



Stadt Essen Machbarkeitsstudie H₂Ecosystem

Vorgehen und Ergebnisse

ENERGIEWENDE | 120 H - Digital Campus Zollverein

Essen, 29.09.2021



Gefördert durch:



Koordiniori durch





Ausgangslage und Auftrag



Ausgangslage

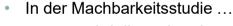


- Eine nachhaltige und emissionsfreie Energieversorgung ist die Voraussetzung für die Energie- und Verkehrswende
- Für die Energie- und Verkehrswende ist der Einsatz neuer massenfähiger Technologien (u. a. H₂) maßgeblich
- Die Stadt Essen wurde im Wettbewerb "Hyland Wasserstoffregionen in Deutschland" 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





- ...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

nymoen strategieberatung







Projektteam Auftragnehmer





Projektleitung



Dr. Håvard Nymoen Geschäftsführer

Kathrin Graf Projektleiterin

Simon ByrtusBerater

Emil Weber Berater





Marcel Malcher Vorstand

Philipp Jahnke Counsel

Tim Scherwath
Consultant





Marco Schmidt Geschäftsführer

Igor Duong Projektingenieur

Marcel Frohreich Junior-Projektingenieur

con energy



Stefanie Hamm Geschäftsführerin

Paul Kulik Leiter Medien

Anne Buers Projektleiterin

nymoen strategieberatung







Inhaltsverzeichnis

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





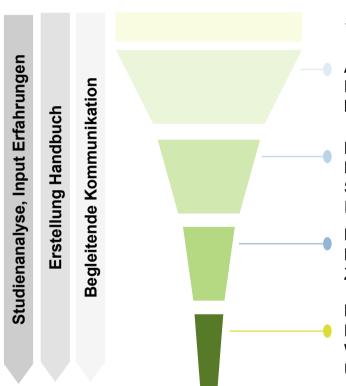






Konzeptionelles Vorgehen





Stakeholderanforderungen

Analyse regionaler Abnahme- und Erzeugungspotenziale

Erstellung einer Konsumenten-/Produzenten-Datenbank; Identifikation bestehender Infrastruktur; Festlegung H₂-Markthochlauf

Entwicklung von Projektansätzen

Matching von Konsumenten/Produzenten; Bewertung von Synergien; Standortsuche zusätzlicher Erzeugungskapazitäten, Optimale Einbindung Infrastruktur

Entwicklung von Zielbildern

Bewertung der Projektansätze, Festlegung von Transformationspfaden, Zielbildentwicklung für 2030 und 2040

Handlungsempfehlungen und Umsetzungsroadmap

Detaillierte Analyse von zwei Projektansätzen (Ausarbeitung Projektskizze inkl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) als Starterprojekte; Grobablaufplan der weiteren Umsetzung des H₂-Ecosystems

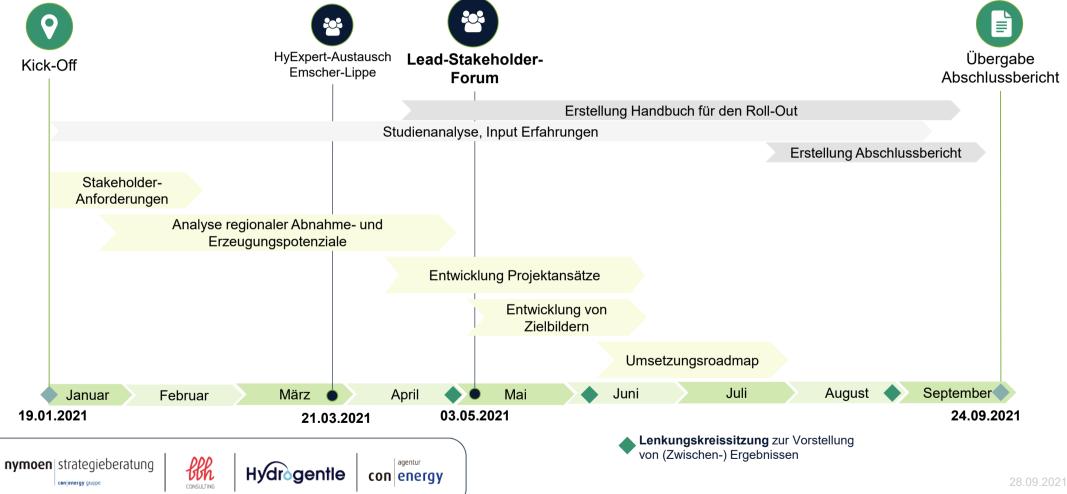






Zeitplan





Inhaltsverzeichnis

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











Potenzialanalyse



- 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









Infrastrukturanalyse



H₂-Pipeline c,d

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



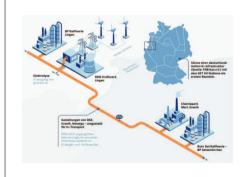
Emscher Lippe d

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"



