

Auswirkungen der Wasserstoffmobilität auf das Stromsystem am Beispiel Baden-Württembergs

Frieder Borggrefe, Hans Christian Gils, Thomas Pregger

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt
Systemanalyse und Technologiebewertung

Institut für Technische Thermodynamik
Stuttgart



Studie: Kommerzialisierung der Wasserstoff-Technologie in Baden-Württemberg

- Studienziele: Analysen zur ...

- Implementierung von Wasserstoff in verschiedenen Märkten (Verkehr, Industrie, Strom- & Erdgasnetz):
-> Fokus auf erneuerbarer Herstellung und bestehenden Infrastrukturen
- Wirtschaftliche Randbedingungen sowie strukturelle und ökologische Wirkungen
- Handlungsempfehlungen für industrielle und politische Maßnahmen

- Auftraggeber:



- e-mobil Baden Württemberg, Cluster Brennstoffzelle
- Ministerium für Umwelt, Klimaschutz und Energie
- Ministerium für Finanzen und Wirtschaft
- Ministerium für Transport und Infrastruktur



1.1 Ausgangspunkt: Wasserstoffnutzungspotenzial im Verkehr bis 2030 - PKW

	konservative Rahmenbedingungen		ambitionierte Rahmenbedingungen	
	2020	2030	2020	2030
FCEV Bestand BW	200 St.	3.500 St.	600 St.	140.000 St.
H ₂ -Bedarf BW	35.411 kg	579.574 kg	106.234 kg	23.182.954 kg
FCEV Bestandsanteil BW	0,00%	0,06%	0,01%	2,31%



1.1 Ausgangspunkt: Wasserstoffnutzungspotenzial im Verkehr bis 2030 - PKW

TLR 6-7
↓
TLR 9



	konservative Rahmenbedingungen		ambitionierte Rahmenbedingungen	
	2020	2030	2020	2030
FCEV Bestand BW	200 St.	3.500 St.	600 St.	140.000 St.
H ₂ -Bedarf BW	35.411 kg	579.574 kg	106.234 kg	23.182.954 kg
FCEV Bestandsanteil BW	0,00%	0,06%	0,01%	2,31%

Akzeptanz und Modellangebot	<ul style="list-style-type: none"> Moderate Entwicklung der Kundenakzeptanz bzgl. der Brennstoffzellentechnologie Eingeschränkte Modellvielfalt USA , Japan und evtl. China als Zielmärkte für Brennstoffzellenfahrzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> Steigerung der Kundenakzeptanz bzgl. der Brennstoffzellentechnologie Zunahme der Modellvielfalt DE neben USA , Japan und evtl. China als Zielmärkte für Brennstoffzellenfahrzeuge
Politischer / Rechtlicher Rahmen	<ul style="list-style-type: none"> Moderate Verschärfung der CO₂-Zielvorgaben für 2030 	<ul style="list-style-type: none"> Drastische Verschärfung der CO₂-Zielvorgaben für 2030 Deutliche politische Unterstützung von Wasserstoff und Brennstoffzellen-Fahrzeugen (Analog NPE für BEVs)
Kostenentwicklung/TCO	<ul style="list-style-type: none"> Nur geringe BZ-Kostendegression Kein konkurrenzfähiger Wasserstoffpreis 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe BZ-Kostendegression(z.B. durch neue Technologien/Verfahren) Konkurrenzfähiger Wasserstoffpreis
Tankstellenabdeckung	<ul style="list-style-type: none"> Moderater Netzausbau, keine flächendeckende Abdeckung von H₂-Tankstellen 	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkter Netzausbau, flächendeckende Abdeckung von H₂-Tankstellen ist gegeben
Technologiewettbewerb	<ul style="list-style-type: none"> Starke Konkurrenzsituation zwischen der Brennstoffzellen- und der Batterietechnologie 	



