

Stadt Essen Machbarkeitsstudie H₂- Ecosystem

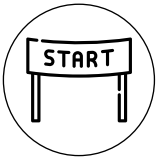
Vorgehen und Ergebnisse

ENERGIEWENDE | 120 H - Digital Campus Zollverein

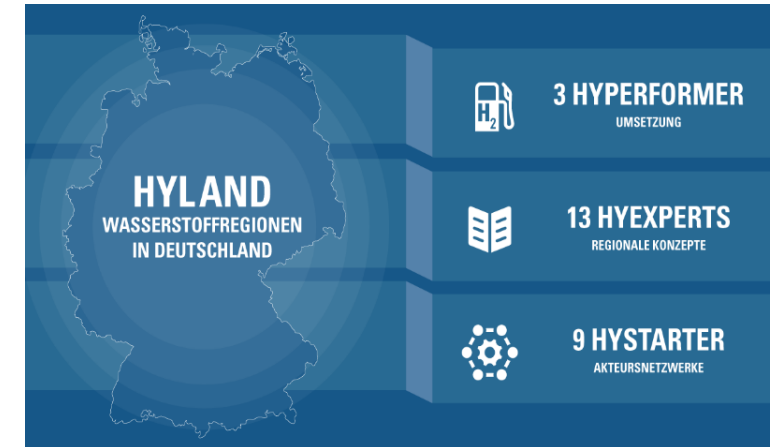
Essen, 29.09.2021

Ausgangslage und Auftrag

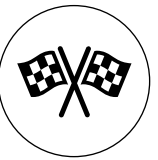
Ausgangslage



- Eine nachhaltige und emissionsfreie Energieversorgung ist die Voraussetzung für die Energie- und Verkehrswende
- Für die Energie- und Verkehrswende ist der Einsatz neuer massenfähiger Technologien (u. a. H₂) maßgeblich
- Die Stadt Essen wurde im Wettbewerb „Hyland – Wasserstoffregionen in Deutschland“ als eine von 13 Regionen als sogenannter HyExpert ausgewählt
- Damit hat die Stadt Essen einen Zuschlag zu einer Machbarkeitsstudie erhalten, bei der insbesondere die Konkretisierung eines Konzepts für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur im Vordergrund steht



Zielsetzung



- In der Machbarkeitsstudie ...
 - ...wird die vorhandene und potenzielle H₂-Infrastruktur (H₂-Erzeugung, -Transport und -Verwendung) in Essen identifiziert und analysiert
 - ... werden die identifizierten H₂-Projektansätze bewertet, zwei Projektansätze (Pilot-/Leuchtturmprojekt) werden im Detail analysiert – ein Projekt aus dem Bereich Mobilität sowie ein weiteres Projekt unabhängig von der Mobilität
- Die Ziele der Nachhaltigkeit und Emissionsfreiheit setzen langfristig den Einsatz von emissionsfreiem H₂ (sog. grünen Wasserstoff) voraus



Projektteam Auftragnehmer

nymoens strategieberatung
con energy gruppe

Projekt-
leitung



Dr. Håvard Nymoens
Geschäftsführer

Kathrin Graf
Projektleiterin

Simon Byrtus
Berater

Emil Weber
Berater

bbh
CONSULTING



Marcel Malcher
Vorstand

Philipp Jahnke
Counsel

Tim Scherwath
Consultant

Hydrogentle



Marco Schmidt
Geschäftsführer

Igor Duong
Projektingenieur

Marcel Frohreich
Junior-Projektingenieur

con | agentur
energy



Stefanie Hamm
Geschäftsführerin

Paul Kulik
Leiter Medien

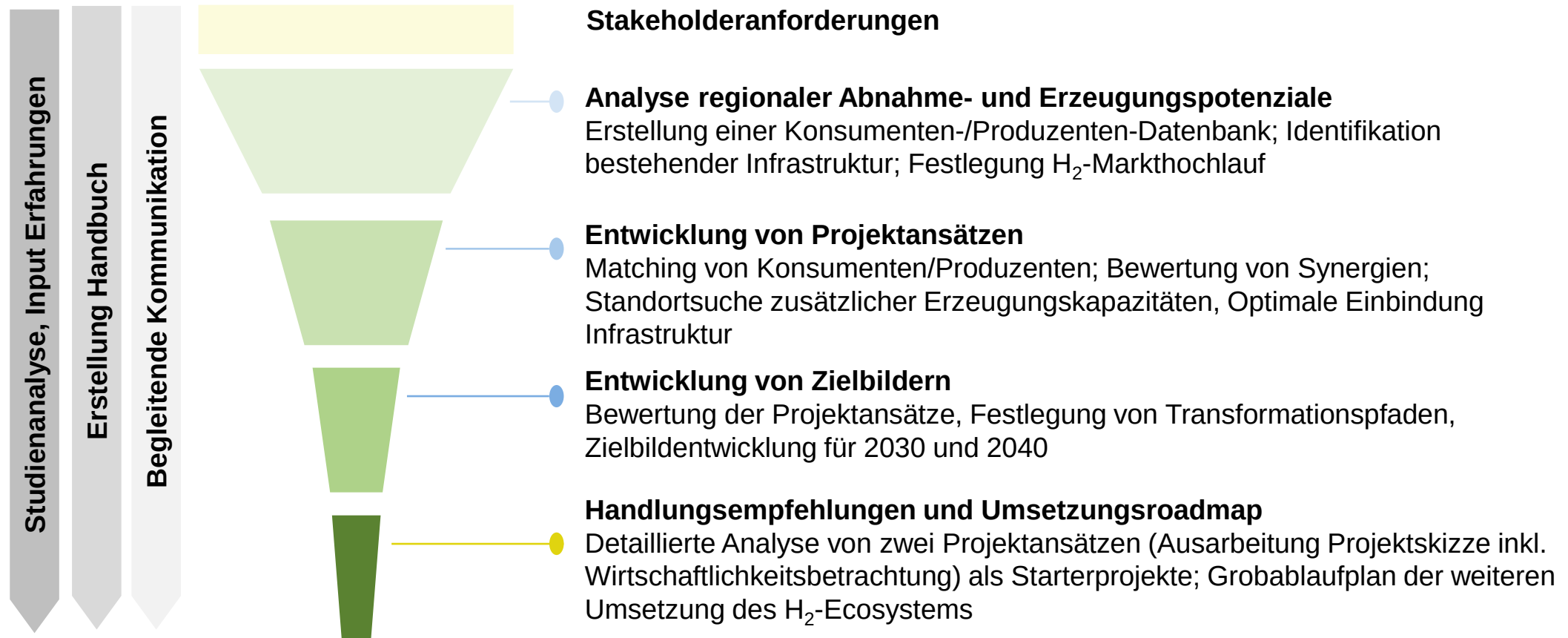
Anne Buers
Projektleiterin

Inhaltsverzeichnis

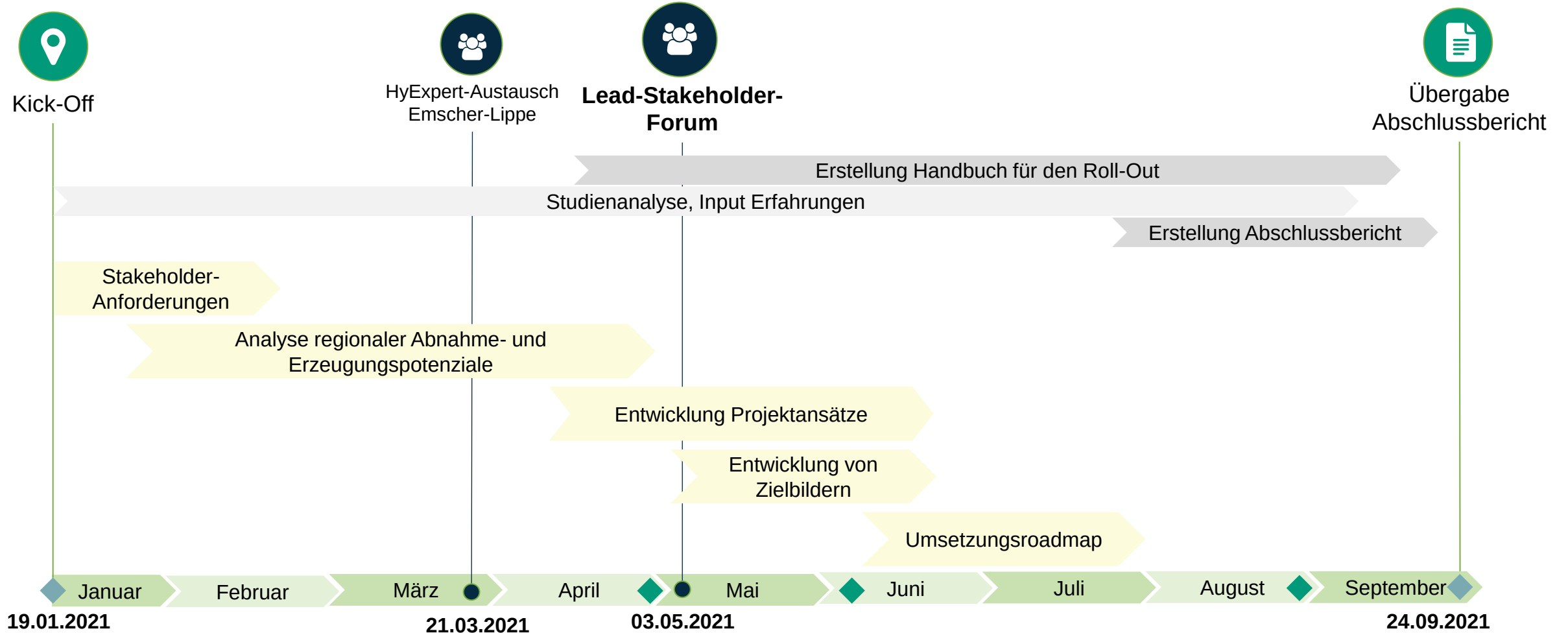
1. **Konzept/Vorgehen**
2. Potenzialanalyse
3. Bewertung Projektansätze
4. Zielbilder
5. Starterprojekte
6. Umsetzungsroadmap
7. Handlungsempfehlungen



Konzeptionelles Vorgehen



Zeitplan



◆ **Lenungskreissitzung** zur Vorstellung von (Zwischen-) Ergebnissen

Inhaltsverzeichnis

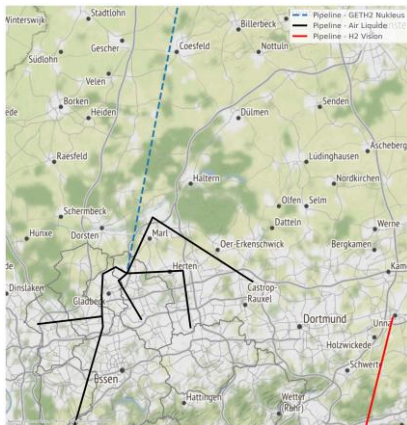
1. Konzept/Vorgehen
2. **Potenzialanalyse**
3. Bewertung Projektansätze
4. Zielbilder
5. Starterprojekte
6. Umsetzungsroadmap
7. Handlungsempfehlungen



- Ziel der Potenzialanalyse war es:
 - Eine Informationsgrundlage zu allen bestehenden und geplanten H2-Projekten zu schaffen
 - Ein erstes Mengengerüst hinsichtlich regionaler Nachfrage und Erzeugung aufzubauen
 - Infrastruktur und Infrastrukturprojekte aufzunehmen
 - Standorte für potenzielle Erzeugungskapazitäten zu identifizieren
- Methodisch wurden über eine Stakeholderanalyse mittels Interviews und Fragebögen die notwendigen Informationen erhoben
- Die Informationen wurden in einer Datenbank zusammengetragen und in individuellen Projektsteckbriefen aufgearbeitet
- Mengen wurden größtenteils über eigene Prognosen ermittelt, um die mittel- und langfristigen Zielbilder berechnen zu können

H₂-Pipeline ^{c,d}

In den Szenarien wird davon ausgegangen, dass die bestehende H₂-Pipeline für Projekte in Essen nicht genutzt werden kann



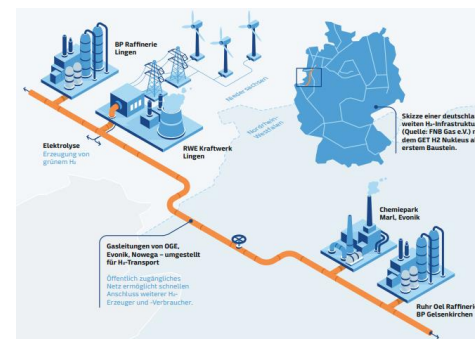
Emscher Lippe ^d

Importe aus der Nachbarregion Emscher Lippe. Potentiale wurden in Koordination mit dem HyExperts Projekt vor Ort abgeschätzt



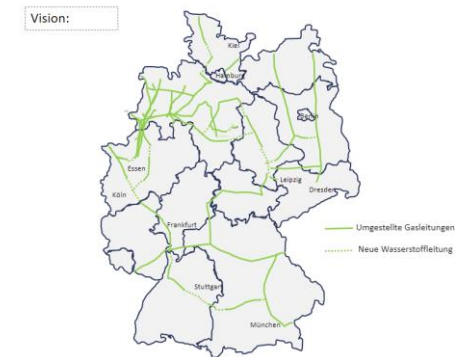
Projekt GETH2 Nukleus ^a

Potentielle Erzeugung von H₂ am Standort Lingen und Anbindung von Gelsenkirchen mit einer Pipeline



