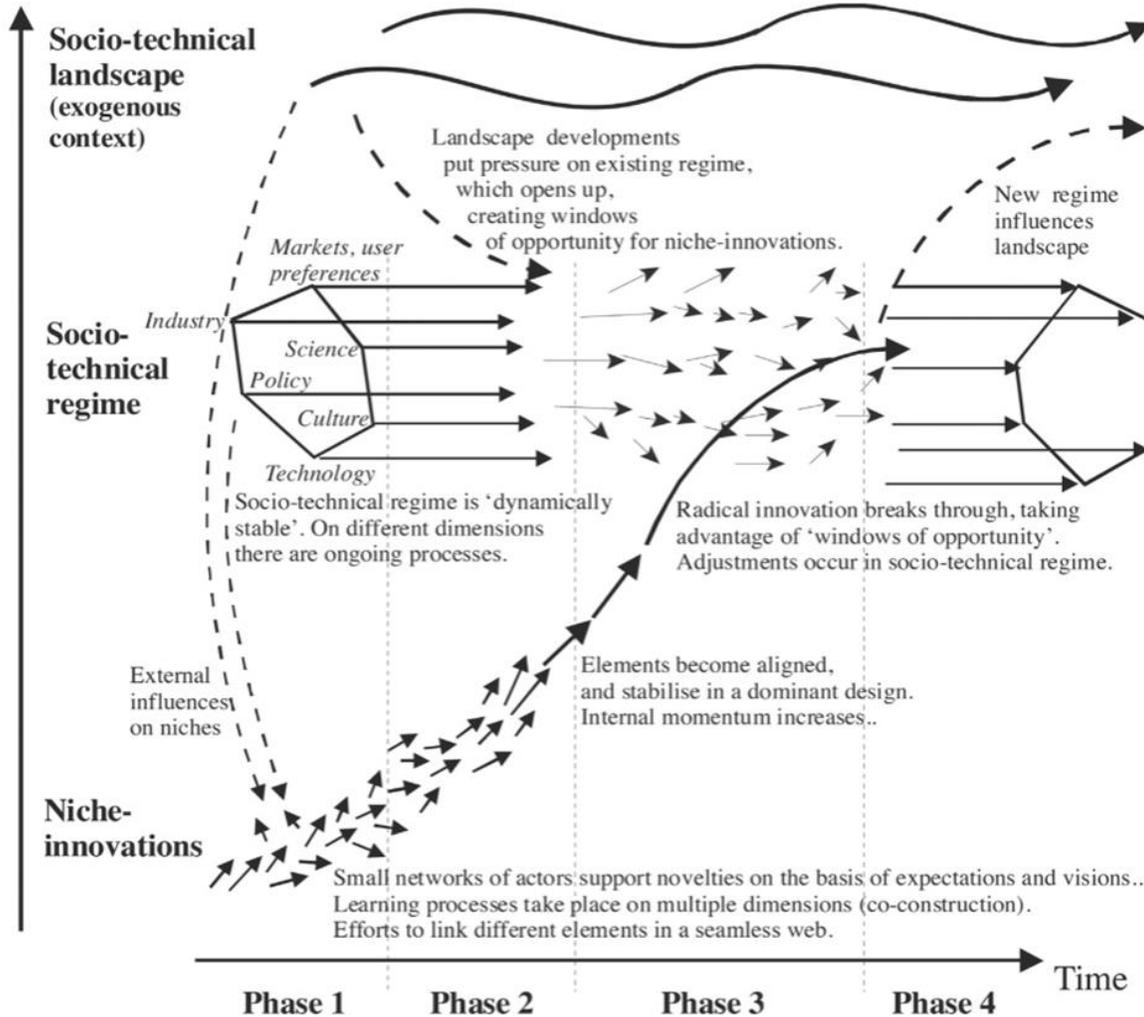
IZES: Dr. Patrick Matschoss, Dr. Uwe Klann, Juri Horst  
LCL-Abschlussveranstaltung, online, 19.06.2024

- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit

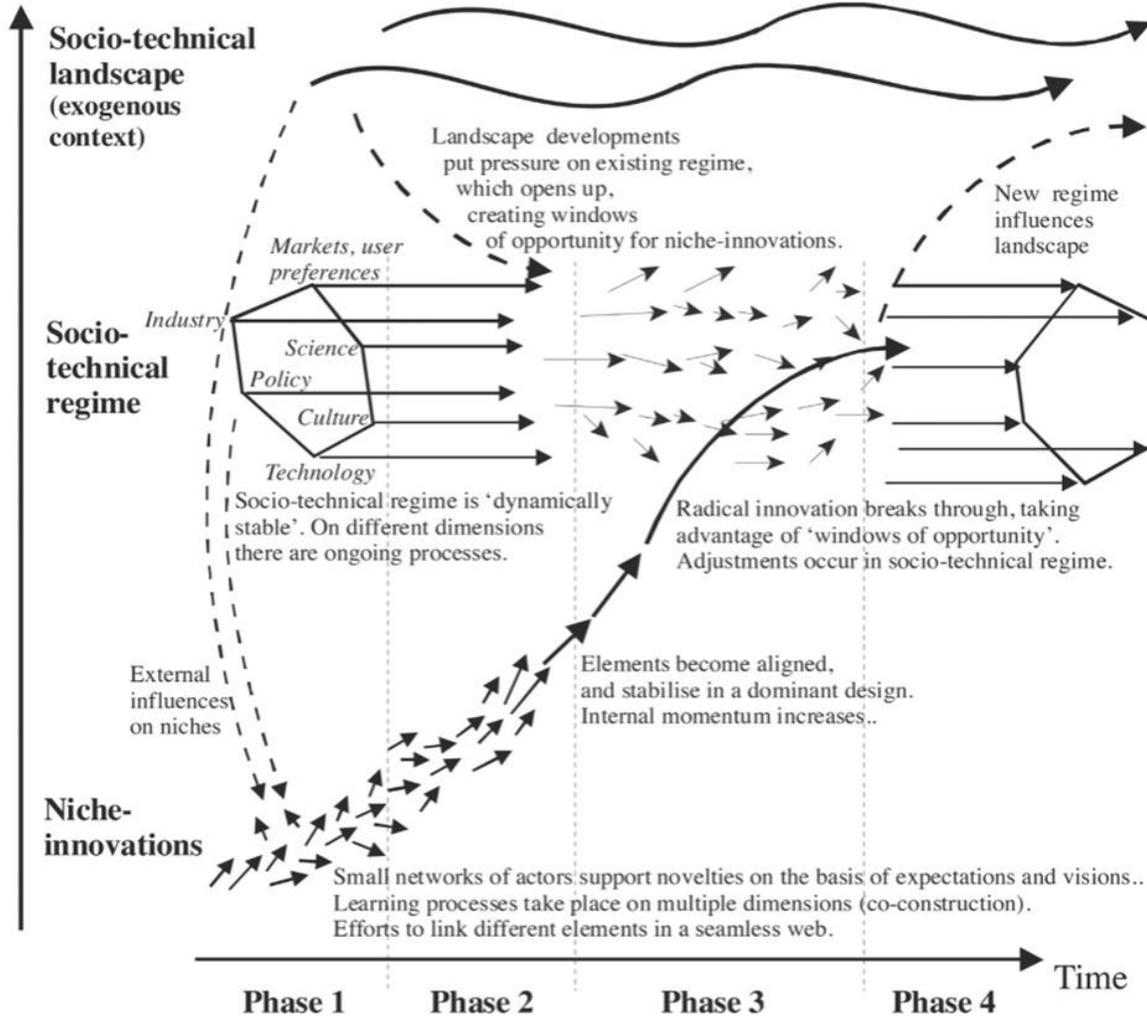
- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit



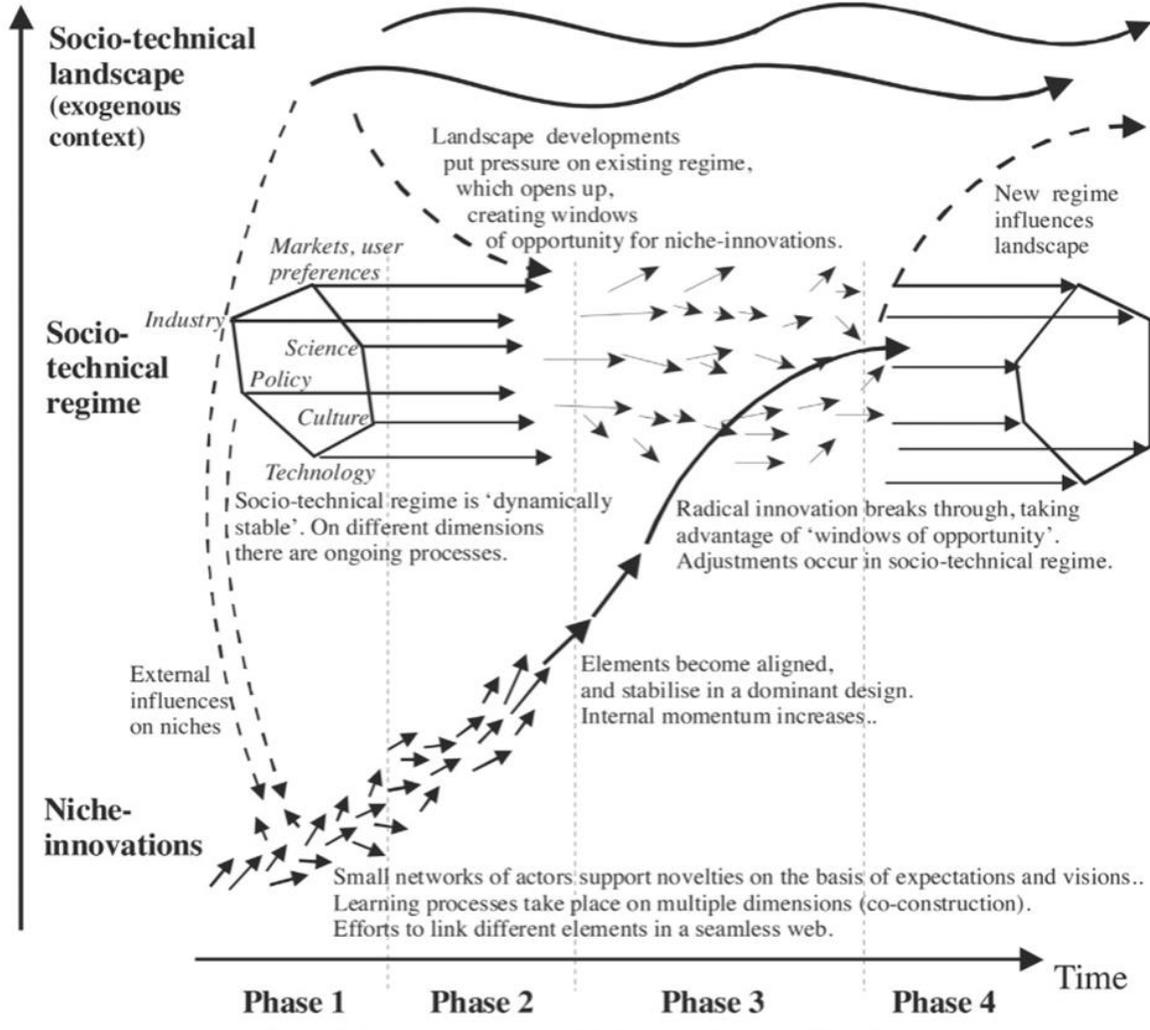




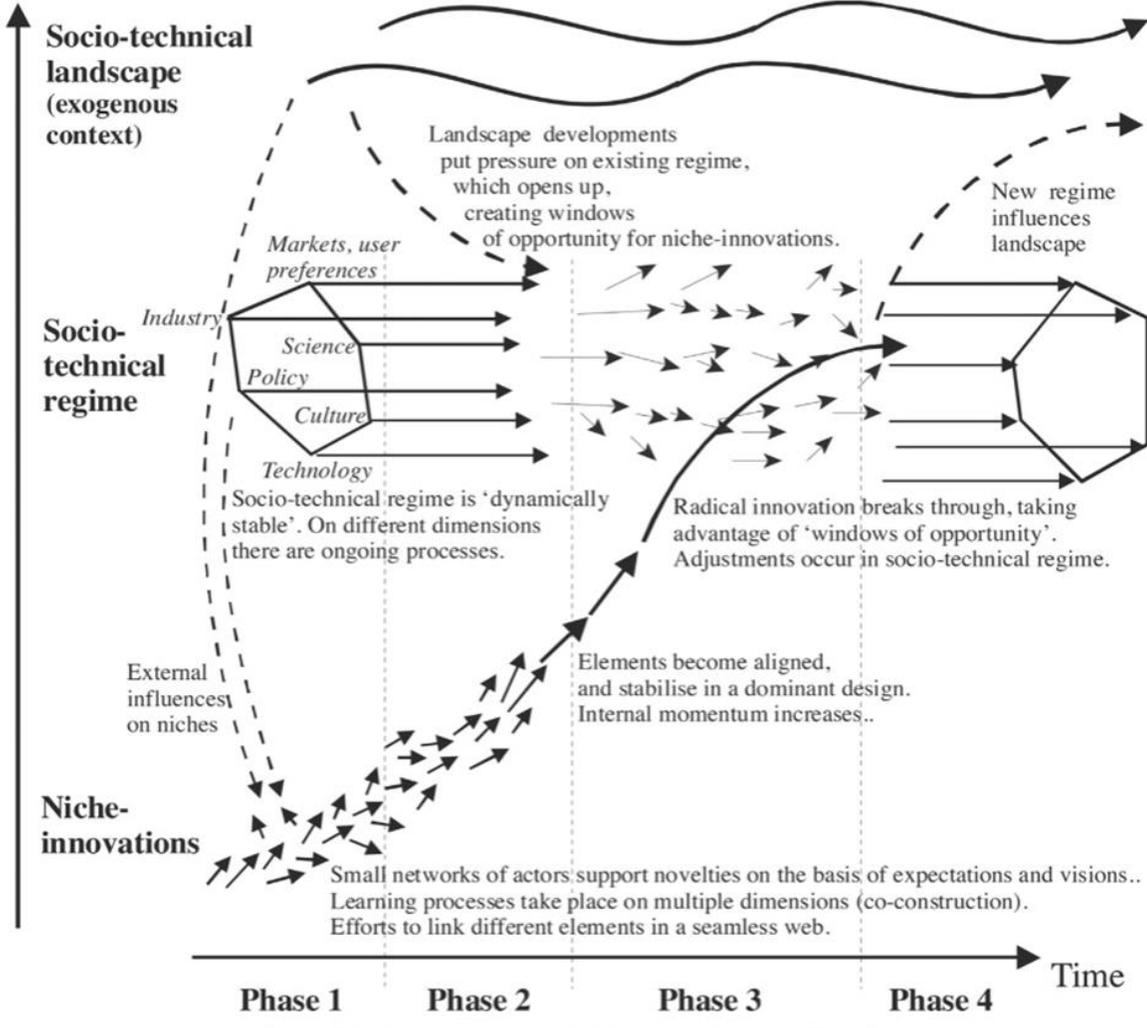
- Analyse von Übergangsdynamiken in der Diffusion technischer Innovationen in gesamtgesellschaftlichem Kontext
- verbal-analytischer Rahmen; Verknüpfung von Elementen aus evolutionärer Ökonomik, Techniksoziologie, Geschichte der Technik- & Innovationsstudien
- 3 Ebenen
  - „Nische“: Radikale Innovation in abgeschirmten Bereich
  - „Regime“: Gesamtheit der Regeln, Akteurs-/Nutzerkonstellationen..., die vorherrschende Technologien stützen; ändern sich für und durch eindringende Innovationen („für“: Z.B. gewollte Transformation wie Energiewende)
  - „Landscape“: Übergreifende Rahmenbedingungen (können sich kurz- oder langfristig ändern)
- 4 Phasen
  - Phase 1: Radikale Innovationen in unsicheren Netzwerken
  - Phase 2: Dominante Designs in Marktnischen
  - Phase 3: Beschleunigte Diffusion, Erfolg hängt von internen (z.B. Kostenentwicklung) und externen (z.B. politische Konstellation) Faktoren ab
  - Phase 4: Anpassung von Regime durch neue Technologie (Änderungen von z.B. Infrastruktur, Regulierung, Gewohnheiten)