nymoen strategieberatung







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

Stakeholderanalyse



Stakeholder Identifikation

- 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

76 Stakeholder wurden in Essen identifiziert

Stakeholder Priorisierung

- 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

29 Stakeholder wurden für die individuelle Analyse in Betracht gezogen (Interviews)

Stakeholder Feedback

- > 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

16 Projekteansätze konnten anhand der der Interviews identifiziert werden

Stakeholder Bewertung

- Im nächsten Schritt wurden die Projektansätze geclustert
- Im Lead Stakeholder-Forum wurden die Projektideen im Hinblick auf Synergiepotenziale diskutiert und hinsichtlich ihrer Realisierungswahrscheinlichkeit bewertet

Bewertung der Ansätze im Rahmen des Leadstakeholder-Forums

nymoen| strategieberatung

con energy gruppe





Beispiel Steckbrief (1/2)



Unternehmen

Standort

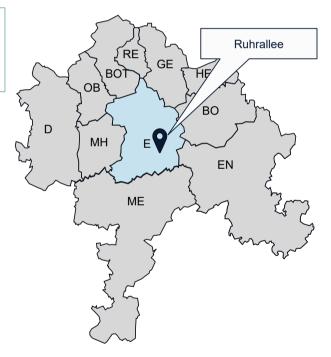
H2-Projekte

Ruhrbahn GmbH							
Ruhrallee 354, 45136 Essen							
Erzeugung Transport							
	Speicher	х	Verwendung				



H2-Projektbeschreibung

- 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.



nymoen strategieberatung

con energy gruppe







Beispiel Steckbrief (2/2)



Straße, Haus-Nr.	Ruhrallee 354			Eigenschaften genutzter V	Vasserstoff
PLZ, Ort	45136 Essen		Farbe		Keine Priorisierung, Ziel grün
Mobile Anwendungen	2024	2028	2033	Emissionsfaktor [CO ₂ /kg]	
Solo-Busse	4	32	69	Reinheit [%]	Wasserstoff 5.0; 99,999
Gelenk-Busse	9	69	143	Druck [bar]	350
Ø H ₂ -Bedarf kg/a*	90.810	704.250	1.475.700	Distribution des Wasserst	offes
				Pipeline Anschluss	Gekoppelt an neuen Standort
max. H ₂ -Bedarf kg/	d* 348	2.701	5.660	Trailer-/Behälterabfüllung	2024 - Inbetriebnahme n. Standort
*Bedarfsschätzunger	n, basierend auf Hochre	chnung		Tankstelle	Betriebshof
2021 P	Projektstart	203		Umrüstung der lotte	2040
	An	bindung an Pipeline/			