Internationaler Import ^b

Import von international erzeugtem H₂, der über eine Infrastrukturanbindung der Region und Essen im Einzelnen verfügbar ist. Stichwort „H₂-Backbone“



a | Projekt GetH2 abgerufen unter <https://www.get-h2.de/> b | Eigene Darstellung basierend auf Netzentwicklungsplan FNB

c | © GeoBasis-DE / BKG (2021) d| chemieatlas.de, abgerufen 07.05.2020

28.09.2021

9

Stakeholderanalyse

Stakeholder Identifikation	Stakeholder Priorisierung	Stakeholder Feedback	Stakeholder Bewertung
76 H₂-Stakeholder im Stadtgebiet Essen bzw. in unmittelbarer Nähe wurden identifiziert und priorisiert - Der Großteil der identifizierten Stakeholder ist mit 34 dem Sektor der Mobilität zuzuordnen, gefolgt von den Sektoren Industrie und Wärmeversorgung mit jeweils 21 Stakeholdern	- Von den 76 H₂-Stakeholdern wurden 37 Stakeholder für einen Online-Fragebogen ausgewählt 29 H₂-Stakeholder wurden für individuelle Interviewtermine ausgewählt - Ziel der Kontaktaufnahme war die Identifikation von potenziellen H₂-Projektansätzen	8 qualifizierte Rückläufer aus der Online-Befragung wurden erhalten, daraus folgte ein weiteres persönliches Interview 22 Interviews wurden durchgeführt - Aus den 22 Interviews konnten 16 initiale Projektansätze, die im Rahmen von Projektsteckbriefen aufgearbeitet wurden, identifiziert werden	- Im nächsten Schritt wurden die Projektansätze geclustert - Im Lead Stakeholder-Forum wurden die Projektideen im Hinblick auf Synergiepotenziale diskutiert und hinsichtlich ihrer Realisierungswahrscheinlichkeit bewertet
76 Stakeholder wurden in Essen identifiziert	29 Stakeholder wurden für die individuelle Analyse in Betracht gezogen (Interviews)	16 Projektansätze konnten anhand der Interviews identifiziert werden	Bewertung der Ansätze im Rahmen des Leadstakeholder-Forums

Beispiel Steckbrief (1/2)

Unternehmen

Ruhrbahn GmbH

Standort

Ruhrallee 354, 45136 Essen

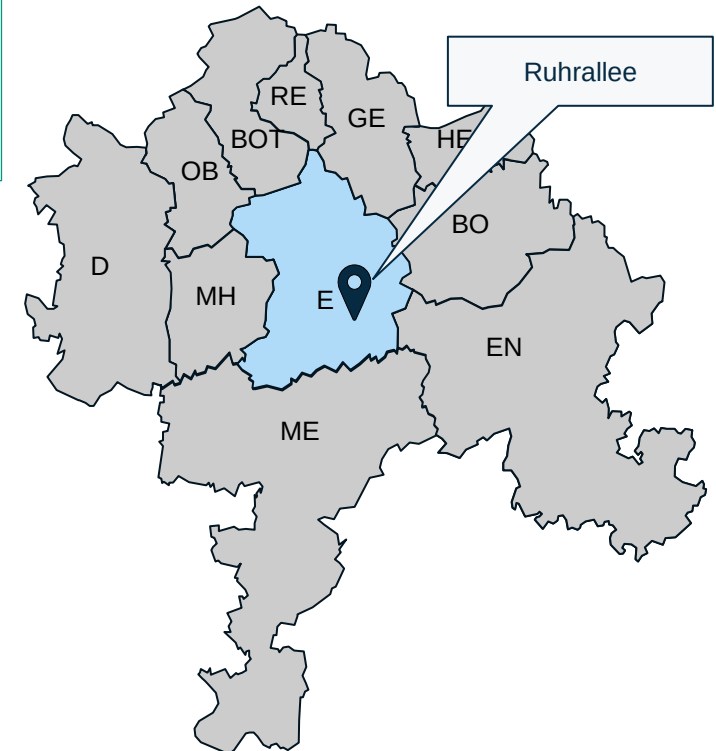
H2-Projekte

	Erzeugung		Transport
	Speicher	x	Verwendung



H2-Projekt-
beschreibung

- › Die Ruhrbahn GmbH hat in Essen 212 Gelenk-, Solo und Minibusse im Bestand. Mit 13 neuen Brennstoffzellen-Bussen möchte die Ruhrbahn GmbH ab 2024 ihre Busflotte sukzessive bis 2033 komplett auf Wasserstoff umrüsten.
- › Die Betankung soll auf den eigenen Betriebshöfen stattfinden. Dafür wird der Standort an der Ruhrallee umgerüstet, so wie ein weiterer neu erschlossen, dessen Standort sich noch in der Klärung befindet.
- › Die Distribution des Wasserstoffs soll bis zur Inbetriebnahme des neuen Standorts via Trailerbelieferung erfolgen. Anschließend soll die Anbindung an die Pipeline bzw. eine eigene Produktion am Standort erfolgen.



Beispiel Steckbrief (2/2)

Straße, Haus-Nr.
PLZ, Ort

Eigenschaften genutzter Wasserstoff

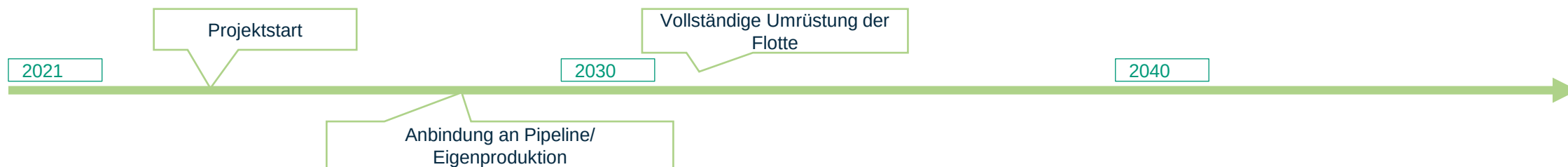
Farbe
Emissionsfaktor [CO₂/kg]
Reinheit [%]
Druck [bar]

Mobile Anwendungen	2024	2028	2033
Solo-Busse	4	32	69
Gelenk-Busse	9	69	143
Ø H ₂ -Bedarf kg/a*	90.810	704.250	1.475.700
max. H ₂ -Bedarf kg/d*	348	2.701	5.660

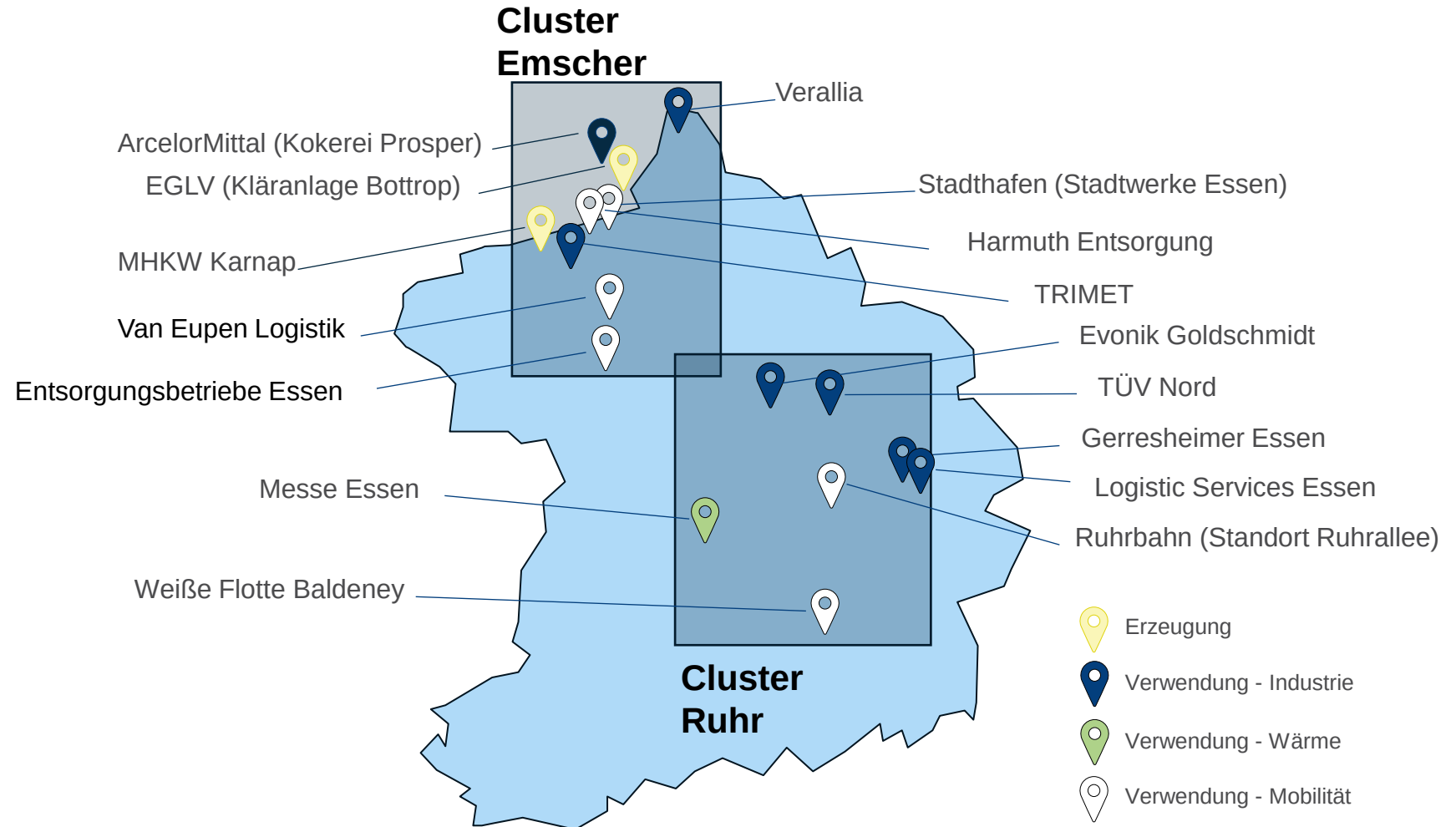
Distribution des Wasserstoffes

Pipeline Anschluss
Trailer-/Behälterabfüllung
Tankstelle

*Bedarfsschätzungen, basierend auf Hochrechnung



Übersicht Projektansätze



Inhaltsverzeichnis

1. Konzept/Vorgehen
2. Potenzialanalyse
3. **Bewertung Projektansätze**
4. Zielbilder
5. Starterprojekte
6. Umsetzungsroadmap
7. Handlungsempfehlungen



Bewertung der Projektansätze

- Für die Ausarbeitung des H2-Ecosystems und die Identifikation von Starterprojekten wurden die Projektansätze, die in den Steckbriefen festgehalten wurden, bewertet
- Von besonderer Relevanz waren die Kriterien
 - Startzeitpunkt und H2-Hochlauf
 - Realisierungswahrscheinlichkeit
 - Nachhaltigkeit bzw. CO2-Vermeidung und
 - Synergien
- Neben einer SWOT-Analyse erfolgte eine quantitative Bewertung der unterschiedlichen Kriterien mit dem Ziel, zwei Projekte zu identifizieren, die als Starterprojekte vertieft untersucht werden sollten
 - Starterprojekte: Untersuchung unterschiedlicher Versorgungsmodelle auf technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit
- Die sog. Starterprojekte sind von hoher Relevanz für das H2-Ecosystem, weil sie neben einer hohen Realisierungswahrscheinlichkeit eine besondere Funktion im H2-Ecosystem haben (z.B. Enabler für einen Netzausbau)

SWOT Beispiel Ruhrbahn (1/2)

Strengths (Stärken)

- › Am Ende der Umrüstungsphase hat die Ruhrbahn einen Wasserstoffbedarf von jährlich knapp 1.500 t/a und stellt somit eine große Senke im Mobilitätssektor dar
- › Es gibt direkt im Stadtgebiet Essen keine Konkurrenzsituation zu anderen ÖPNV-Anbietern
- › Es sind konkrete Hochlaufpläne der Fahrzeuge und Tankinfrastruktur vorhanden
- › Die Umsetzungswahrscheinlichkeit ist sehr hoch
- › Es ist ein Pipelineanschluss geplant

Weaknesses (Schwächen)

- › Am Standort Ruhrallee ergeben sich zunächst keine Synergiepotenziale (Fremdbetankung)

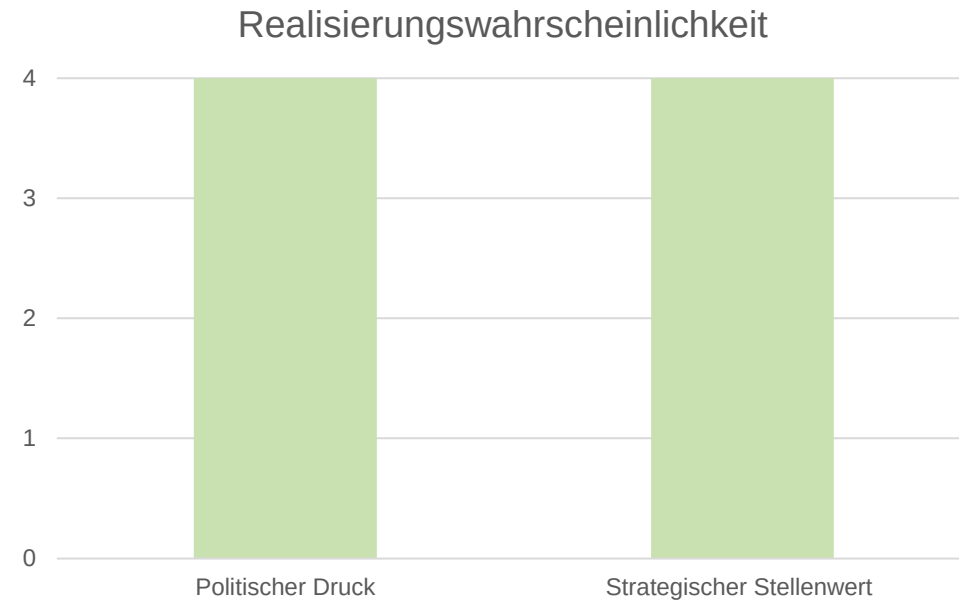
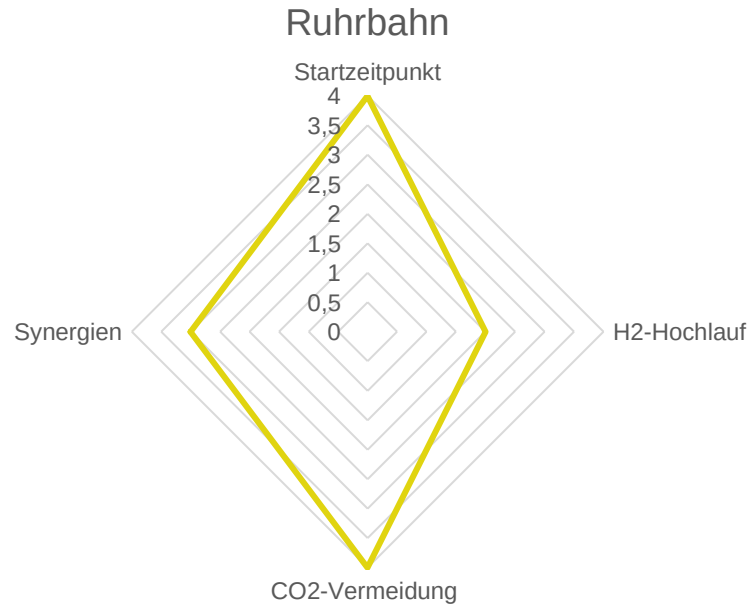
Opportunities (Chancen)