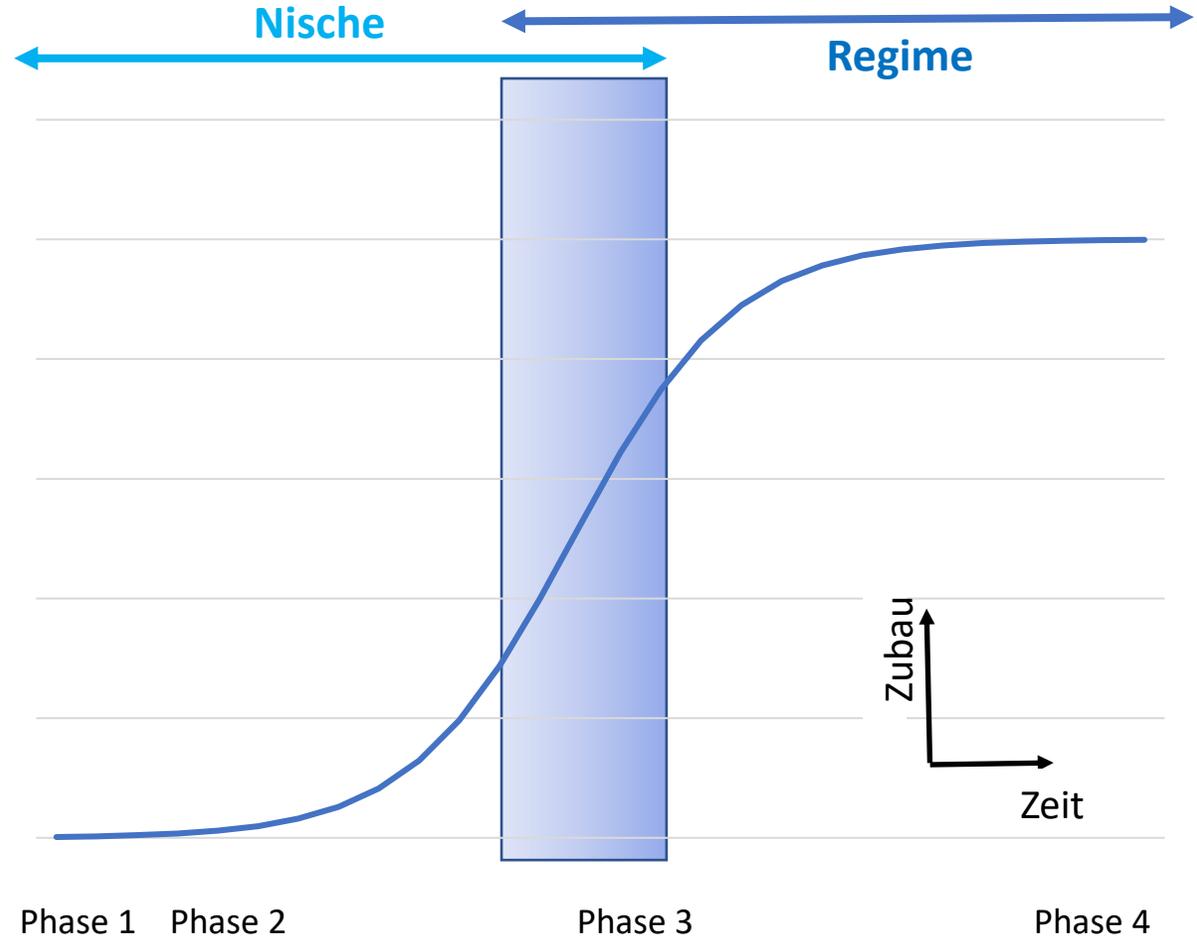
- Ursprünglich
  - Analyse ungeplanter Transformation durch Innovationen: von der Segel- zur Dampfschiffahrt
  - Fallbeispiele (z.B: Verkehr NL), Ex-Post-Analyse
- Neuere Richtungen
  - „Gewollte“ Transformationen (Energiewende)
  - Versuche von ex-ante- & quantitativer Analyse → Verbindung mit Modellierung
  - Suche nach geeigneten Indikatoren-Sets; Entwicklung & Erhebung derselben als eigene Forschungsfeld (Köhler & Holtz 2020)
  - Methodische Probleme, Abbildung von kulturellem Wandel und nicht-Linearitäten mittels Indikatoren (Köhler 2020)



- Ausgewählte Energiewendetechnologien (Transformation, übergreifend) in ausgewählten Ländern
- Zeitperspektive bis 2040 – ex-ante Analyse
- MLP & Low Carbon Leakage
  - Abbildung von Regimedimensionen über Kriterien
  - Empirische Ausprägung über Indikatoren
  - Datensammlung
  - Auswertung
  - Bewertung (Hemmnisse)
- Quantitativ: Verbindung mit makroökonomischem Modell insb. über Diffusionsfunktionen (Hemmnisse → Reduktion der Diffusionsgeschwindigkeit)



## MLP: quantitative Umsetzung via Diffusionskurven



- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit

Regimedimensionen (nach Geels 2018)	Kriterien (IZES: Operationalisierung „Regimedimensionen“)	Indikatoren* (IZES: Operationalisierung „Kriterien“)
Politik/Regulierung	Politische Ziele	Quantitative Ziele (z.B. Ausbauziele)
Politik/Regulierung	Öffentliche Förderung	Budgets, Höhe... spezifischer Fördersätze
Wissenschaft	R,D&D-Ausgaben	öffentliche R,D&D-Ausgaben
Industrie	Pfadabhängigkeiten	Planungs-, Bauzeiten, Nutzungsdauern
Märkte/Nutzerpräferenzen	Marktpotentiale	Verwendung (Vorüberlegung zur Technologie/Länderauswahl, dann weiter erfasst über Diffusionskurven „Basispfad“)
Märkte/Nutzerpräferenzen	Inländische Wertschöpfung	BWS. Ersatzweise: Produktionsmengen/-kapazitäten, Anzahl Arbeitnehmer
Kultur	Akzeptanz	Auswertung einschlägiger Literatur, dann Einschätzung auf Ordinalskala
Technologie und Industrie	Kosteneffizienz	Gestehungskosten (u. Analoges), spez. Investitionskosten
Technologie	Abhängigkeit v. Infrastruktur	Technologiespez. Anforderung an Netze berücksichtigt? (Auswertung Netzzustand, Netzausbaupläne (Strom, Wärme))
	Weitere Rahmenbedingungen	Offene Kategorie für länderspezifische Besonderheiten

\* Indikatoren: Gleichzeitig landes- und technologiespezifisch

- Datensammlung (+ Erstellen einer Datenbank):
  - Mit erheblichem Aufwand und je nach Kriterium verschiedenen Schwierigkeiten verbunden, v.a. wegen erforderlicher Technologie- **und** Länderspezifität
  - Nach erster Auswahl: ca. 15 Länder, 11 Technologiegruppen in Datensammlung/-bank erfasst
  - Dann: Verdichtung auf die wichtigsten Länder und Technologien für vertiefte u. quantitative Analyse. Fokusländer und -technologien:

	PV-Anlagen	Windkraftanlagen	Batterieelektrische PKW	H2-Elektrolyseure
China	X	X	X	X
Deutschland	X	X	X	X
Japan	X	X	X	X
USA	X	X	X	X
Dänemark	-	X	-	-

- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit

- Basispfade: Für jede Land/Technologiekombination (Marktpotential)
  - Verwenden von Bestandsdaten 2030 und/oder 2040 aus max(politische Ziele; IEA-WEO-APS/STEPS; andere Energieszenarien) als „Eckwerte“
  - Eine logistische Funktion (Diffusionsfunktion) für **Bruttozubau**, so dass diese Werte erreicht werden
    - Ausgangspunkt: i. allg. Zubau 2022; Endwert: Erforderlicher Zubau und/oder vgl. langfristiger implizierter Steady State mit Langfristzielen/Szenarien; Geschwindigkeit von Ausgangspunkt zu Endwert: Anpassung an „Eckwerte“
    - Referenz für einen Bruttozubaupfad bei sehr vorteilhaften Rahmenbedingungen
  - Für Anpassung an „Eckwerte“: Berechnung von Bestandspfaden aus Bruttozubaupfaden unter Berücksichtigung von Außerbetriebnahmen
- Übergang MLP-Pfade:
  - Von Daten zu Hemmnissen, Hemmnisse => Verzögerung Basispfad um x Jahre i. Vgl. mit Bestand 2030

Skizze: Aufbau Auswertungsmatrix für jede Technologie – Verdichtung der gesammelten Daten und Informationen

Kriterium	Deutschland	China	Japan	USA
„politische Ziele“				
„R,D&D-Ausgaben“				
„Förderung Markteinführung“				
„Kosteneffizienz“				
„Wertschöpfung“				
„Akzeptanz“				
„Infrastruktur“				
Ergänzend: Förderung Produktion (jeweilige Güter, Komponenten...)*				