1.1 Ausgangspunkt: Wasserstoffnutzungspotenzial im Verkehr bis 2030 – LKW und ÖPV

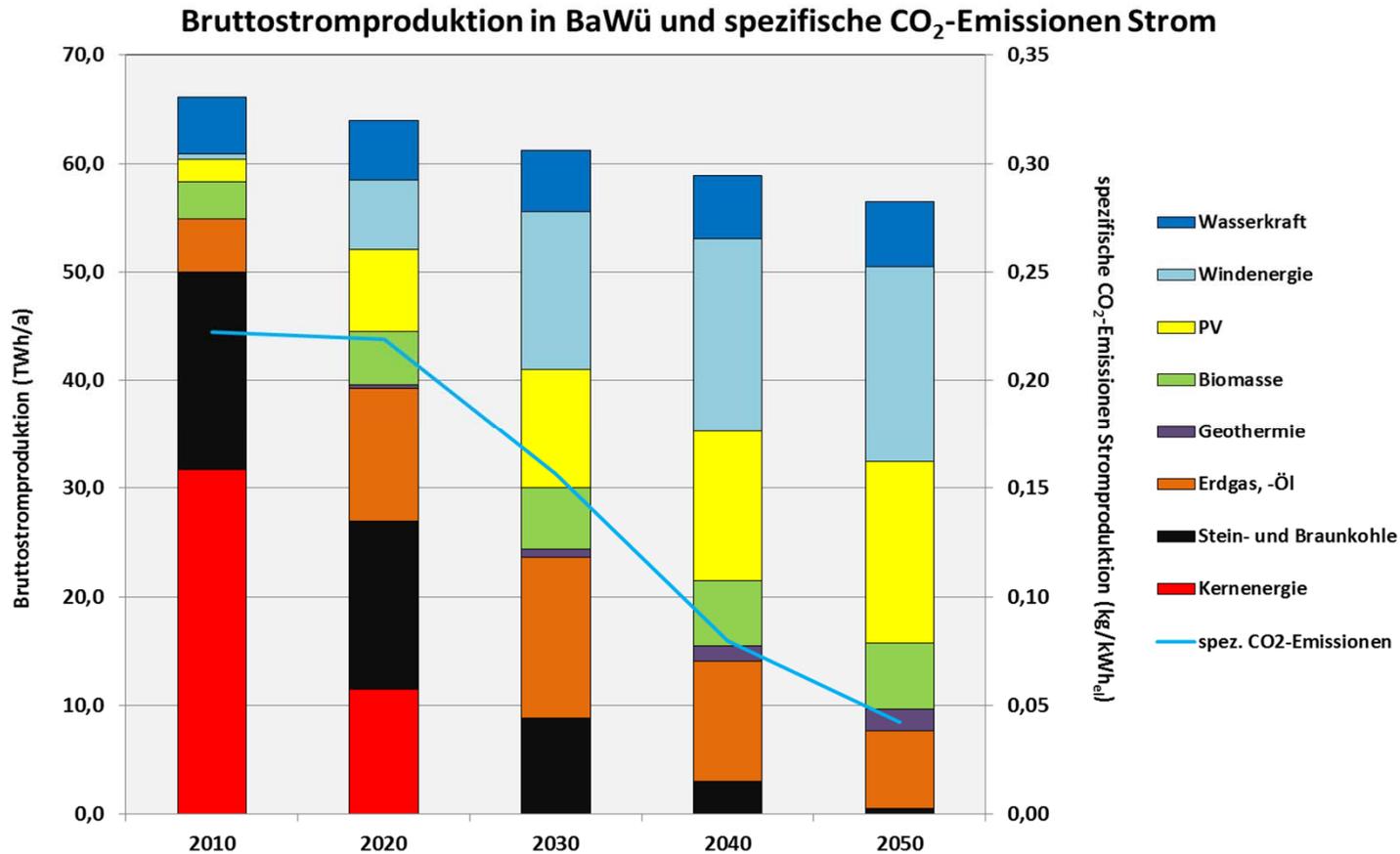
		konservative Rahmenbedingungen		ambitionierte Rahmenbedingungen	
TLR 5 ↓ TLR 6-8		2020	2030	2020	2030
	FCEV Bestand BW	LNF: 0 St. SNF: 0 St.	LNF: 1.000 St. SNF: 100 St.	LNF: 150 St. SNF: 0 St.	LNF: 6.000 St. SNF: 600 St.
	H ₂ -Bedarf BW	LNF: 0 kg SNF: 0 kg	LNF: 471.357 kg SNF: 244.141 kg	LNF: 75.598 kg SNF: 0 kg	LNF: 2.828.142 kg SNF: 1.378.555 kg
	FCEV Bestandsanteil BW	LNF: 0,00% SNF: 0,00%	LNF: 0,41% SNF: 0,11%	LNF: 0,06% SNF: 0,00%	LNF: 2,48% SNF: 0,68%
TLR 6 ↓ TLR 9		2020	2030	2020	2030
	Bestand BW	14	125	27	909
	H ₂ -Bedarf BW	59.944 kg	538.004 kg	119.888 kg	3.841.989 kg
	Bestandsanteil BW	0,2%	2%	0,5%	15%
TLR 4 ↓ TLR 8		2020	2030	2020	2030
	Bestand BW	6	14	10	54
	H ₂ -Bedarf BW	398.214 kg	914.015 kg	663.690 kg	2.085.211 kg
	Bestandsanteil BW	3%	7%	5%	25%



