

beauftragt durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer **Entwicklungs-Plattform für PtL-Kraftstoffe**

Manfred Aigner (Vortragender)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Verbrennungstechnik, Stuttgart



15. Juli 2021

Die im Folgenden vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers und spiegeln nicht notwendigerweise offizielle Positionen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Auftraggeber wider. Damit sind keine rechtsverbindlichen Äußerungen des BMVI verbunden.



Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Projekt-Beteiligte

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

- Prof. Dr. Manfred Aigner
- Dr. Christoph Arndt
- Dr. Marina Braun-Unkhoff
- Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
- Dr. Thorsten Jänisch
- Dr. Markus Köhler
- Dr. Patrick Le Clercq
- Uwe Molzberger
- Dr. Juliane Prause
- Heiko Wollenweber
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Technische Universität Hamburg (TUHH)

- Stefan Bube
- Fabian Carels
- Prof. Dr. Martin Kaltschmitt
- Dr. Ulf Neuling
- Tjerk Zitscher
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

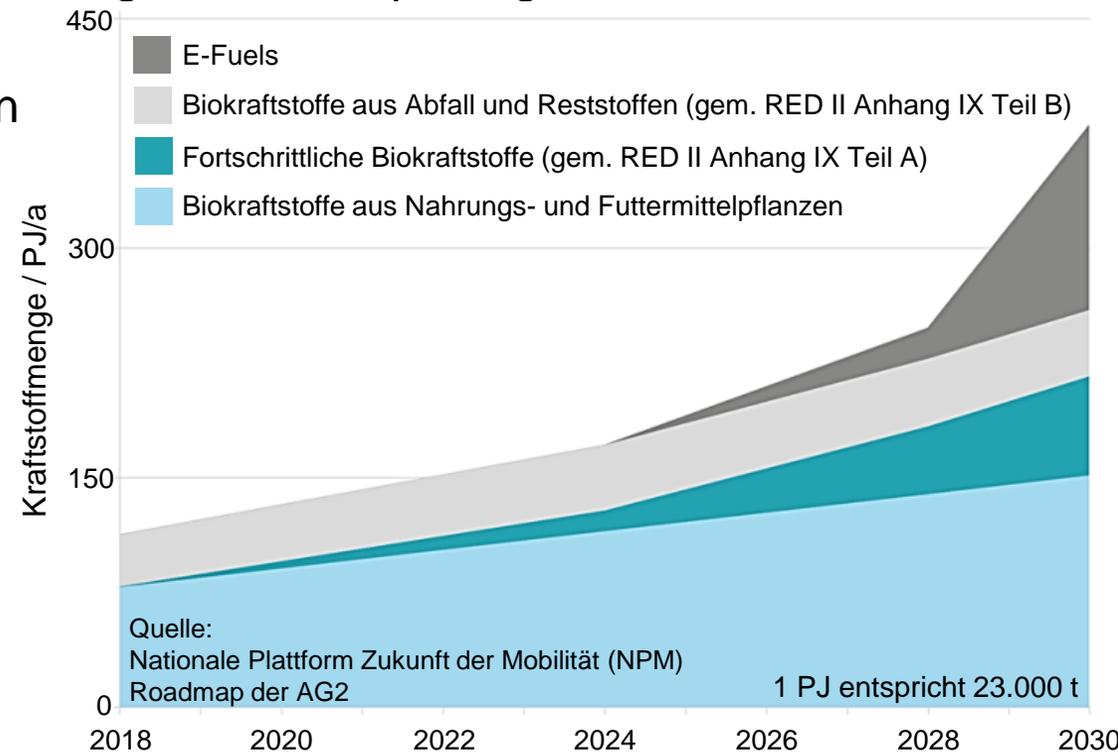
Griesemann Gruppe / John Brown Voest GmbH (JBV)

- Uwe Gaudig
- Martin Vorsatz
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Strombasierte Kraftstoffe

Hintergrund

- Strombasierte Kraftstoffe (**Power-to-Liquid**, PtL) sind zum Erreichen der Klimaschutzziele im Straßenverkehr sowie in der Schifffahrt notwendig und in der Luftfahrt alternativlos
 - Biokraftstoffe werden ebenfalls benötigt, aber für die notwendige THG-Einsparung im Verkehr ist die verfügbare Rohstoffbasis nicht ausreichend
 - Strom- und biomassebasierte Kraftstofferzeugungsrouten können ideal kombiniert werden (Bereitstellung von Kohlenstoff durch Biomasse)
- Um die ambitionierten und gesetzlich verankerten Klimaschutzziele zu erreichen, müssen PtL-Kraftstoffe **bis 2030** großtechnisch produziert und in den Markt gebracht werden
- Experten-Gremien (z.B. NPM) und Luftfahrt-Industrie fordern Markthochlauf von strombasierten Kraftstoffen
- In Deutschland ist eine Quote für PtL-Kerosin vorgesehen (0,5% in 2026, ansteigend auf 2% (ca. 200.000 t) in 2030)



Strombasierte Kraftstoffe für die Luftfahrt

Status Quo 2019 (vor Corona)

- 915 Mio. Tonnen CO₂ Emissionen weltweit durch den Luftverkehr
 - 2,8% der anthropogenen CO₂ Emission, 12% des Transport-Sektors
 - 2-3-fach höhere Klimawirkung durch nicht-CO₂-Effekte (z.B. Kondensstreifen)¹
 - 80% der CO₂ Emissionen der Luftfahrt stammen von Flügen >1500 km

Handlungsbedarf

- Klima: Reduktion der Emissionen und Klimawirkung (CO₂ und nicht-CO₂)
- Umwelt: Verbesserung der lokalen Luftqualität
- Regulatorisch: PtL-Quote in Deutschland (2% in 2030)

Handlungsoptionen

- Neuartige Antriebe (Hybrid-elektrisch, Wasserstoff):
nicht vor 2035, nur für Kurz- und ggf. Mittelstrecke
- Nachhaltige Flug-Kraftstoffe (SAF²):
Sofort einsatzbereit, Reduktion der CO₂ bis zu 95%; zusätzlich nicht-CO₂-Effekte³
→ Unterstützung der Technologie-Skalierung für PtL, Produktionshochlauf

¹ D.S. Lee et al., Atmospheric Environ. 244 (2021)

² SAF: Sustainable Aviation Fuels

³ C. Voigt et al., Commun. Earth Environ. 114 (2021)

Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Ziele (1/2)

Aufbau einer Plattform zur Erforschung der Produktion von strombasierten Kraftstoffen (PtL) im semi-industriellen Maßstab

- Entwicklung, Demonstration, Optimierung und Monitoring von Verfahren und **Technologien zur Produktion strombasierter Kraftstoffe** im Maßstab bis zu 10.000 t/a
- Ermittlung der **Herstellungskosten** von PtL und Analyse der Kostenreduktionspotenziale
- Aufbau und Untersuchung der **gesamten Prozesskette** – von Kohlenstoff- und Wasserstoff-Quellen zum fertigen, **normgerechten Kraftstoff**
- Erfahrung, Grundlagen, Auslegungs-Werkzeuge für eine spätere **Hochskalierung** auf kommerzielle Anlagen
- Erforschung und Optimierung der **einzelnen Komponenten** im Hinblick auf den späteren Einsatz in kommerziellen Anlagen sowie deren **Integration** in Gesamtanlagen

Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Ziele (2/2)

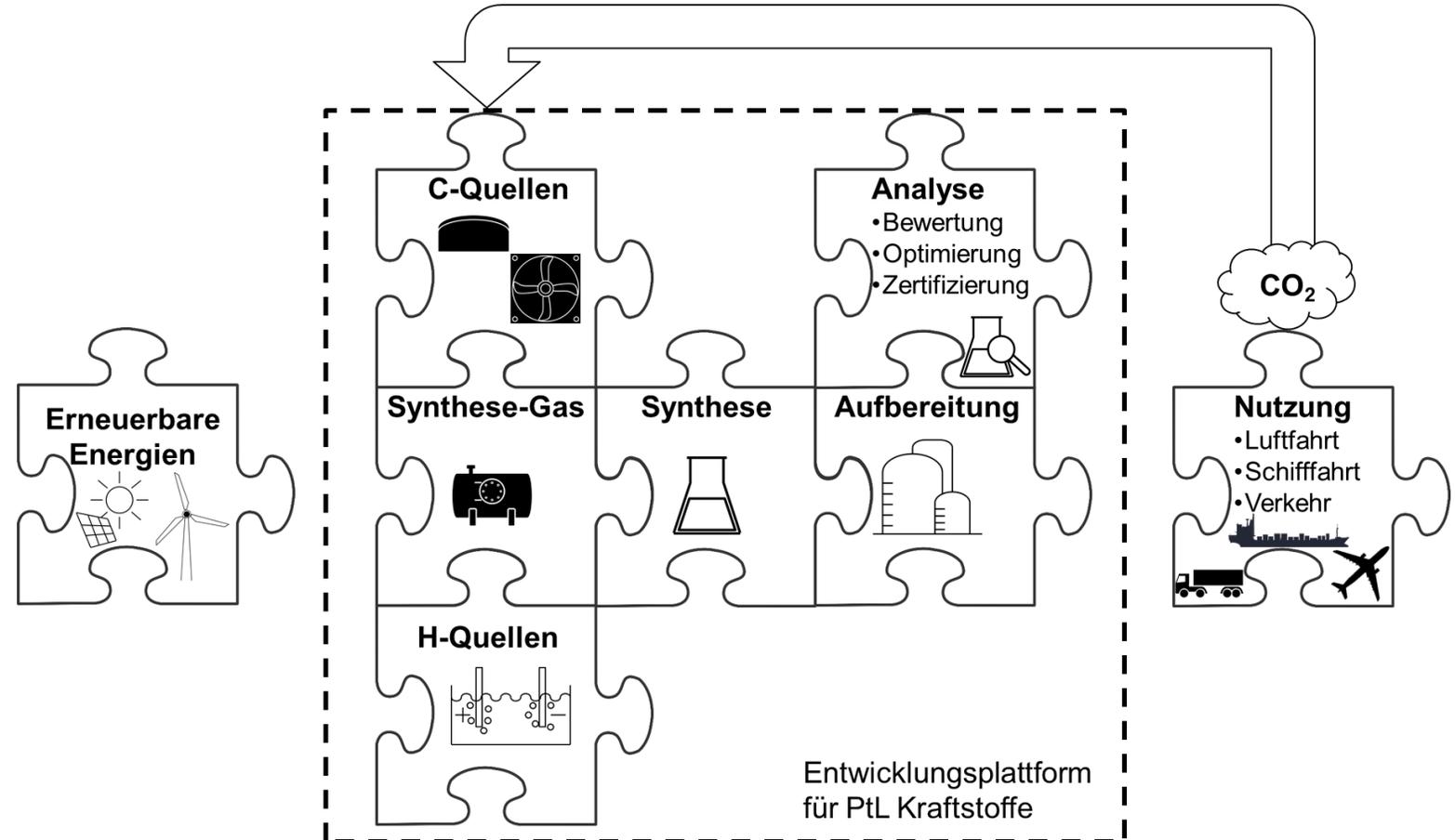
Aufbau einer Plattform zur Erforschung der Produktion von strombasierten Kraftstoffen (PtL) im semi-industriellen Maßstab

- Bewertung von PtL-Kraftstoffen und Optimierung der Kraftstoffeigenschaften für die **Anwendung** in Luftfahrt, Schifffahrt und für ausgewählte Teile des Landverkehrs
- Aufbau eines **Forschungsstrangs** zur Untersuchung der Kopplung der verschiedenen Prozessschritte und zur Weiterentwicklung und Integration aussichtsreicher Technologien mit niedrigem TRL
- **Plattform für Kommunikation** und **Netzwerkbildung** und **Beteiligung von Partnern** aus Industrie, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Beispielsweise in Form eines Nutzer-Vereins
- Kristallisationspunkt für eine **Technologieführerschaft** in diesem Bereich

Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Demonstrationsstrang (DS)

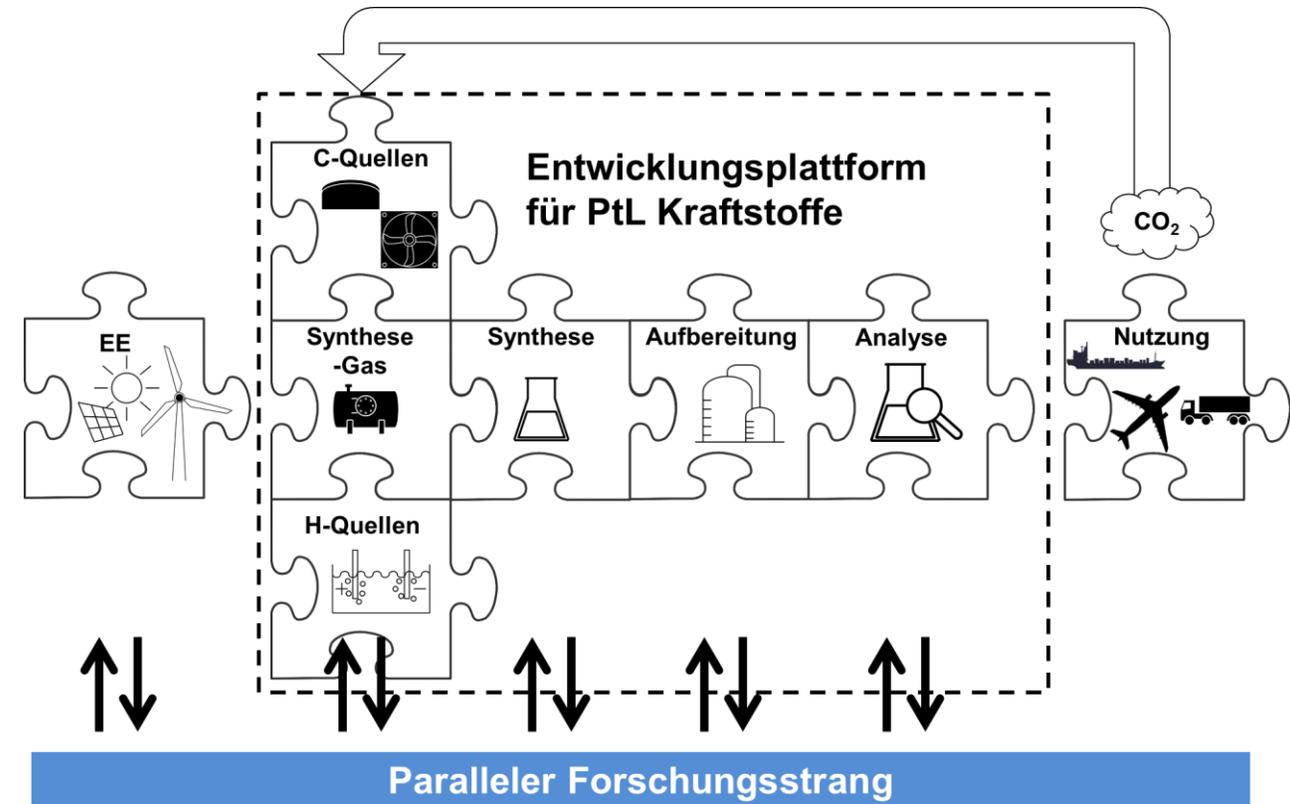
- Gesamte Prozesskette von erneuerbare Energien bis zur Nutzung im Flugzeug oder Schiff
- Erprobte Komponenten, um ausreichenden Betrieb des DS zu erreichen
- Modularer Aufbau, um unterschiedliche Prozesse, Technologien und Komponenten zu untersuchen
- Maßstab 10.000 t/a



Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Forschungsstrang (FS)

- Erprobung, Entwicklung und Demonstration neuartiger Technologien und innovativer Prozesse mit derzeit niedrigem TRL im Technikums-Maßstab
- Detaillierte wissenschaftliche Analyse und Optimierung einzelner Komponenten
- Optimierung der Kraftstoffzusammensetzung hinsichtlich Effizienz und Umweltverträglichkeit
- Optimierung der PtL-Erzeugung unter Einbindung fluktuierender Energiequellen
- Integrierte Nutzung der Off-Gase und Zwischenprodukte
- Integration relevanter wissenschaftlicher und industrieller Forschungs-Partner



Entwicklungsplattform PtL-Kraftstoffe

Stand der Planung

- Auftrag für **Planungsphase** („Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Plattform für PtL-Kraftstoffe“) im September 2020 von BMVI an **Konsortium aus DLR, Griesemann Gruppe und TUHH** vergeben
- Vier Arbeitspakete:
 - AP1: **Konzeption** eines Demonstrationsmoduls der PtL-Plattform
 - Expertenworkshop und -interviews zur Technologieauswahl mit Industrie und Wissenschaft
 - AP2: **Standortanalyse**
 - Bewertung von 61 Standorten mit Hilfe von Fragebögen zu Mindestkriterien
 - Nutzwertanalyse von 18 potentiell geeigneten Standorten anhand eines weiteren Kriterienkataloges
 - AP3: Planung des Demonstrations- und Forschungsmoduls
 - **Pre-Basic-Engineering**, Aufstellungsplan, Kostenanalyse
 - AP4: Entwicklung der **organisatorischen Ausgestaltung** einer PtL-Plattform
 - Organisation
 - Betriebskostenanalyse
 - Einbindung weiterer Akteure

AP1: Expertenworkshop und -interviews

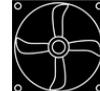
- Einzel-Interviews und Workshop mit Expert*Innen aus Industrie, KMU, Wissenschaft, Forschung
 - Feedback zu einer vom Konsortium durchgeführten Technologie-Bewertung und -Auswahl
 - Experten-Einschätzungen zu den TRLs der unterschiedlichen Prozess-Technologien und –Schritte

H₂-Bereitstellung



- AEL verfügt über höchstes TRL und beste Skalierbarkeit, PEMEL kann je nach Anwendungsfall Vorteile haben
- SOEL ist für PtL-Prozess eine vielversprechende Technologie weist aber zu geringes TRL auf

CO₂-Bereitstellung



- Aminwäsche ist das einzige Verfahren zur Abtrennung von CO₂ aus Punktquellen, mit dem sich eine hohe CO₂-Reinheit erzielen lässt
- Je nach Feedgas evtl. weitere Schritte nötig

Synthesegas- Erzeugung



- rWGS weist höchstes TRL in Kombination mit Zielkonformität auf, Skalierung wird als relativ unproblematisch bewertet
- Co-Elektrolyse weist großes Potenzial auf, aber zu geringes TRL

Fischer-Tropsch- Synthese



- HT-FTS ist für Kerosinherstellung ungeeignet
- Bei NT-FTS kann Downscaling zur Herausforderung werden, i.B. Druckmanagement

Aufbereitung von FT- Produkten



- Errichtung einer entsprechenden Anlage unproblematisch
- Hydrocracking entscheidend, sollte gemeinsam mit FTS geplant und ausgelegt werden

Methanol- & DME- Synthese



- MeOH-Synthese mit CO₂ & H₂ kann im benötigten Maßstab umgesetzt werden und weist Vorteile gegenüber Synthese mit CO & H₂ auf

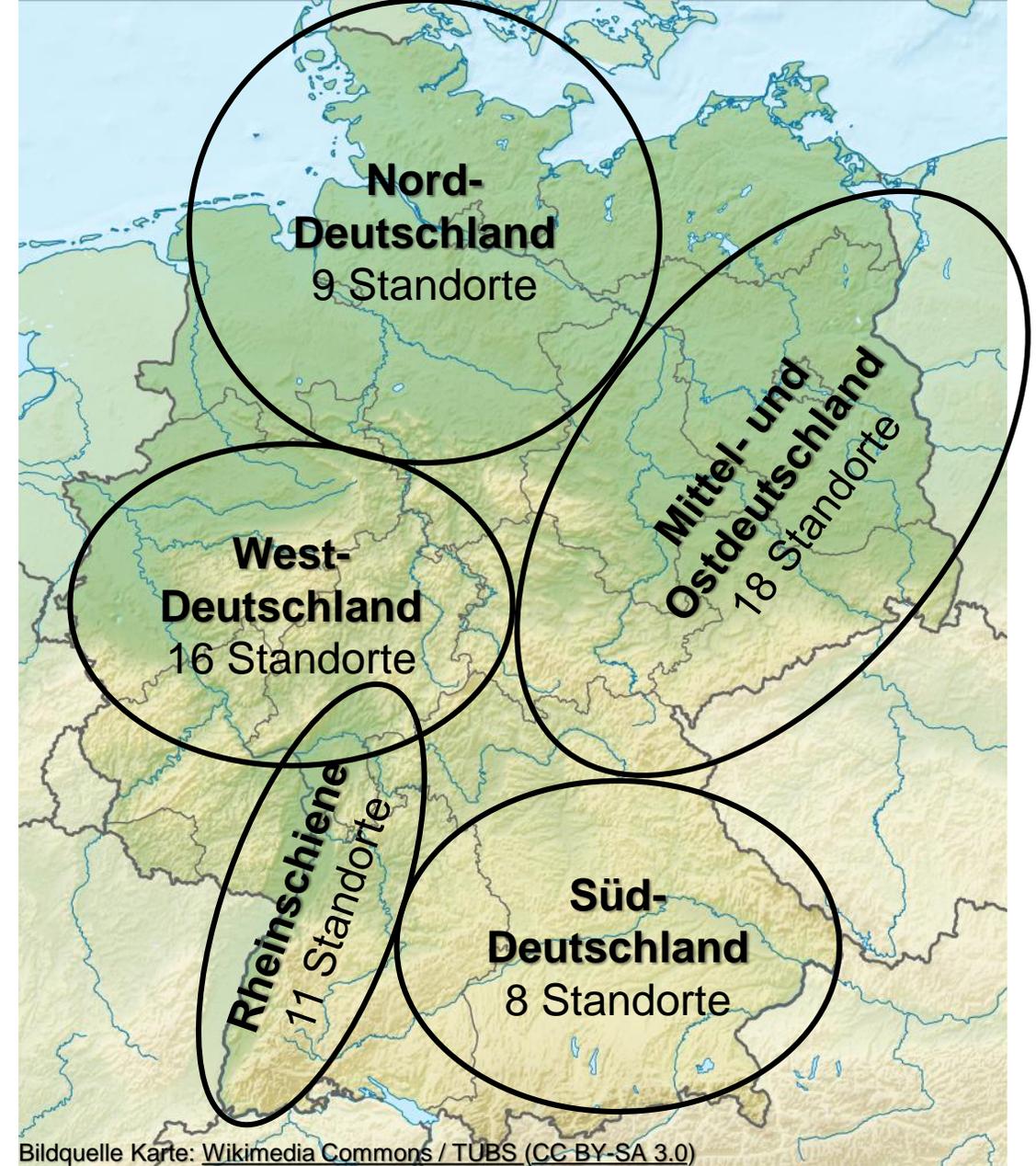
Aufbereitung von Methanol & DME



- MtJ-Verfahren ist komplex (MtO + Oligomerisierung + Hydrierung)
- Derzeit kein einsatzbereites Verfahren

AP2: Angefragte Standorte

- Bewertung von vielen möglichen Standorten in Industrie- und Chemieparks mit Hilfe von Fragebögen zu Mindestkriterien
 - Weitere Standorte sind denkbar.
 - Die Liste der Ergebnisse hat keinen ausschließenden Charakter!



Bildquelle Karte: [Wikimedia Commons](#) / TUBS (CC BY-SA 3.0)

AP2: Mindestkriterien Standortanalyse

Mindestanforderung / Kategorie	Fragestellung
Verfügbarkeit / Interesse des Industrieflächeneigners	Hat der Industrieflächeneigner an der Realisierung der EPP auf seiner Fläche ein großes Interesse?
Verfügbarkeit C-Quelle	Kann nicht-fossiles CO ₂ im erforderlichen Umfang (ca. 55.000 t _{CO2} /a) am Industriestandort bereitgestellt werden?
Verfügbarkeit erneuerbare elektrische Energie	Kann reg. elektrische Energie im erforderlichen Umfang (ca. 50 MW _{el}) am Industriestandort bereitgestellt werden?
Verfügbarkeit Prozesswasser	Kann Prozesswasser im erforderlichen Umfang am Industriestandort bereitgestellt werden?
Verfügbarkeit Abwasseraufbereitung	Kann am Standort die erforderliche Menge an prozessbedingten Abwasser weiterverarbeitet werden?
Verfügbarkeit Freifläche	Kann am Standort eine Fläche von ca. 30.000 m ² zur Errichtung der EPP bereitgestellt werden?
Verfügbarkeit Fachpersonal	Kann am Industriestandort hochqualifiziertes Fachpersonal für die wissenschaftliche und betriebsbedingte Anlagenbetreuung bereitgestellt werden?
Bewertung der Genehmigungsfähigkeit	Bestehen am Standort spezielle Hürden, die eine Genehmigung möglicherweise erschweren?

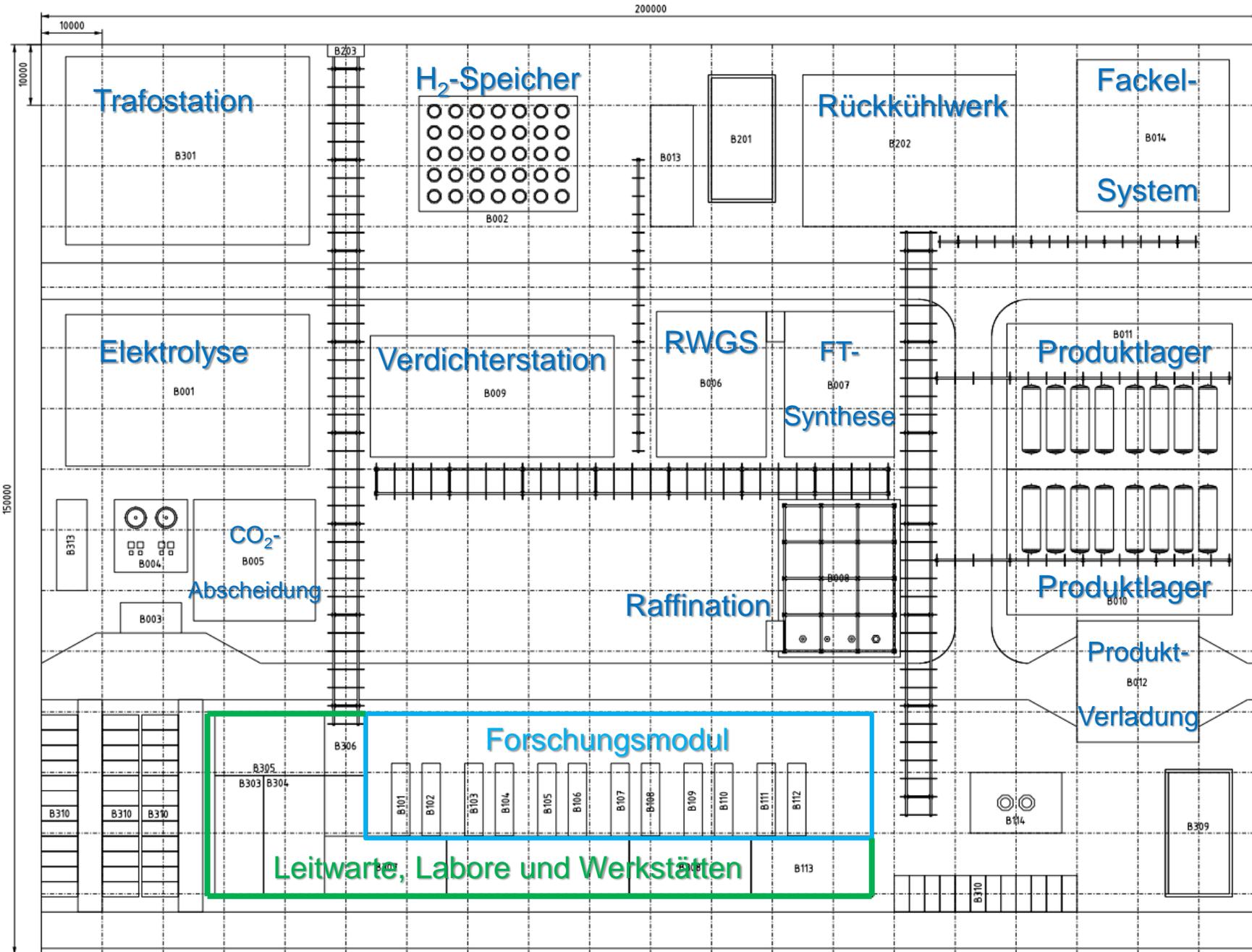
AP2: Standorte mit erfüllten Mindestkriterien

- Nutzwertanalyse zu 16 Standorten anhand eines weiteren Kriterienkataloges
 - Diese 16 Standorte haben die Mindestkriterien erfüllt
 - Weitere Standorte sind denkbar.
 - Die Liste der Ergebnisse hat keinen ausschließenden Charakter!