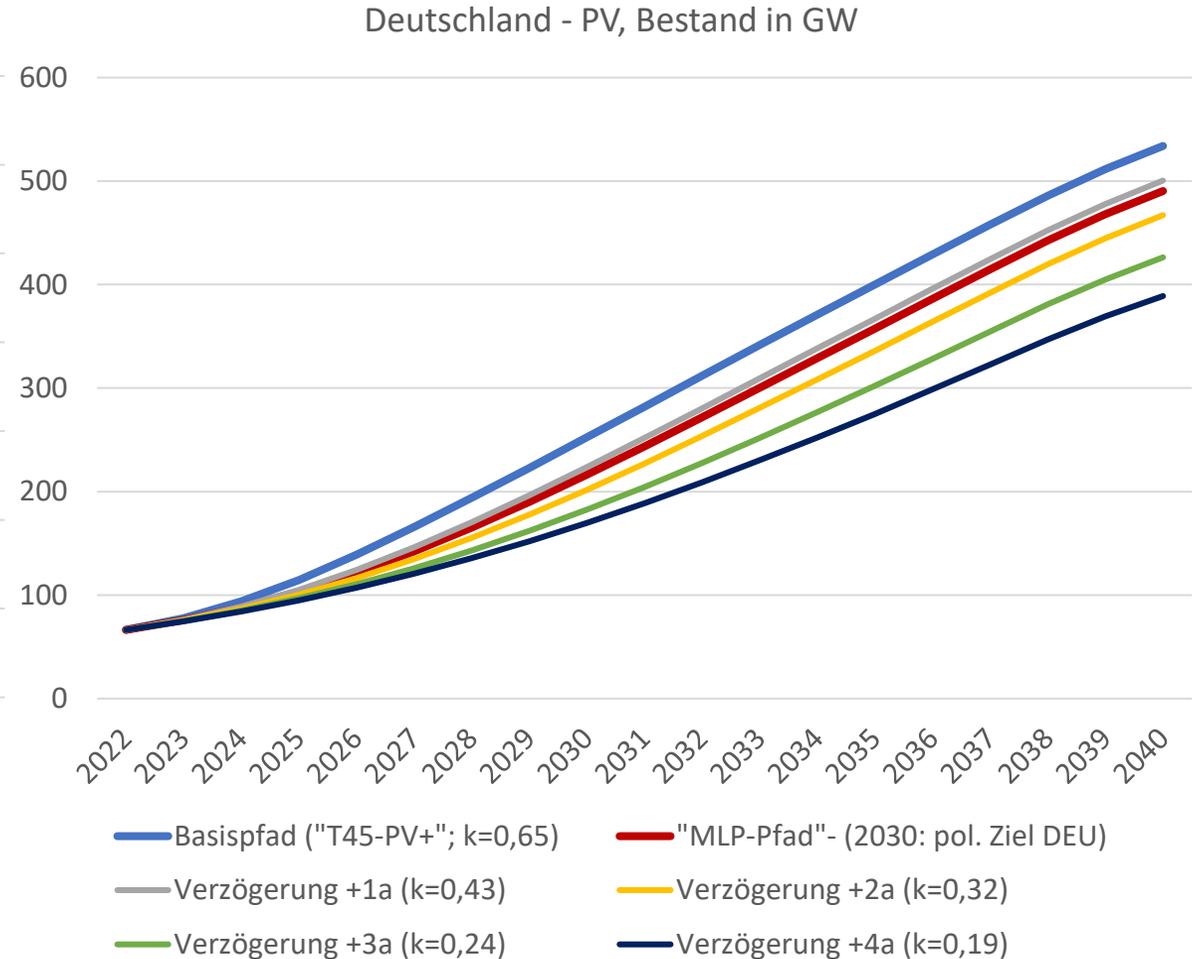
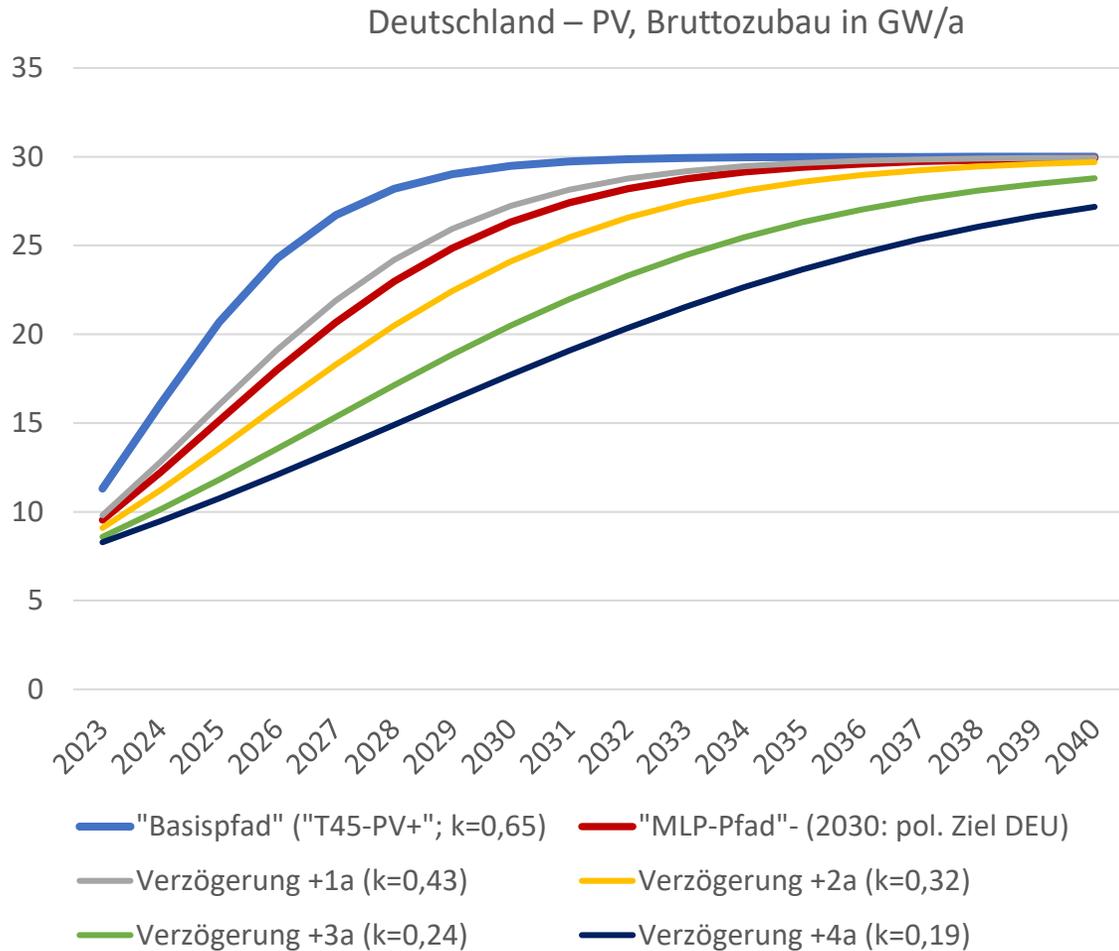
\* Nicht komplette Industriepolitik systematisch ausgewertet

Skizze – schematische Bewertungsmatrix, Bsp.: PV (Farben: 5er Skala – dunkelgrün bis dunkelrot, aber: **Abwägende Beurteilung**)

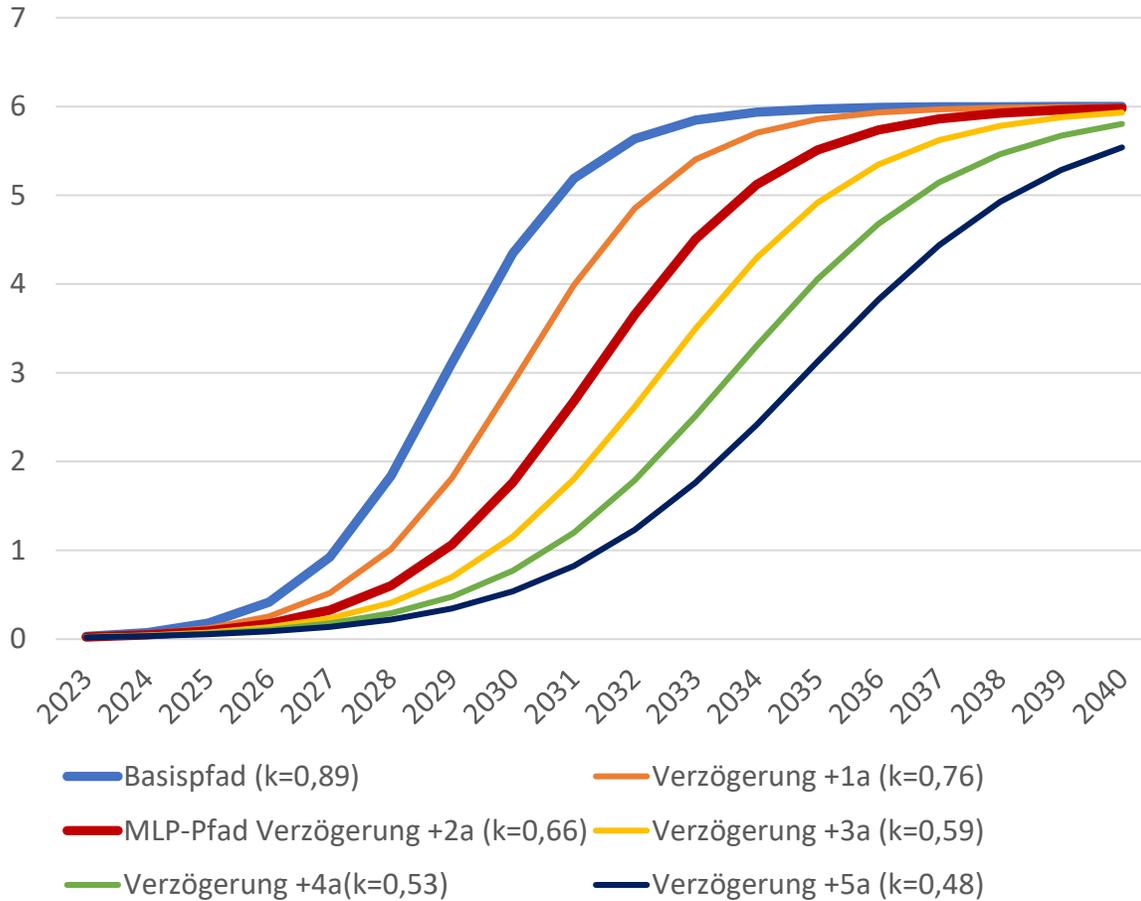
Kriterium	Deutschland	China	Japan	USA
„politische Ziele“	...	...	...	... (Bewertung schwierig; keine nationalen Ziele)
„R,D&D-Ausgaben“	...	..., Datenprobleme	...	...
„Förderung Markteinführung“	...	...	...	...
„Kosteneffizienz“	...	...	...	...
„Wertschöpfung“	...	...	...	...
„Akzeptanz“	...	..., problematische Quellen	..., sehr problematische Quellen	..., problematische Quellen
„Infrastruktur“	...	Keine Bewertung möglich	...	..., Datenprobleme
„sonstiges“	...	...	...	...
<b>Abwägende Gesamteinschätzung</b>	Abwägende Gesamtbeurteilung => Verzögerung 2030: gut 1 a (i. Vgl. zu Bestand im „Basispfad“, 2030er Ziel erreicht)	Abwägende Gesamtbeurteilung => Verzögerung 2030: 0 a (i. Vgl. zu Bestand im „Basispfad“)	Abwägende Gesamtbeurteilung => Verzögerung 2030: 3 a (i. Vgl. zu Bestand im „Basispfad“)	Abwägende Gesamtbeurteilung => Verzögerung 2030: 2 a (i. Vgl. zu Bestand im „Basispfad“)