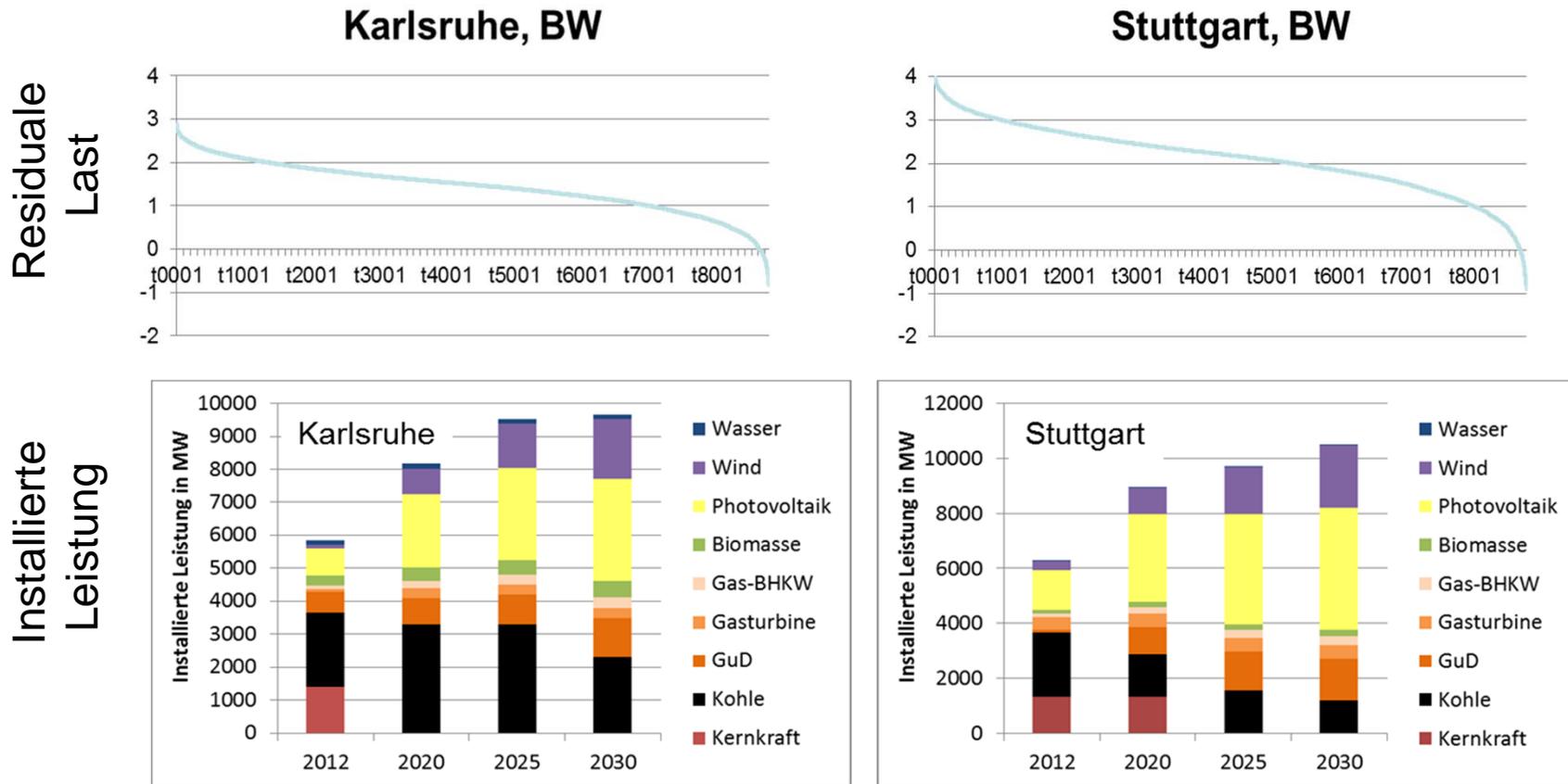
TLR = Technology Readiness Level



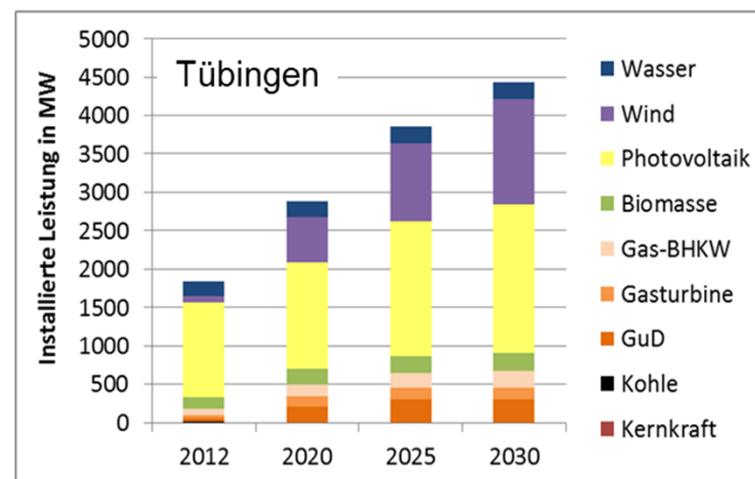
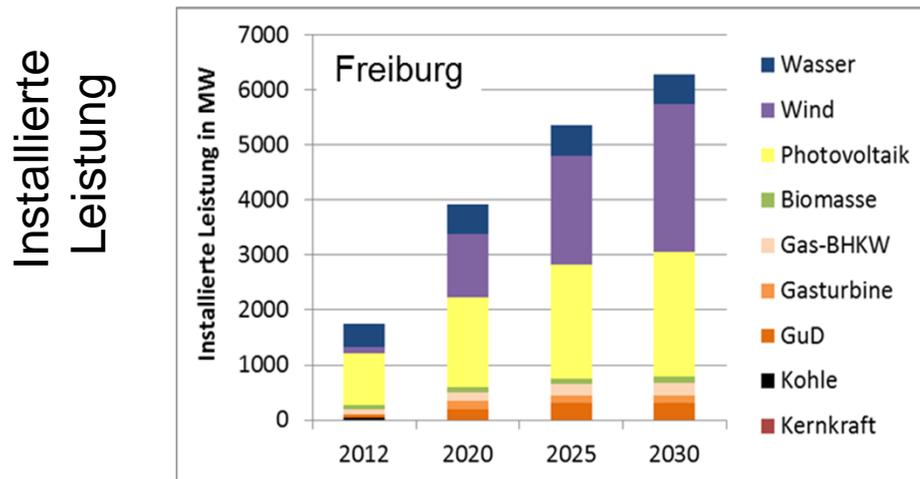
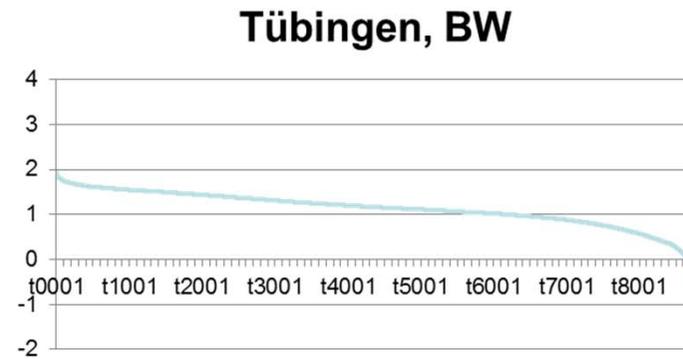
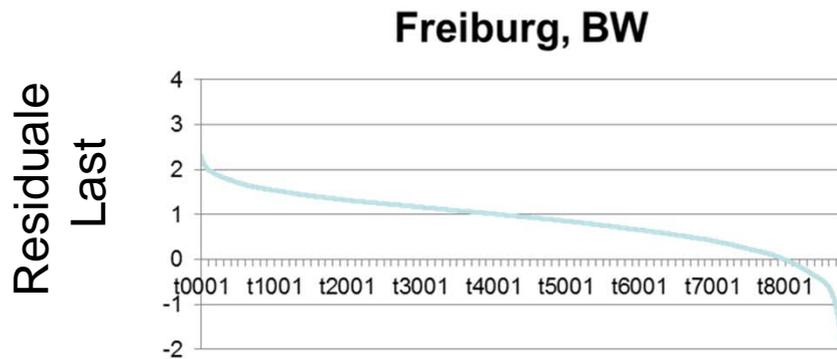
Können die spezifischen Emissionen im Verkehrssektor im Jahr 2030 durch die H2-Mobilität gesenkt werden?