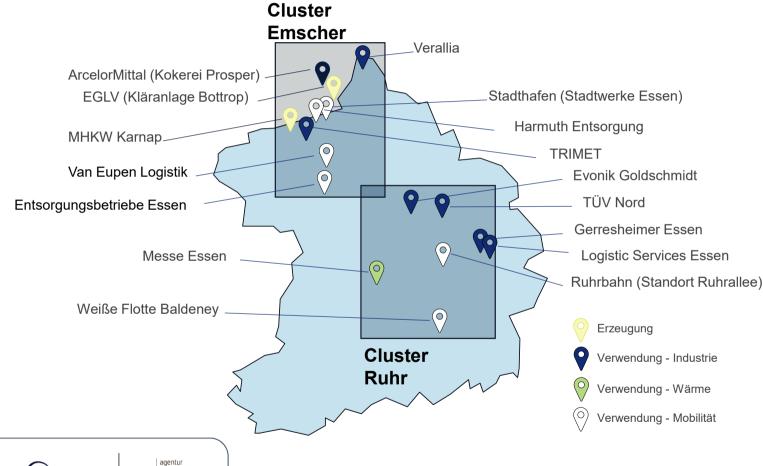




Eigenproduktion

Übersicht Projektansätze









Inhaltsverzeichnis

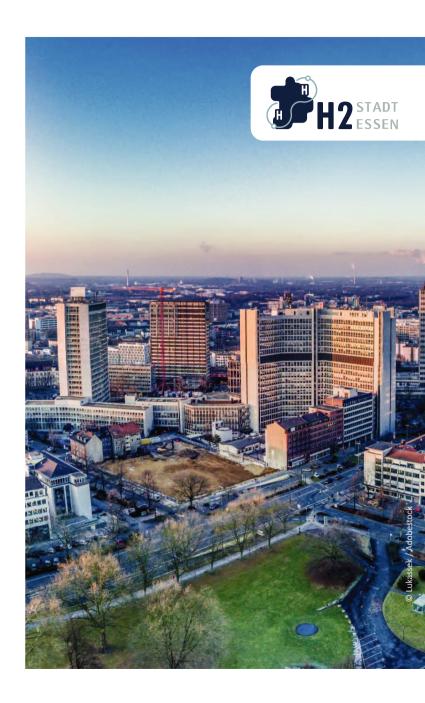
- 1. Konzept/Vorgehen
- 2. Potenzialanalyse
- 3. Bewertung Projektansätze
- 4. Zielbilder
- 5. Starterprojekte
- 6. Umsetzungsroadmap
- 7. Handlungsempfehlungen











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

nymoen|strategieberatung

con energy gruppe

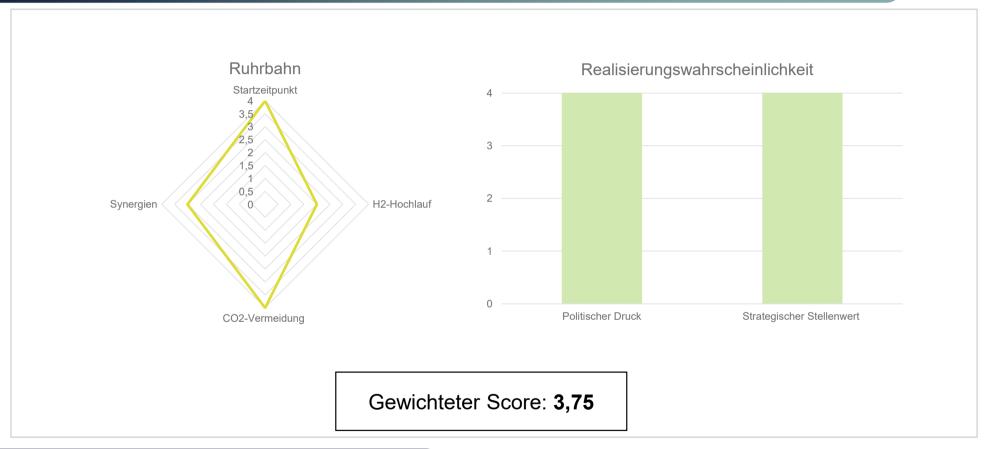






SWOT Beispiel Ruhrbahn (1/2)





nymoen strategieberatung







Bewertungsmatrix



						В	ewertun	g	
Kategorie	Gewichtung	Subkategorie	Gewichtung	Beschreibung	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
	30 %	CO ₂ - Vermeidung (Industrie)	50 %	Mengen an CO ₂ -Ausstoß, die durch Projektrealisation verhindert werden	<1000	1.000- 10.000	10.000- 20.000	20.000- 50.000	> 50.000
Projektidee		CO ₂ - Vermeidung (Mobilität)	30 76	(qualitativ) in tCO₂/a	<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)			
Realisierungs-	Dr : 60 % Strate	Politischer Druck	50 %	Politischer und regulatorischer Druck auf die Branche bzw. das Projekt	qualitativ von 0 (gering) bis 4 (hoo				
wahrscheinlichkeit		Strategischer Stellenwert	50 %	Stimmungsbild beim Unternehmen, beispielsweise abhängig von Alternativen, vorhandenem Knowhow, …) bis 4 (ho	ch)	

nymoen strategieberatung

bbh consulting



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	Weiße 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 Projketskizzen 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

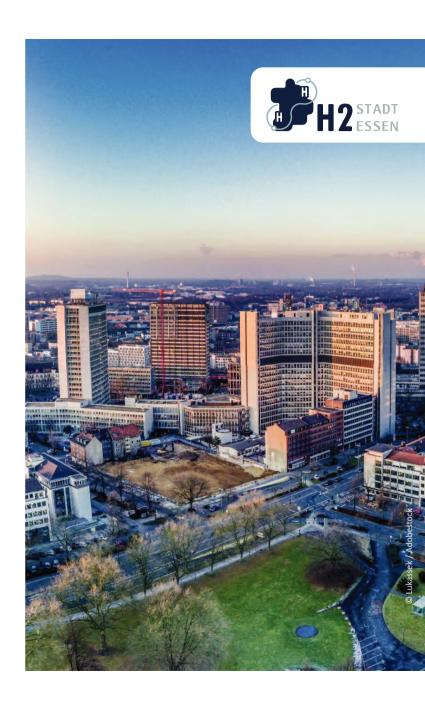
- 1. Konzept/Vorgehen
- 2. Potenzialanalyse
- 3. Bewertung Projektansätze
- 4. Zielbilder
- 5. Starterprojekte
- 6. Umsetzungsroadmap
- 7. Handlungsempfehlungen