- MLP-Pfade aus Basis-Pfaden:
  - Inhaltlich (Bsp. Deutschland, PV, verkürzt)
    - Basispfad („Langfristszenarien“ Szenario „T45-PV+“ -> hohe Schätzung des potentiellen Marktvolumens)
    - Frage: Welche Hemmnisse sprechen gegen eine Realisierung dieses hohen potentiellen Marktvolumens?
    - Ziele: 2030 hoch, aber geringer als in „Basispfad“, in der Vergangenheit Zielerreichung; Ausschreibungen: Freifläche eher niedrig
    - R,D&D: Absolut: I. Vgl. mit anderen Ländern gering, relativ grob wie USA
    - Förderung: Ausschreibungen s. „Ziele“, Kleinanlagen: Förderung wohl auskömmlich
    - Kosteneffizienz: Großskalig eher niedrig; Vgl. „Förderung“, „Ziele“; nach Quelle f. Basispfad Zubau eher durch Ziele bestimmt.
    - Wertschöpfung: Inländische Produktion absolut und relativ gering
    - Akzeptanz: Dachflächen: Sehr hoch, Freiflächen: hoch
    - Infrastruktur : „Basispfad“ weit über Netzplanung u. erhebliche Integrationsprobleme/Abregelungen zu erwarten; für Ziel etwas niedrig; Stand RE-Systemintegration: Sehr gut (Indikator von RISE)
  - Abwägende Gesamtbeurteilung: Zubau eher nicht von Angebotsseite unterstützt, Basispfad aufgrund „Infrastruktur“ unwahrscheinlich zu erreichen (Ziele zu erreichen viel plausibler), gewisse Risiken: Ausschreibungen „Freifläche“; Verzögerung: Ca. 1-2 Jahre (Verwendung von Zielerreichungsszenario)
  - Rechnerisch
    - Verzögerung in Jahren bezogen auf Bestandswerte im „Basispfad“ im Jahr 2030
    - Entsprechende Anpassung des Parameters der Diffusionsgeschwindigkeit

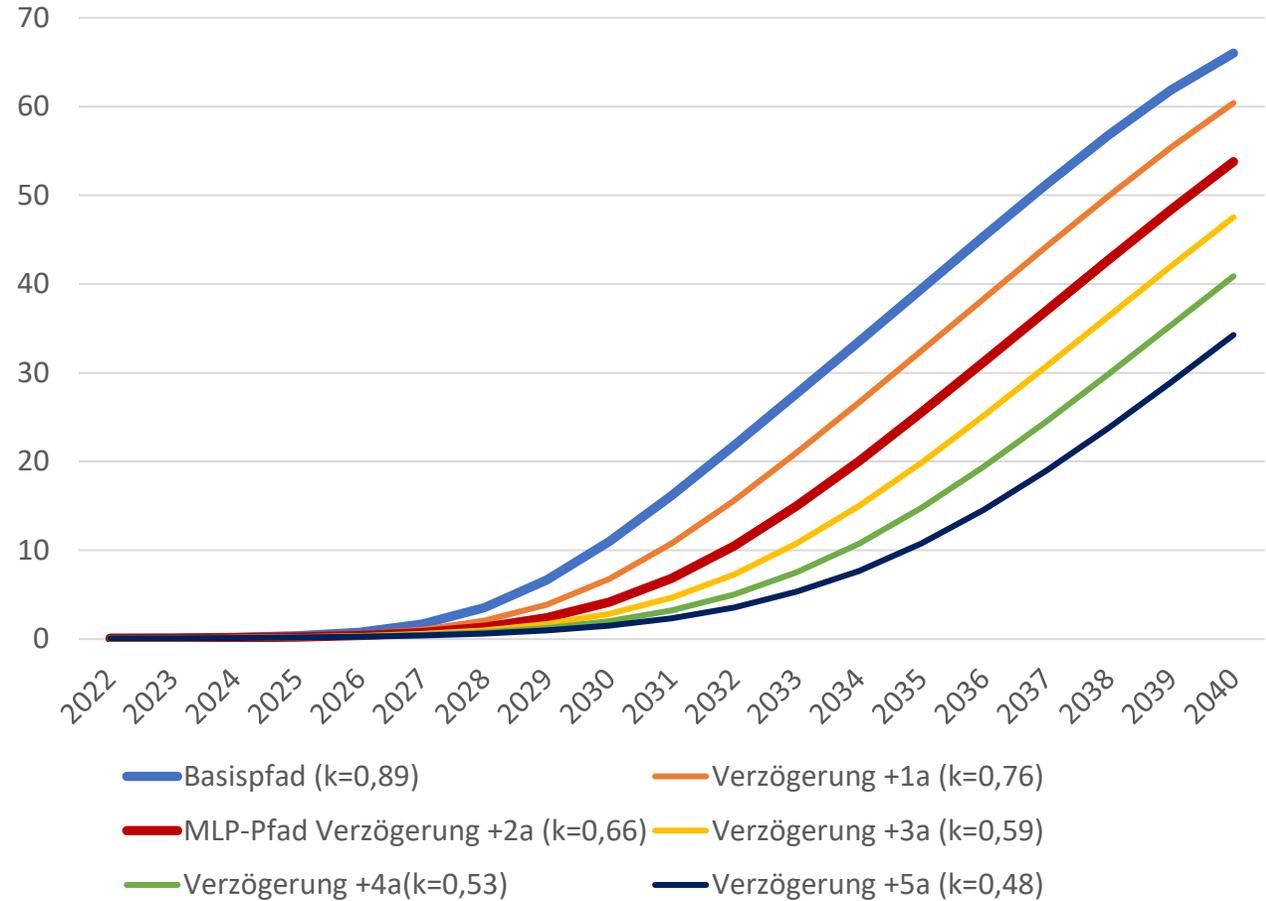
- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit



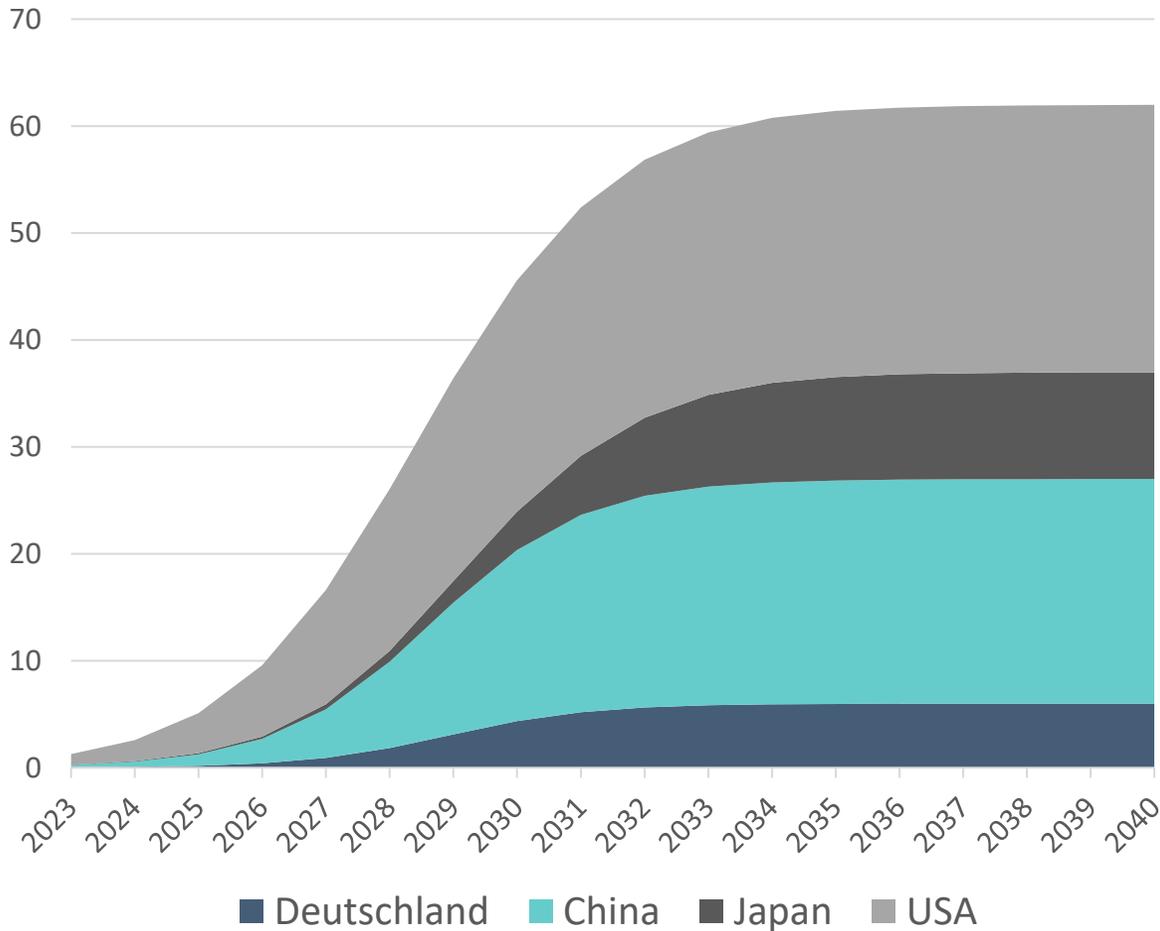
Deutschland - Elektrolyseure, Bruttozubau in GW-H2/a