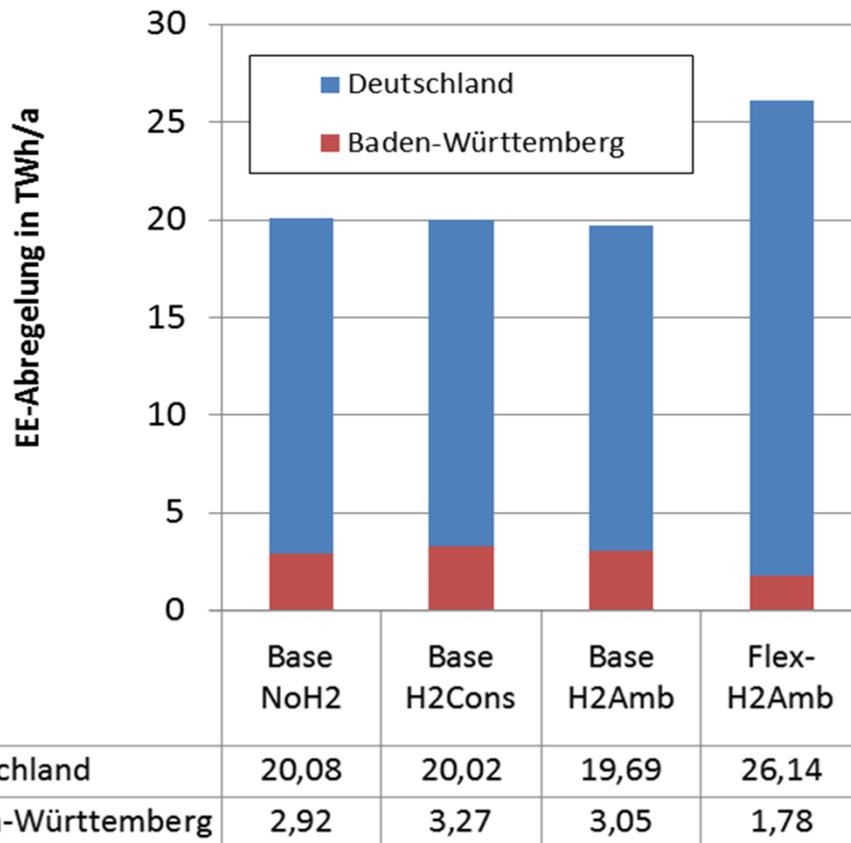
These 1: Überschussstrom stellt kein Business-Modell für die Wasserstoffverstromung in BW dar



These 1: Überschussstrom stellt kein Business-Modell für die Wasserstoffverstromung in BW dar



These 1: Überschussstrom stellt kein Business-Modell für die Wasserstoffverstromung in BW dar



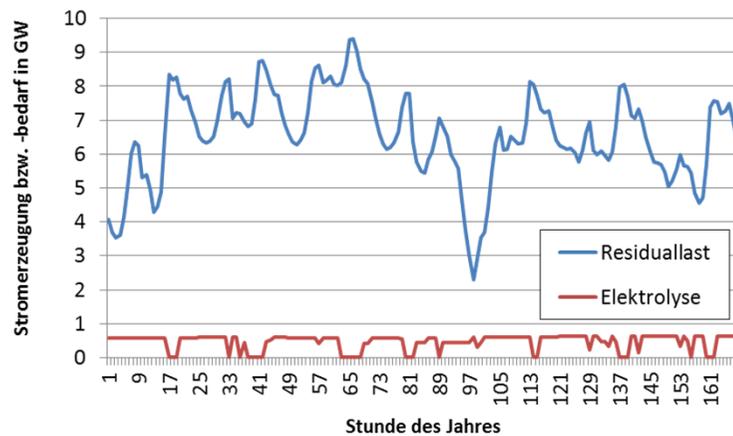
- Durch die hohe Korrelation der Solareinspeisung mit der täglichen Nachfrage gibt es wenig „Überschuss“ in Süddeutschland.
- Zudem ist Baden-Württemberg gut vernetzt mit den umliegenden Regionen/Ländern
- Die Abgeregelten Strommengen in Baden-Württemberg sind im Jahr 2030 vergleichsweise gering und beschränken sich auf weniger als 100 Stunden im Jahr.

Die Nutzung von „Überschussstrom“ stellt somit kein Business-Modell für die Wasserstoffverstromung in Baden-Württemberg dar.

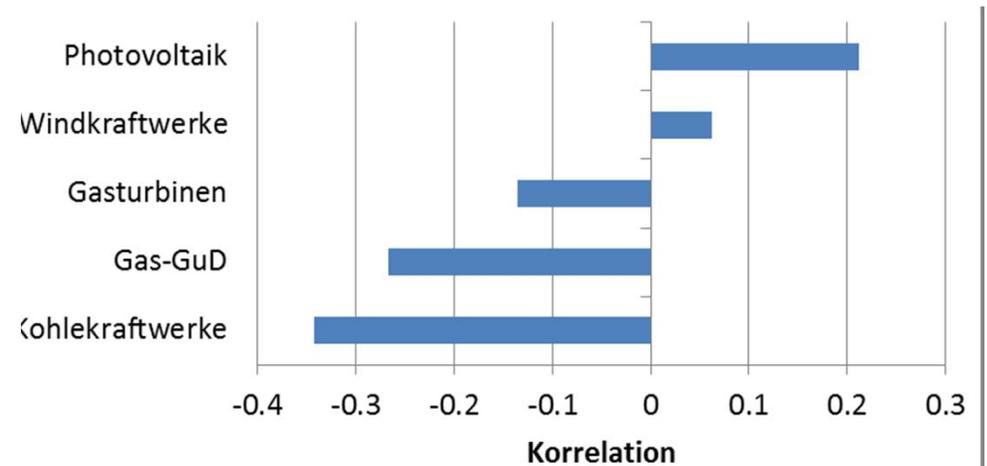


These 2: Elektrolyseure als Marktteilnehmer - Positive Korrelation mit EE-Erzeugung reduziert CO2-Emissionen