- › Durch das Fortschreiten des Ruhrbahnprojektes ist mit dem 2. Standort eine H₂-Infrastruktur gesetzt, woraus sich Synergien mit anderen Abnehmern ergeben
- › Die Vorbildfunktion der Ruhrbahn kann andere Unternehmen dazu bewegen auch auf H₂ umzurüsten
- › Das Projekt setzt ein öffentlichkeitswirksames Zeichen in der Wasserstoffregion Essen

Threats (Risiken)

- › Es ist noch unklar wo der zweite, Hauptstandort liegen soll
- › Mögliche Synergiepotentiale aufgrund der unmittelbaren Nähe zu anderen Anwendungsmöglichkeiten sind somit aktuell nicht bewertbar

SWOT Beispiel Ruhrbahn (1/2)



Gewichteter Score: **3,75**

Bewertungsmatrix

Kategorie	Gewichtung	Subkategorie	Gewichtung	Beschreibung	Bewertung				
					0	1	2	3	4
Zeitpfad	10 %	Startzeitpunkt	50 %	Frühestmöglicher Startzeitpunkt des Projektansatzes	ab 2040	ab 2035	ab 2030	ab 2025	vor 2025
		H ₂ -Hochlauf	50 %	Anzahl an Jahren vom Startzeitpunkt ausgehend, bis finale Ausbaustufe des Projekts erreicht wird	20 + Jahre	15 + Jahre	10 + Jahre	3 + Jahre	0 + Jahre
Projektidee	30 %	CO ₂ -Vermeidung (Industrie)	50 %	Mengen an CO ₂ -Ausstoß, die durch Projektrealisation verhindert werden (qualitativ) in tCO ₂ /a	<1000	1.000-10.000	10.000-20.000	20.000-50.000	> 50.000
		CO ₂ -Vermeidung (Mobilität)			<10	10-50	50-250	250-1.000	>1.000
		Synergien	50 %	Bewertung der Synergiepotenziale, die sich mit anderen Projektskizzen ergeben	vom best practice ausgehend (4 = best practice, 0 = worst practice)				
Realisierungswahrscheinlichkeit	60 %	Politischer Druck	50 %	Politischer und regulatorischer Druck auf die Branche bzw. das Projekt	qualitativ von 0 (gering) bis 4 (hoch)				
		Strategischer Stellenwert	50 %	Stimmungsbild beim Unternehmen, beispielsweise abhängig von Alternativen, vorhandenem Knowhow, ...					

Rangfolge der Projektansätze

	Projekt	Gesamtbewertung (Score)
1	Ruhrbahn	3,75
2	Verallia	3,05
3	TRIMET	2,9
4	Entsorgungsbetriebe Essen	2,85
5	MHKW Karnap	2,75
6	Logistic Services Essen	2,7
7	Stadtwerke Essen	2,6
8	Gerresheimer	2,55
9	Harmuth Entsorgung	2,40
10	Weißer Flotte Baldeney	2,25
11	Steag	2,1
12	Evonik Industries	1,95
13	TÜV Nord	1,9
14	Messe Essen	1,8
15	Autohof	1,5

› Das Projektteam empfiehlt auf Grundlage der Bewertung eine nähere Ausarbeitung folgender Projektskizzen:

› **Entsorgungsbetriebe Essen**

› **Logistic Services Essen**

› Zwar haben mitunter andere Projektskizzen höhere Scores bekommen, diese sollen im Rahmen dieses Projektes aus folgenden Gründen jedoch nicht näher betrachtet werden

› Ruhrbahn: Projektskizze besteht bereits in hohem Detailgrad

› Verallia: Fokus ist aktuell Anschluss an das Kokereigas

› TRIMET: Fokus ist aktuell Anschluss an das Kokereigas

› MHKW Karnap: Projektskizze besteht bereits in hohem Detailgrad

Inhaltsverzeichnis

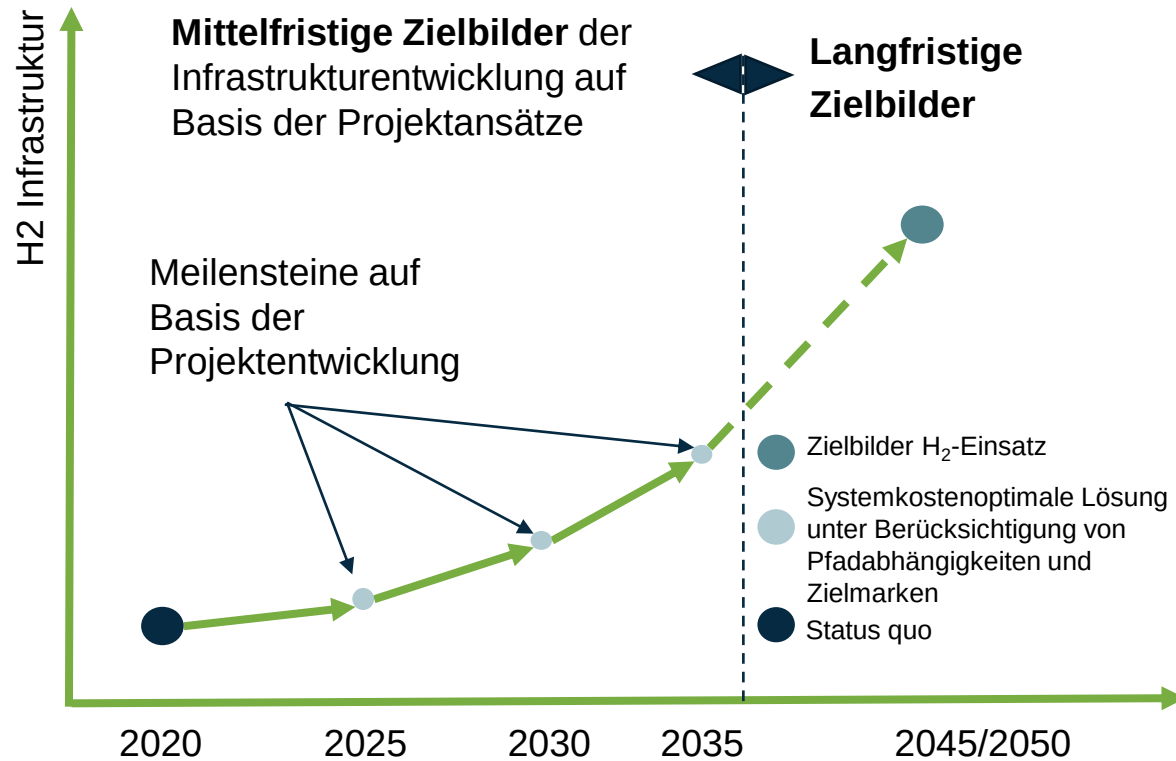
1. Konzept/Vorgehen
2. Potenzialanalyse
3. Bewertung Projektansätze
4. **Zielbilder**
5. Starterprojekte
6. Umsetzungsroadmap
7. Handlungsempfehlungen



Entwicklung von Zielbildern

- Abbildung einer zukünftigen H2-Infrastruktur unter definierten Rahmenbedingungen
- Szenarienbasierte technisch-systemische Betrachtung
- Detaillierte Modellierung mittelfristiger Zielbilder und Ableitung langfristiger Zielbilder
- Zielstellung:
 - Mengengerüst für H2-Erzeugung und -Speicherung
 - H2-Bereitstellungskosten
 - Emissionen für die H2-Bereitstellung
 - Potential für eine leitungsgebundene H2-Infrastruktur
 - Standorte für die notwendigen H2-Technologien

Formulierung von Zielbildern auf Basis der Projektansätze



Eigene Darstellung angelehnt an Lopion et al. (2018): A review of current challenges and trend in energy systems modeling. Renewable and sustainable energy reviews 96. 2018

Szenarien Entwicklung für mittelfristige Zielbilder

- Für die mittelfristigen Zielbilder ist entscheidend, welche der identifizierten Projektansätze umgesetzt werden
- Bis einschließlich 2030** wird die Infrastrukturentwicklung von **Mobilitätsprojekten** getrieben
- Ab 2035 ist der Einstieg **der Industrie als wesentlicher Nachfrager** von H₂ entscheidend.
- Losgelöst von der detaillierten Infrastrukturentwicklung werden für das Zielsystem 2045/2050 **Zielbilder für den Einsatz von H₂ in Essen** formuliert und entsprechenden H₂-Bedarfe bestimmt (Langfristige Zielbilder)

Methodisches Vorgehen

1 Mittelfristige Zielbilder

Definition von 2 Szenarien

- **Szenario Trend:** Projekte mit hoher Umsetzungswahrscheinlichkeit
- **Szenario Progressiv:** Projekte mit hoher und mittlerer Umsetzungswahrscheinlichkeit

Sektorenübergreifendes Energiesystemmodell R²EnSysMod

Eigenschaften

- Stündliche Auflösung
- Sektorenübergreifend
- Optimierung der Investitionsentscheidung
- Optimierung der Betriebsführung
- Berücksichtigung räumlicher Auflösung

Der Modellierungsansatz

- In der Modellierung bilden wir die H₂-Wertschöpfungskette inklusive der Transportinfrastruktur detailliert ab.
- Mit einem starken Fokus auf der Regionalisierung von Parametern berücksichtigen wir detailliert die Potenziale in Essen.
- Umfassende Berücksichtigung aller Kostenbestandteile und Emissionen entlang der verschiedenen H₂-Wertschöpfungsstufen als Basis für die Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnis

Energiewirtschaftliche Parameter

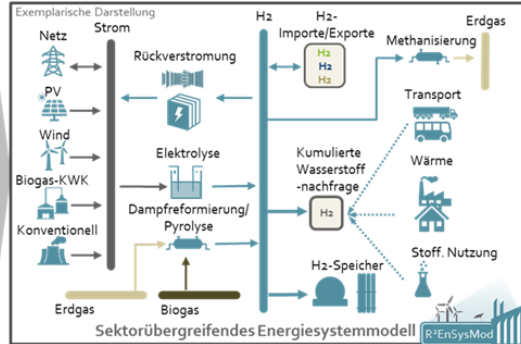
- Energiepreise
- Erzeugung Potenziale
- Wetterdaten
- Nachfragelastgänge
- Technologieparameter

Regionale

Strukturparameter

- Potenziale und Nachfrage
- Bestandsanlagen und Infrastruktur

Szenarioparameter



Investitionen und Betriebsführung

- Kapazitäten
- Mengengerüst
- Assoziierte Emissionen

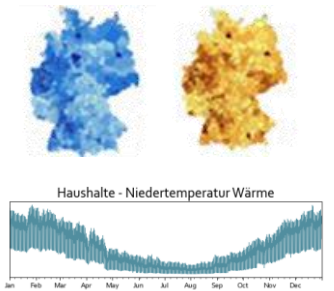
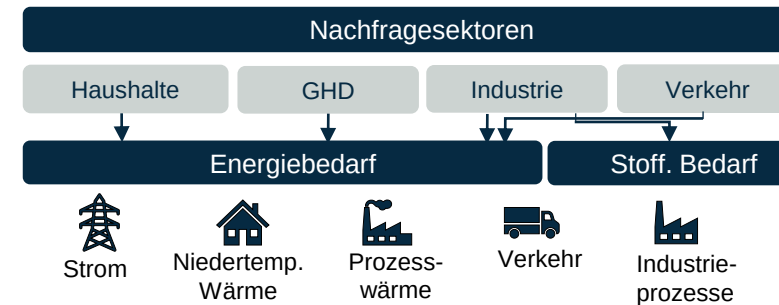
Betriebswirtschaftlich

- Umsätze
- H₂-Bereitstellungskosten
- Energieeffizienz

Visualisierung der Zielbilder

2 Langfristige Zielbilder

Zeitlich und räumlich hoch aufgelöster Energiebedarf



Definition von 2 Szenarien

- **Szenario I** – Forcierter Einsatz von H₂
- **Szenario II** – Konservativer Einsatz von H₂