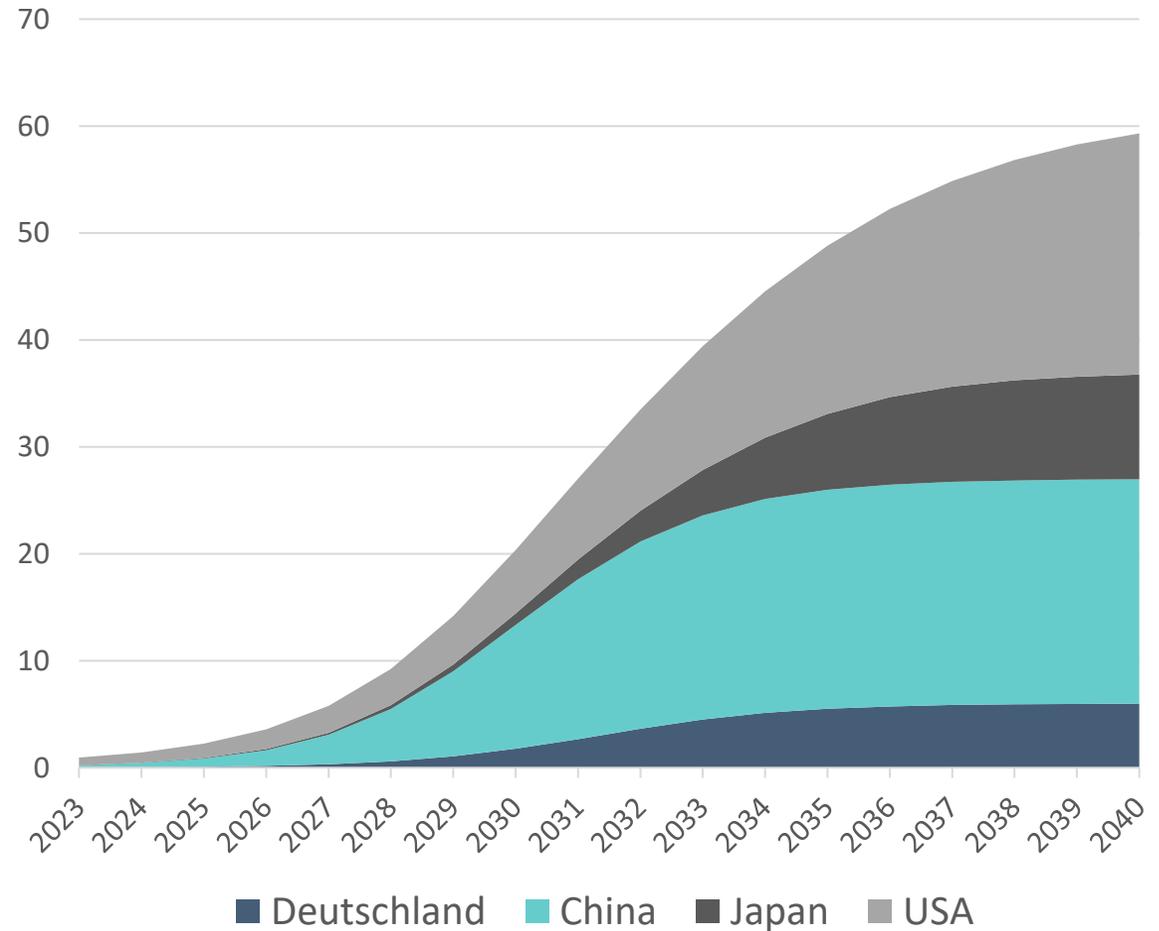
Deutschland - Elektrolyseure, Bestand in GW-H2



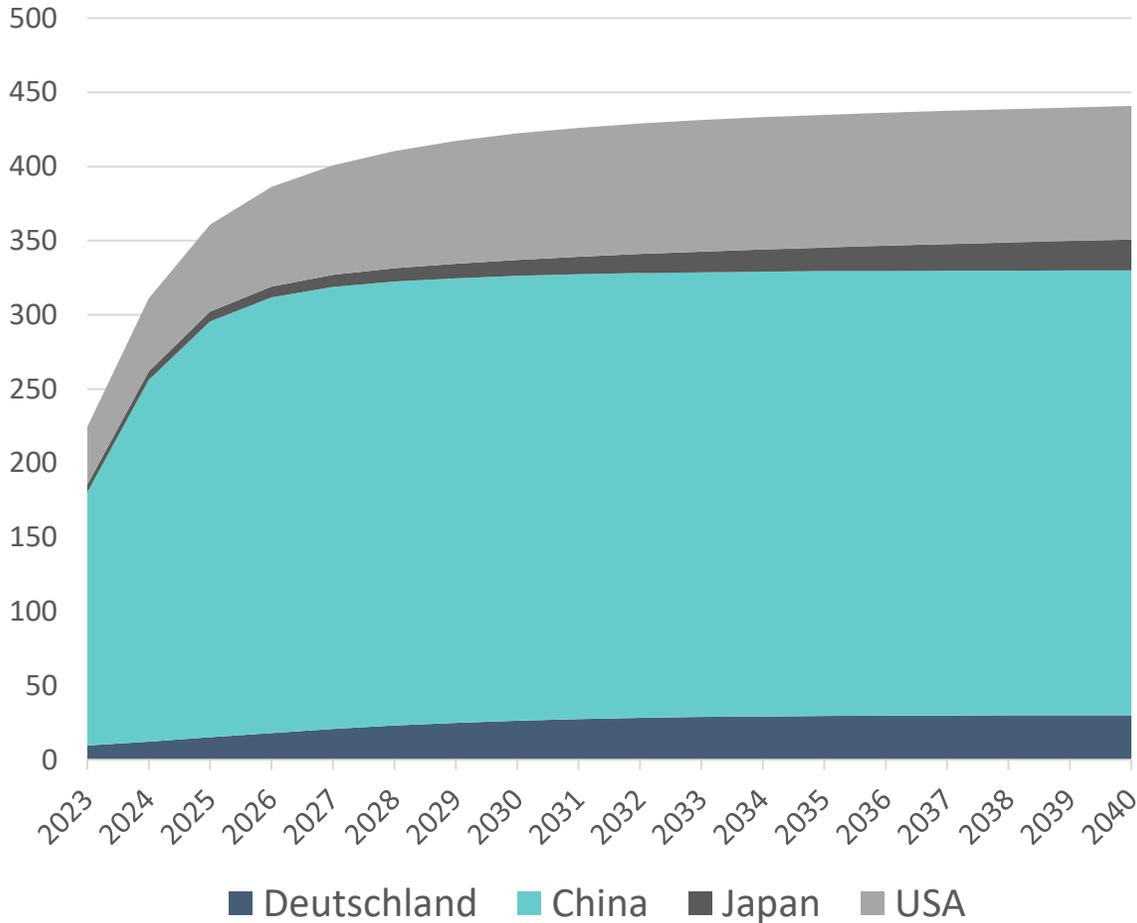
Basispfade - Elektrolyseure, Bruttozubau in GW-H2/a