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 f
 ür eine leitungsgebundene H2-Infrastruktur
 - Standorte f
 ür die notwendigen H2-Technologien



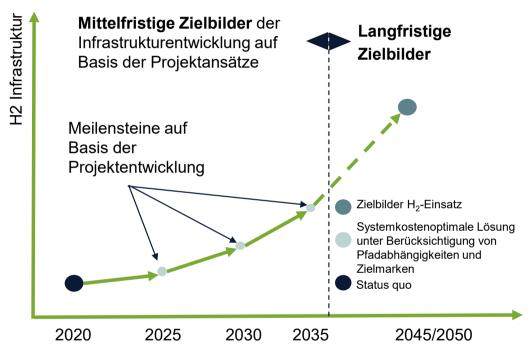






Formulierung von Zielbildern auf Basis der Projektansätze





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





Definition von 2 Szenarien

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

Sektorenübergreifendes Energiesystemmodell R²EnSvsMod

Eigenschaften

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

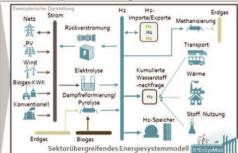
Energiewirtschaftliche Parameter

- Energiepreise
- · Erzeugung Potenziale
- Wetterdaten
- Nachfragelastgänge
- Technologieparameter Regionale

Strukturparameter

- Potenziale und Nachfrage
- Bestandsanlagen und Infrastruktur

Szenarioparameter



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-Wertschöpfungsstufenn als Basis für die Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnis

Investitionen und Betriebsführung

- Kapazitäten
- Mengengerüst Assoziierte Emissionen

Betriebswirtschaftlich

- Umsätze
- Bereitstellungskosten Energieeffizienz

Visualisierung der Zielbilder

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

Fortschreibug der H₂-Durchdringungung 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

nymoen strategieberatung

con energy gruppe







Szenarien der mittelfristigen Zielbilder



Szenario	Trend				Progressiv		
Beschreibung	berücksichtigt, die der Kat	rden die H2-Anwendungs- u egorie "In Planung" zugeord ich Prozesswärme/-kälte fin	dnet worden sind. Die	Zusätzlich zu dem Trend Szenario wird die Umsetzung der Projekte in den Kategorien "Potential" berücksichtigt. Im Jahr 2035 wird die H2-Nachfrage aus dem Bereich Proz 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	_			Drei ausgewählte	Drei ausgewählte	Drei ausgewählte	
(Netzstrom)	0	0	0	Standorte	Standorte	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	
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.				e In einer zusätzlichen Variante wird ein breite Verfügbarkeit von H ₂ -importen für Projekte in Essen analysiert (vgl. Abschnitt 5.1.3.3)			

- 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 nachranging als Back-up verwendet.

- 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.



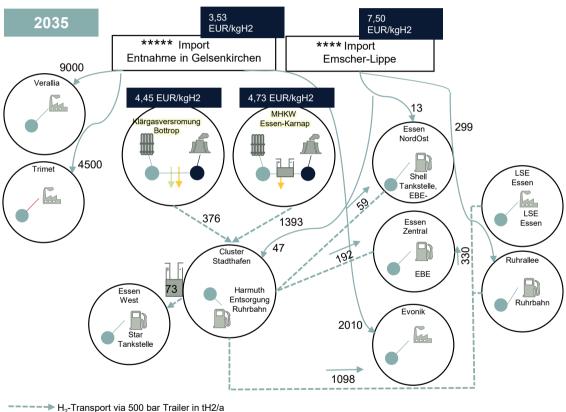






Szenario Trend – Ergebnisse





	Kapazitäten	Speicher [MWh _{H2}]	Elektrolyse [MW _{el}]	Dampfrefomierung [MWH ₂]
	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/kgH2
	H ₂ -Emissionsfaktor	2,4 (5,7) **		kgCO2/kgH2
١	Autarkiegrad Essen	10		%
1	*10 :11 10	D	- h -:h - lk ll - 1/	

^{* |} 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.

nymoen strategieberatung

con energy gruppe



^{** |} 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.