Ableitung aus nationalen Entwicklungen

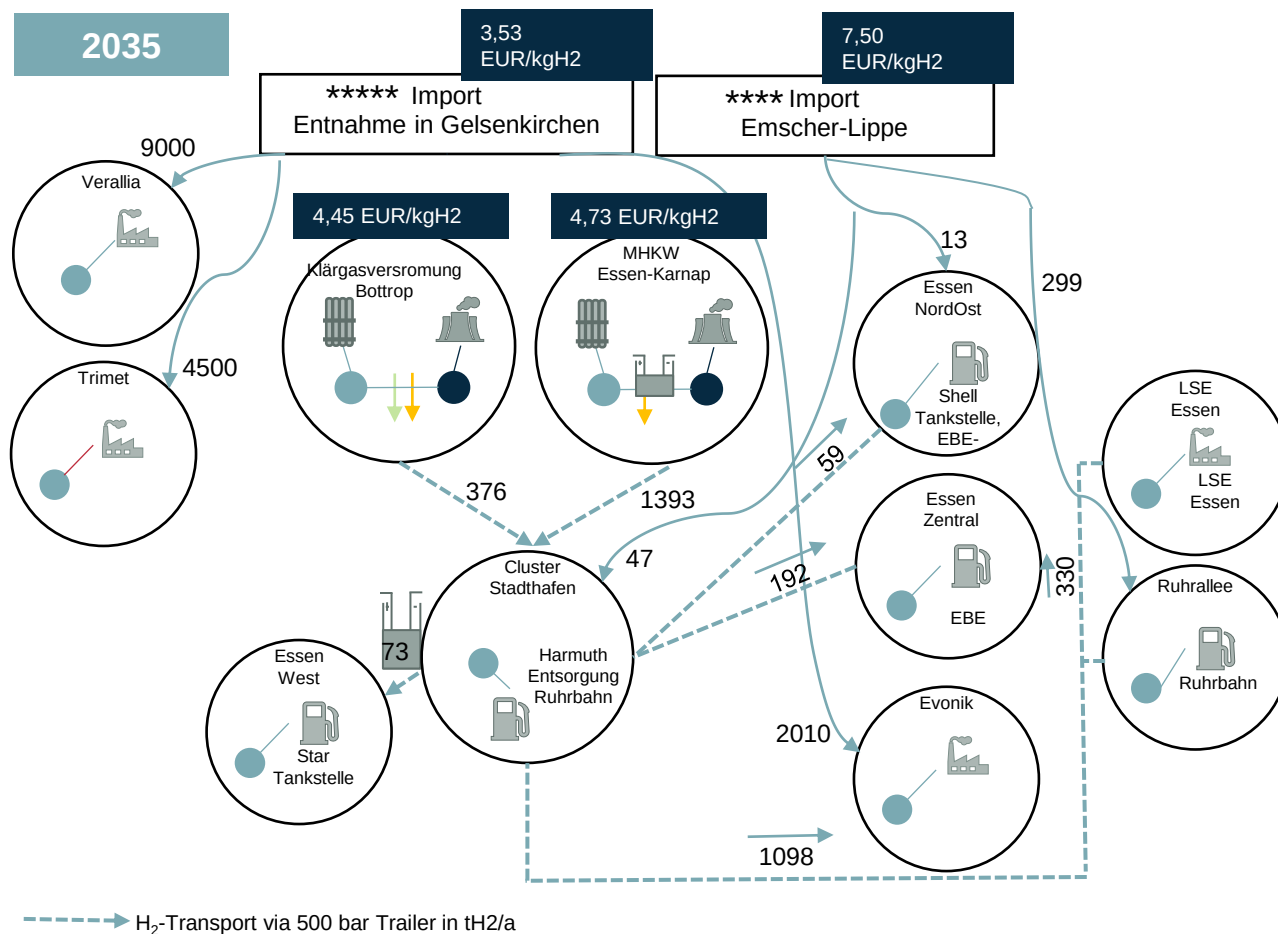
Fortschreibung der H₂-Durchdringung in den einzelnen Sektoren auf Basis nationaler Studien zur Transformation des Energiesystems:

- **FZ Jülich (2021):** Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoffroadmap NRW
- **FZ Jülich (2020):** Transformationsstrategien 2050
- **Agora Energiewende (2021):** Klimaneutrales Deutschland 2045

Szenarien der mittelfristigen Zielbilder

Szenario	Trend			Progressiv		
Beschreibung	Bis einschließlich 2035 werden die H2-Anwendungs- und Erzeugungsprojekte berücksichtigt, die der Kategorie "In Planung" zugeordnet worden sind. Die Umrüstungen in dem Bereich Prozesswärme/-kälte findet größtenteils nach 2030 statt.			Zusätzlich zu dem Trend Szenario wird die Umsetzung der Projekte in den Kategorien "Konzept" und „Potential“ berücksichtigt. Im Jahr 2035 wird die H2-Nachfrage aus dem Bereich Prozesswärme/-kälte vollumfänglich berücksichtigt.		
Jahr	2025	2030	2035	2025	2030	2035
H2-Bedarf in tH2/a						
davon Mobilität	334	1.401	1.787	482	2.328	2.800
davon Prozesswärme/-kälte ^c	0	330	15.840	0	330	23.342
davon Niedertemp. Wärme	0	0	0	0	0	0
H2 Erzeugungspotenzial in tH2/a						
an MHKW ^f	1800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
durch Klärgas Verstromung	378	378	378	378	378	378
durch dezentrale Elektrolyse (Netzstrom)	0	0	0	Drei ausgewählte Standorte	Drei ausgewählte Standorte	Drei ausgewählte Standorte
durch Dampfreformierung ^d	~ 300 (bei 2 MW)	~ 300 (bei 2 MW)	~ 300 (bei 2 MW)	~ 300 (bei 2 MW)	~ 300 (bei 2 MW)	~ 300 (bei 2 MW)
H2 Importpotenziale in tH2/a						
davon aus Nachbarregion						
Emscher-Lippe ^h	640	360	360	640	360	360
Entnahme Pipeline Air Liquide ^c	0	0	0	0	0	0
Bezug über Get-H2 ^{a e}	0	Anschluss Industrie ^a	Anschluss Industrie ^{a e}	0	Anschluss Industrie ^a	Anschluss Industrie ^{a e}
davon überregionalen Quellen						
Internationaler Import ^g	0	Anteil offen	Anteil offen ^e	0	Anteil offen	Anteil offen ^e
a Möglichkeit zur Nutzung von H2 aus der Produktion am Standort von RWE in Lingen. Pipeline von Lingen nach Gelsenkirchen (BP). Es wird angenommen, dass die verfügbaren Mengen einen Anschluss der Industriestandorte erlauben. b Über die Bestandspipeline können in den Szenarien keine Mengen bezogen werden. c Im Trend Szenario wird von einem vollständigen Ersatz des Kokereigas nach 2030 ausgegangen. d Die Dampfreformierung wird in den Berechnungen nachrangig als Back-up verwendet.				e In einer zusätzlichen Variante wird ein breite Verfügbarkeit von H₂-importen für Projekte in Essen analysiert (vgl. Abschnitt 5.1.3.3) f Die Auslastung des Elektrolyseurs am MHKW ist auf 70 % (ca. 6000 Vollaststunden beschränkt). Die nutzbare Kapazität in den Szenarien beträgt max 20 MWel. g Internationale Importe stehen als Backup für den Anschluss der Industrie zur Verfügung. Die insgesamt benötigten Importmengen werden in den Szenarien bestimmt. h Konservative Abschätzung des Potenzials im Rahmen HyExperts Projekts in der Region Emscher-Lippe.		

Szenario Trend – Ergebnisse



Kapazitäten	Speicher [MWh _{H₂}]	Elektrolyse [MW _{el}]	Dampferomierung [MWh _{H₂}]
MHKW EK	34	12 (CF: 71 %)***	0
Klärgasverstromung	12	2,9 (CF: 80 %)	0
Cluster Stadthafen	17	0	0
Importe	Jahresmenge	Einheit	
Emscher Lippe	12	GWh _{H₂}	
H2-Nukleus	517	GWh _{H₂}	
Kennwerte	Wert	Einheit	
H ₂ -Bereitstellungskosten	4,9 *	EUR/kgH ₂	
H ₂ -Emissionsfaktor	2,4 (5,7) **	kgCO ₂ /kgH ₂	
Autarkiegrad Essen	10	%	

* | Gewichteter Mittelwert der H₂-Bereitstellungskosten beinhalten alle Kosten entlang der Wertschöpfungskette bis zu der Anlieferung an den Letztverbraucher bzw. die Tankstelle. Als Strombezugskosten wird der stündliche Marktwert als Opportunitätskosten berücksichtigt. Bei Eigenversorgung mit Direktleitung werden Stromnebenkosten im Umfang von 26 EUR/MWh veranschlagt.

** | Der emissionsarme H₂ entsteht, wenn der Strombezug aus der Klärgasanlage sowie dem MHKW mit Emissionsfaktor von 0,02 tCO₂/MWhel als nahezu emissionsfrei bilanziert werden kann. Bei Berücksichtigung des stündlichen Emissionsfaktors im nationalen Strommix resultiert für die regionale H₂-Erzeugung ein erhöhter Emissionsfaktor. Dieser wird in den Runden Klammern ebenfalls angegeben.

*** | CF: Kapazitätsfaktor

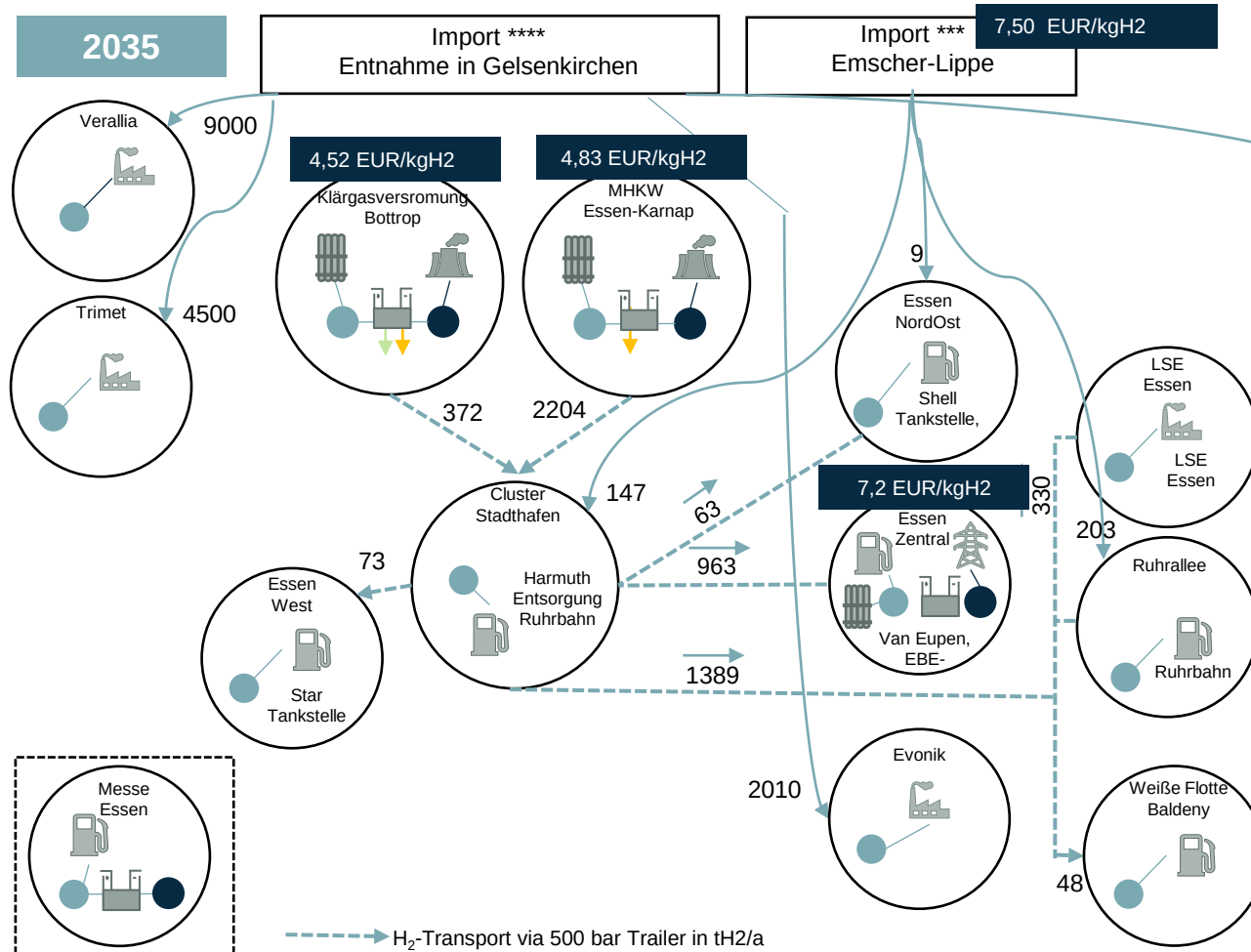
**** | Trotz höherer Kosten wird hier angenommen, dass das Importpotential vollumfänglich genutzt wird.

***** | Für die Kosten sowie den Emissionsfaktor des Importierten H₂ wird ein Verhältnis von 50% blauem und 50% grünem Wasserstoff angenommen.

28.09.2021

25

Szenario Progressiv - Ergebnisse



Kapazitäten	Speicher [MWh _{H₂}]	Elektrolyse [MWel]	Dampf- reformierung [MW _{H₂}]
MHKW EK	49	20 (CF:68 %) 0	2,9
Klärgasverstromung	8,7	(CF: 80 %) 0	1,6
Essen Zentral	16,2	(CF: 76%) 0	
Importe	Jahresmenge	Einheit	
H2-Nukleus	767	GWh _{H₂} /a	
Emscher Lippe	12	GWh _{H₂} /a	
Kennwerte	Wert	Einheit	
H ₂ -Bereitstellungs- kosten	4,94 *	EUR/kgH ₂	
H ₂ -Emissionsfaktor	2,5 (6,1) **	kgCO ₂ /kgH ₂	
Autarkiegrad Essen	10	%	

* |Gewichteter Mittelwert der H₂-Bereitstellungskosten beinhalten alle Kosten entlang der Wertschöpfungskette bis zu der Anlieferung an den Letztverbraucher bzw. die Tankstelle. Als Strombezugskosten wird der stündliche Marktwert als Opportunitätskosten berücksichtigt. Bei Eigenversorgung mit Direktleitung werden Stromnebenkosten im Umfang von 26 EUR/MWh veranschlagt.