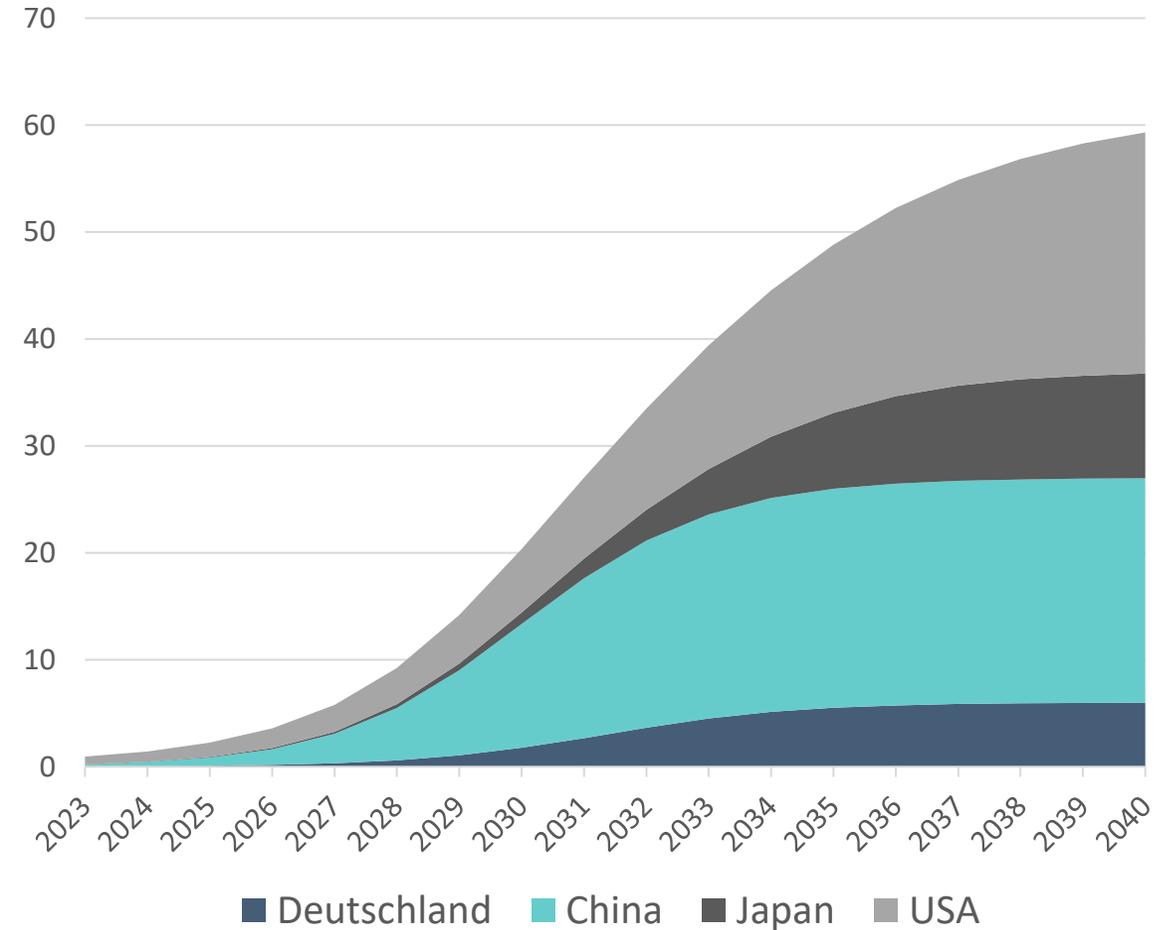
MLP-Pfade - Elektrolyseure, Bruttozubau in GW-H2/a



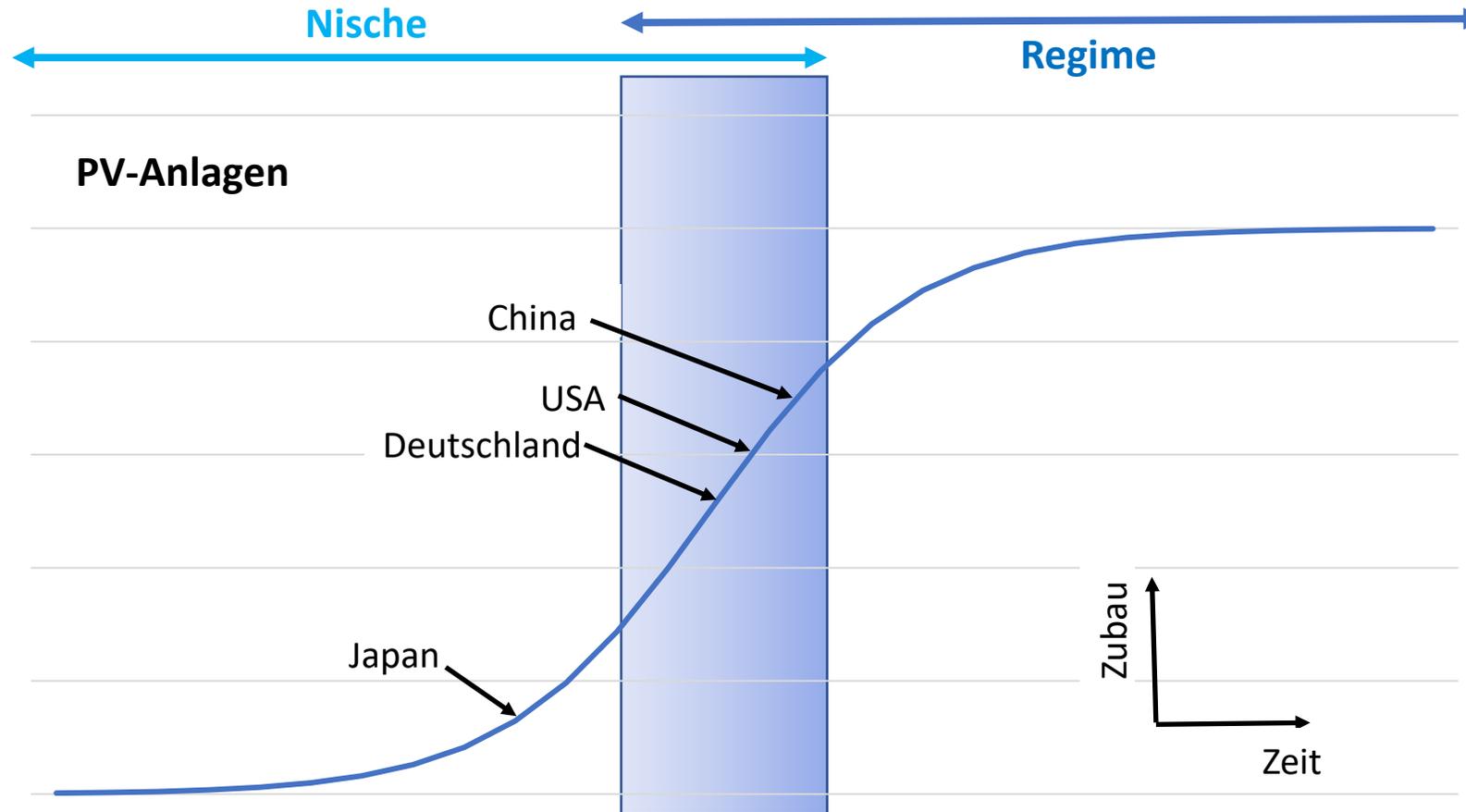
MLP-Pfade - PV, Bruttozubau in GW/a



MLP-Pfade - Elektrolyseure, Bruttozubau in GW-H2/a

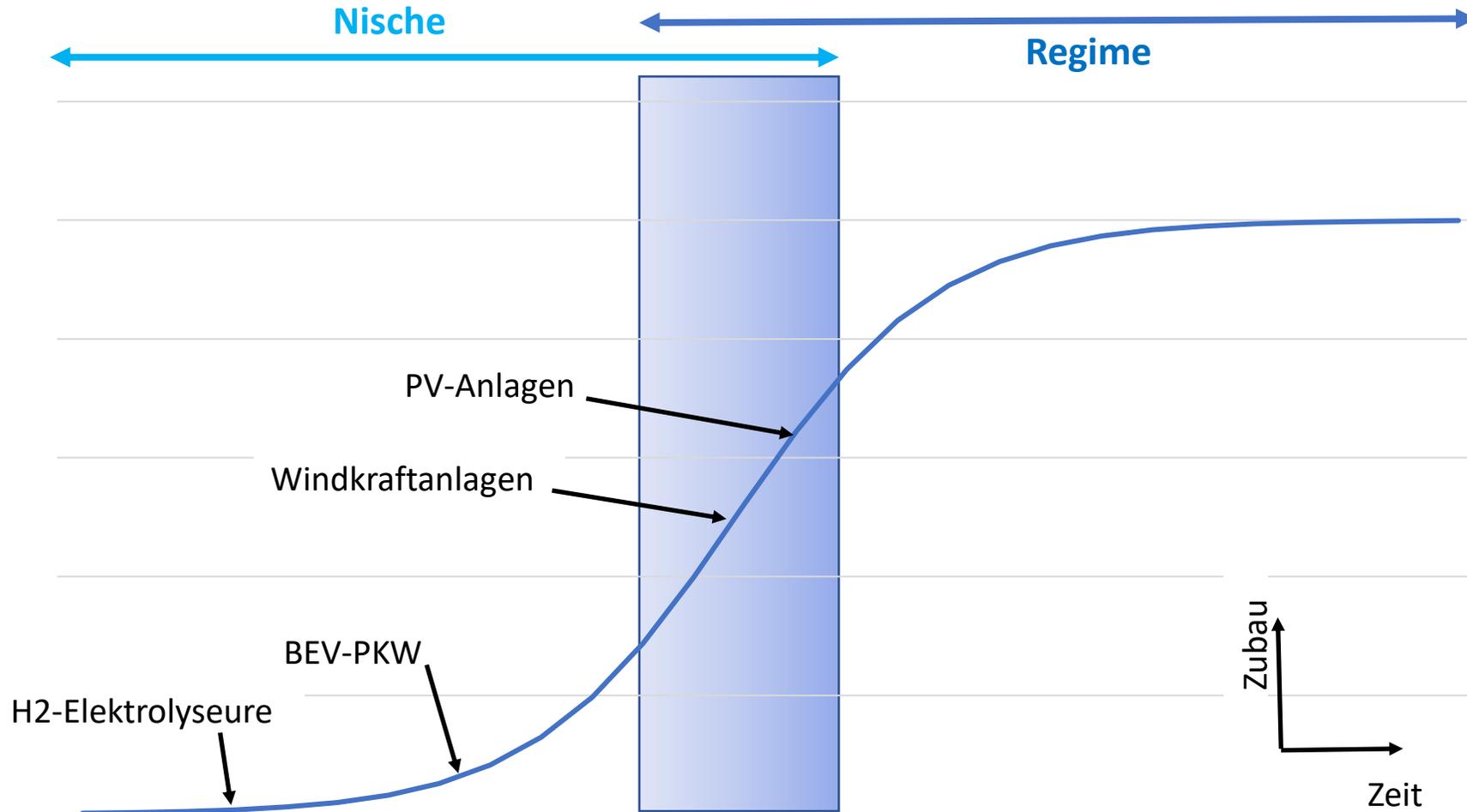


Beispiel: Skizze zum MLP-Stand PV nach Ländern (von unterschiedlichen Diffusionskurven nach Ländern abstrahiert):