Einsatz der Elektrolyseure in Abhängigkeit vom Preissignal 2030

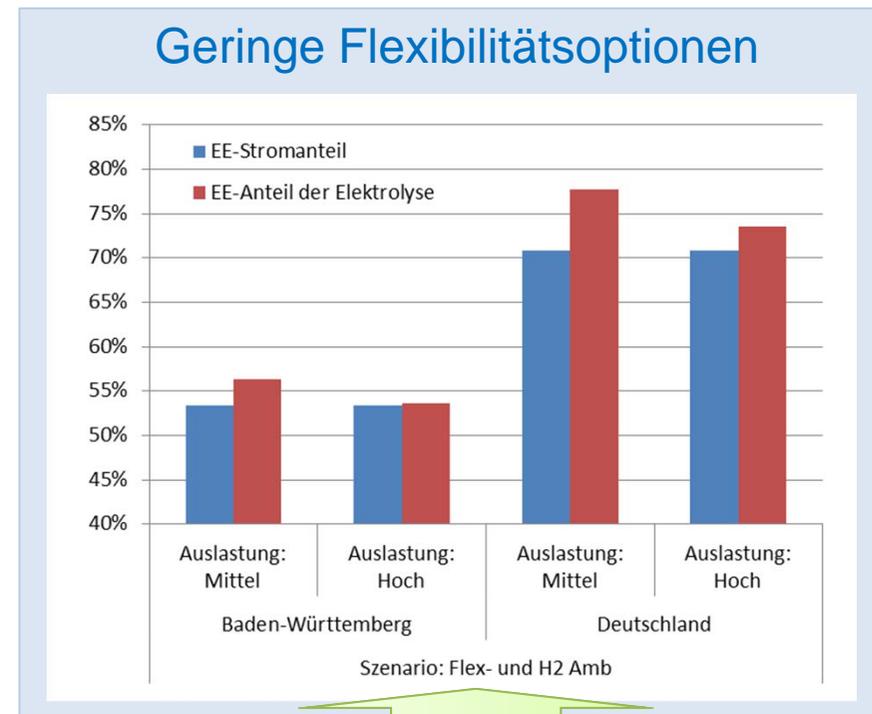
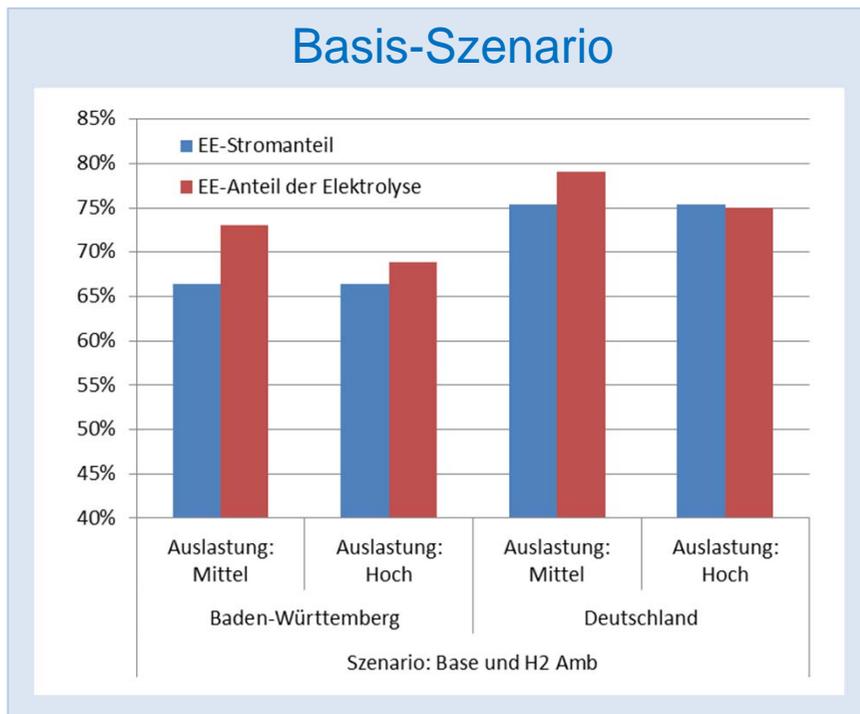


Positive Korrelation mit erneuerbaren Energien



Der EE-Anteil ist abhängig von der Konfiguration der Anlage und den Flexibilitätsoptionen im Stromsystem

Spezifische EE-Anteile der Elektrolyse im Basis-, ambitionierten und Flexibilitäts-Szenario