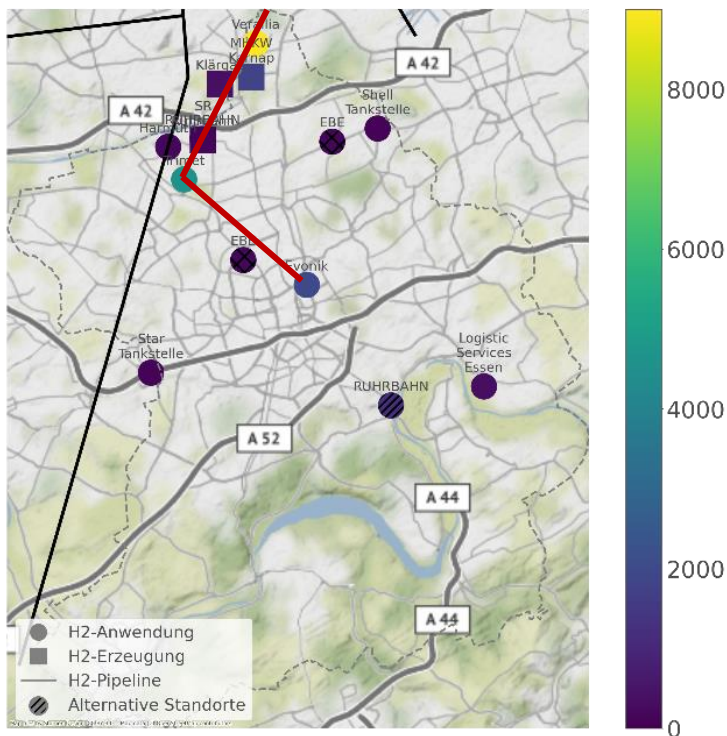
** | Der emissionsarme H₂ entsteht, wenn der Strombezug aus der Klärgasanlage sowie dem MHKW mit Emissionsfaktor von 0,02 tCO₂/MWhel als nahezu emissionsfrei bilanziert werden kann. Bei Berücksichtigung des stündlichen Emissionsfaktors im nationalen Strommix resultiert für die regionale H₂-Erzeugung ein erhöhter Emissionsfaktor. Dieser wird in den Runden Klammern () ebenfalls angegeben.

*** |Trotz höherer Kosten wurde eine vollständige Realisierung des Potentials angenommen.

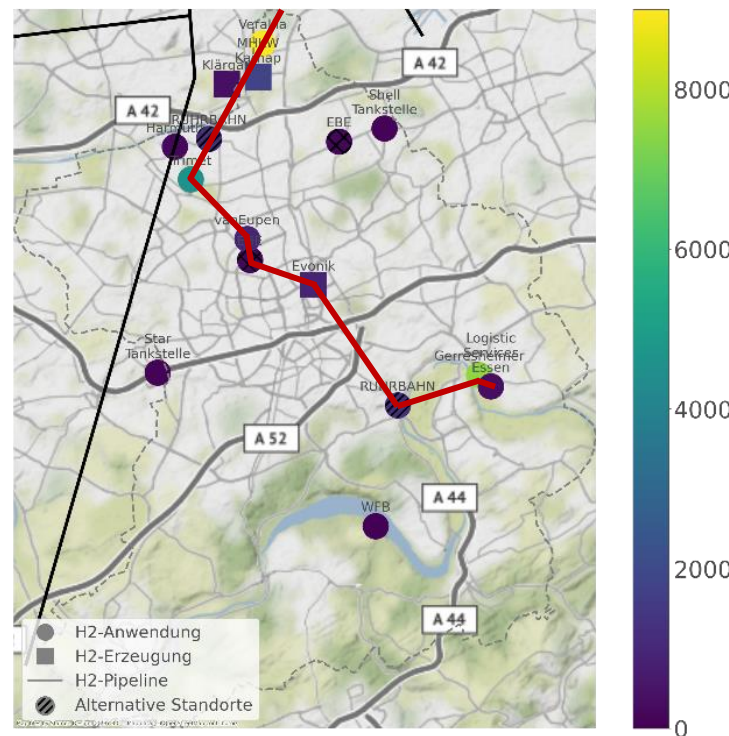
**** | Für die Kosten sowie den Emissionsfaktor des Importierten H₂ wird ein Verhältnis von 50% blauem und 50% grünem Wasserstoff angenommen.

Potential einer H2-Pipeline für 2035

Szenario - Trend
Nachfrage- und Erzeugungspotentiale in 2035 [tH2/a]



Szenario - Progressiv
Nachfrage- und Erzeugungspotentiale in 2035 [tH2/a]



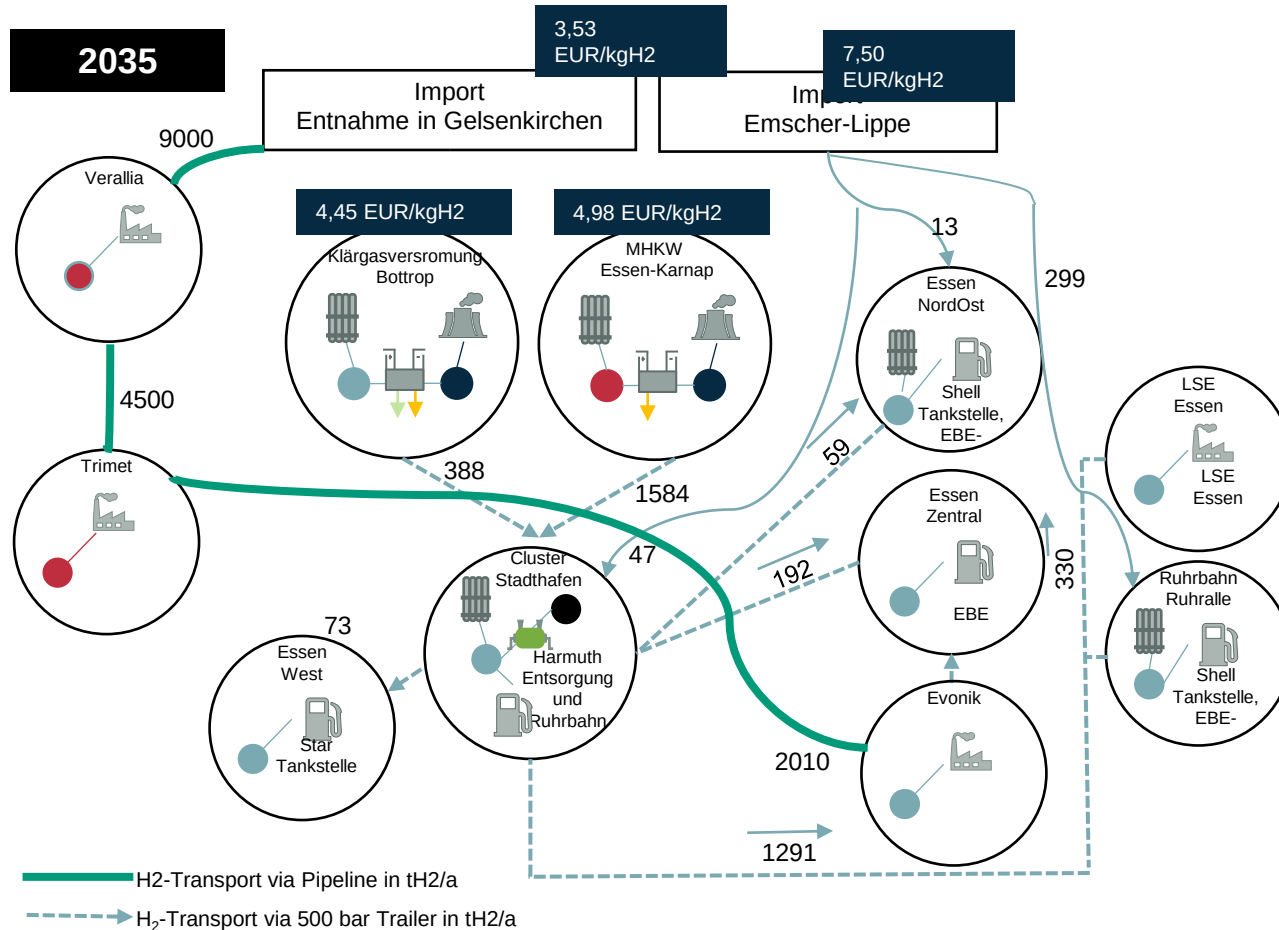
Berücksichtigung einer potentiellen Pipelineversorgung in 2035

- Aus den Projektskizzen sowie der räumlichen Verteilung der H₂-Anwendungen ergibt sich der potentielle Verlauf einer Pipeline
- Die schematische Streckenführung der Pipeline in der Variante des Trend Szenario resultiert aus dem Anschluss der Industriestandorte.
- In der Variante des Progressiven Szenarios wird die Pipeline nach Westen verlängert und angrenzende Projekte ebenfalls erschlossen.

— Berücksichtigter Ausbaukorridor einer H2-Pipeline

a | © GeoBasis-DE / BKG (2021) b | chemieatlas.de, abgerufen 07.05.2020

Szenario Trend Pipeline – Ergebnisse

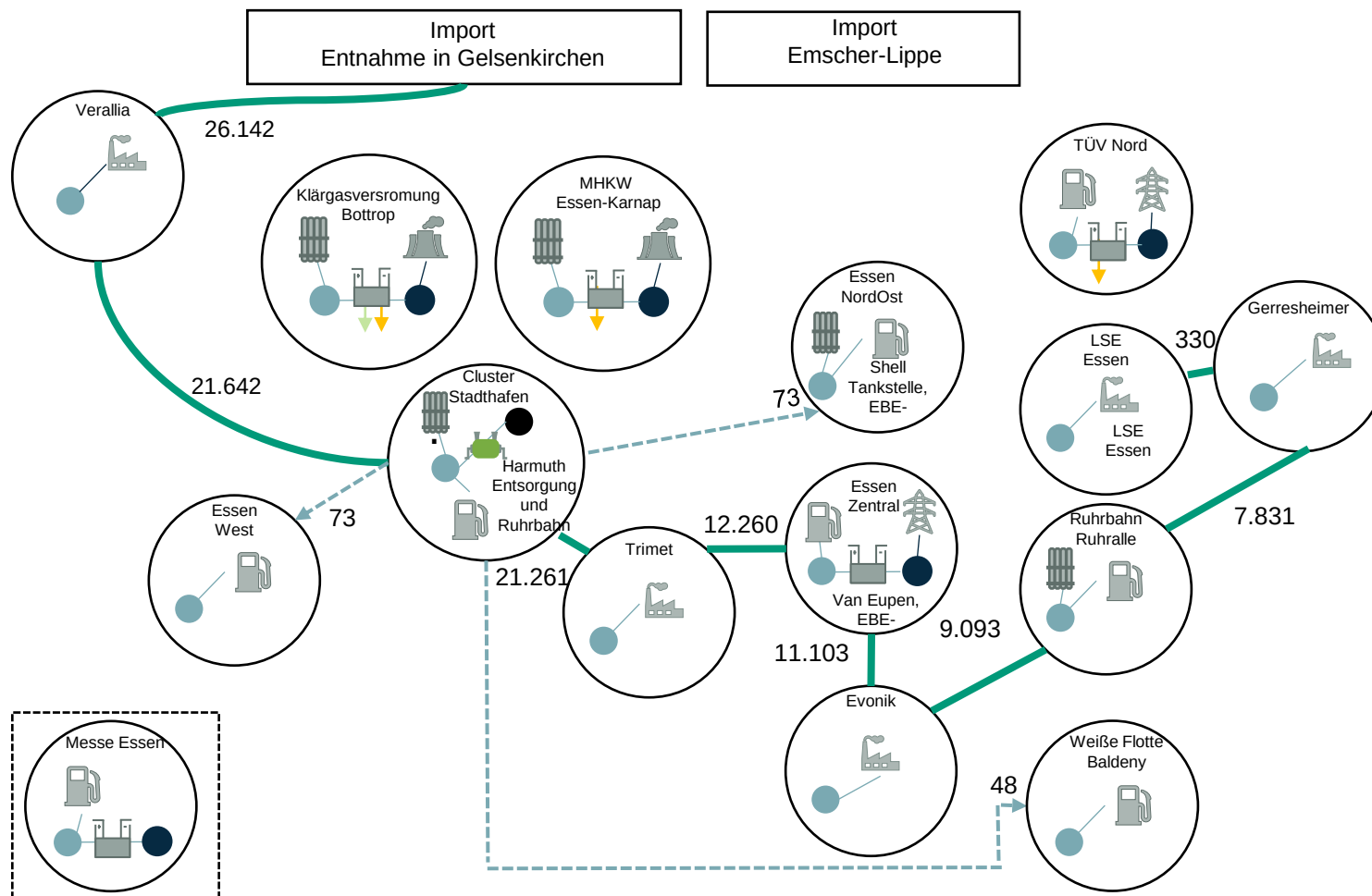


Importe	Jahresmenge	Einheit
Emscher Lippe	12	GWh _{H₂}
H2-Nukleus	517	GWh _{H₂}

Kennwerte	Wert	Einheit
H2-Bereitstellungskosten	4,30 *	EUR/kgH ₂
H2-Emissionsfaktor	2,38 (5,78) **	kgCO ₂ /kgH ₂
Autarkiegrad Essen	10	%

- Die Erschließung der Industriestandorte (Verallia, Trimet und Evonik) reduziert die durchschnittlichen H₂-Bereitstellungskosten deutlich von 4,9 auf 4,31 EUR/kgH₂.
- Die spez. Transportkosten der Pipeline belaufen sich auf 0,23 EUR/kgH₂.
- Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Mengengerüste sowie räumliche Verteilung der Standorte für eine Pipelineanbindung grundsätzlich in Frage kommt.
- Die Kostenparameter sind mit erheblichen **Unsicherheiten** verbunden. Eine detaillierte Analyse der Machbarkeit sowie der Trassenführung müssen im Rahmen einer detaillierten Planung umgesetzt werden.