Bildquelle Karte: [Wikimedia Commons / TUBS](#) (CC BY-SA 3.0)

AP3: Aufstellungsplan



AP3: Gesamtkosten 2022 - 2034

Investitionskosten

Demonstrationsstrang	263,3 Mio.€
Forschungsstrang	21,3 Mio.€

Bereithaltungskosten

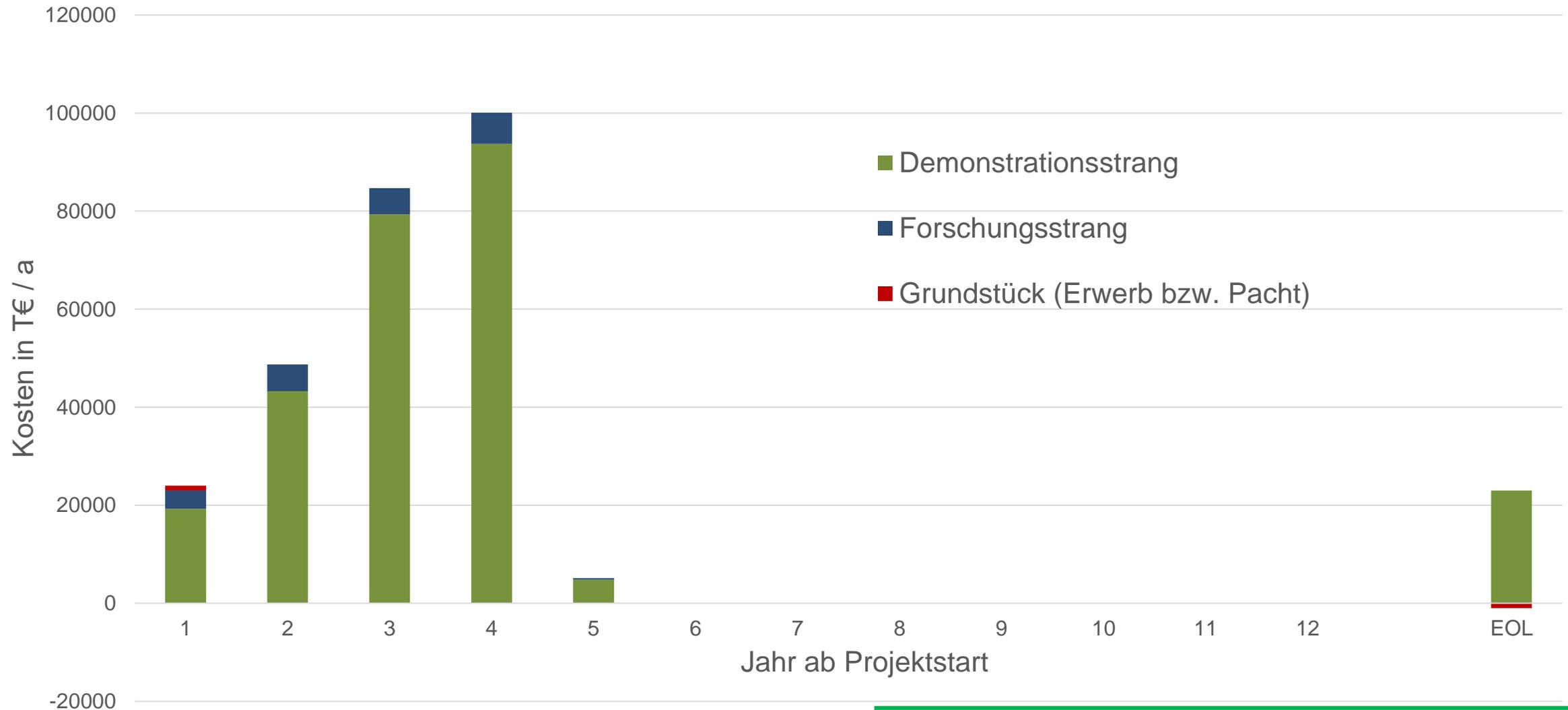
Personalkosten	59,7 Mio.€
Sachmittel	15,4 Mio.€

Eigenforschung

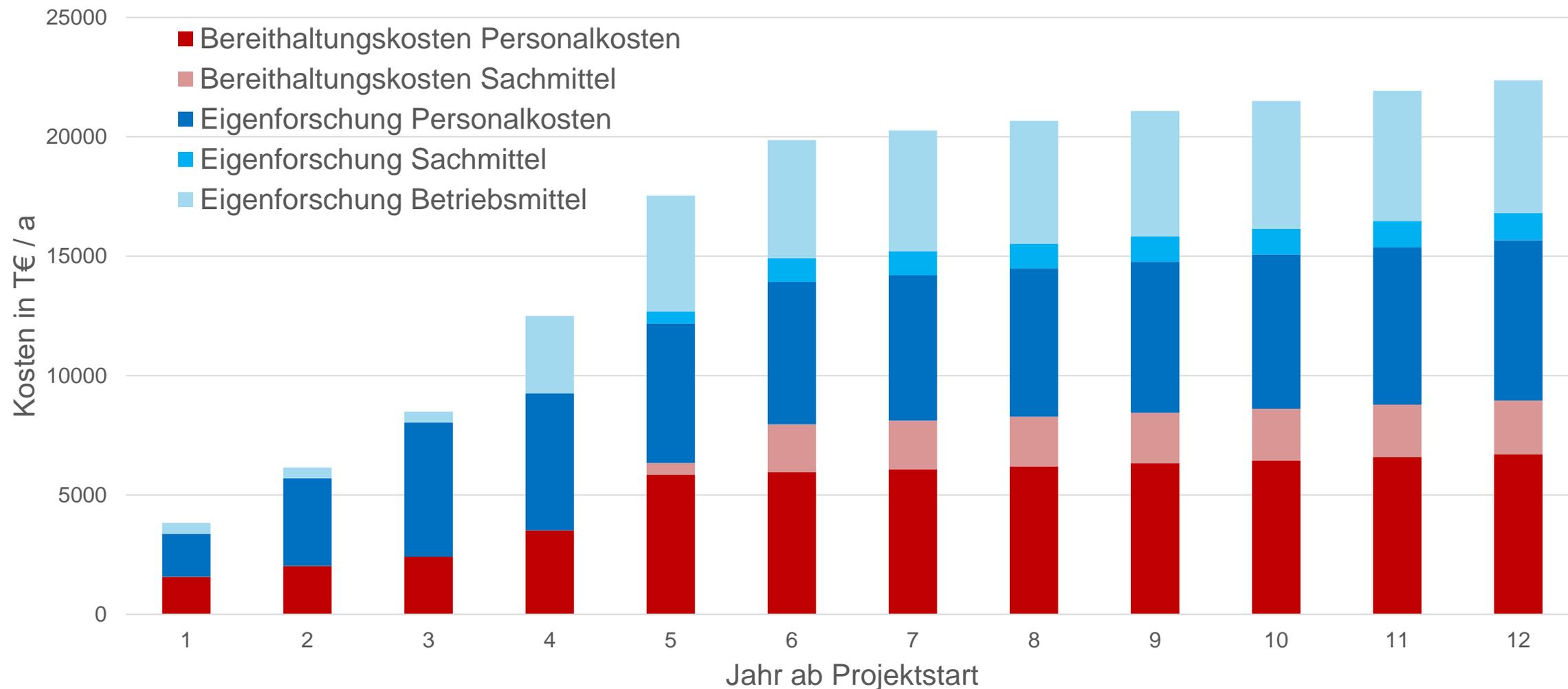
Personalkosten	67,0 Mio.€
Betriebsmittel	46,2 Mio.€
Sachmittel	7,9 Mio.€

Gesamtkosten 2022 - 2034	ca. 480 Mio.€
---------------------------------	----------------------

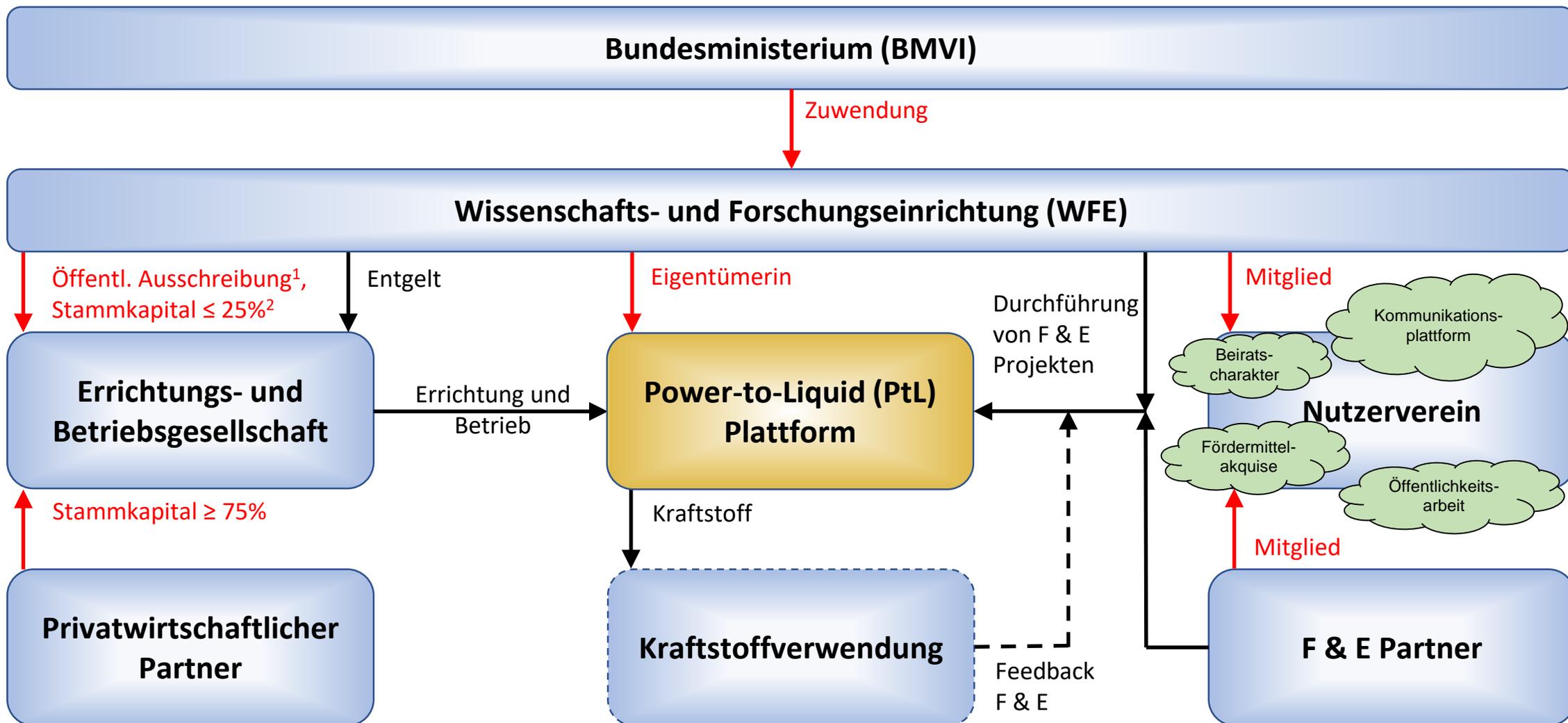
AP3: Zeitlicher Verlauf der Investitionskosten



AP3: Personal-, Sach- und Betriebsmittel



Administrative & organisatorische Ausgestaltung einer PtL-Plattform - Aufgabenteilung



¹ Die öffentliche Ausschreibung regelt in der Leistungsbeschreibung die Errichtungs- und Betriebsbeauftragung und fragt **optional** die Bereitschaft einer gesellschaftsrechtliche Beteiligung an.

² Bei einer solchen gesellschaftsrechtlichen Beteiligung sind die jeweils geltenden einschlägigen Regelungen (z. B. §65 BHO) zu beachten.

Die Aufteilung des Stammkapitals hat hier lediglich indikativen Charakter.

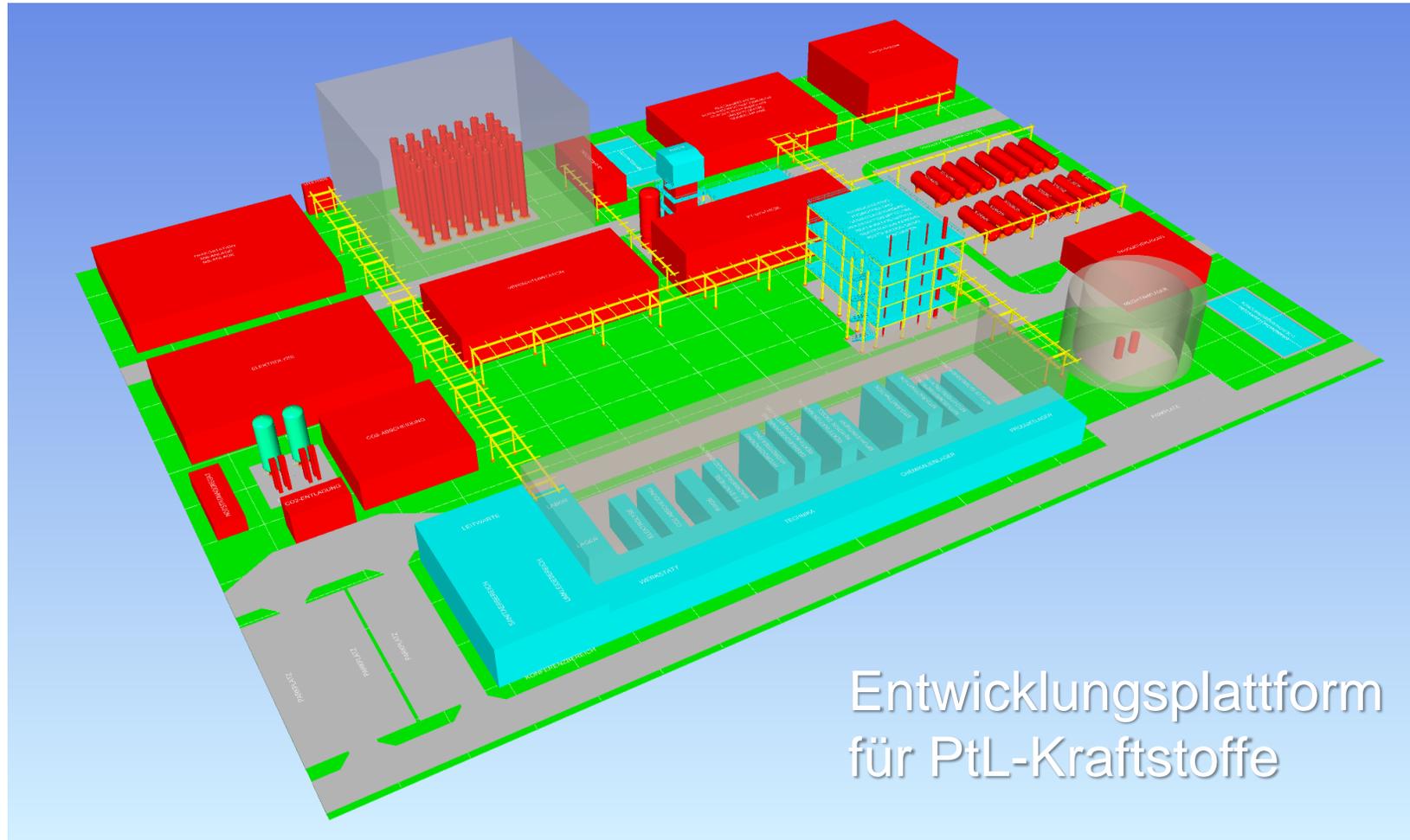
Forschungsleitfragen (1)