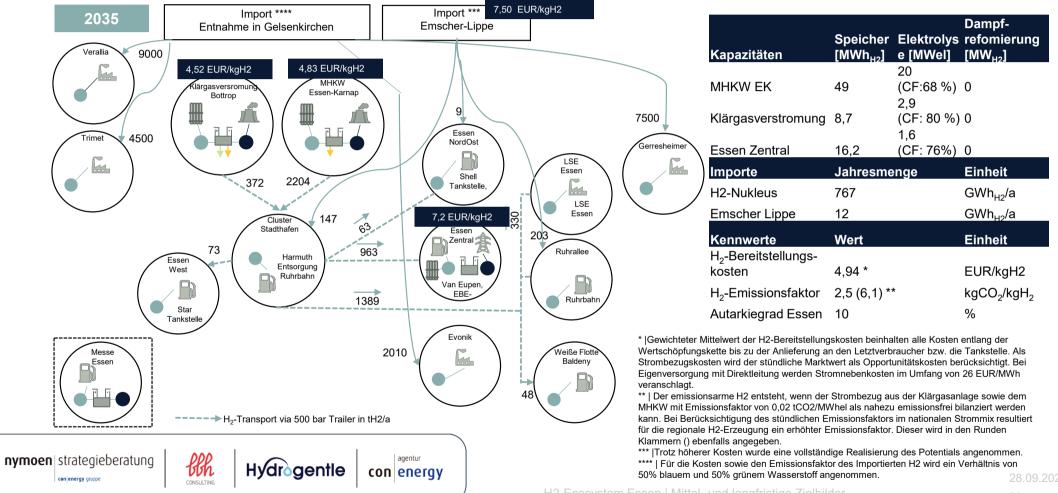
^{*** |} CF: Kapazitätsfaktor

^{**** |} 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. 28.09.202

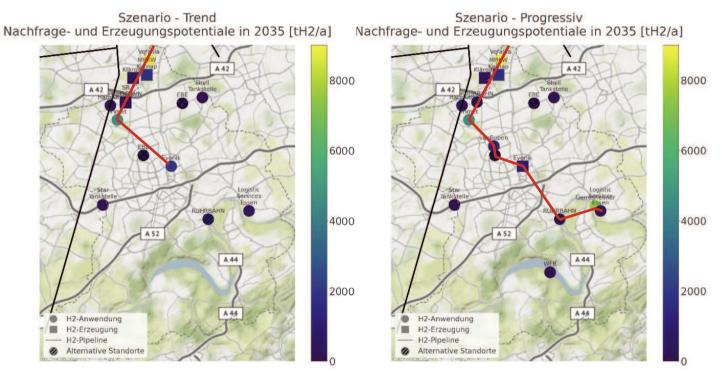
Szenario Progressiv - Ergebnisse





Potential einer H2-Pipeline für 2035





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

nymoen strategieberatung



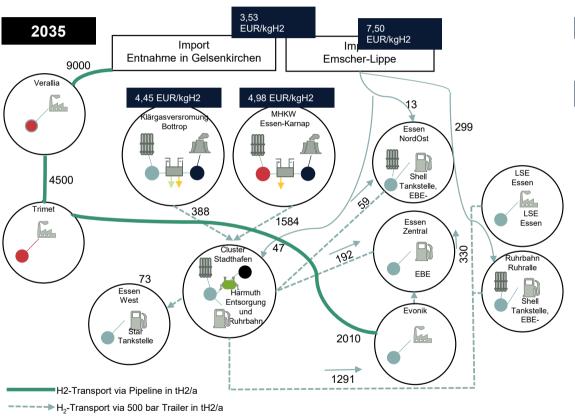




a | © GeoBasis-DE / BKG (2021) b| chemieatlas.de, abgerufen 07.05.2020

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/kgH2
H2-Emissionsfaktor	2,38 (5,78) **	kgCO2/kgH2
Autarkiegrad Essen	10	%

- Die Erschließung der Industriestandorte (Verallia, Trimet und Evonik) reduziert die durchschnittlichen H2-Bereitstellungskosten deutlich von 4,9 auf 4,31 EUR/kg_{H2}
- 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.

