

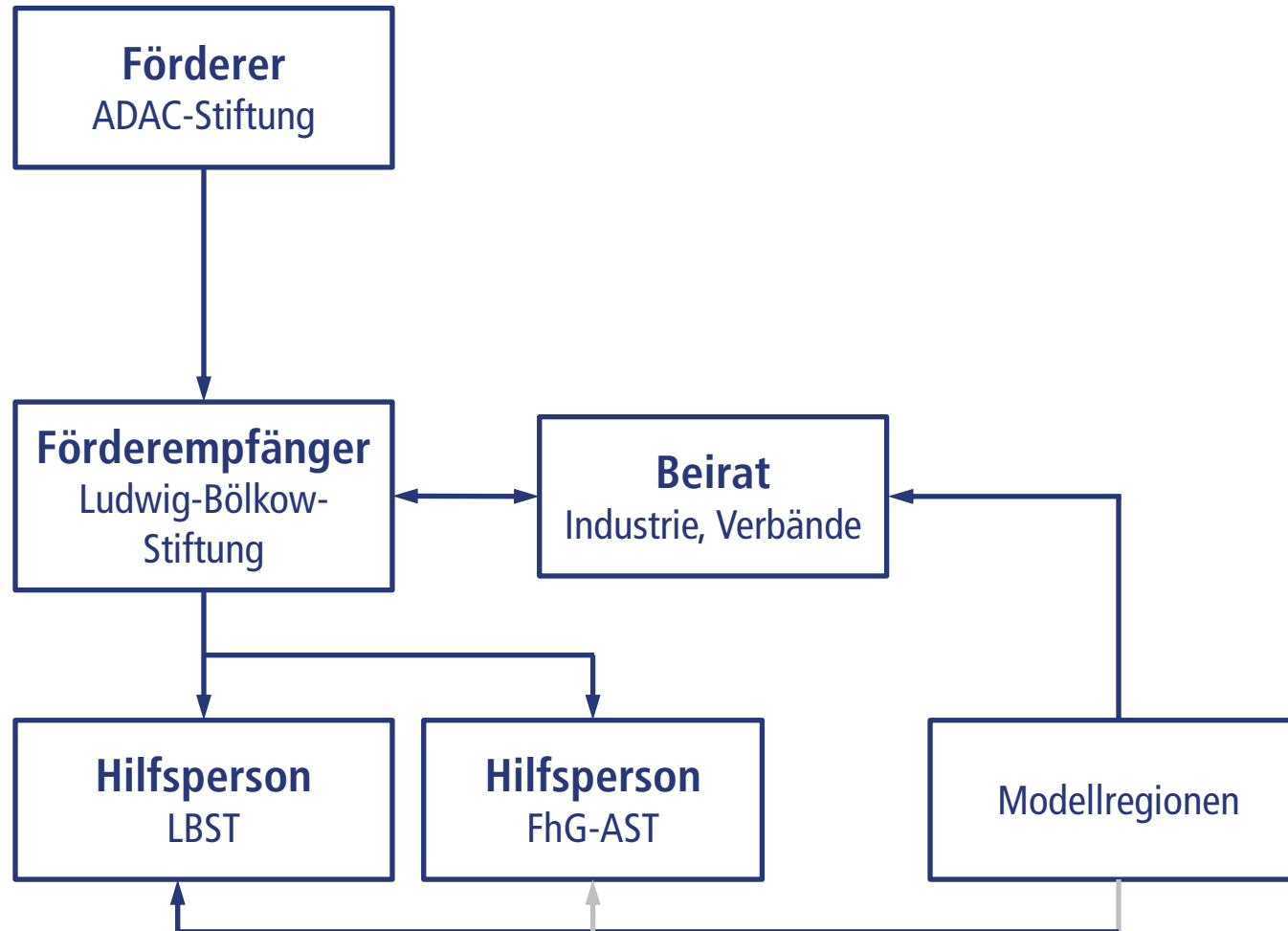
„Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen in Deutschland“

eine Studie der Ludwig-Bölkow-Stiftung
Dr. Werner Zittel

Inhaltliche Bearbeitung:
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung Institutsteil Angewandte
Systemtechnik (IOSB-AST)

gefördert durch die ADAC Stiftung

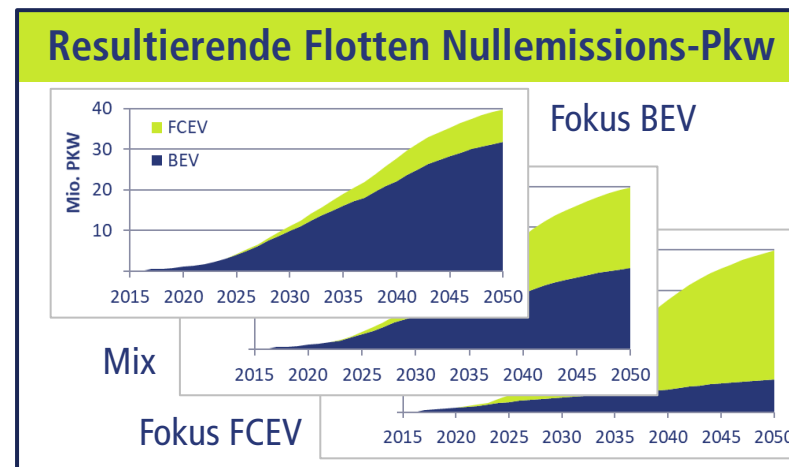
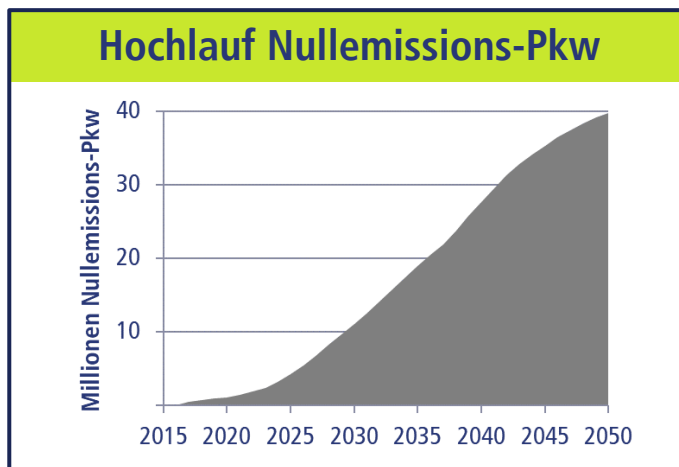
Ergebnispräsentation am 27. Juni 2019 in Berlin