- **Erprobung, Entwicklung und Demonstration neuer Technologien und Prozesse** zur Herstellung normenkonformer strombasierter Kraftstoffe (Power-to-Liquid (PtL), insbesondere für die Luftfahrt) in einem Demonstrationsstrang, Ermittlung von realen Herstellungskosten und Identifikation von Kostenreduktionspotenzialen, Sammeln von Erfahrungen und Grundlagen für eine spätere Hochskalierung auf einen industriellen Maßstab in Zusammenarbeit mit Industrie und Wissenschaft
- **Optimierung des Gesamtprozesses** unter Einbindung innovativer Schritte, Komponenten und Konzepte, Optimierung der Energieeffizienz, Weiterentwicklung zu einem voll integrierten und optimierten Gesamtkonzept sowohl als stand-alone Anlage als auch als Teil einer Raffinerie
- **Neuartige und hoch-innovative Prozess-Routen, –Schritte und –Konzepte.** Test und Up-Scaling neuartiger Prozess-Routen, -Schritte und -Konzepte in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen und gewerblichen Partnern (KMU und Groß-Industrie), anwendungsorientierte Forschung und Anhebung des TRL für die Komponenten von weniger reife Technologien in einem Forschungsstrang (von TRL 4/5 auf TRL 6/7)

Forschungsleitfragen (2)

- **Optimierung der Kraftstoffzusammensetzung im Hinblick auf**
 - Umweltwirkung auf lokaler und globaler Ebene (Klima, Schadstoffe), Ermittlung von Schadstoff-Reduktions-Potenzialen, technische Performance, Wartungsbedarf der Triebwerke / Motoren
 - zertifizierungsfähige Drop-In als auch für Near Drop-In Anwendungen insbesondere auch im Hinblick auf die Anforderungen der jeweiligen Endnutzung,
 - umfassende Bewertung der PtL-Kraftstoffe und der Optimierung der Kraftstoffeigenschaften für kommerzielle Anwendungen in der Luft, auf dem Wasser und für ausgewählte Teile des Landverkehrs,
 - Feedback F&E: Auswirkung in der Nutzung auf Logistik und Handling, Misch-Verhalten mit anderen SAFs und fossilem Kerosin, Langzeitlagerung / Alterungsverhalten, Materialverträglichkeit Kraftstoffsysteme.
- **Innovative Aspekte der Nutzung von Offgas und anderen Nebenströmen:** Untersuchung der Möglichkeiten einer diskontinuierlichen Betriebsweise der gesamten und/oder Teile der Anlage; Analyse der Möglichkeiten der effizienten Speicherung und Nutzung sowie des Recycling von (Zwischen-)Produkten wie Offgasen und Syncrude innerhalb der PtL-Anlage zum Ausgleich einer variierenden Erzeugung einschließlich einer ökonomischen Optimierung des Anlagenbetriebs

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



beauftragt durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer
Entwicklungs-Plattform für PtL-Kraftstoffe

**Analyse und Auswahl von PtL-Technologien
für das Demonstrationsmodul**

Martin Kaltschmitt (Vortragender)

Technische Universität Hamburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft

15. Juli 2021

Die im Folgenden vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers und spiegeln nicht notwendigerweise offizielle Positionen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Auftraggeber wider. Damit sind keine rechtsverbindlichen Äußerungen des BMVI verbunden.



DLR



Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Projekt-Beteiligte

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

- Prof. Dr. Manfred Aigner
- Dr. Christoph Arndt
- Dr. Marina Braun-Unkhoff
- Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
- Dr. Thorsten Jänisch
- Dr. Markus Köhler
- Dr. Patrick Le Clercq
- Uwe Molzberger
- Dr. Juliane Prause
- Heiko Wollenweber
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Technische Universität Hamburg (TUHH)

- Stefan Bube
- Fabian Carels
- Prof. Dr. Martin Kaltschmitt
- Dr. Ulf Neuling
- Tjerk Zitscher
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Griesemann Gruppe / John Brown Voest GmbH (JBV)

- Uwe Gaudig
- Martin Vorsatz
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Ziel der Technologieauswahl

- ❖ Bewertung möglichst aller verfügbarer PtL-Technologieoptionen für die einzelnen Prozessschritte hinsichtlich der Bedeutung für die zeitnahe industrielle Produktion von PtL-Kraftstoffen
- ❖ Auswahl der wesentlichen Technologien für den Demonstrationsstrang innerhalb der EPP unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien:
 - Möglichst robuste Technologie für die einzelnen Anlagenkomponenten
 - Ausreichend weit entwickelt für eine erfolgreiche Demonstration in der geplanten Größenordnung (TRL > 7)
 - Zugelassen für die Produktion normenkonformer Kraftstoffe (insbesondere für die Luftfahrt)
- ❖ Diskussion und Abgleich der Ergebnisse mit Experten aus Industrie und Forschung

Ablauf Technologieauswahl

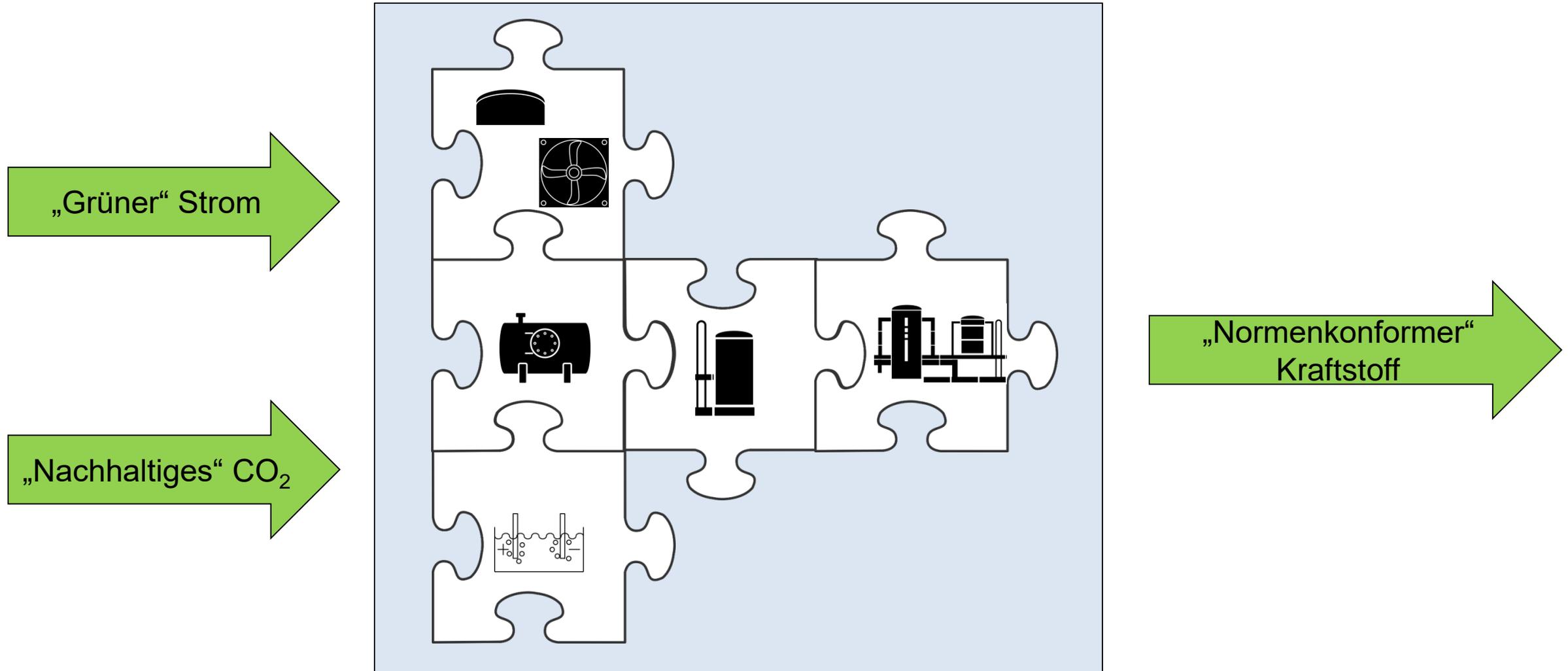
Identifikation und Bewertung aller in Frage kommenden Technologien

Verifizierung Technologiebewertung über Experteninterviews

Auswahl Technologien für den Demo- / den Forschungsstrang

Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse in Expertenworkshop

Grundkonzept Demonstrationsstrang



Identifizierte Technologiebausteine und -optionen

Fischer-Tropsch-Herstellungspfad (exemplarisch)

		Technologieoptionen
Technologiebausteine	H ₂ -Bereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrolyse: AEL, PEMEL, HTEL • Methanpyrolyse • Dampfreformierung
	CO ₂ -Bereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Abscheidung aus Ab- oder Biogas: Membranverfahren, Druckwasserwäsche, Aminwäsche, Druckwechseladsorption • Direct Air Capture (DAC): HT aqueous solution, LT Temp. Swing Adsorption, LT Moisture Swing Adsorption
	Synthesegas-Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Reverse Watergas Shift Reaction (RWGS) • Elektrolyse: Co-EL • Reformierung: trocken mit Biogas, autotherm mit FT-Tailgas
	Fischer-Tropsch-Synthese	<ul style="list-style-type: none"> • Niedrigtemperatur FTS: mit Fe-Katalysator, mit Co-Katalysator • Hochtemperatur FTS: mit Fe-Katalysator
	Raffination	keine zu vergleichenden Technologieoptionen > Kombination verschiedener Verfahrensschritte

Die graue Hervorhebung dient ausschließlich der besseren Visualisierung und hat keine inhaltliche / wertende Relevanz.

Bewertung der infrage kommenden Technologien

Die Bewertung der verschiedenen Technologieoptionen eines Technologiebausteins erfolgt anhand nachfolgender Kriterien:

- **Zielkonformität hinsichtlich nachhaltiger PtL-Kraftstoffe**
- **Technologische Reife**
- **Spezifischer Energie- bzw. Stoffbedarf**
- **Integration in ein System zur primären Erzeugung synthetischen Kerosins (Wärmeintegration)**
- **Weitere Stoffströme**
- **Spezifische Plankosten**

Bewertungsmatrix

Beispiel H₂-Bereitstellung

	Zielkonform. hinsichtlich PtL-Konzept	Techn. Reife	Spez. Energie- bedarf	Systemintegr. Kerosin- erzeugung	Weitere Stoff- ströme	Spez. Plan- kosten	∅
--	--	-------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------------------	-----------------------------------	----------

sehr gut	gut	mittel	gering	sehr gering	ungeeignet
5	4	3	2	1	0

Verifizierung Technologiebewertung über Experteninterviews

Es wurden 14 Experteninterviews zu den unterschiedlichen Technologien durchgeführt. Die Experten stammen aus den Bereichen:

- ❖ **Kraftstoffproduktion**
- ❖ **Anlagenbau**
- ❖ **Chemische Industrie**
- ❖ **Herstellung und Verarbeitung von Industriegasen**
- ❖ **Forschung**

Aus den durchgeführten Interviews (> 30 Expertinnen und Experten) ergibt sich folgende Abdeckung der betrachteten Technologiebausteine:

H ₂ -Bereitstellung	CO ₂ -Bereitstellung	Synthesegas-Erzeugung	Fischer-Tropsch Synthese	Aufbereitung von FTS-Produkten	Methanol- & DME-Synthese	Aufbereitung von Methanol & DME
6	2*	7	5	3	6	2

* Ausschließlich zu Abscheidung aus Gasströmen, keine Interviews zu DAC mangels Interesse / Bereitschaft geeigneter Experten

Angepasste Ergebnisse der Bewertungsmatrix

Beispiel H₂-Bereitstellung

	Zielkonform. hinsichtlich PtL-Konzept	Techn. Reife	Spez. Energie- bedarf	Systemintegr. Kerosin- erzeugung	Weitere Stoff- ströme	Spez. Plan- kosten
AEL	4	5	3	3	5	3
PEMEL	5	4	2 → 3	3	5	2 → 3
SOEL	3	2	4	4	4 → 5	3
Methanpyrolyse	1	1	1	4	3	4
Dampfreformierung	0	5	5	5	1 → 2	5

∅
3,8
3,5 → 3,8
3,3 → 3,5
2,3
3,5 → 3,7

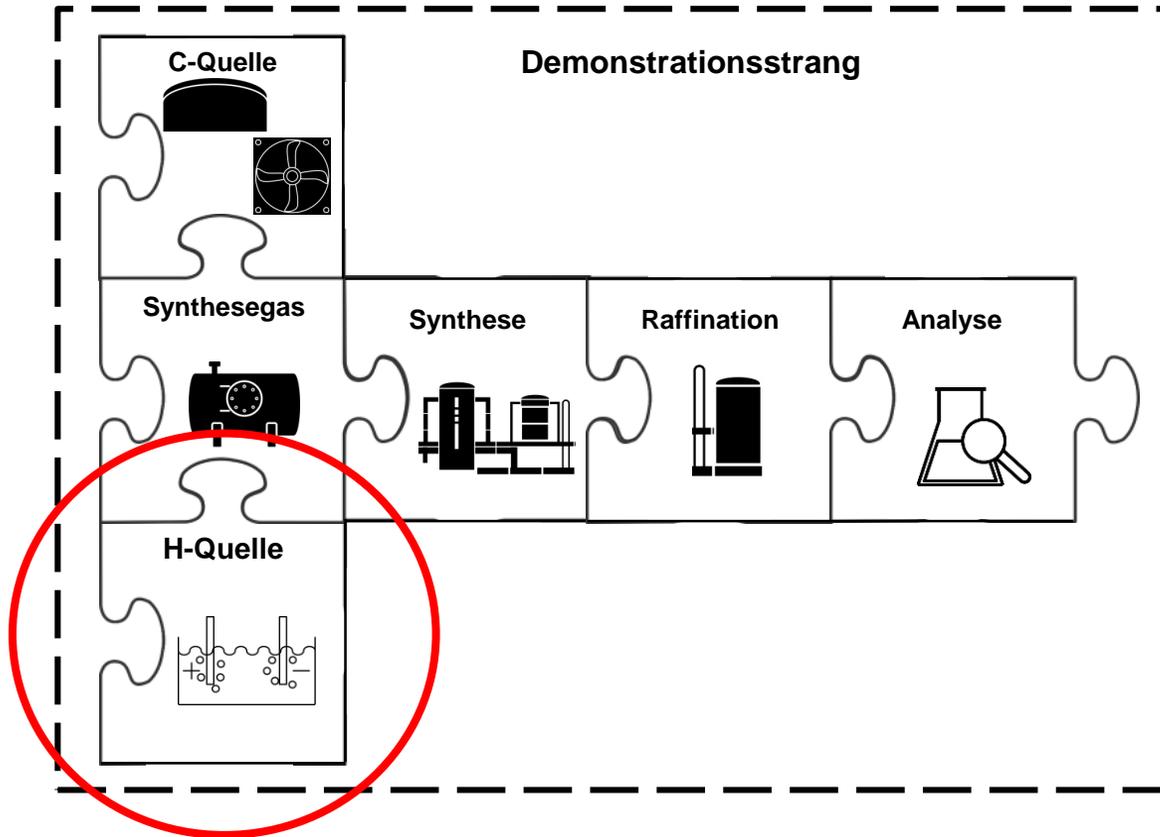
sehr gut	gut	mittel	gering	sehr gering	ungeeignet
5	4	3	2	1	0