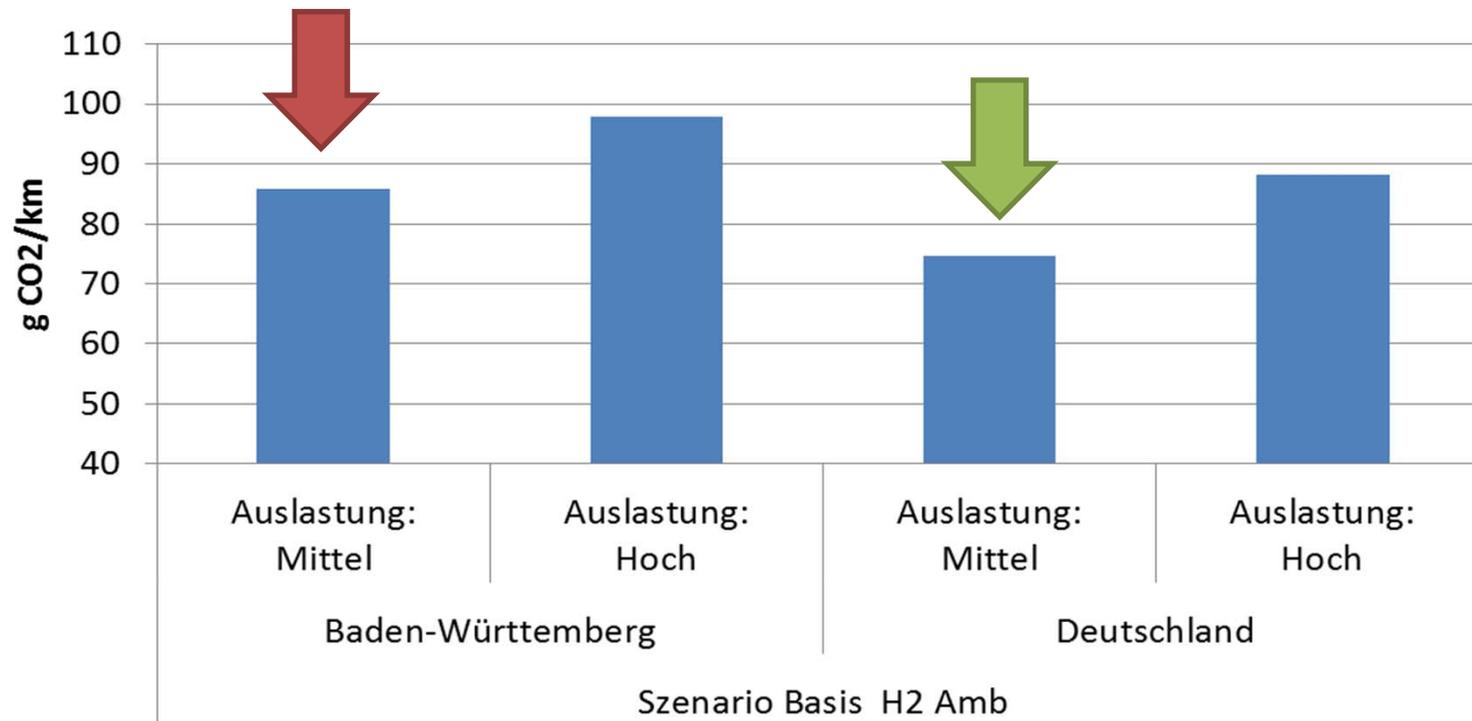


- ⊖ **Reduzierter innerdeutscher Netzausbau**
(nur ein HGÜ-Korridor Nord-/Süd bis 2030).
- ⊖ **Reduzierte Flexibilität von Last, KWK, Elektromobilen**
(kein DSM, keine Ladesteuerung, KWK wärmegeführt)



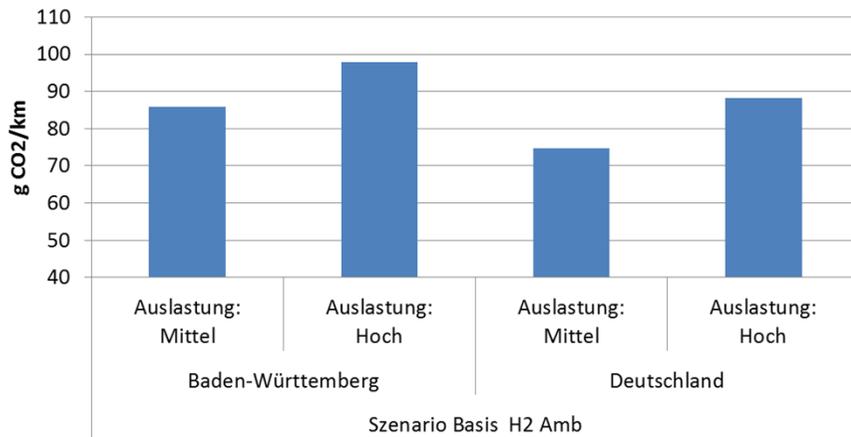
These 3: Spezifische Emissionen in 2030 für Brennstoffzellenfahrzeuge (etwas) niedriger als Benzin

Spezifische Emissionen H2-Fahrzeug wtw [g CO2/km]

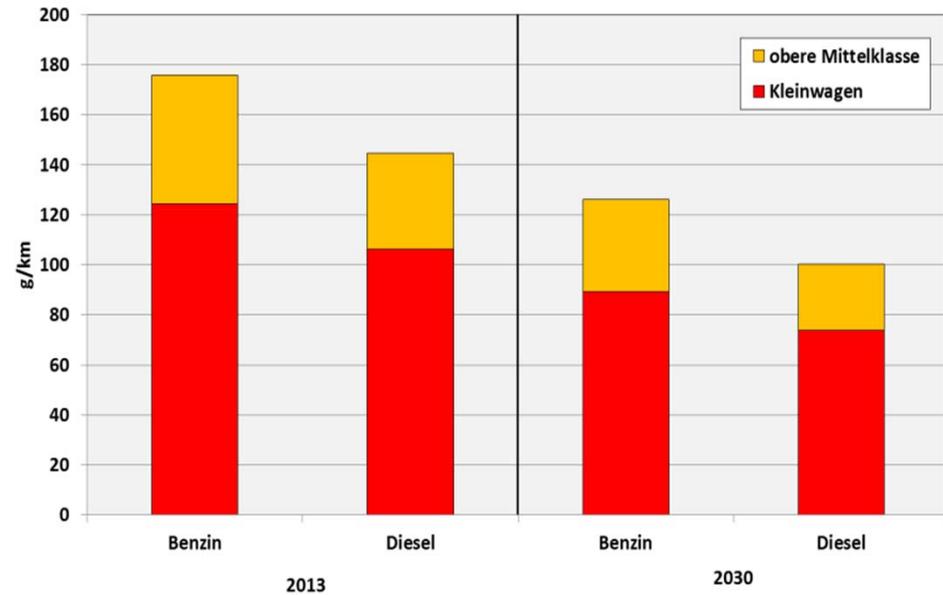


These 3: Spezifische Emissionen in 2030 für Brennstoffzellenfahrzeuge (etwas) niedriger als Benzin

Spezifische Emissionen H2-Fahrzeug wtw [g CO2/km]

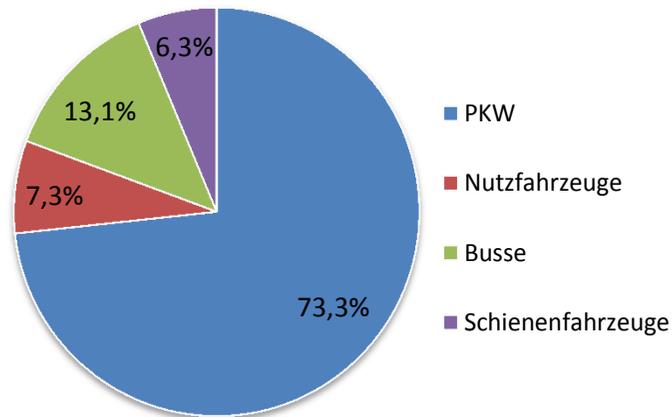


Entwicklung spezifischer CO2-Emissionen PKW (Neuzulassungen)