nymoen strategieberatung

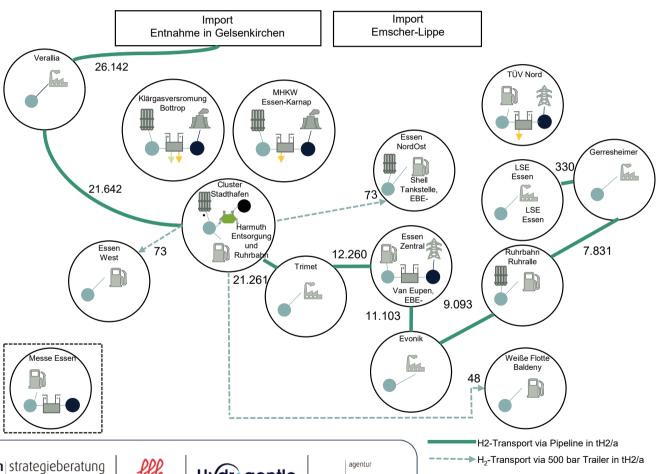






Szenario Progressiv Pipeline – Ergebnisse





Importe	Jahresmenge	Einheit
Emscher Lippe	0	GWh _{H2}
H2-Nukleus	871	GWh _{H2}
Kennwerte	Wert	Einheit
Kennwerte H2-	Wert	Einheit
		Einheit EUR/kgH2
H2-		

- Bei ausreichender Verfügbarkeit von H2-importen erschließt die zentrale Pipeline nahezu alle Identifizierten Projekte. Die H2-Bereitsellungskosten 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.

nymoen strategieberatung con energy gruppe

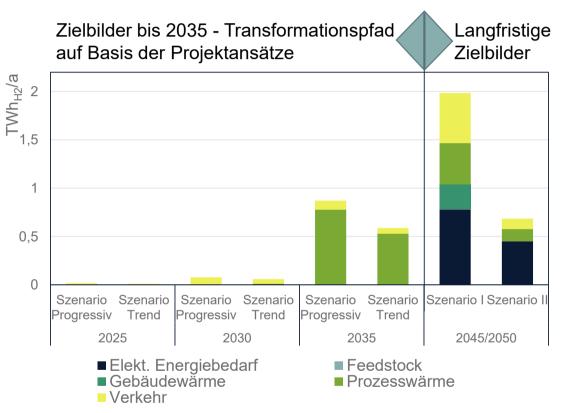






Die Projektansätze liegen im Rahmen eines optimistischen Zielbildes





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.

套 Elektr. Energiebedarf

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

Stoff. Nutzung

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

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.

🕋 Gebäudewärme

- Die Nutzung von H2 in der Gebäudewärme ist ebenfalls stark abhängig von der Verfügbarkeit und Preisstruktur des H2.
- Aufgrund bestehender alternativ 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).

nymoen strategieberatung

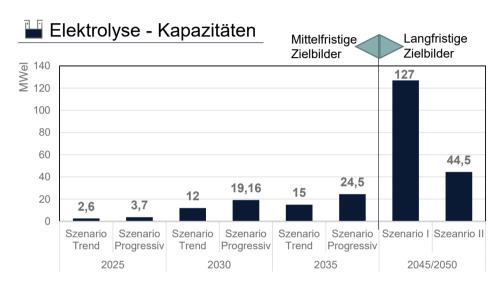






Langfristig ist das H₂-Ecosystem auf Importe angewiesen. Unabhängig davon sind lokale Elektrolysekapazitäten sinnvoll





- 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.



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











Starterprojekte



- 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





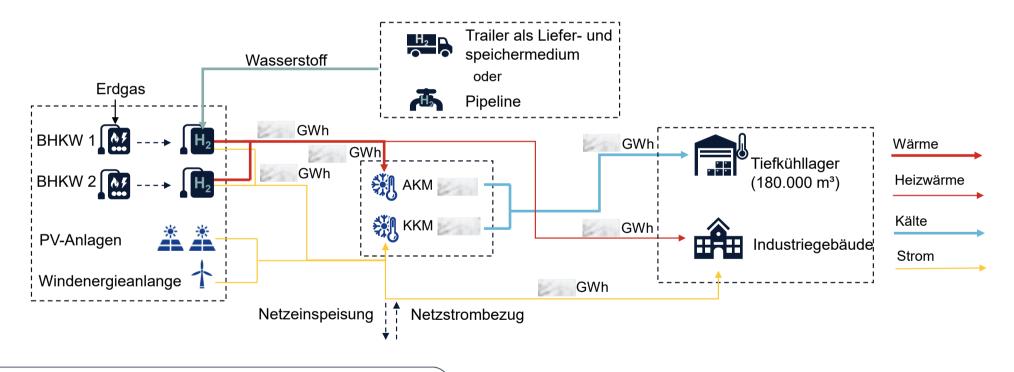




Energieversorgung der Logistic Services Essen



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











AKM: Absorptionskältemaschine KKM: Kompressionskältemaschine

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	J	★ ↑ 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