Gesamtergebnisse der Technologiebewertung

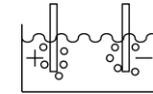
		Zielkonform. hinsichtlich PtL-Konzept	Techn. Reife	Spez. Energiebedarf	Systemintegr. Kerosinerzeugung	Weitere Stoffströme	Spez. Plankosten	Ø		
H ₂ -Bereitstellung	AEL	4	5	3	3	5	3	3,8		
	PEMEL	5	4	2 → 3	3	5	2 → 3	3,5 → 3,8		
	SOEL	3	2	4	4	4 → 5	3	3,3 → 3,5		
	Methanpyrolyse	1	1	1	4	3	4	2,3		
	Dampfreformierung	0	5	5	5	1 → 2	5	3,5 → 3,7		
CO ₂ -Bereitstellung	Biogene Faulgase	Membranverfahren	4	3	3	2	5 → 4	4	3,5 → 3,3	
		Druckwasserwäsche	4	5	4	0	3	0	2,7	
		Aminwäsche	4	5	3	5	3	5	4,2	
		Druckwechseladsorption	4	5	4	3	3 → 4	4	3,8 → 4	
	Umgebungsluft	HT-DAC, wässriges Lösungsmittel	5	2	1	2	2	1	2,2	
		NT-DAC, Temperaturwechsel-Ads.	3	4	2	5	4	2	3,3	
		NT-DAC, Feuchtigkeitswechsel-Ads.	5	0	3			2	2,5	
Synthesegas-Erzeugung	NT-Elektrolyse + rWGS	4	3	3	4	5		3,8		
	Co-Elektrolyse	3	0	4	5	5		3,4		
	Trockene Reformierung, Biogas	0 → 1	1 → 3	5	3	4		2,6 → 3,2		
	Autoth. Reformierung, FT-Tailgas	3	5	5	5	4		4,4		
Fischer-Tropsch Synthese	NT-FTS mit Fe-Katalysator		5	4	4	4 → 3	5 → 4	4,4 → 4,0		
	NT-FTS mit Co-Katalysator		5	5 → 4	5 → 4	4	4 → 5	4,6 → 4,4		
	HT-FTS mit Fe-Katalysator		5	2 → 4	1	2	4	2,8 → 3,2		
					sehr gut	gut	mittel	gering	sehr gering	ungeeignet
					5	4	3	2	1	0

Ergebnisse der Arbeitspakets auf einen Blick

Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse



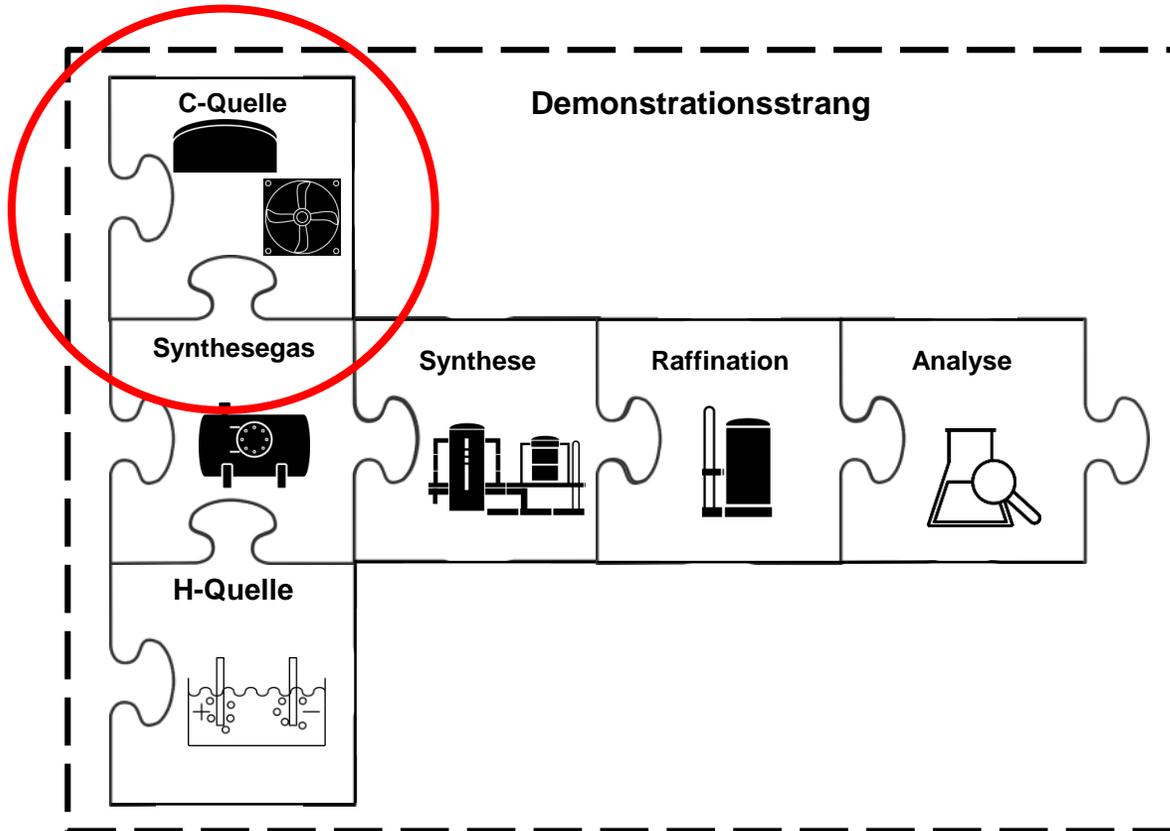
H₂-Bereitstellung



- ❖ Kombination der Vor- und Nachteile von AEL und PEMEL
 - AEL verfügt über höchstes TRL und beste Skalierbarkeit
 - PEMEL kann je nach Anwendungsfall Vorteile haben, insbesondere bei fluktuierender Strombereitstellung
- ❖ SOEL ist für PtL-Prozess eine vielversprechende Technologie, weist aber zu geringes TRL auf

Ergebnisse der Arbeitspakets auf einen Blick

Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse



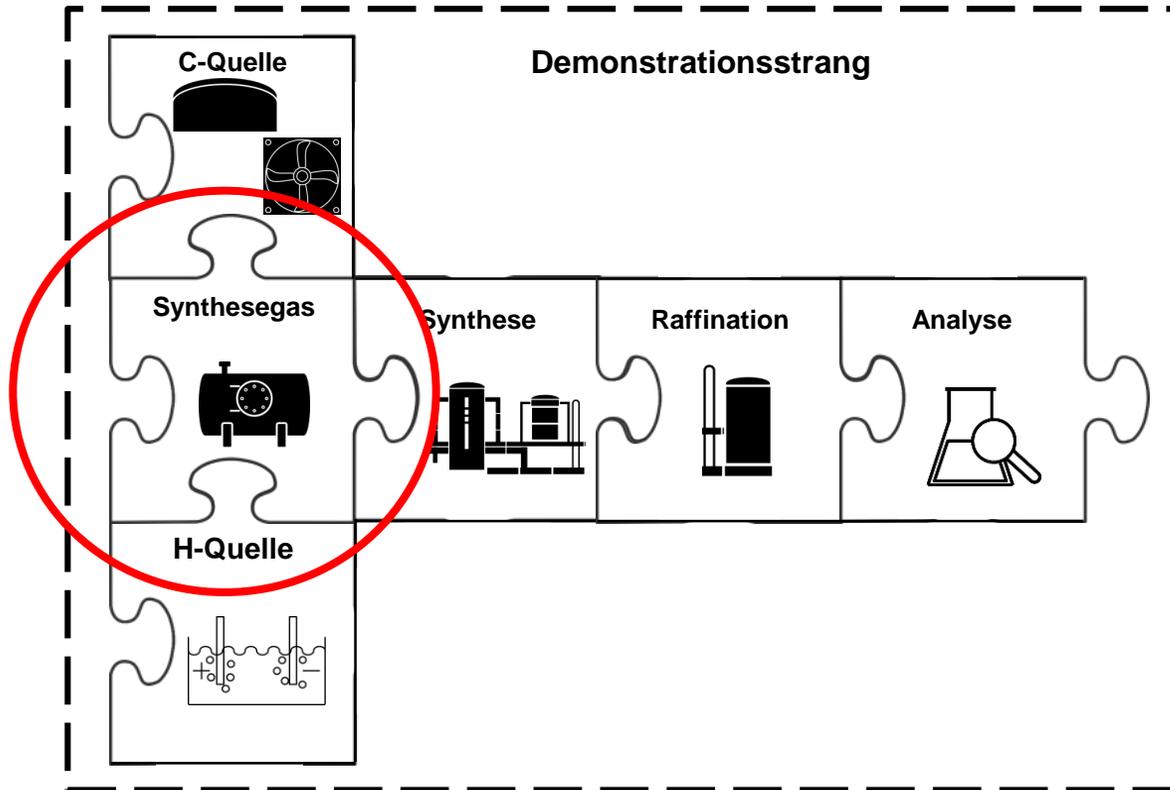
CO₂-Bereitstellung



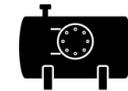
- ❖ Nutzung einer biogenen Punktquelle ermöglicht Bereitstellung großer Mengen „grünen“ CO₂
- ❖ Aminwäsche ist das einzige Verfahren zur Abtrennung von CO₂ aus Punktquellen, mit dem sich eine hohe CO₂-Reinheit erzielen lässt
- ❖ Je nach Feedgas evtl. weitere Schritte nötig

Ergebnisse der Arbeitspakets auf einen Blick

Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse



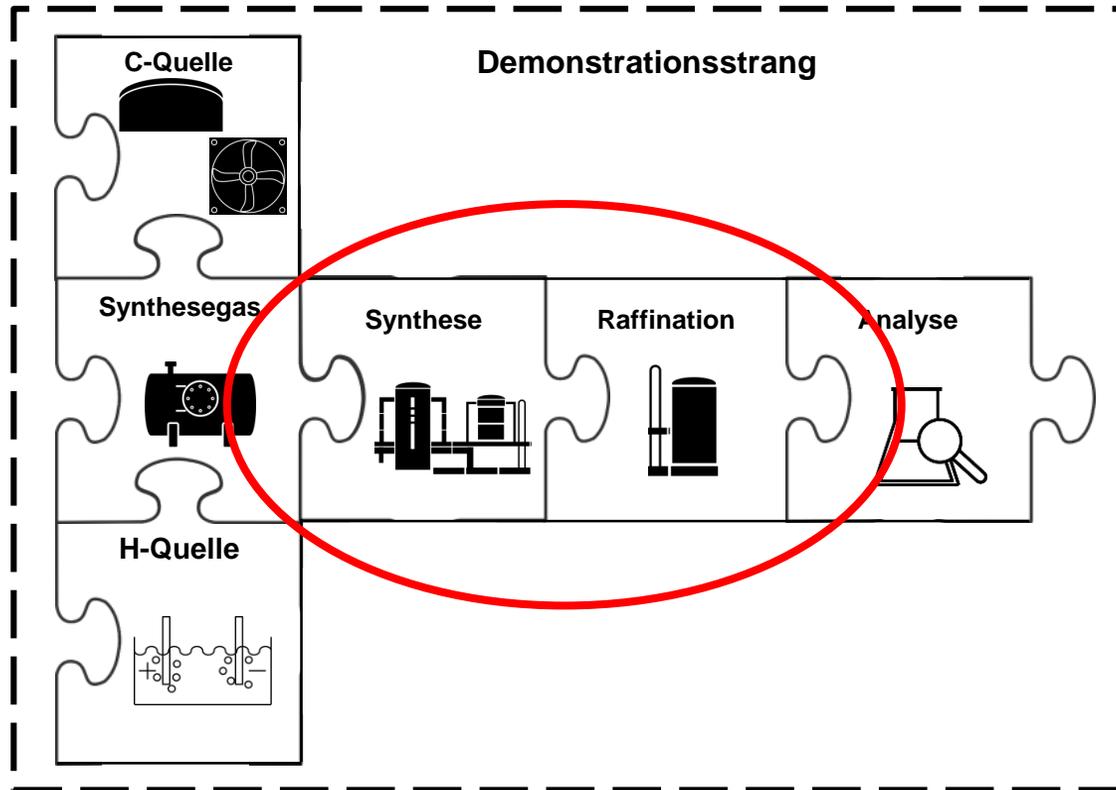
Synthesegas- Erzeugung



- ❖ rWGS weist höchstes TRL in Kombination mit Zielkonformität auf, Skalierung wird als relativ unproblematisch bewertet
- ❖ Co-Elektrolyse weist großes Potenzial auf, aber zu geringes TRL

Ergebnisse der Arbeitspakets auf einen Blick

Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse



NT Fischer-Tropsch-Synthese



- HT-FTS ist für Kerosinherstellung weniger gut geeignet
- Bei NT-FTS kann Downscaling bei best. techn. Ansätzen zur Herausforderung werden (u.a. Druckmanagement)