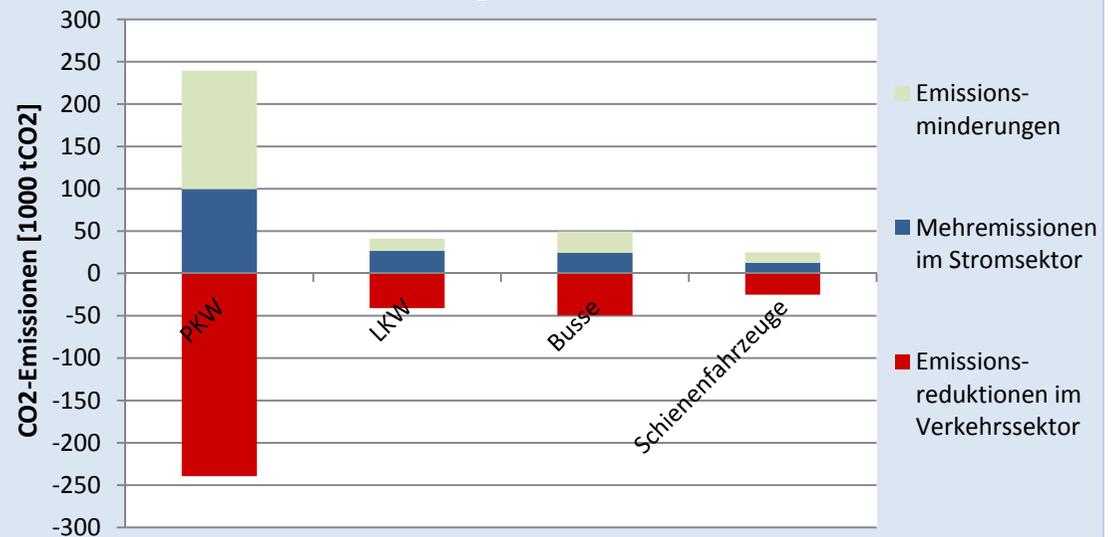


Emissionsminderung durch H2-Nutzung im Verkehr erfolgt überwiegend durch PKW

1. Anteil an Emissionsminderung in %



2. Beitrag zur Emissionsminderung durch Wasserstoffnutzung im Verkehr in 1000t CO2

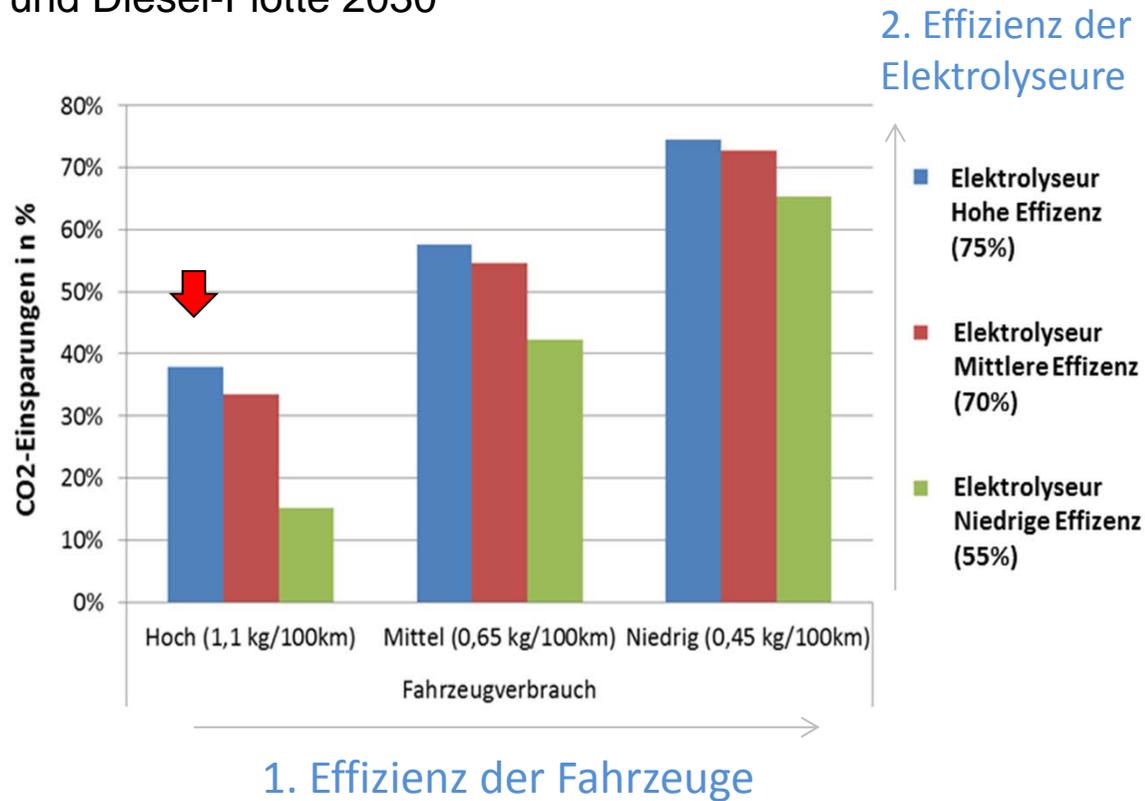


Emissionen [1000tCO ₂]	PKW	Nutzfahrzeuge	Busse	Schienenfahrzeuge	Gesamt
Verkehrssektor: Emissionseinsparungen durch Ersatz von Benzin und Dieselfahrzeugen inkl. Vorketten (WTW)	-240	-41	-49	-25	-355
Stromsektor: Mehremissionen der Stromerzeugung für die Elektrolyseure durch den H ₂ Bedarf im Verkehr	100	27	24	13	164
Emissionsminderungen gesamt	-140	-14	-25	-12	-191

CO2-Einsparungen: Komparativer Vorteil der Brennstoffzelle abhängig von technologischer Weiterentwicklung

Sensitivitätsanalyse:

CO2-Einsparungen im Vergleich zu Benzin und Diesel-Flotte 2030



1. Effizienz der Fahrzeuge:

- Größte Minderungspotentiale
- Deutliche technologische Entwicklung notwendig
 - Anpassung des Fahrverhaltens
 - Tendenz zu kleinen Fahrzeugen
 - Theoretische Werte

2. Effizienz der Elektrolyseure:

- Hohe Effizienzen absehbar (>75%)
 - Durch verbesserte Übertragung
 - Speicherung
 - „Fine-Tuning“ der Anlage



These 4: PEM und Alkali-Elektrolyse werden einen wichtigen Beitrag zur Systemstabilität leisten

Anforderung Primärregelenergie:

- Leistung in 30 Sekunden
- Nennleistung der konventionellen Kraftwerke für Primärregelung:
 - Kohle: 4%
 - Gas: 6%
- PEM-Elektrolyse fährt heute innerhalb von 30 Sekunden auf 100% Leistung (aus Hot-Stand-By)

Elektrolyse kann ihre gesamte Leistung für Primärregelleistung bereitstellen.