- Basisannahmen

- Nullemissions-Pkw 40 Mio. in 2050
- Drei Mobilitätsszenarien für die Stützjahre 2030, 2040, 2050

Szenarien	Anteil Batterie-Pkw (BEV)	Anteil Brennstoffzellen-Pkw (FCEV)
Fokus BEV	80 %	20 %
Mix	50 %	50 %
Fokus FCEV	20 %	80 %

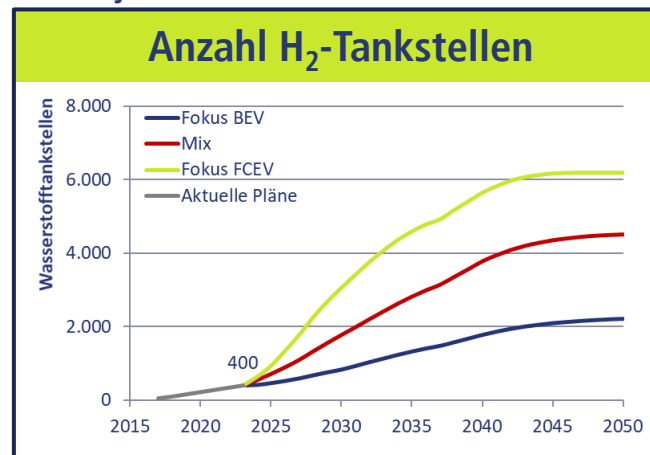
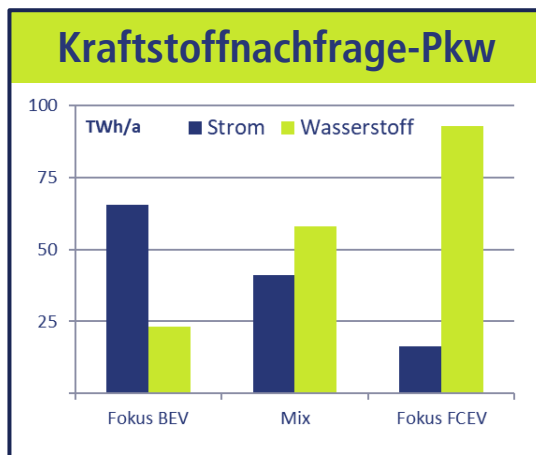


■ Energiebedarf und Fahrleistung Pkw

		Heute	2030	2050
Batterie-Pkw	kWh/km	0,17	0,16	0,15
Brennstoffzellen-Pkw	kWh/km	0,29	0,24	0,21
Fahrleistung	km/Jahr		14.000	

■ Bedarf Ladesäulen und Wasserstofftankstellen

- Ladepunkte 2050 je nach Szenario zwischen 9,6 und 38,4 Millionen
- Wasserstofftankstellen 2050 je nach Szenario zwischen ca. 2.000 und ca. 6.000 (var. Kapazitäten)