Phasen nach Geels, 2018: Phase 1    Phase 2    Phase 3    Phase 4

Skizze zu Stand der Technologien (von unterschiedlichen Diffusionskurven nach Länder/Technologiekombinationen abstrahiert):



Phasen nach Geels, 2018: Phase1    Phase 2    Phase 3    Phase 4

- Vorgehen & datenbasierter MLP-Ansatz
- Hemmnisse – Kriterien, Indikatoren & Datensammlung
- Hemmnisse – Auswertung & Bewertung
- Ausgewählte quantitative Ergebnisse
- Fazit

- Grundsätzlicher Weg datenbasierte MLP erfolgversprechend
- Diffusionskurven und deren Beziehung zu MLP weiter ausbauen
- Weiterentwicklung von Kriterien/Indikatoren erwägen
- Datensammlung für Multiländer-/technologieanalysen
  - Hoher Aufwand
  - (international vergleichbare) Indikatoren zu finden?
  - Deshalb: Bei Weiterentwicklung Kriterien/Indikatoren mitbedenken; Machbarkeit übergreifender Analysen evtl. eingeschränkt
- Einerseits steigende Schwierigkeiten, je „fremder“ Sprache & Schrift (Asien)
- Andererseits teils wirklich keine Daten vorhanden (auch lokale / regionale Autoren beklagen Probleme)

- H<sub>2</sub>-Elektrolyseure (und tendenziell auch BEV-PKW) im Gegensatz zu PV und Windkraft noch am Anfang der Diffusion
- „Heimatmarkt“ in China u. USA sehr viel größer als für Japan u. Deutschland
- Für alle betrachteten Technologien:
  - tendenziell ist China relativ weit in der Markteinführung, Japan hinkt hinterher
  - aktuelle Rahmenbedingungen für Diffusion in China tendenziell am günstigsten
- Analyse gibt Indizien, zu Bereichen wichtiger Hemmnisse (z.B. für Deutschland u.a. „Infrastruktur“ bei PV und u.a. „Akzeptanz“ BEV-PKW)
- Schlussfolgerungen & wipol. Implikationen: s. Block III

## „Konzeptpapier“:

M. Banning, L. Becker, K. Hembach-Stunden, J. Horst, U. Klann, C. Lutz, P. Matschoss (2023): Zentrale Technologien und Länder der globalen grünen Transformation Methoden und Analysen vor dem Hintergrund des „Low Carbon Leakage“- Risikos, GWS Research Report 2023/07. <https://www.gws-os.com/de/publikationen/gws-research-reports/detail/zentrale-technologien-und-laender-der-globalen-gruenen-transformation>

## geplante Veröffentlichungen zu:

- Vorgehen und Schwierigkeiten der Datensammlung (IZES)
- Papier zum „Gravity-Modell“ (GWS)
- Ergebnis- und Methoden-Papier (GWS, IZES)

- M. Banning, L. Becker, K. Hembach-Stunden, J. Horst, U. Klann, C. Lutz, P. Matschoss (2023): Zentrale Technologien und Länder der globalen grünen Transformation Methoden und Analysen vor dem Hintergrund des „Low Carbon Leakage“- Risikos, GWS Research Report 2023/07. <https://www.gws-os.com/de/publikationen/gws-research-reports/detail/zentrale-technologien-und-laender-der-globalen-gruenen-transformation>
- De Haan, F. J., Martínez Arranz, A. & Spekking, W. (2020): Data-driven transitions research – Methodological considerations for event-based analysis. In: Moallemi, E. A. & De Haan, F. (Hg.): Modelling transitions. Virtues, vices, visions of the future. Routledge Studies in Sustainability Transitions Ser. Routledge, London, NewYork. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429056574-12/data-driven-transitions-research-fjalar-de-haan-alfonso-mart%C3%ADnez-arranz-wouter-spekkink>
- Geels, F. W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research Policy Volume 31 (8), S. 1257–1274. DOI: 10.1016/S0048-7333(02)00062-8
- Geels, F. W. (2005):, Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. Technological Forecasting and Social Change Volume 72 (6), S. 681–696. DOI: 10.1016/j.techfore.2004.08.014
- Geels, F. W. (2014): PATHWAYS project: Exploring transition pathways to sustainable, low carbon societies – Deliverable D2.1: Analysis of green nicheinnovations and their momentum in the two pathways; Main report: Introduction and findings
- Geels, F. W. (2018): Disruption and low-carbon system transformation: Progress and new challenges in socio-technical transitions research and the Multi-Level Perspective. Energy Research & Social Science 37, S. 224–231. DOI: 10.1016/j.erss.2017.10.010
- Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M. & Wassermann, S. (2016): The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). Research Policy 45 (4), S. 896–913. DOI: 10.1016/j.respol.2016.01.015
- Geels, F. W. & Schot, J. (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. Research Policy 36 (3), S. 399–417. DOI: 10.1016/j.respol.2007.01.003
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T. & Sorrell, S. (2017): The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions. Joule 1 (3), S. 463–479. DOI: 10.1016/j.joule.2017.09.018
- Köhler, J., De Haan, F., Holtz, G., Kubeczko, K., Moallemi, E. A., Papachristos, G. & Chappin, E. (2018): Modelling Sustainability Transitions: An Assessment of Approaches and Challenges. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, The 21. DOI: 10.18564/jasss.3629
- Köhler, J., Turnheim, B. & Hodson, M. (2020): Low carbon transitions pathways in mobility: Applying the MLP in a combined case study and simulation bridging analysis of passenger transport in the Netherlands. Technological Forecasting and Social Change 151 (119314). DOI: 10.1016/j.techfore.2018.06.003
- Viebahn, P., Kobiela, G., Zelt, O., Wietschel, M., Hirzel, S., Horst, J. & Hildebrand, J. (2018a): Technologien für die Energiewende: Kriterienraster – Teilbericht 1 zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts "Trends und Perspektiven der Energieforschung". Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie; Zukünftige Energie- und Industriesysteme. Wuppertal Report, Wuppertal. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-70812>



**Juri Horst**

T +49 (0)681 844 972-37

E [horst@izes.de](mailto:horst@izes.de)

IZES, Arbeitsfeldleitung, Arbeitsfeld  
Energienmärkte



**Dr. Uwe Klann**

T +49 (0)681 844 972-86

E [klann@izes.de](mailto:klann@izes.de)

IZES, wiss. Mitarbeiter



**Dr. Patrick Matschoss**

T +49 (0) 30 568 372 94

E [matschoss@izes.de](mailto:matschoss@izes.de)

IZES, wiss. Mitarbeiter, Projektleiter



**Dr. Christian Lutz**

T +49 (0) 541 40933 - 120

E [lutz@gws-os.com](mailto:lutz@gws-os.com)

GWS, Geschäftsleitung, Leitung des  
Bereichs Energie und Klima



**Maximilian Banning**

T +49 (0) 541 40933 - 286

E [banning@gws-os.com](mailto:banning@gws-os.com)

GWS, wiss. Mitarbeiter (Energie und Klima)



**Lisa Becker**

T +49 (0) 541 40933 – 287

E [becker@gws-os.com](mailto:becker@gws-os.com)

GWS, wiss. Mitarbeiterin (Energie und Klima)



**Dr. Katharina Hembach-Stunden**

T +49 (0) 541 40933 - 220

E [hembach-stunden@gws-os.com](mailto:hembach-stunden@gws-os.com)

GWS, wiss. Mitarbeiterin (Energie und Klima)



Institut für ZukunftsEnergie-  
und Stoffstromsysteme

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Haben Sie weitere Fragen oder Anmerkungen?  
Kontaktieren Sie mich bitte:

Patrick Matschoss, Uwe  
Klann, Juri Horst

[matschoss@izes.de](mailto:matschoss@izes.de)

[klann@izes.de](mailto:klann@izes.de)

[horst@izes.de](mailto:horst@izes.de)