nymoen strategieberatung





LSE: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



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



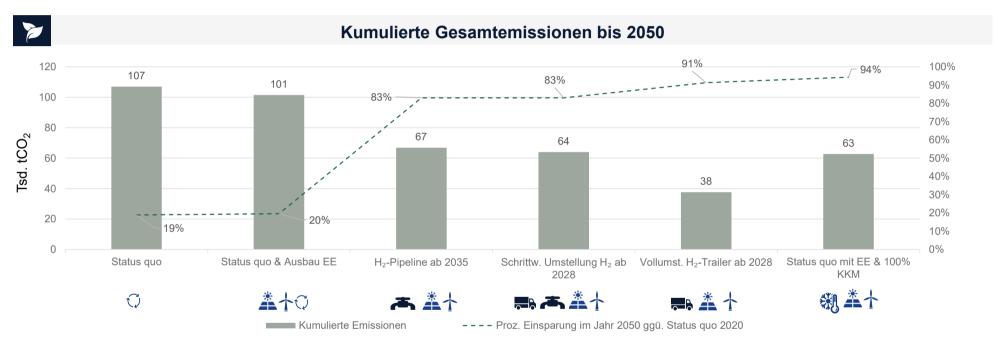
Die H₂-Umrüstung erreicht nur bei sehr hohen CO₂-Preisen und bei Pipelinebelieferung marktfähige Kosten. Die Umstellung auf 100 % KKM ist auf einem Niveau mit dem Status quo



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







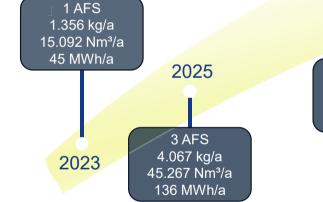


EBE: Hochlaufpfad H₂-Abfallsammler (AFS) - Range **Extender**



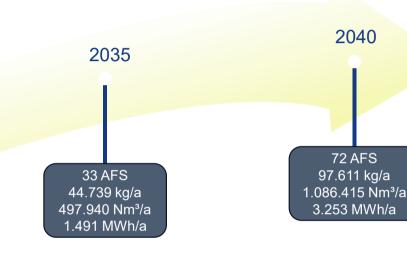
Trend-Szenario (nach CVD-Vorgaben)

- > Investitionskosten des Hochlaufpfads inklusive Förderungen
- > Wasserstoffabnahmepotenziala
- > Abschätzung der Ladeinfrastrukturinvestitionen am Standort der EBE





2030



> 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



con energy gruppe





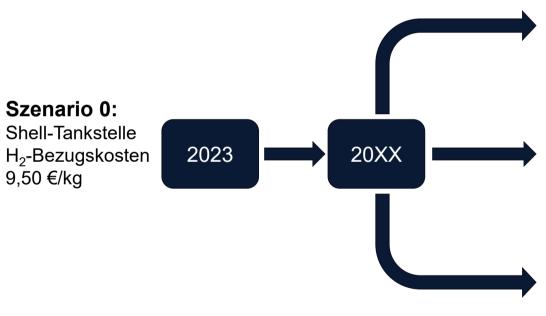


Quelle:

ahttps://www.dw.com/de/bluepower-das-modernste-m%C3%BCllauto-der-welt/a-57186259

EBE: Betankungsszenarien (Zeitlicher Verlauf)





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

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)



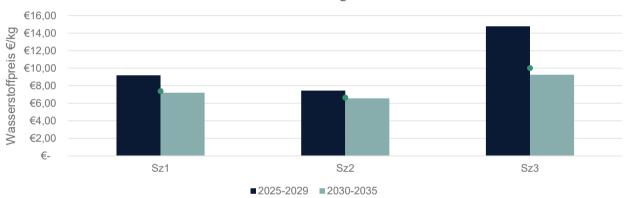




Durchschnittliche H₂ Bezugskosten







H₂ Range-Extender Durchschnittspreise €/kg	2025-2029	2030-2035
Sz1	9,18€	7,20 €
Sz2	7,44 €	6,56 €
Sz3	14,77 €	9,25 €