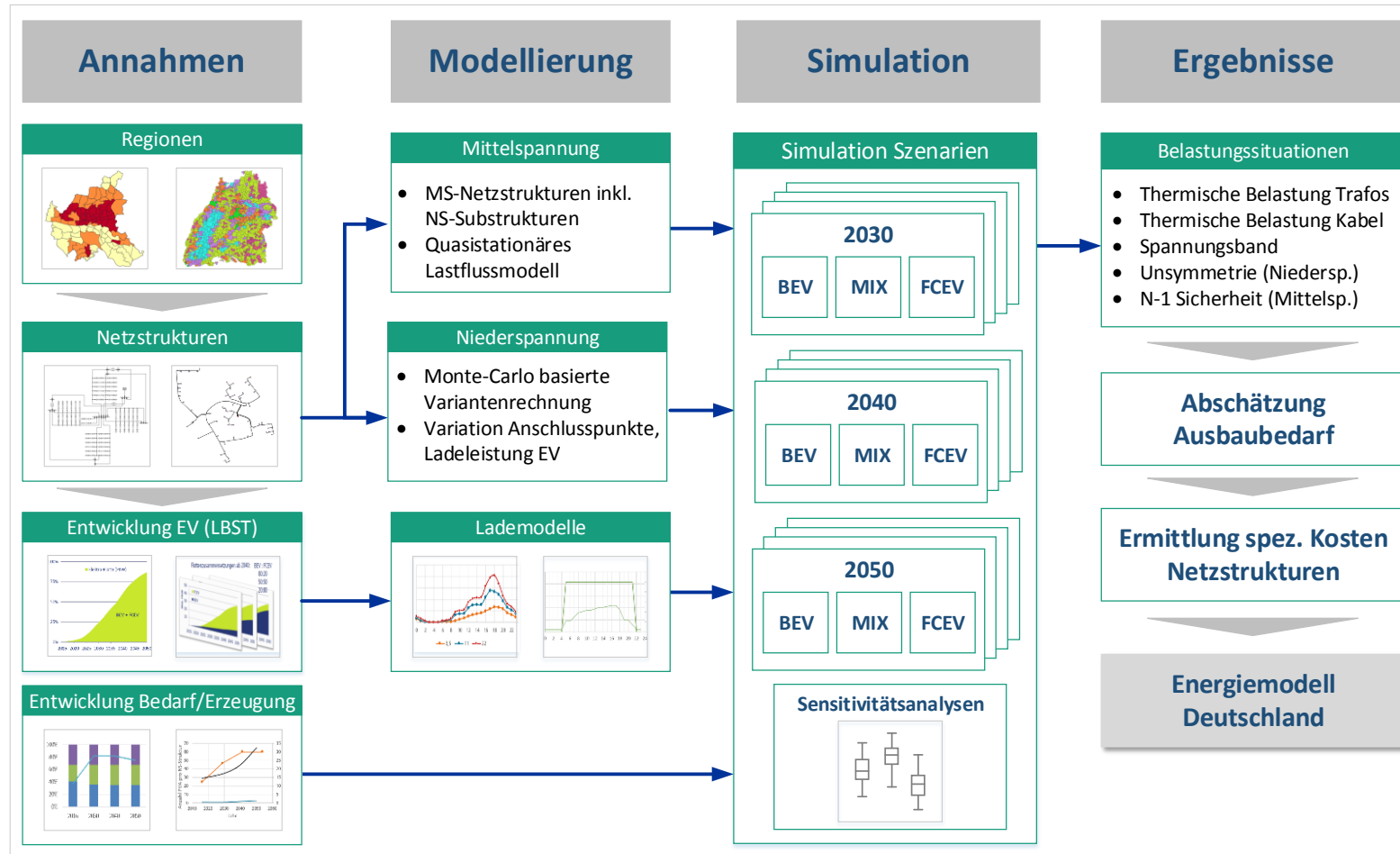


Anzahl Ladepunkte

	Ladepunkte		BEV
Öffentliches Normalladen	(AC)	1	: 16,5
Öffentliches Schnellladen	(DC)	1	: 165
Private Laden	(AC)	1,125	: 1

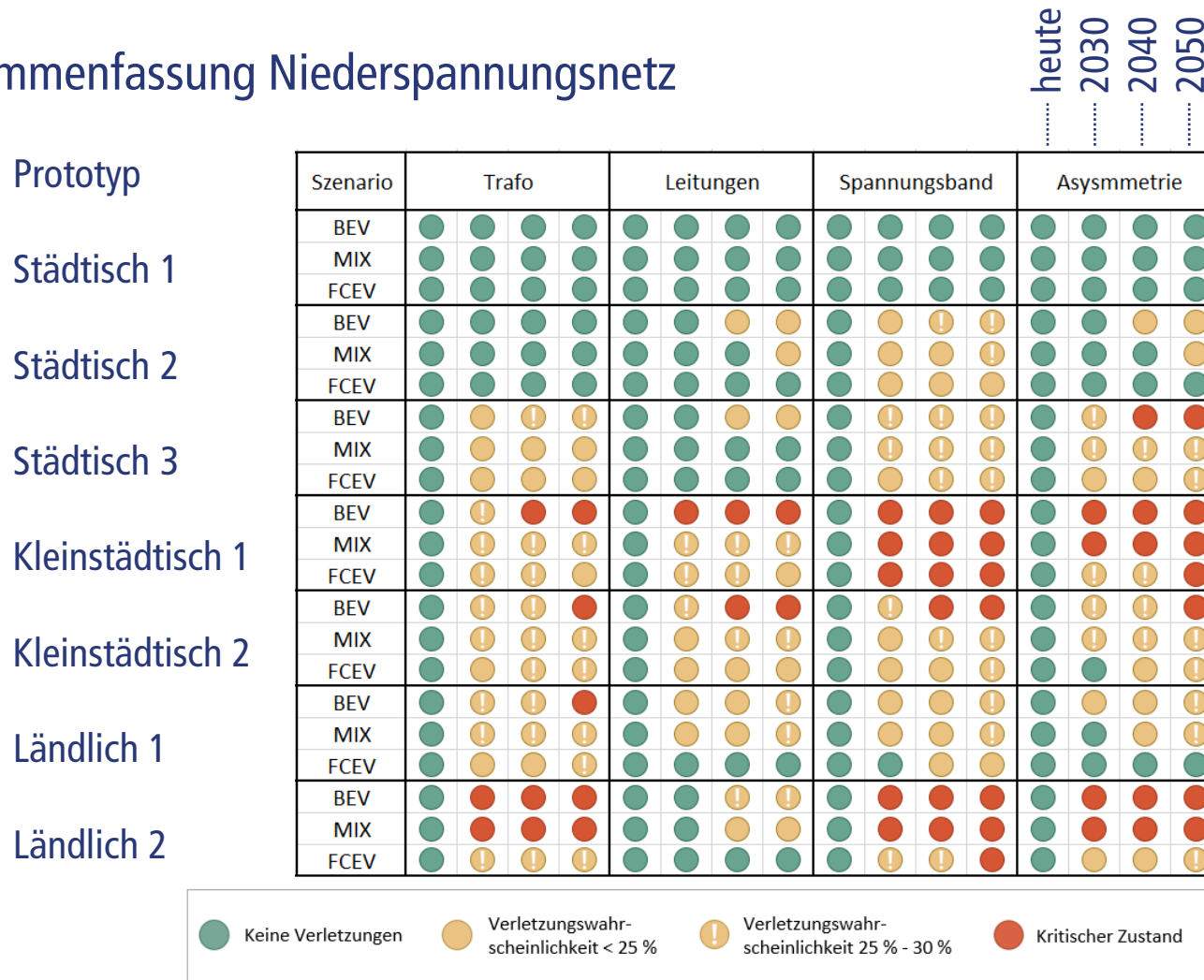
Auf Basis: Nationale Plattform Elektromobilität