Aufbereitung von FT-Produkten

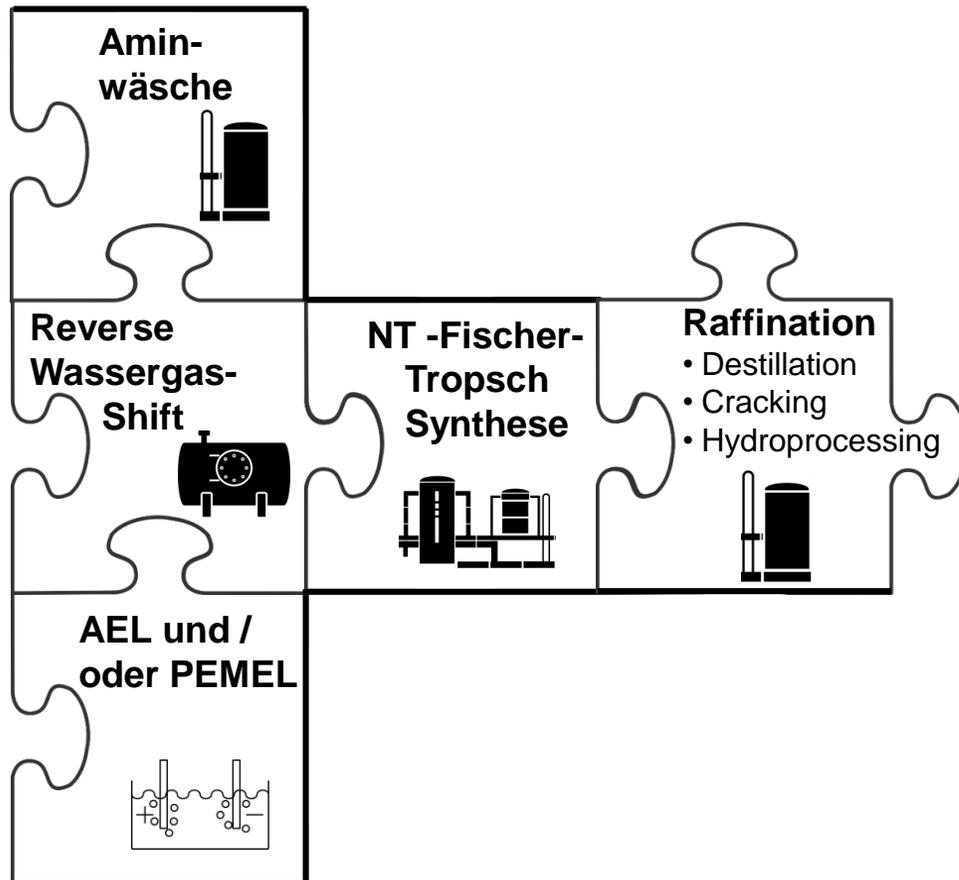


- Errichtung einer entsprechenden Anlage unproblematisch
- Hydrocracking entscheidend, sollte möglichst gemeinsam mit der FTS geplant und ausgelegt werden

Gesamtergebnisse der Technologiebewertung

		Zielkonform. hinsichtlich PtL-Konzept	Techn. Reife	Spez. Energiebedarf	Systemintegr. Kerosinerzeugung	Weitere Stoffströme	Spez. Plan-kosten	Ø		
H ₂ -Bereitstellung	AEL	4	5	3	3	5	3	3,8		
	PEMEL	5	4	3	3	5	3	3,8		
	SOEL	3	2	4	4	5	3	3,5		
	Methanpyrolyse	1	1	1	4	3	4	2,3		
	Dampfreformierung	0	5	5	5	2	5	3,7		
CO ₂ -Bereitstellung	Biogene Faulgase	Membranverfahren	4	3	3	2	4	4	3,3	
		Druckwasserwäsche	4	5	4	0	3	0	2,7	
		Aminwäsche	4	5	3	5	3	5	4,2	
		Druckwechseladsorption	4	5	4	3	4	4	4	
	Umgebungsluft	HT-DAC, wässriges Lösungsmittel	5	2	1	2	2	1	2,2	
		NT-DAC, Temperaturwechsel-Ads.	3	4	2	5	4	2	3,3	
		NT-DAC, Feuchtigkeitswechsel-Ads.	5	0	3			2	2,5	
Synthesegas-Erzeugung	NT-Elektrolyse + rWGS	4	3	3	4	5		3,8		
	Co-Elektrolyse	3	0	4	5	5		3,4		
	Trockene Reformierung, Biogas	1	3	5	3	4		3,2		
	Autoth. Reformierung, FT-Tailgas	3	5	5	5	4		4,4		
Fischer-Tropsch Synthese	NT-FTS mit Fe-Katalysator		5	4	4	3	4	4,0		
	NT-FTS mit Co-Katalysator		5	4	4	4	5	4,4		
	HT-FTS mit Fe-Katalysator		5	4	1	2	4	3,2		
					sehr gut	gut	mittel	gering	sehr gering	ungeeignet
					5	4	3	2	1	0

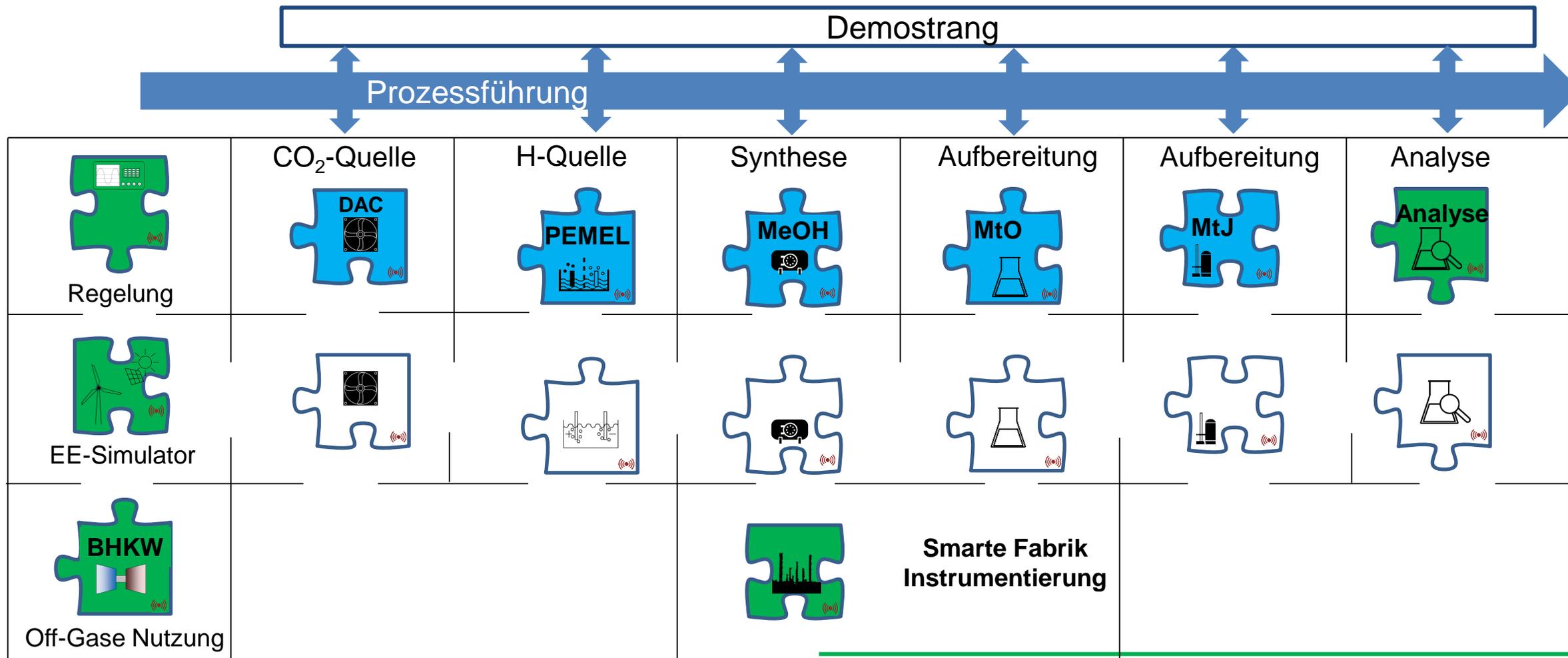
Erstausrüstung für den Demonstrationsstrang



- ❖ Abbildung der derzeit maximal möglichen technologischen Reife des PtL-Prozesses durch Kombination verfügbarer und robuster Technologien
- ❖ Skalierbare und vollständig "grüne" Wasserstoffbereitstellung basierend auf „erneuerbarem“ Strom möglich
- ❖ Hohe Reinheit des bereitgestellten CO₂ bei der Abtrennung aus Punktquellen möglich
- ❖ Gute Eigenschaften des Syncrudes für die Weiterverarbeitung zu Kerosin
- ❖ Produktion von normenkonformen Kraftstoffen entsprechend ASTM D7566 wahrscheinlich

Erstausstattung für den Forschungsstrang

Fokus auf Einzelprozessen und Prozesskette

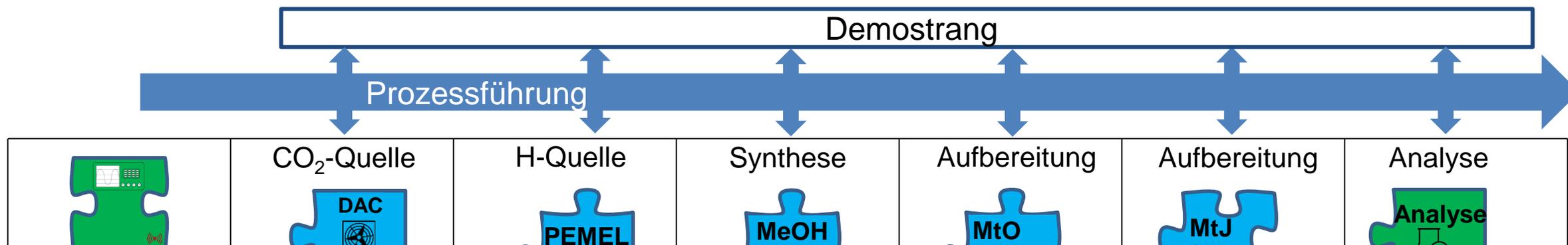


Erstausstattung Grundausrüstung Erweiterung / Partner

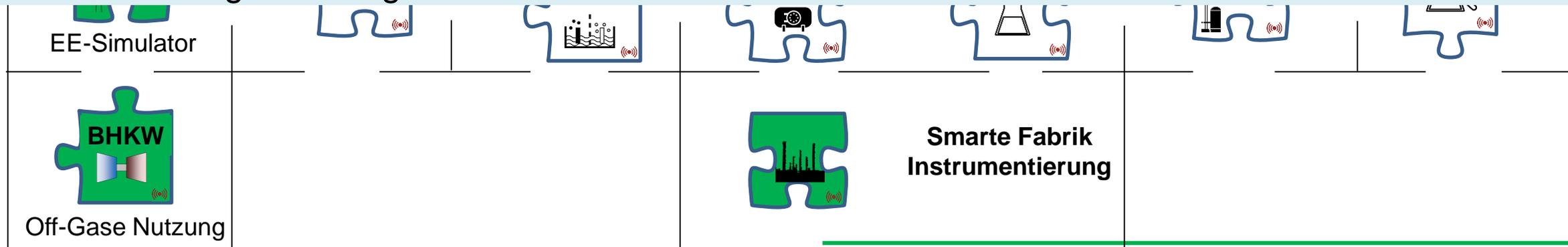


Erstausstattung für den Forschungsstrang

Fokus auf Einzelprozessen und Prozesskette



- ❖ Darstellung möglicher Technologien bzw. Prozesse, die für eine erste Umsetzung und Untersuchung im Forschungsstrang im Rahmen der Technologieauswahl als vielversprechend eingestuft wurden
- ❖ Insgesamt wird der Forschungsstrang modular aufgebaut und bietet entsprechende Freiräume, um einzelne Technologien oder gesamte Prozessketten einbauen zu können

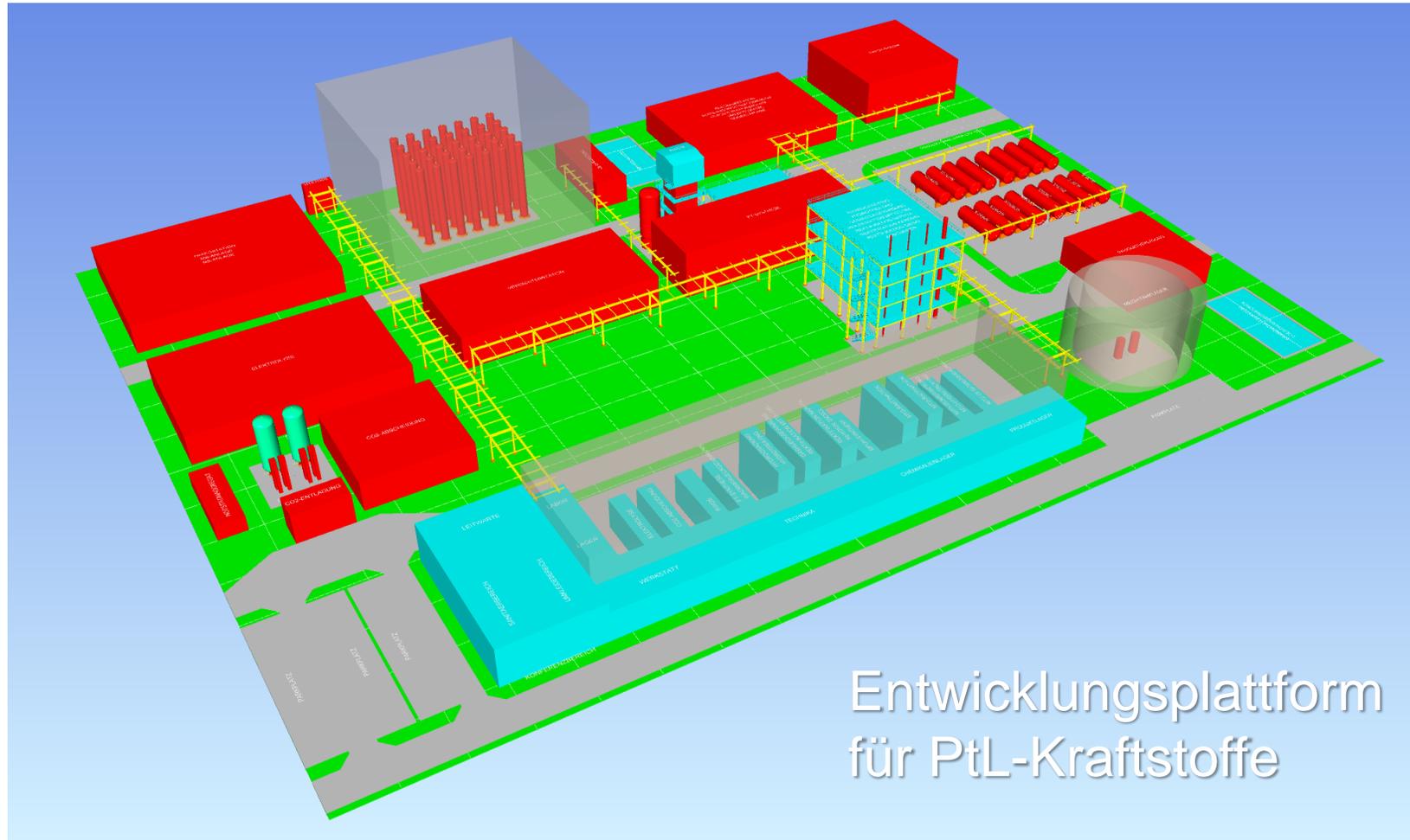


Erstausstattung Grundausrüstung Erweiterung / Partner

Ausblick

- ❖ Der Herstellungspfad über die Fischer-Tropsch-Synthese kann aus technologischer Sicht im angestrebten Maßstab umgesetzt werden; deshalb stellt diese Option den Kern des Demonstrationsstranges dar.
- ❖ Je nach Anwendungsfall kann der Wasserstoff von einer AEL oder PEMEL kommen; je nach Standort könnte auch „grüner“ Wasserstoff aus anderen Projekten verfügbar sein.
- ❖ Eine CO₂-Bereitstellung aus Punktquellen erscheint am idealsten; hier wären – je nach Standort – größere Biogas- und/oder Bioethanolanlagen prädestiniert, bei denen das CO₂ durch eine Aminwäsche abgetrennt werden könnte.
- ❖ Die Synthesegaserzeugung mittels „reverse Water-gas Shift“ Reaktion stellt aus technologischer Sicht die größte Herausforderung dar.
- ❖ Die Aufarbeitung des FT-Crude zu normenkonformem Kraftstoff ist Stand der Technik und sollte einfach umsetzbar sein.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



beauftragt durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Uwe Gaudig (Vortragender)
Griesemann Gruppe, Leipzig

15. Juli 2021



Die im Folgenden vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers und spiegeln nicht notwendigerweise offizielle Positionen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Auftraggeber wider. Damit sind keine rechtsverbindlichen Äußerungen des BMVI verbunden.



Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Projekt-Beteiligte

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

- Prof. Dr. Manfred Aigner
- Dr. Christoph Arndt
- Dr. Marina Braun-Unkhoff
- Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
- Dr. Thorsten Jänisch
- Dr. Markus Köhler
- Dr. Patrick Le Clercq
- Uwe Molzberger
- Dr. Juliane Prause
- Heiko Wollenweber
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Technische Universität Hamburg (TUHH)

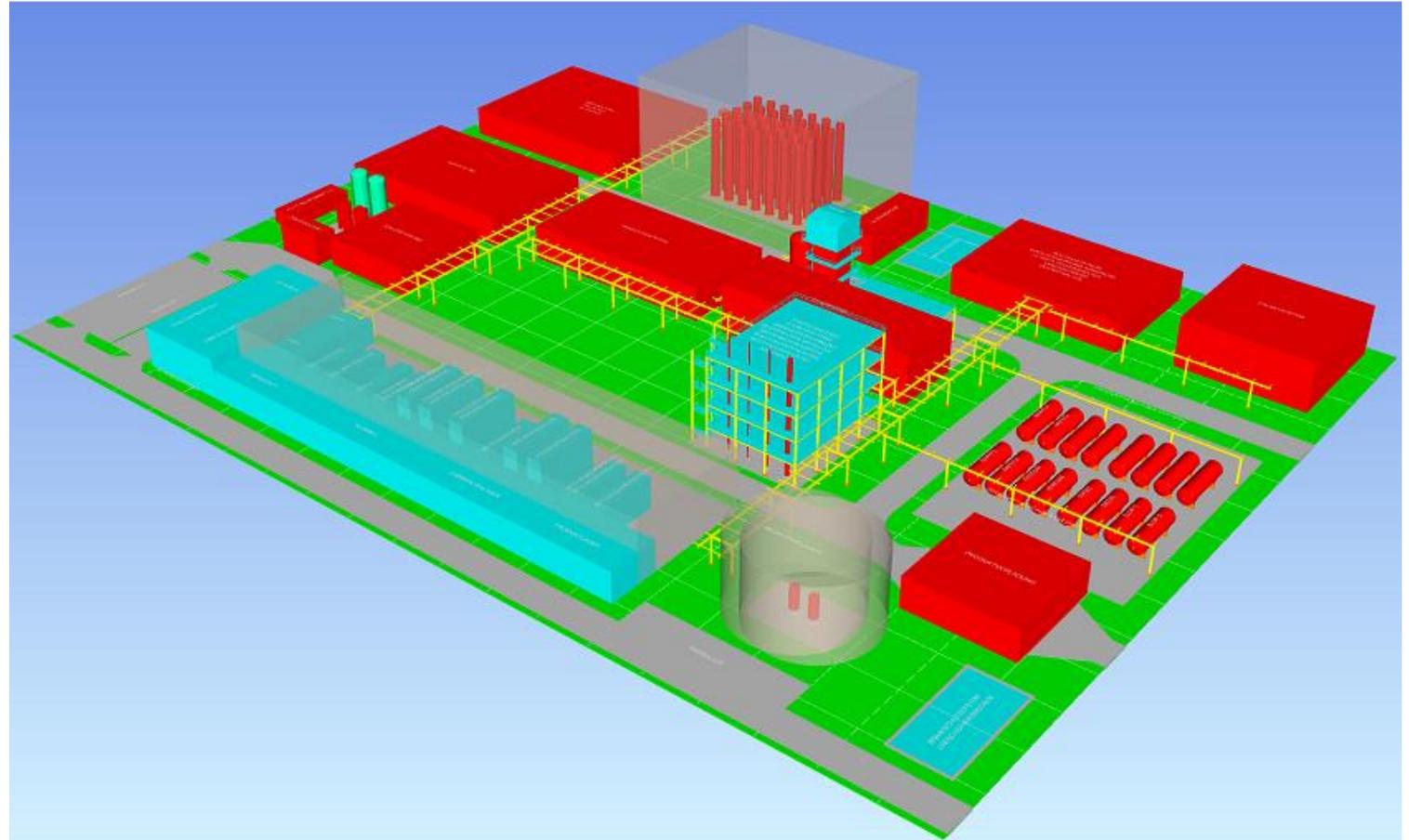
- Stefan Bube
- Fabian Carels
- Prof. Dr. Martin Kaltschmitt
- Dr. Ulf Neuling
- Tjerk Zitscher
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Griesemann Gruppe / John Brown Voest GmbH (JBV)

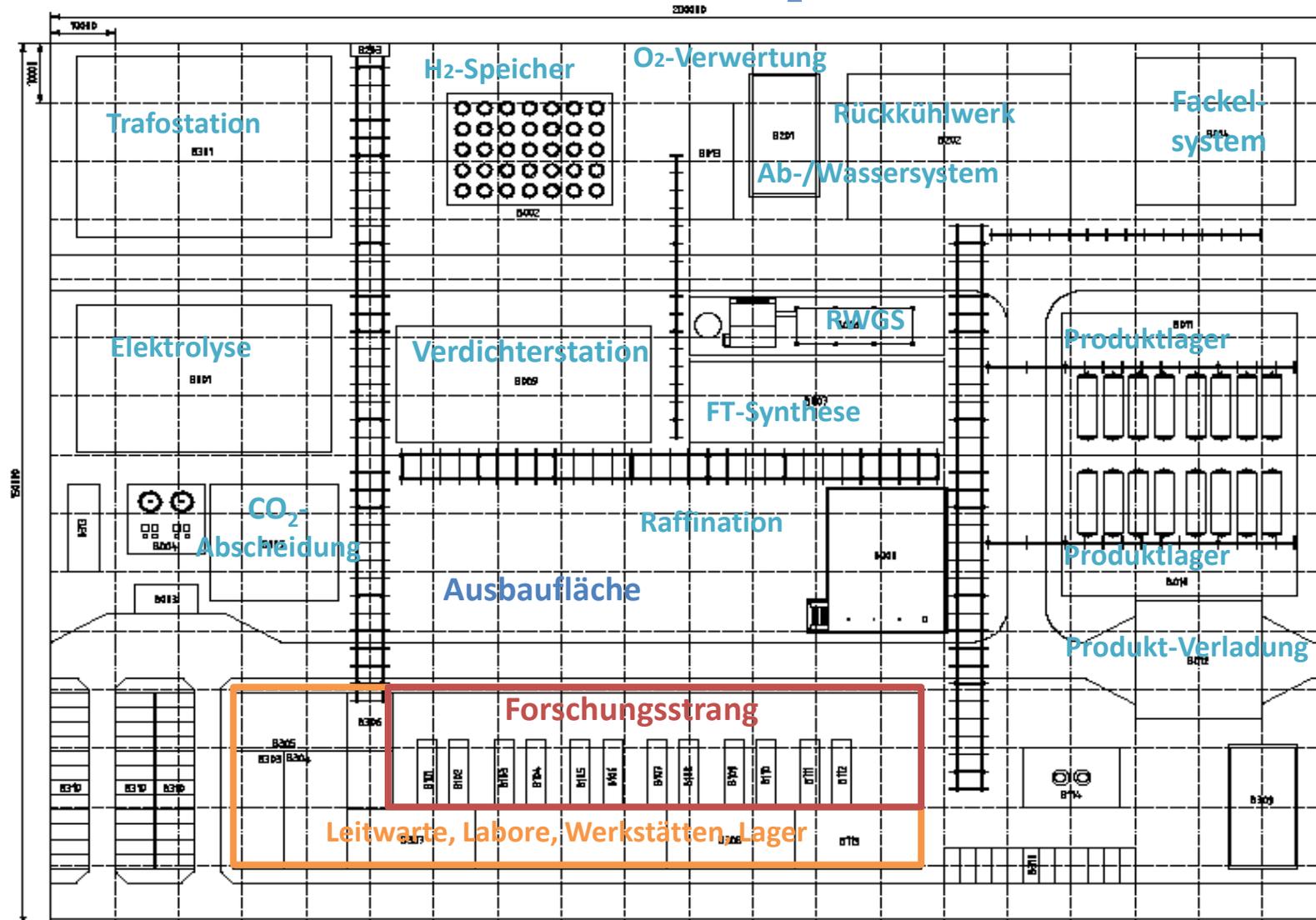
- Uwe Gaudig
- Martin Vorsatz
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Technische Ausgestaltung EPP

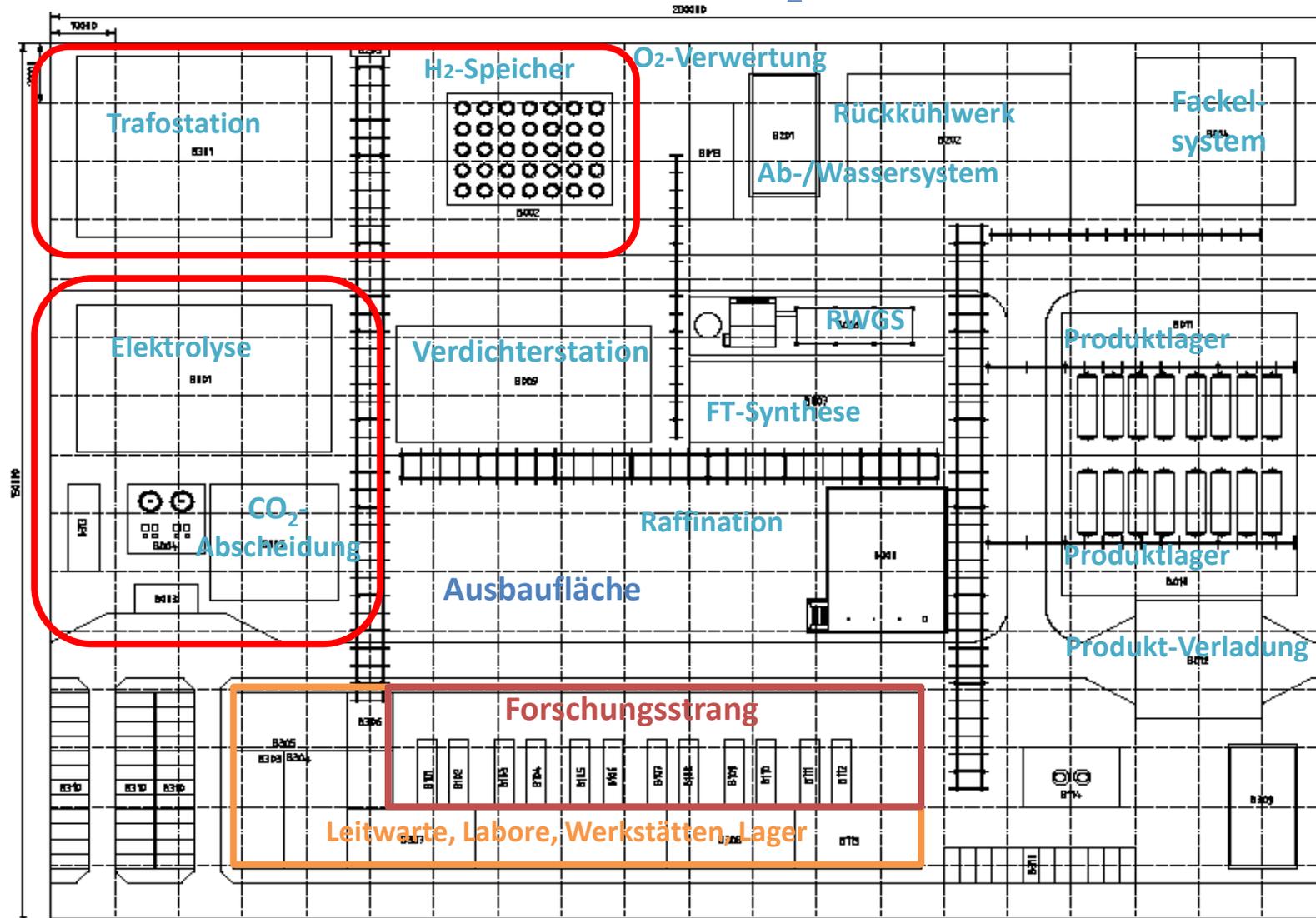
- Bedingung für eine Kostenermittlung ist die Grobspezifizierung der Anlagenmodule und die Entwicklung eines Anlagenlayouts
- Basis
 - 11 Blockfließbilder
 - 35 Prozessfließbilder
- Prozessoptimierte Anordnung der technologischen Module
- Optimierte Infrastruktur (Straßen, Trassen, Schutzzonen)
- Mindestanforderung ca. 3 ha Industriefläche