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

nymoen strategieberatung





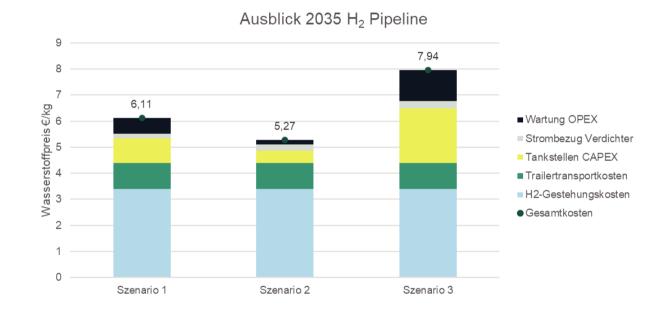


EBE: Ausblick für 2035 – Pipelineanbindung



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:

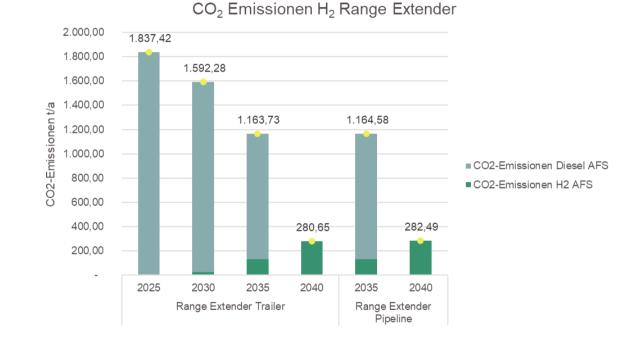
^a Berechnungen basierend auf:
 https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/9013_energy_requirements_for_hydrogen_gas_compression.pdf

EBE: Umwelt-Bilanz



Annahmen:

- CO₂-Faktor Kompression mit Grünstrom: 29,09 kg_{CO₂}/MWh^a
- CO₂-Faktor Gestehung H₂: 1,02-2,40 kg_{CO₂}/kg_{H₂}^b
- CO₂-Faktor Diesel: 2,65 kg_{CO₂}/L_{Diesel}
- CO₂-Faktor Gestehung Diesel: 0,00056 kg_{CO2}/L_{Diesel}
- Dieselverbrauch: 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



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











Ablaufplanung



- Als Orientierungs- und Monitoringhilfe für den weiteren Umsetzungsverlauf des H2-Ecosytems wurde eine Grobablaufplanung 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



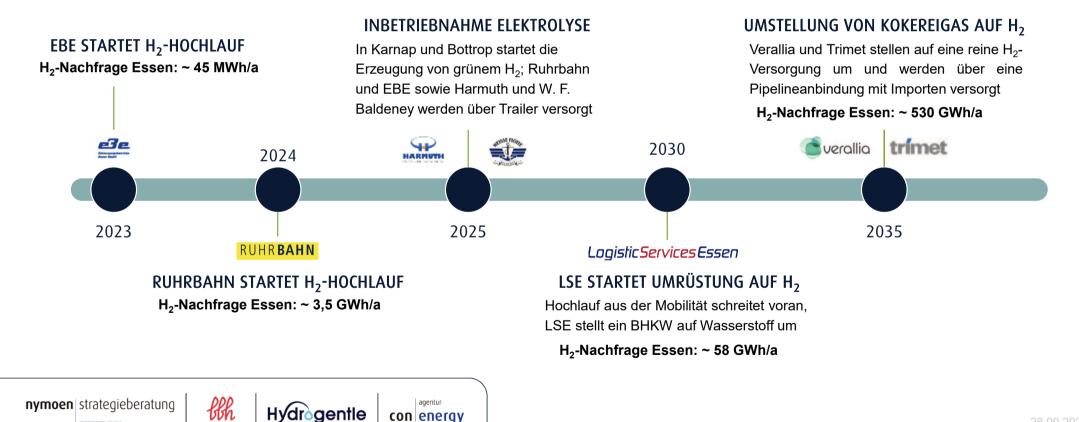


Meilensteine bei der Umsetzung

con energy

con energy gruppe





Inhaltsverzeichnis

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











Handlungsempfehlungen zur Umsetzung



- Über die Grobablaufplanung hinaus wurden weitere Handlungsempfehlungen erarbeitet, die für die Umsetzung des H2-Ecosystems relevant schiesindnen
- Hierbei ging es insbesondere auf die Befähigung der Stadt Essen, bzw. der Essener
 Wirtschaftsförderunsgesellschaft (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

nymoen strategieberatung





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 | <u>hamm@conenergy.com</u> 0201 1022 310 | 0170 2928847
- Daniel Ohmann | ohmann@conenergy.com 0201 1022 305 | 0173 3886701

BBH Consulting AG

- > Marcel Malcher | <u>marcel.malcher@bbh-beratung.de</u> +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

nymoen strategieberatung