Szenario Progressiv Pipeline – Ergebnisse



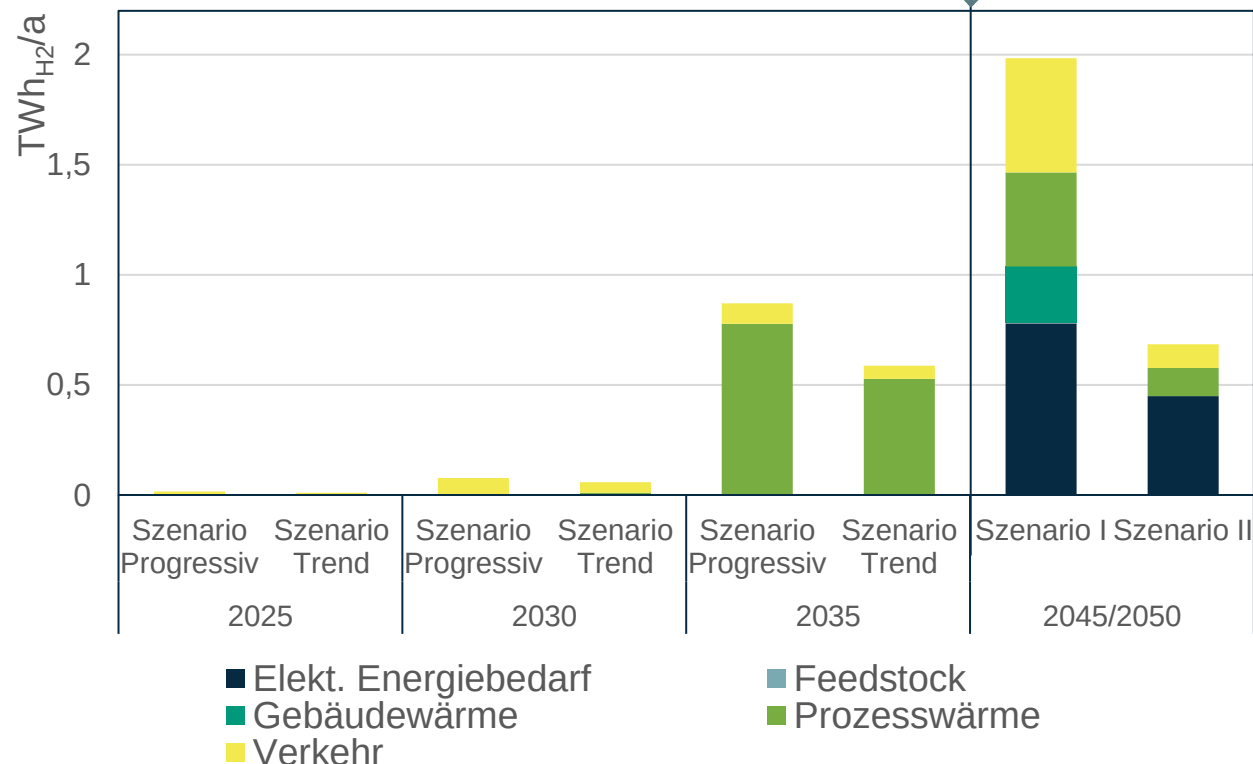
Importe	Jahresmenge	Einheit
Emscher Lippe	0	GWh _{H2}
H2-Nukleus	871	GWh _{H2}
Kennwerte	Wert	Einheit
H2-Bereitstellungskosten	3,95	EUR/kgH2
H2-Emissionsfaktor	2,57	kgCO2/kgH2

- Bei ausreichender Verfügbarkeit von H₂-importen erschließt die zentrale Pipeline nahezu alle identifizierten Projekte. Die H₂-Bereitstellungskosten in Essen sinken so von 4,9 auf 3,82 EUR/kgH₂.
- Die spez. Transportkosten der Pipeline belaufen sich auf 0,27 EUR/kgH₂.
- Die Ergebnisse zeigen, dass die Pipelineanbindung der Industriestandorte ebenfalls eine Integration der Mobilitätsprojekte ermöglicht.
- Die regionale Erzeugung von H₂ ist in diesem Szenario nicht wettbewerbsfähig. Die Verfügbarkeit sowie Preisstruktur der H₂-Importe sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Entwicklung von regionalen Erzeugungskosten sowie für Importe müssen weiter analysiert und beobachtet werden.
- Die Kostenparameter sind mit erheblichen **Unsicherheiten** verbunden. Eine detaillierte Analyse der Machbarkeit sowie der Trassenführung müssen im Rahmen einer detaillierten Planung umgesetzt werden.

Die Projektansätze liegen im Rahmen eines optimistischen Zielbildes

Zielbilder bis 2035 - Transformationspfad auf Basis der Projektansätze

Langfristige Zielbilder



Prozesswärme

- Die Nutzung von H₂ in der Prozesswärme ist stark abhängig von der Verfügbarkeit und Preisstruktur des H₂.
- Nur in Szenario I besteht eine ausreichende Verfügbarkeit für die Realisierung eines wesentlichen Potentials.
- Die lokalen Stakeholder, nennen zurzeit sowohl Elektrifizierung als auch Wasserstoff als Lösungsansatz.

Verkehr

- In dem optimistischen Szenario I entfällt 90% zu gleichen teilen auf PKW und LKW.
- Deckungsgleich mit der Projektlage in Essen, ist die Anwendung im ÖPNV sowie Sondernutzungsfahrzeugen für den Aufwuchspfad maßgeblich.
- Der kritischste Punkt ist die Anwendung im PKW-Bereich, der im Szenario II vollständig entfällt.

Elektr. Energiebedarf

- Die langfristigen Zielbilder zeigen deutlich den wesentlichen Nutzen von Wasserstoff als Flexibilitätsoption im Stromsektor.
- Die Rückverstromung kann in KWK-Anlagen erfolgen wodurch H₂ effektiv auch in der Wärme genutzt wird.

Gebäudewärme

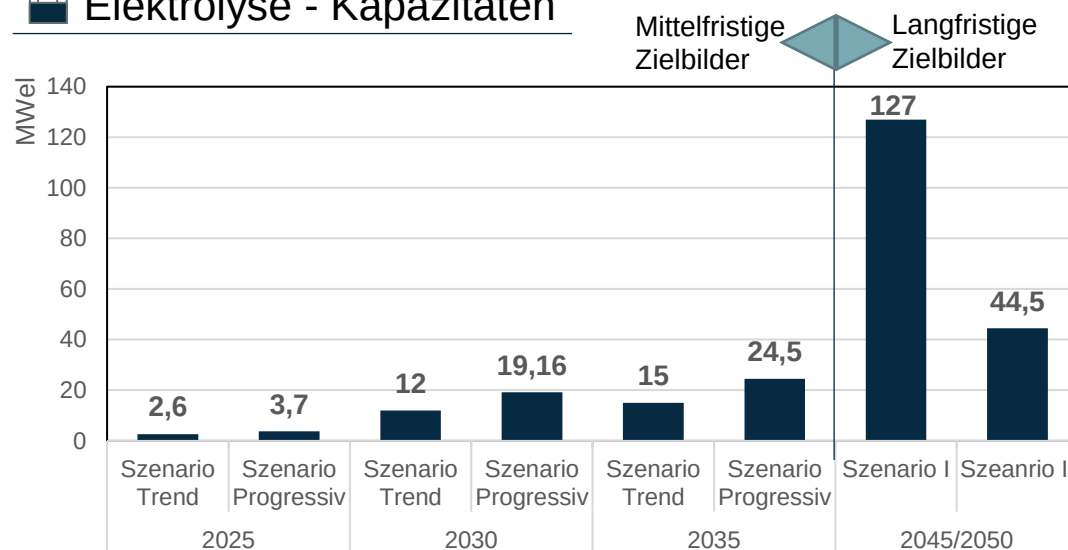
- Die Nutzung von H₂ in der Gebäudewärme ist ebenfalls stark abhängig von der Verfügbarkeit und Preisstruktur des H₂.
- Aufgrund bestehender alternativer Technologien ist der H₂-Einsatz mit wesentlichen Unsicherheiten behaftet.
- Über die Abwärmenutzung der Elektrolyse und Rückverstromung in KWK-Anlagen findet H₂ indirekt Einsatz in der Fernwärme (vgl. Elektr. Energiebedarf).

Stoff. Nutzung

- Sowohl im Stakeholder Prozess als auch der Datenbank ergibt sich kein Potential für Essen.

Langfristig ist das H₂-Ecosystem auf Importe angewiesen. Unabhängig davon sind lokale Elektrolysekapazitäten sinnvoll

Elektrolyse - Kapazitäten



- Die im Zielbild bis 2035 entwickelten Kapazitäten bewegen sich im Rahmen der langfristigen Zielbilder.
- Die in den Zielbildern bis 2035 entwickelten Standorte am MHKW und der Kläranlage Bottrop sind aufgrund ihrer Nähe zu den Verbrauchern sowie einer bestehenden Netzanbindung (380kV) grundsätzlich positiv zu bewerten.

Perspektivische H₂-Versorgung

Hochlauf

- Die initiale H₂-Versorgung kann durch lokale Kapazitäten gedeckt werden
- Die H₂-Versorgung sollte in enger Vernetzung mit den Nachbarregionen geplant werden

Langfristig

- Das H₂-Ecosystem Essen ist langfristig auf H₂-Importe angewiesen
- Für H₂-Anwendungen ist das direkte Umfeld der Stadt Essen einer der dynamischsten Räume
 - Es ermöglicht eine frühzeitige Anbindung der Region an eine überregionale H₂-Infrastruktur
 - Eine perspektivische Pipeline-Anbindung der Industriestandorte nach 2030 legt den Grundstein für eine breite Nutzung von H₂ im Rahmen des H₂-Ecosystems Essen

Inhaltsverzeichnis

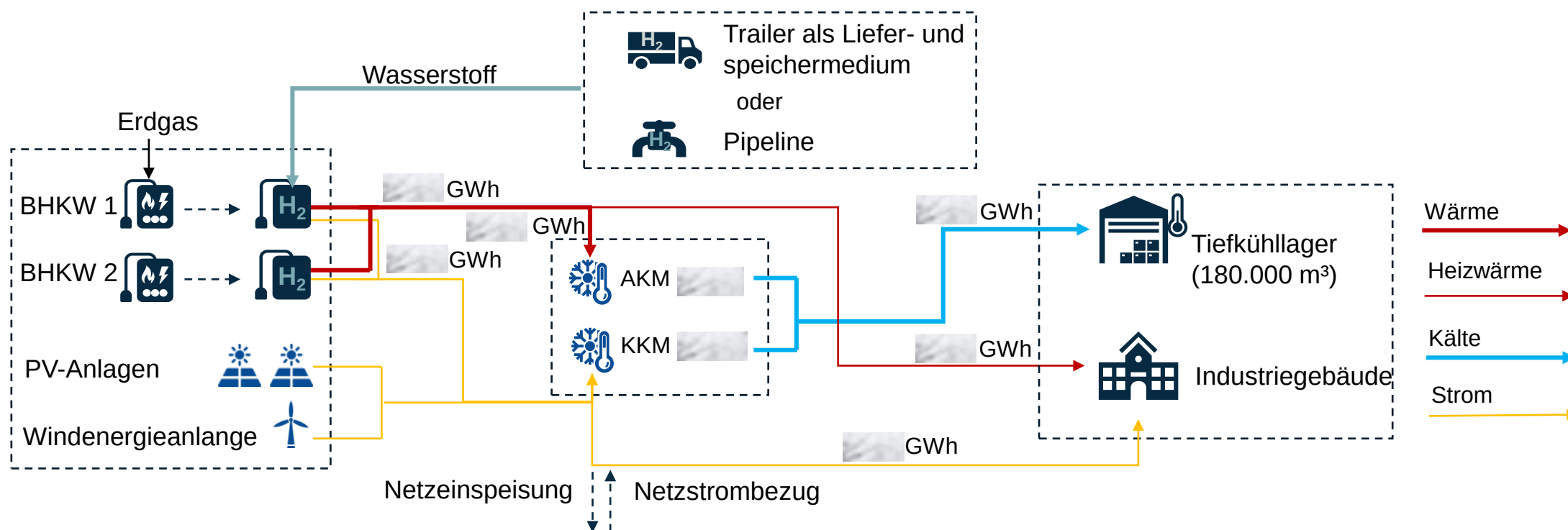
1. Konzept/Vorgehen
2. Potenzialanalyse
3. Bewertung Projektansätze
4. Zielbilder
5. **Starterprojekte**
6. Umsetzungsroadmap
7. Handlungsempfehlungen



- Die im Rahmen der Bewertung identifizierten Projektansätze der Starterprojekte wurden detailliert analysiert, indem u.a. Aussagen zu den folgenden Kriterien getroffen werden:
 - Technische Umsetzungsfähigkeit
 - Wirtschaftlichkeit
 - Umweltfreundlichkeit/Nachhaltigkeit
- Methodisch wurden aufgrund der unterschiedlichen Projektansätze auch unterschiedliche Herangehensweisen gewählt. Verallgemeinernd wurde wie folgt vorgegangen:
 - Die technische Planung der Projektansätze erfolgt durch Planung und Überprüfung des Einsatzes von H2-Technologien zur Deckung des projektspezifischen Energie- beziehungsweise Mobilitätsbedarfs
 - Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Modellierung bilden verschiedene Daten die Basis der Parametrierung: Neben projektspezifischen und vor allem technischen Daten sind u.a. Zielbilder zu Preisentwicklung und Transportoptionen notwendige Rahmendaten

Energieversorgung der Logistic Services Essen

Dargestellt sind die Energieflüsse im Status Quo und der potenzielle Ausbau regenerativer Erzeugungsanlagen sowie eine mögliche Umstellung auf Wasserstoff