■ Verteilnetzsimulation

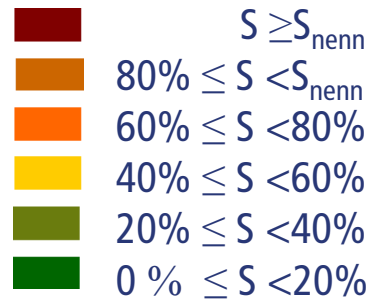


Ergebnisse Ladeinfrastruktur

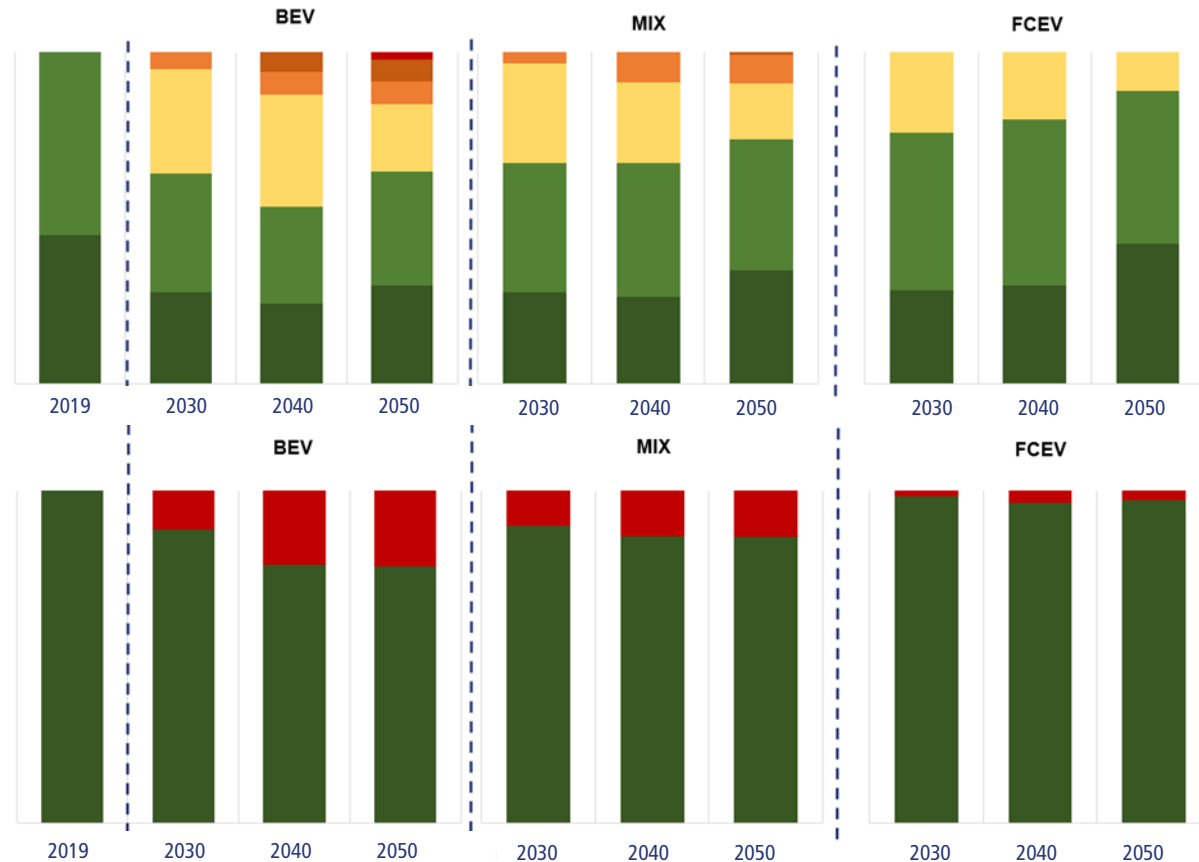
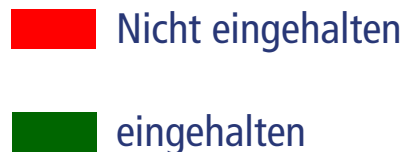
Zusammenfassung Niederspannungsnetz



- **Mittelspannungsnetz (Beispiel ländliche Region)**
 - Transformatorbelastung (relativ zur Nennlast)