Technische Leistungsgradienten Elektrolyseure im Vergleich:

Anlage	Leistungsgradient P _N /min	Technische Mindestleistung %
PEM-Elektrolyse		
Anfahren	100%	0%
Abfahren	100%	
Alkali-Elektrolyse		
Anfahren	70-100%	0%
Abfahren	100%	
Braunkohle	2% - 8%	40% - 60%
Steinkohle	3% - 8%	30% - 40%
Gas	8% - 12%	20% - 40%
GuD	5% - 12%	20% - 40%
Pumpspeicher	100%	0% - 25%



PEM und Alkali-Elektrolyse haben die technische Voraussetzung - aber noch keinen Zugang zu Märkten

Anforderung Primärregelenergie:

- Leistung in 30 Sekunden
- Nennleistung der konventionellen Kraftwerke für Primärregelung:
 - Kohle: 4%
 - Gas: 6%
- PEM-Elektrolyse fährt heute innerhalb von 30 Sekunden auf 100% Leistung (aus Hot-Stand-By)

Elektrolyseure: Hohe Flexibilität, schnelle Anfahrt, geringe Kosten durch Lastverschiebung.

Beitrag zur Systemstabilität:

	Technisch möglich:	Marktzugang?
Regelenergie:		
	Primärreserve	Nein
	Sekundärreserve	Teilw.
	Minutenreserve	Ja
Beitrag zur Spitzenlastdeckung		
	Abschaltbare Lasten	Nein
Netzdienstleistungen:		
	Redispatch	Nein
	Ausgleichsenergie in Verteilnetzen	Teilw.

Marktbarrieren müssen abgebaut werden

Günstige Anbieter für Netz- und Systemstabilität



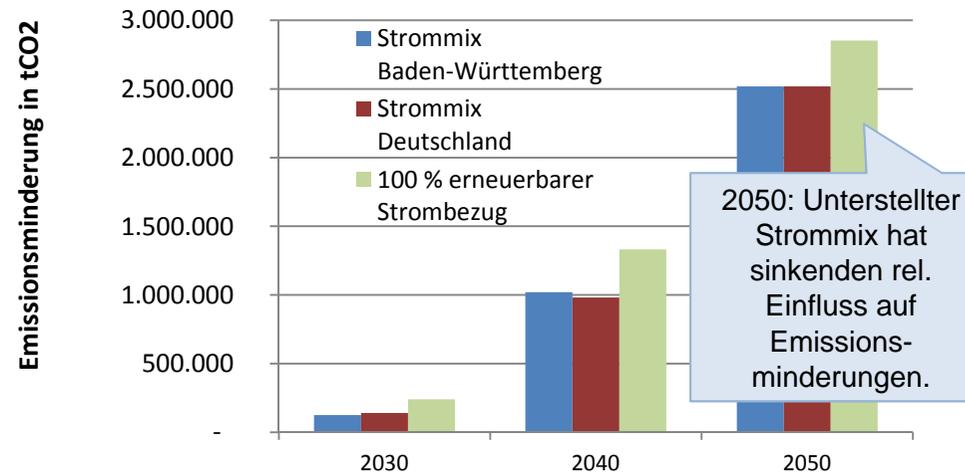
These 5: 2030 bis 2050 führt H2-Nutzung zu stärkeren CO₂-Minderungspotenzialen im Verkehrssektor

Zwei Effekte wirken auf die CO₂-Minderungen:

1. Forcierte Marktdurchdringung der Brennstoffzellenfahrzeuge: Die Anzahl wächst nach 2030 überproportional.

2. Anteil der erneuerbaren Energien in der Stromversorgung steigt: Die spezifische Emissionen sinken deutlich

1. Szenario der Emissionsminderungen durch die Nutzung von H₂ für PKW



2. Zugrundeliegende durchschnittliche spezifische Emissionen

	2014	2030	2040	2050
Deutschland*	0,46	0,14	0,09	0,04
Baden-Württemberg **	0,22	0,16	0,08	0,04



Ergebnisse

- Wasserstoffmobilität bis **2030** nur mit **kleinen Anteilen** am Verkehrssektor
- Einsparungen gegenüber Benzin und Diesel abhängig von Szenarien und der **Bilanzierung** (Deutschland vs. Baden-Württemberg)
- Einsatz von Wasserstoff im Verkehr leistet **wesentlichen Beitrag** zur Decarbonisierung des Verkehrssektors **nach 2030**
 - Steigende EE-Anteile
 - Großer Zuwachs der Brennstoffzellenfahrzeuge
- **Technische Entwicklung** der Elektrolyseure und der Brennstoffzelle muss bis 2030 erfolgen um Wettbewerbsvorteil gegenüber Benzin und Diesel zu erreichen.
 - > **Fortschritte Brennstoffzelle** und Anpassen des **Fahrverhaltens?**
 - > Fortschritt der **Elektrolyseure** absehbar
- Großer Beitrag zur **Systemstabilität**. Elektrolyseure an den Tankstellen können kostengünstig Systemdienstleistungen erbringen.



Vielen Dank!

Frieder Borggrefe

**Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V. (DLR)**

Institut für Technische Thermodynamik
Systemanalyse und Technikbewertung
Wankelstraße 5
70563 Stuttgart

Telefon +49 - 711 6862-431

frieder.borggrefe@dlr.de

www.DLR.de



KOMMERZIALISIERUNG DER WASSERSTOFF-
TECHNOLOGIE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Rahmenbedingungen und Perspektiven



www.e-mobilbw.de