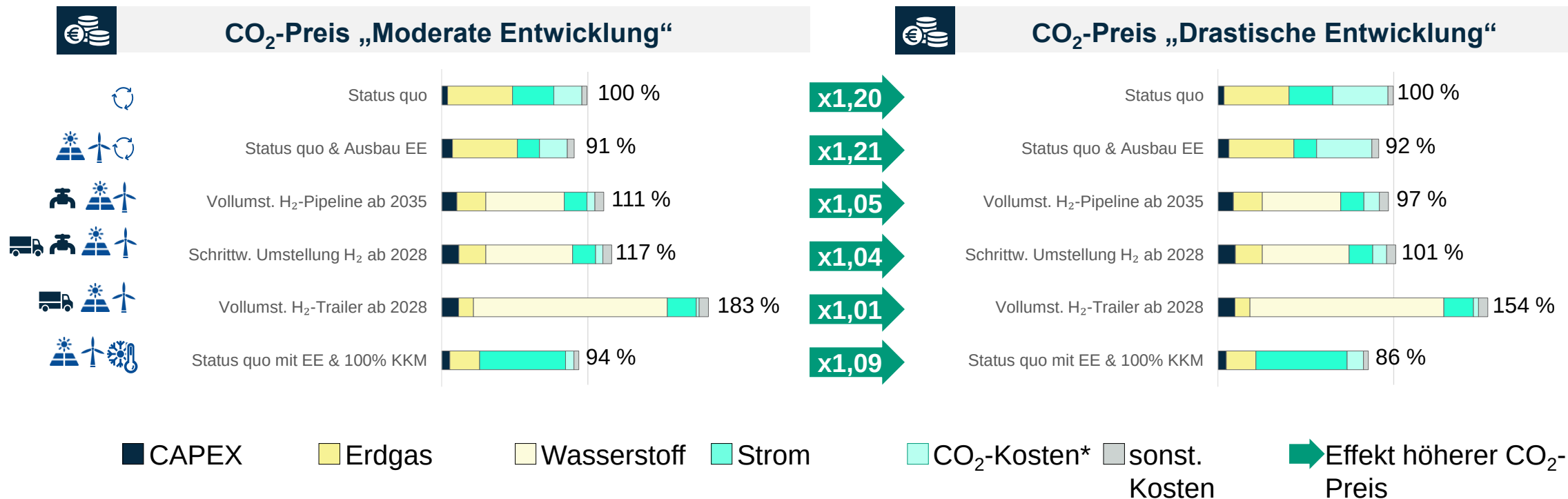
LSE: Versorgungskonzepte in der Übersicht

Es wurden sechs verschiedene Versorgungskonzepte mit der LSE erarbeitet und im Anschluss von nsb modelliert

Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4	Konzept 5	Konzept 6
 Status quo	 Status quo mit Einbindung EE	 Umstellung auf Wasserstoff	 Schrittweise Umstellung auf Wasserstoff	 Vollumstellung auf Wasserstoff	 Status quo mit EE & 100% KKM
› Fortbetrieb der Energieversorgung mit den aktuellen Bestandsanlagen	› Einbindung lokaler EE-Potenziale › Photovoltaik › Windkraft	› Umstellung beider BHKWs auf Wasserstoff im Jahr 2035 › Anschluss ans Wasserstoffnetz › Einbindung lokaler EE-Potenziale	› Umstellung des kleinen BHKWs auf Trailer-H₂ im Jahr 2028 › Umstellung beider BHKWs auf Pipeline-H₂ im Jahr 2035 › Einbindung lokaler EE-Potenziale	› Umstellung beider BHKWs auf Wasserstoff im Jahr 2028 › Wasserstoff Lieferung durch Trailer › Einbindung lokaler EE-Potenziale	› Weitere KKM als Ersatz für AKM im Jahr 2035 › Außerbetriebnahme der BHKWs 2035 › Ergänzung Gaskessel für Heizwärme › Einbindung lokaler EE-Potenziale

LSE: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

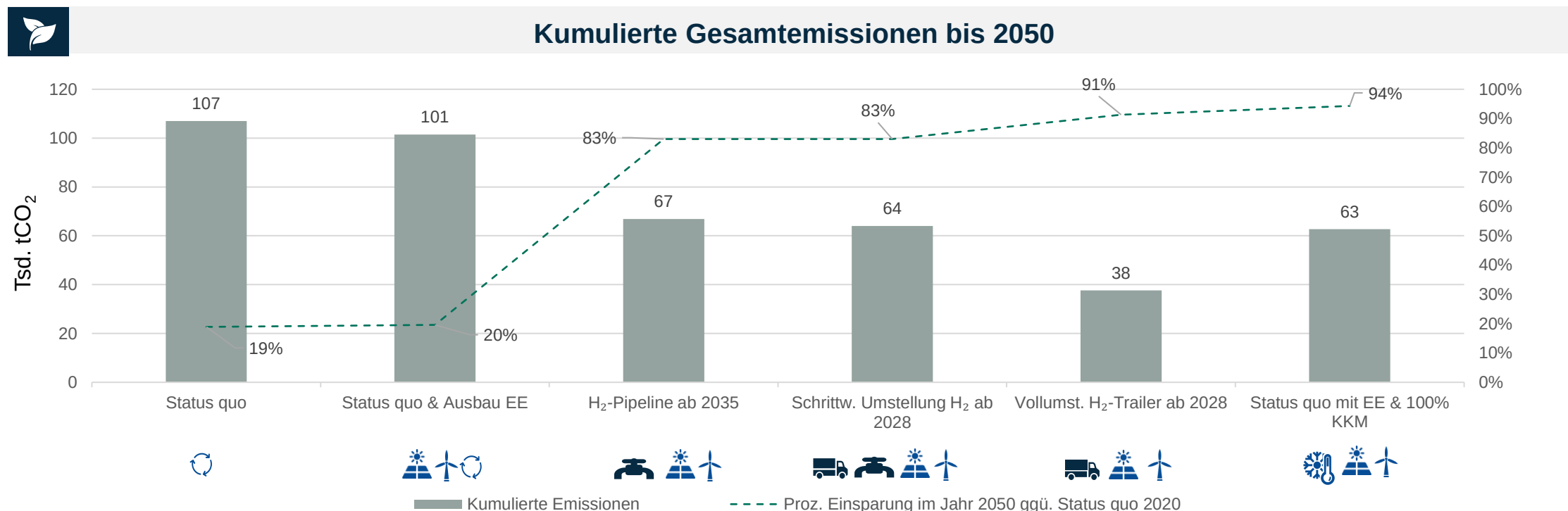
Kumulierte Energie-/CO₂-/Betriebskosten inkl. CAPEX im prozentualen Verhältnis gegenüber dem „Status quo“



Die H₂-Umrüstung erreicht nur bei sehr hohen CO₂-Preisen und bei Pipelinebelieferung marktfähige Kosten. Die Umstellung auf 100 % KKM ist auf einem Niveau mit dem Status quo

LSE: Nachhaltigkeitsbetrachtung

Gesamtemissionen bis 2050 sowie Einsparung ggü. Status quo im Jahr 2050 der einzelnen Konzepte

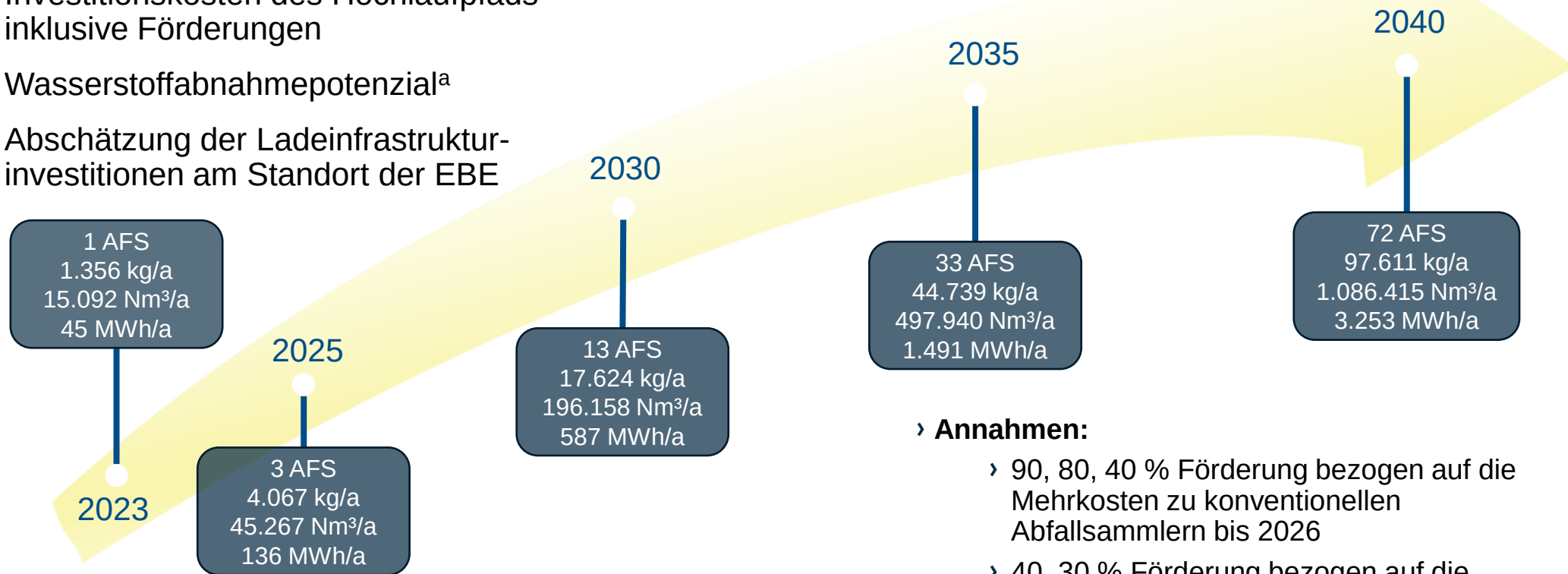


Lokaler H₂ mit Umstellung beider BHKWs 2028 verursacht die niedrigsten Gesamtemissionen, aber auch mit anderen H₂-Varianten oder 100 % KKM sind hohe CO₂-Einsparungen möglich

EBE: Hochlaufpfad H₂-Abfallsammler (AFS) - Range Extender

Trend-Szenario (nach CVD-Vorgaben)

- › Investitionskosten des Hochlaufpfads inklusive Förderungen
- › Wasserstoffabnahmepotenzial^a
- › Abschätzung der Ladeinfrastrukturinvestitionen am Standort der EBE



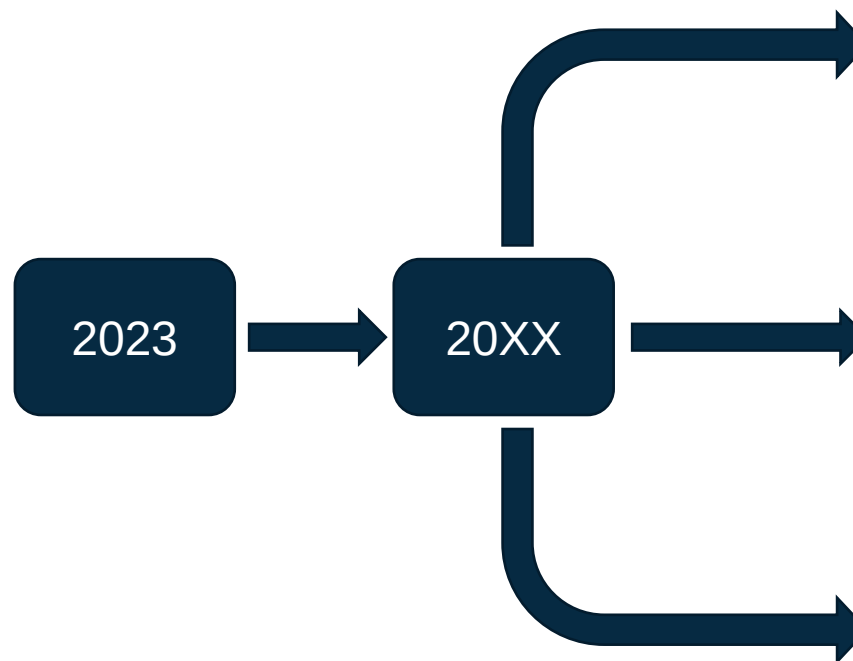
› Annahmen:

- › 90, 80, 40 % Förderung bezogen auf die Mehrkosten zu konventionellen Abfallsammlern bis 2026
- › 40, 30 % Förderung bezogen auf die Mehrkosten zu konventionellen Abfallsammlern ab 2027
- › Linearer Preisabfall der H₂-Abfallsammler

EBE: Betankungsszenarien (Zeitlicher Verlauf)

Szenarien der Betankungsoptionen auf Grundlage der H₂-Preise aus dem Trend-Szenario des H2-Ecosystems

Szenario 0:
Shell-Tankstelle
H₂-Bezugskosten
9,50 €/kg



Szenario 1:

MHKW-Karnap, H₂-Bezugskosten aus Modellergebnissen des MHKW (gem. AP4) + Aufschlag für H₂-Tankstelle

Szenario 2:

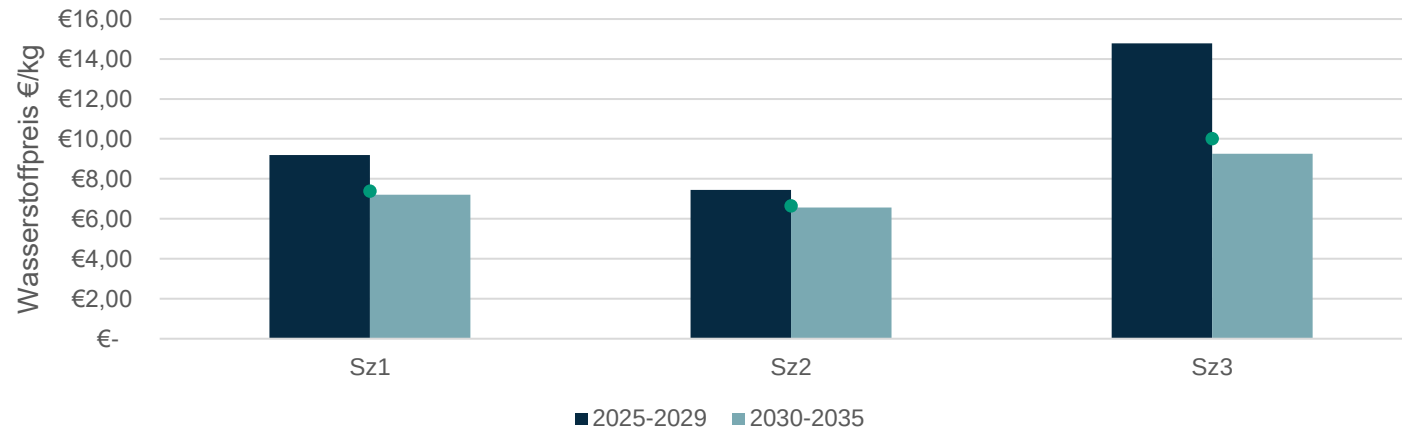
Öffentliche Tankstelle (z.B. Stadthafengebiet), H₂-Bezugskosten aus Modellergebnissen der Klärgasanlage (gem. AP4) + Transportkosten (gem. AP4) und für H₂-Aufschlag Tankstelle

Szenario 3:

Tankstellenkonzeption und Erweiterung auf Bedarf von EBE dimensioniert, H₂-Bezugskosten aus Modellergebnissen der Klärgasanlage (gem. AP4) + Transportkosten (gem. AP4)

Durchschnittliche H₂ Bezugskosten

H₂-Range-Extender durchschnittlicher Wasserstoffpreis
Szenarienvergleich



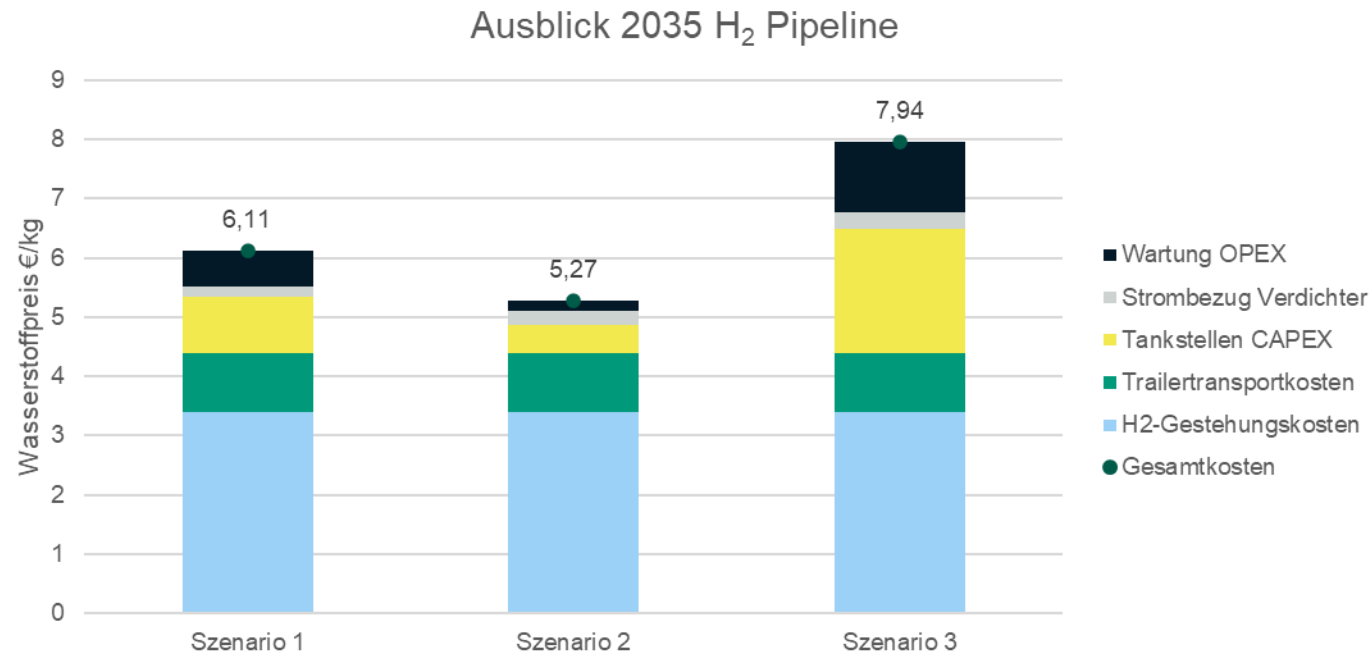
Berechnete Werte anhand der prognostizierten Abnahmemengen der EBE und den H₂-Bereitstellungskosten aus dem Trendszenario

H ₂ Range-Extender Durchschnittspreise €/kg	2025-2029	2030-2035
Sz1	9,18 €	7,20 €
Sz2	7,44 €	6,56 €
Sz3	14,77 €	9,25 €

EBE: Ausblick für 2035 – Pipelineanbindung

Pipelineanbindung Gelsenkirchen ab 2035

- H₂ Bezug fällt auf 3,40 €/kg
- Trailer Transport ab Gelsenkirchen 0,99 €/kg
- Druckstufe 70-100 bar
- Annahme höhere Kompressionsenergie 3,0 kWh/kg^a



Quellen:

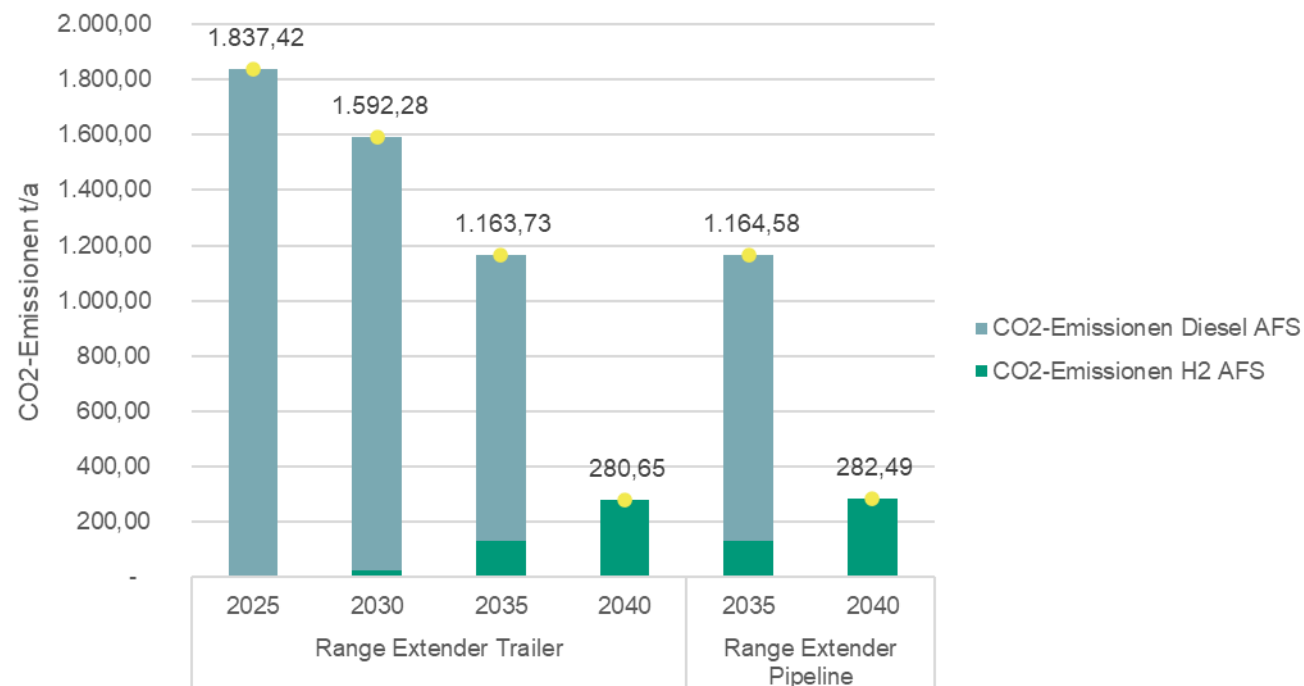
^a Berechnungen basierend auf:
https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/9013_energy_requirements_for_hydrogen_gas_compression.pdf

EBE: Umwelt-Bilanz

Annahmen:

- CO₂-Faktor Kompression mit Grünstrom: 29,09 kg_{CO₂}/MWh^a
- CO₂-Faktor Gesteherung H₂: 1,02-2,40 kg_{CO₂}/kg_{H₂}^b
- CO₂-Faktor Diesel: 2,65 kg_{CO₂}/L_{Diesel}
- CO₂-Faktor Gesteherung Diesel: 0,00056 kg_{CO₂}/L_{Diesel}
- Dieserverbrauch: 50l/100km
- 1.630 tCO₂/a Einsparungen
- Ca. 85% CO₂ Einsparungen (Status Quo 1.910 tCO₂/a)
- Keine NO_x-Emissionen
- Weniger Lärmemissionen
- Weniger Feinstaubemissionen

CO₂ Emissionen H₂ Range Extender



Quellen:

^aUmweltbundesamt 2019; Marktanalyse Ökostrom II Marktanalyse Ökostrom und HKN, Weiterentwicklung des Herkunftsnachweissystems und der Stromkennzeichnung

^bModellierungsergebnisse bbhc Trendszenario

Inhaltsverzeichnis

1. Konzept/Vorgehen
2. Potenzialanalyse
3. Bewertung Projektansätze
4. Zielbilder
5. Starterprojekte
6. **Umsetzungsroadmap**
7. Handlungsempfehlungen



- Als Orientierungs- und Monitoringhilfe für den weiteren Umsetzungsverlauf des H2-Ecosystems wurde eine Grob Ablaufplanung erstellt
- Da zu den identifizierten Projektansätzen überwiegend noch keine konkreten Planungen bzw. Konzepte vorlagen, konnte keine detaillierte Ablaufplanung erstellt werden
- Im Rahmen des vorliegenden Projektes lag der Fokus daher auf der Festlegung der wichtigsten Meilensteine, die für die Realisierung des H2-Ecosystems und den notwendigen Infrastrukturaufbau relevant sind

Meilensteine bei der Umsetzung

EBE STARTET H₂-HOCHLAUF
H₂-Nachfrage Essen: ~ 45 MWh/a



2023

2024

RUHRBAHN

RUHRBAHN STARTET H₂-HOCHLAUF
H₂-Nachfrage Essen: ~ 3,5 GWh/a

INBETRIEBNAHME ELEKTROLYSE

In Karnap und Bottrop startet die Erzeugung von grünem H₂; Ruhrbahn und EBE sowie Harmuth und W. F. Baldeney werden über Trailer versorgt



2025

2030

Logistic Services Essen

LSE STARTET UMRÜSTUNG AUF H₂

Hochlauf aus der Mobilität schreitet voran, LSE stellt ein BHKW auf Wasserstoff um

H₂-Nachfrage Essen: ~ 58 GWh/a

UMSTELLUNG VON KOKEREIGAS AUF H₂

Verallia und Trimet stellen auf eine reine H₂-Versorgung um und werden über eine Pipelineanbindung mit Importen versorgt

H₂-Nachfrage Essen: ~ 530 GWh/a



2035

Inhaltsverzeichnis

1. Konzept/Vorgehen
2. Potenzialanalyse
3. Bewertung Projektansätze
4. Zielbilder
5. Starterprojekte
6. Umsetzungsroadmap
7. **Handlungsempfehlungen**



Handlungsempfehlungen zur Umsetzung



- Über die Grob Ablaufplanung hinaus wurden weitere Handlungsempfehlungen erarbeitet, die für die Umsetzung des H2-Ecosystems relevant sind
- Hierbei ging es insbesondere auf die Befähigung der Stadt Essen, bzw. der Essener Wirtschaftsförderungsgesellschaft (EWG), das Projekt „H2-Ecosystem Essen“ weiterzuführen
- Der Fokus lag daher auf der Organisationsentwicklung und der Aufgabenbeschreibung

Handlungsbedarfe im H₂-Ecosystem Essen



Etablierung von Gremien



BILATERALER AUSTAUSCH MIT STARTERPROJEKTEN



INFRASTRUKTUR PLANEN FÜR ZIELBILDER



FORTFÜHRUNG DES LEADSTAKEHOLDER FORUMS



DIE EWG ALS H2-KOMPETENZCLUSTER IN ESSEN ETABLIEREN

Unterstützung Fördermittel Politisches Monitoring



ANSTOßEN DER FÖRDERMITTELAKQUISE



POLITISCHES MONITORING

Ausrichtung für HyPerformer



TASKFORCE AUFSETZEN



AUSARBEITUNG DES ANTRAGS

Hauptansprechpartner des Konsortiums



nymoen|strategieberatung GmbH

- › Dr. Håvard Nymoen | nymoen@nymoen-strategieberatung.de
030-364100 100 | 0174 3274757
- › Kathrin Graf | graf@nymoen-strategieberatung.de
030-364100 202 | 0173 8907338

con|energy agentur GmbH

- › Stefanie Hamm | hamm@conenergy.com
0201 1022 310 | 0170 2928847
- › Daniel Ohmann | ohmann@conenergy.com
0201 1022 305 | 0173 3886701

BBH Consulting AG

- › Marcel Malcher | marcel.malcher@bbh-beratung.de
+4922165025300 | +49(0)172 8332179
- › Philipp Jahnke | Philipp.Jahnke@bbh-beratung.de
+49(0)30 611 28 40-923 | +49 (0)1604820528

Hydrogentle GmbH

- › Marco Schmidt | marco.schmidt@hydrogentle.de
040 2841757 221 | 0175 4355850
- › Igor Duong | igor.duong@hydrogentle.de