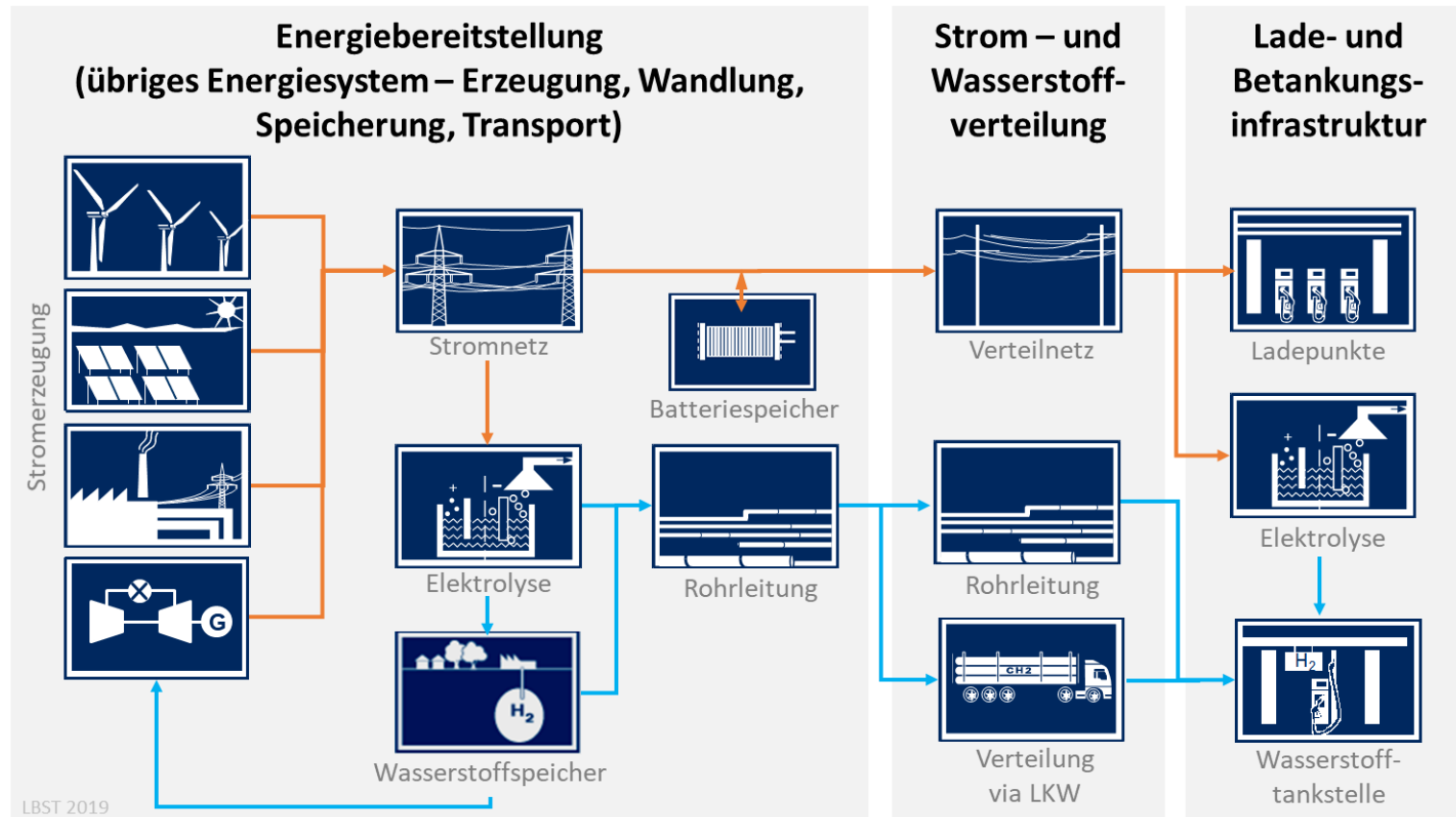
- N-1 Kriterium



- Hochrechnung Ausbaukosten Verteilnetz je Szenario (BEV-Ladepunkte)
 - Klassifizierung prototypischer Verteilnetzstrukturen anhand der Daten aus den Modellregionen
 - Definition von Ausbaukriterien (Grenzwerte für Kabellast, Spannungsband, Unsymmetrie, ONT-Last)
 - Bestimmung der Ertüchtigungskosten in den prototypischen Netzstrukturen
 - Zuordnung aller Deutschland weiten Ortsnetze anhand von Bevölkerungs- und Kfz-Dichte zu prototypischen Regionen
 - Hochrechnung der Ertüchtigungskosten auf ganz Deutschland
- Berechnung der Gesamtkosten (BEV-, FCEV-Infrastruktur)
 - Berechnung und Addition der Kosten für Ladepunkte und Wasserstofftankstellen
 - Modellierung Energiesystem Deutschland
 - Least-Cost-Optimierung und CO₂-Emissionsvorgaben als Ausbaukriterium

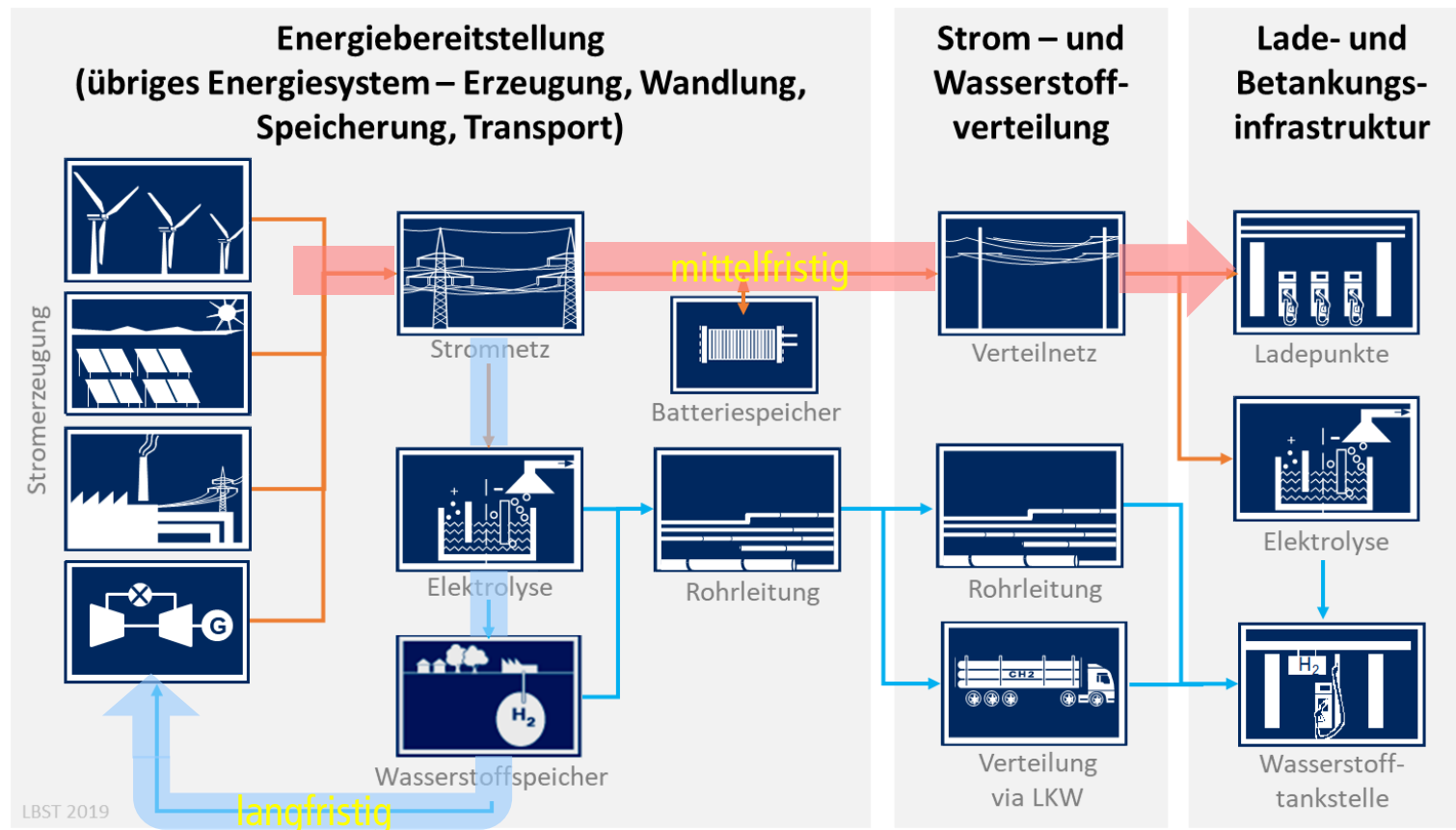
Energiebereitstellungskette Nullemissions-Pkw

- Betrachtung linearer Effizienzketten bei hohem Anteil EE-Strom ungenügend
- Zeitliche Betrachtung erforderlich (Energie- und Leistungsspeicher)



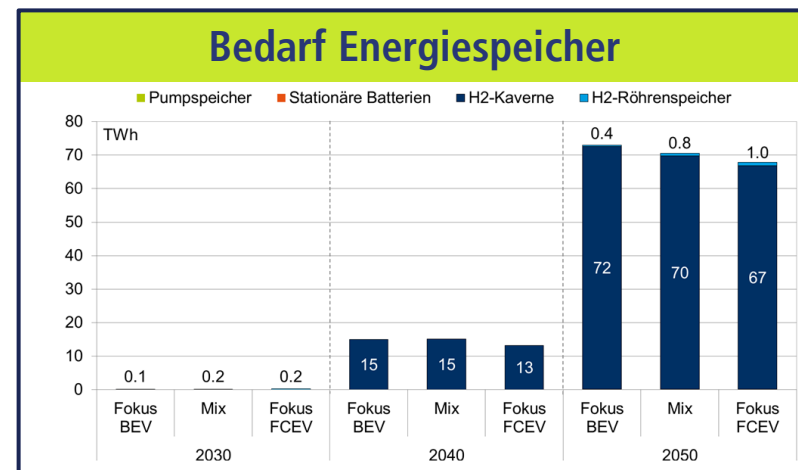
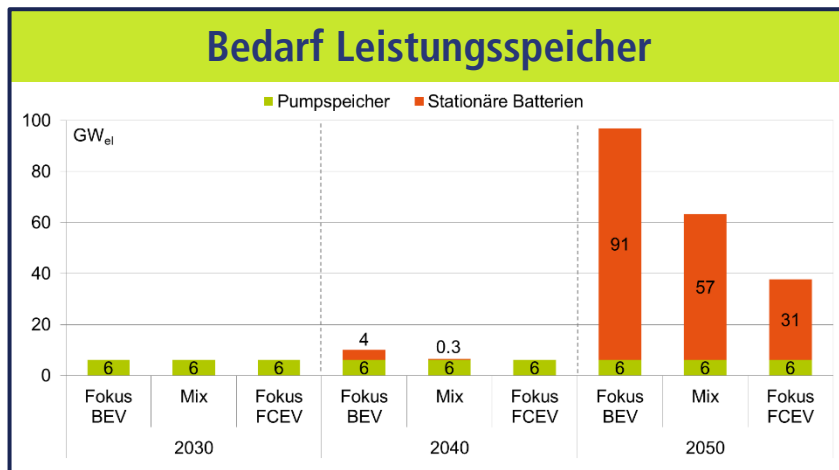
Energiebereitstellungskette Nullemissions-Pkw

- Betrachtung linearer Effizienzketten bei hohem Anteil EE-Strom ungenügend
- Zeitliche Betrachtung erforderlich (Energie- und Leistungsspeicher)



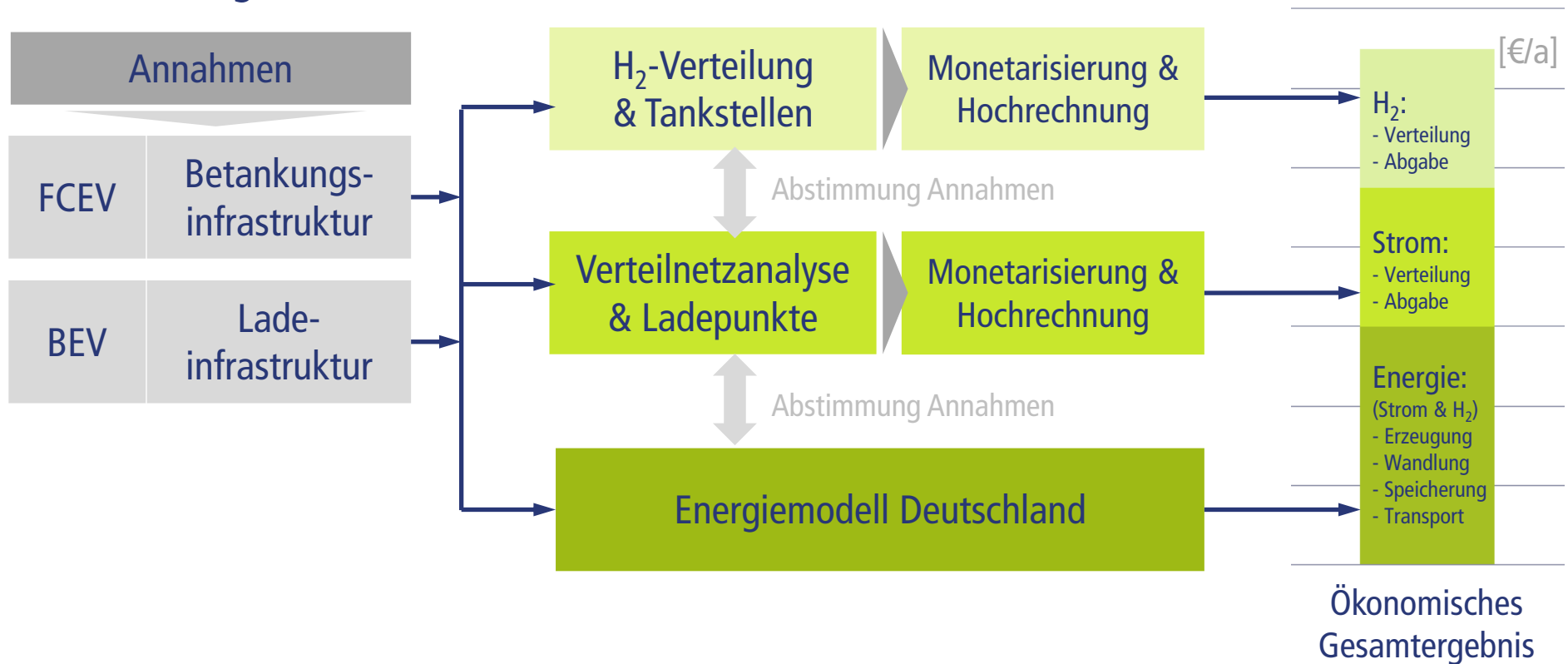
Einfluss der Mobilitätsszenarien auf das Energiesystem

- **Mittelfristig:** Energieversorgung für BEV effizient möglich (Vorteile durch hohe Effizienz der Batteriefahrzeuge)
 - Gesicherte Leistung und Energie durch konventionellen Kraftwerkspark
- **Langfristig:** Energie- und Leistungsspeicher zur Versorgung von BEV notwendig (Vorteile der Fahrzeugeffizienz werden durch Speicherbedarf „kompensiert“)
 - Gesicherte Leistung und Energie durch Speichertechnologien (Batterie- und Gasspeicher)
 - Bedarf Energiespeicher nahezu unabhängig vom Mobilitätsszenario
 - Bedarf Leistungsspeicher abhängig vom Anteil BEV

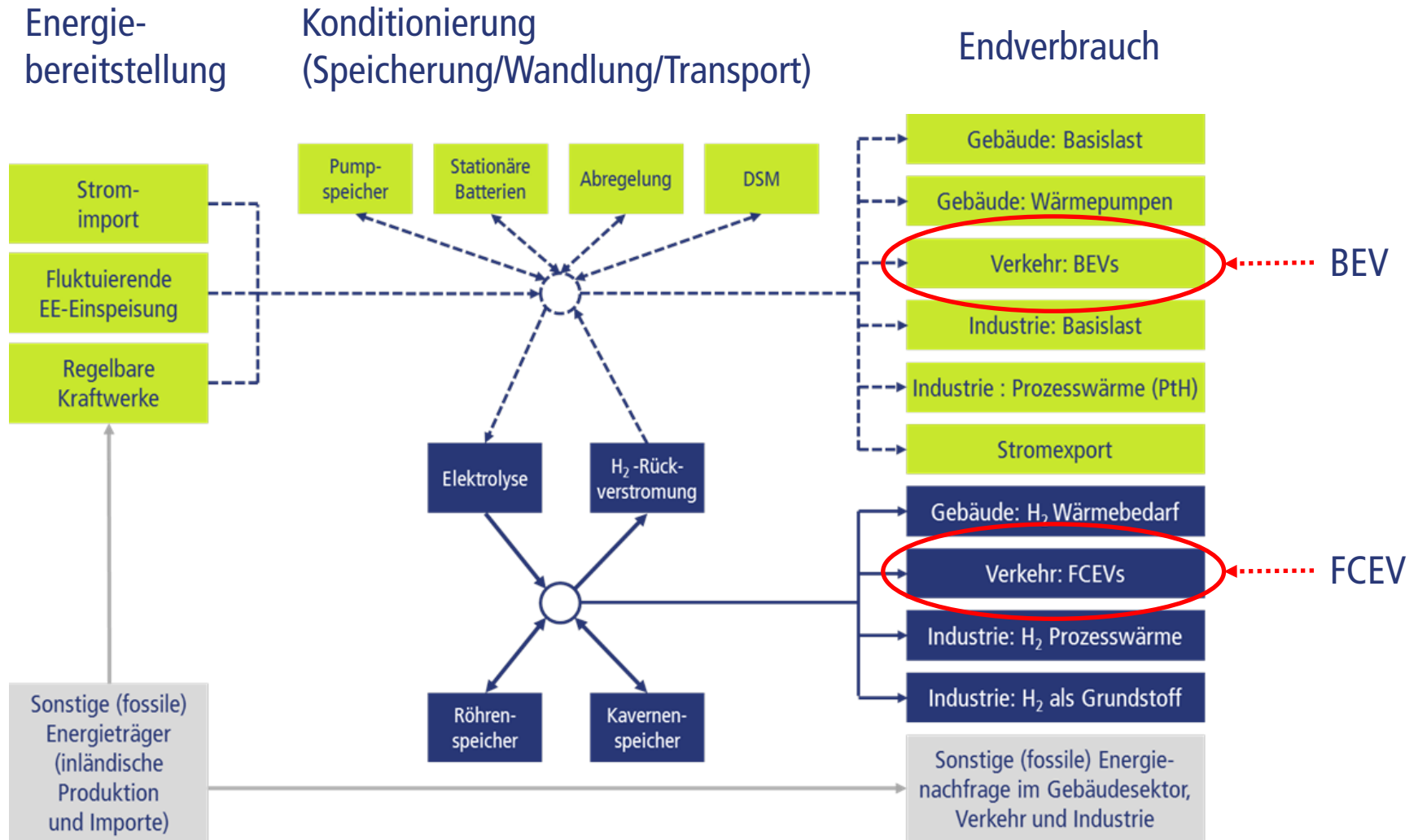


Von Einzelanalysen zum ökonomischen Gesamtergebnis

- Die Relevanz der einzelnen Aspekte zeigt sich im Gesamtkontext
- Zusammenführung der Kosten als Annuität (€/Jahr); Abschreibung Investition über Nutzungsdauer

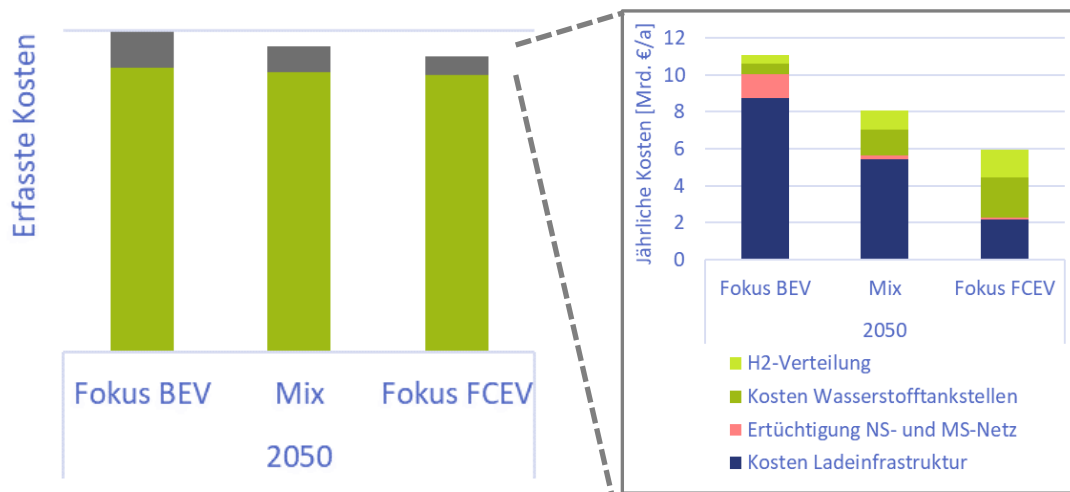


Modellierung auf Systemebene (7 Regionen; 8760 h/a)



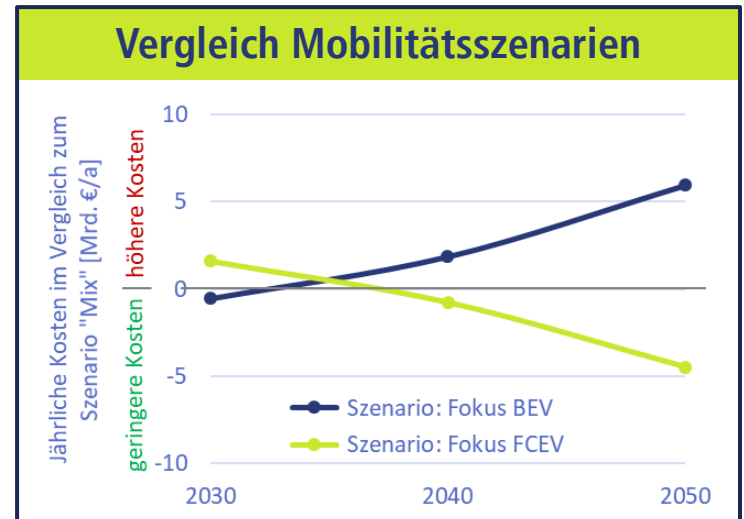
Ökonomisches Gesamtergebnis

- Kostenunterschiede langfristig vor allem durch Lade- und Betankungsinfrastruktur
- Die Kosten für private Ladepunkte haben maßgeblichen Einfluss
- H₂-Betankungsinfrastruktur vor allem bei hohen Fahrzeugzahlen kosteneffizient
- Bis 2040 weitgehend gleiche Gesamtkosten; Langfristig Vorteile steigende Anteile FCEV



■ Energieversorgungsinfrastruktur für Nullemissions-Pkw

■ Energiemodell



Studienerkenntnisse (1)

- Netzbelastung typischerweise im Speckgürtel/ländlichen Raum relativ zur Gesamtlast größer als im Zentrum von Ballungsräumen.
- Konkrete Analyse in jedem Einzelfall erforderlich.
- Einen maßgeblichen Anteil an den Infrastrukturkosten für BEV haben die Ladepunkte.
- Infrastrukturaufbau bei geringer Marktdurchdringung für BEV günstiger; bei hoher Marktdurchdringung jedoch für FCEV geringer.
- Steigender FCEV-Anteil führt nicht zu höheren Infrastrukturkosten.



- Die gemeinsame planerische Entwicklung beider Energievektoren (strombasiert/H₂-basiert) führt zu Synergien und Kostenreduktion im Gesamtsystem.
- Der **Fahrzeugwirkungsgrad** ist bei Batteriefahrzeugen (BEV) höher als bei Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV), aber der **Systemwirkungsgrad** wird langfristig vergleichbar, da der benötigte Strom für Batteriefahrzeuge mit deutlichen Verlusten teilweise stationär gespeichert und wiederverstromt werden muss.
- Investitionskosten im stationären Energiesektor bei Umstellung auf Null-CO₂-Emissionen bis 2050 deutlich höher als im Verkehrssektor.

Handlungsempfehlungen

- Auf politischer/strategischer Ebene
 - Konsolidierte Einführungsstrategie (Verkehrsministerium, Industrie)
 - Vorgabe von Rahmenbedingungen zur Anschlussfähigkeit von BEV- und H₂-Infrastruktur bei Sektorenkopplung (Politik, Verbände, Netzagentur)
 - Frühe Integration der Kopplung in **Bedarfs-** und **Netzentwicklungspläne (EU, D)**
- Stromnetz
 - Konkrete Netzbelastungsplanung als Grundlage für potentiellen Ertüchtigungsbedarf
 - Im Ertüchtigungsfall Priorisierung kostengünstiger Maßnahmen
 - Regulatorische Voraussetzungen für verteilnetzdienliches Lademanagement schaffen (z.B. für gesteuertes Laden)
- Wasserstoffnetz
 - Analyse der potentiellen Umwidmung von Erdgas- zu Wasserstoffleitungen
 - Entwicklung einer übergeordneten deutschen bzw. europäischen Wasserstoff-Gasnetzstrategie
 - Rahmenbedingungen zur geschäftlichen Integration großtechnischer H₂-Speicherung

Handlungsempfehlungen (technisch-regulatorisch)

- Ladesäulenverordnung (LSV) bzgl. Normalladepunkt anpassen (gleichmäßige Verteilung auf drei Netzphasen)

	Installation	Anzeige- pflicht	Nachweispflicht	Einheitliche Stecker
Normal- ladepunkt 	Nach Inkrafttreten der LSV	✓	✗	Ab 17.06.2016 ✓
	Vor Inkrafttreten der LSV	✗	✗	✗
Schnell- ladepunkt 	Nach Inkrafttreten der LSV	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Techn. Anforderungen nach § 3 II, III LSV • Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV 	Ab 17.06.2016 ✓
	Vor Inkrafttreten der LSV	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV 	✗

Überwachung und ggf. Steuerung der Phasennutzung einphasiger Ladepunkte durch Netzbetreiber

Quelle: Bundesnetzagentur

- Es sind auch alternative/komplementäre Maßnahmen denkbar

Handlungsempfehlungen (Strategisch)

- Nationalen Strategierahmen (NSR-IfAK) erweitern um kombinierte Strategie des Infrastrukturaufbaus zur Betankung von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen und entsprechende Anreize zur konkreten Analyse auf regionaler und/oder kommunaler Ebene



Vielen Dank!

Dr. Werner Zittel
Ludwig-Bölkow-Stiftung
Daimlerstr. 15
85521 Ottobrunn