Layout EPP

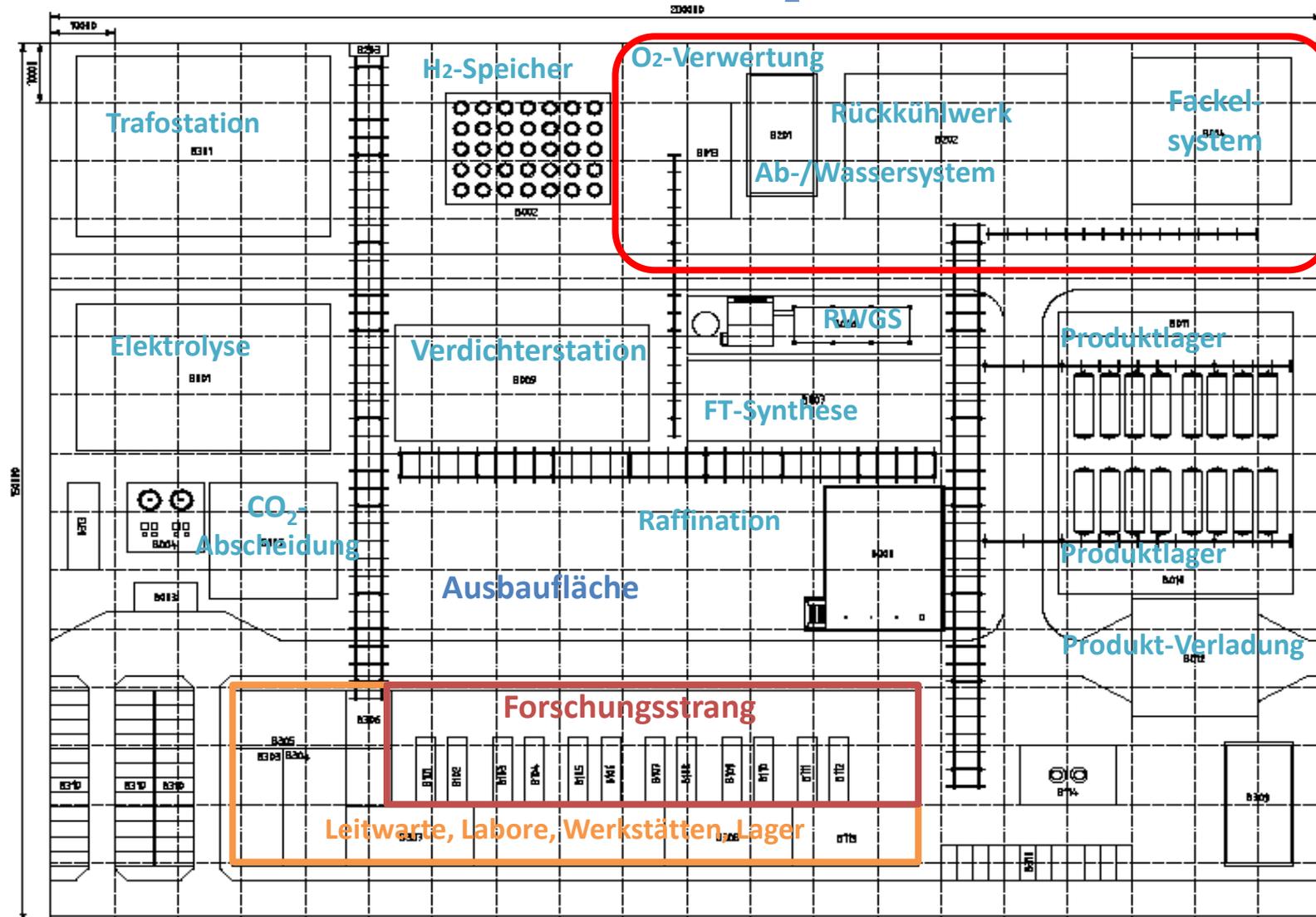


Layout EPP



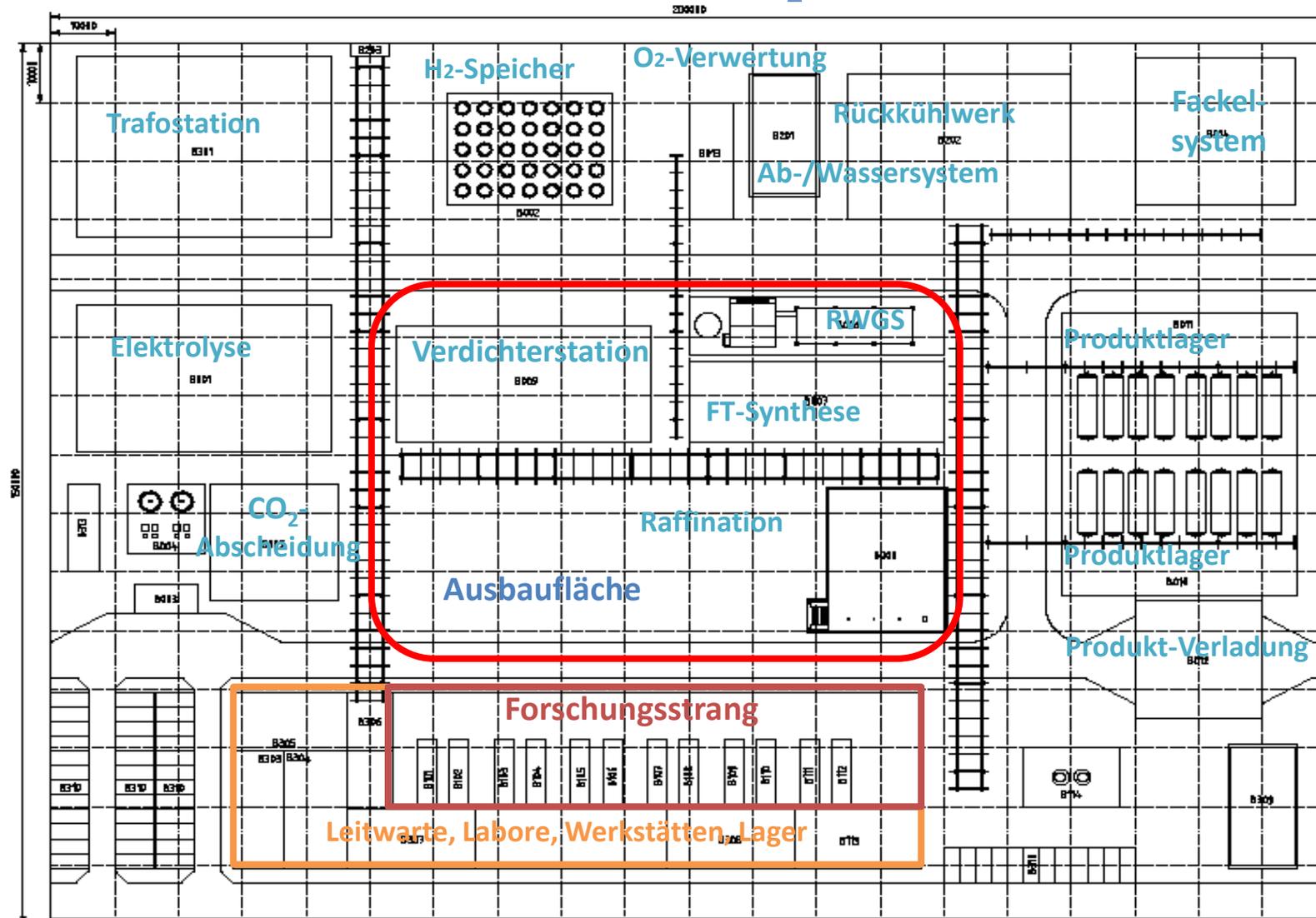
Bereitstellung der
Ausgangsstoffe

Layout EPP



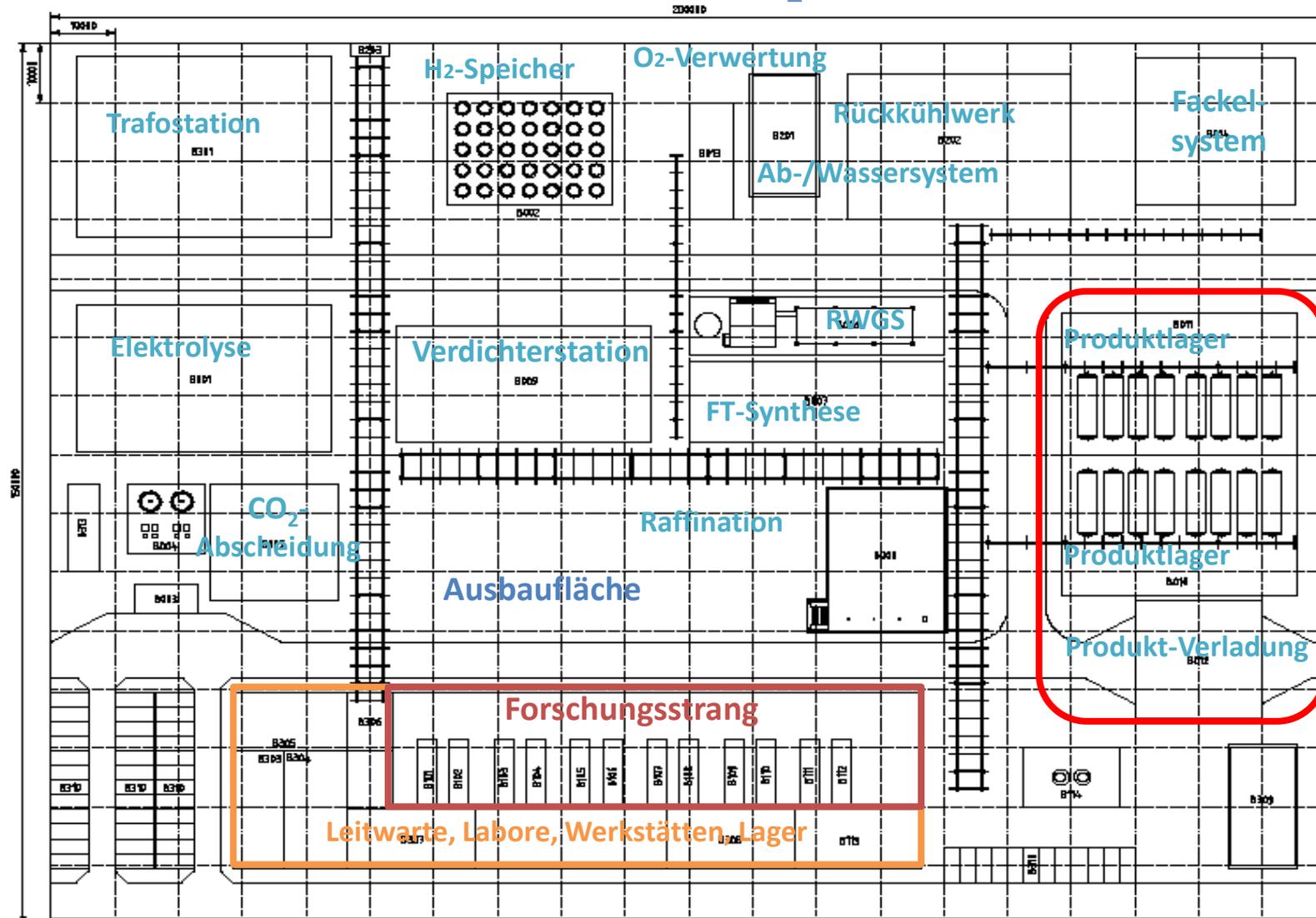
Nebenanlagen

Layout EPP



Kernprozess

Layout EPP

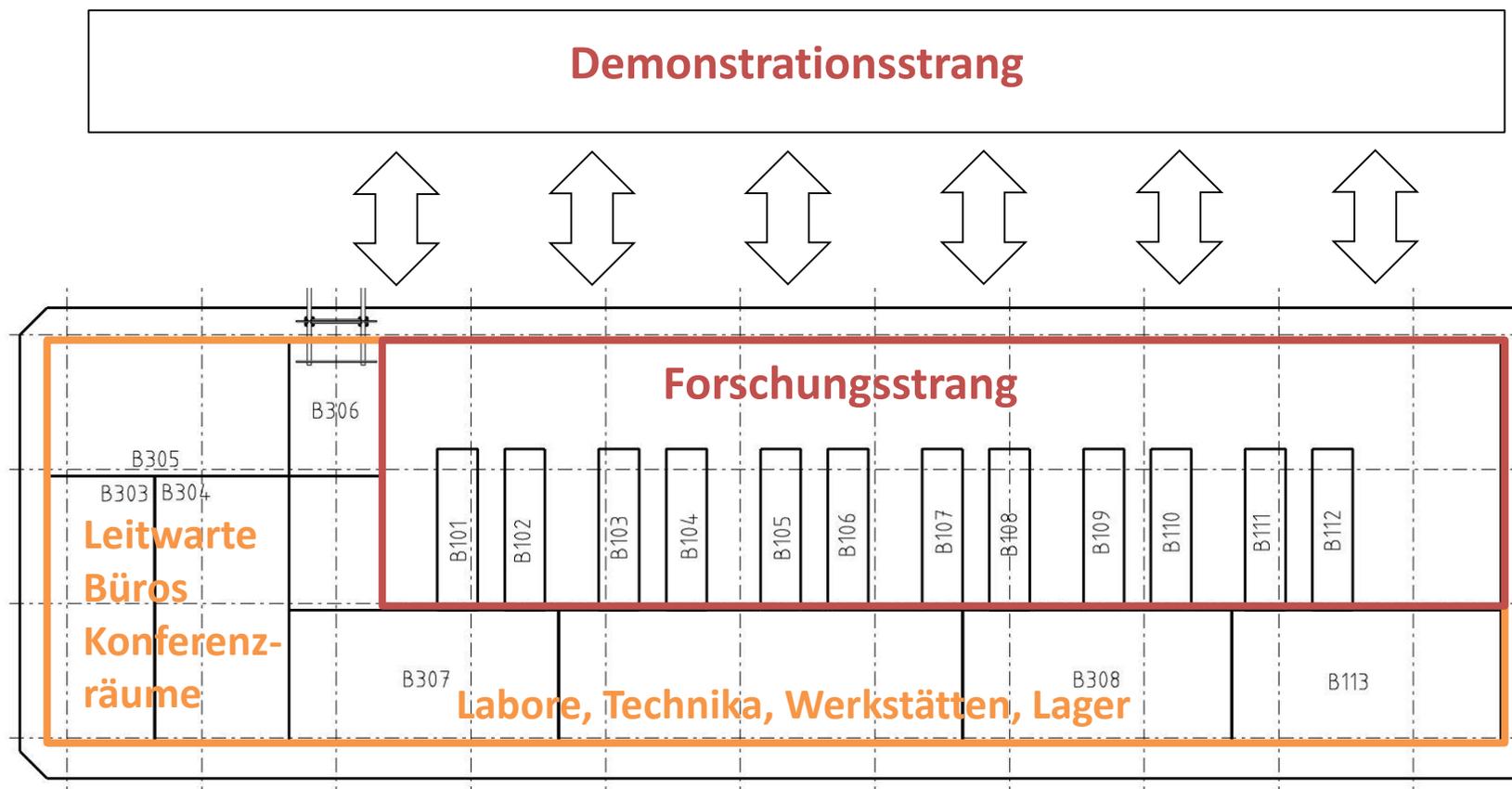


Produktlager

Layout EPP

- Berücksichtigung geltender gesetzlicher Regeln und Sicherheitsvorschriften
- Dimensionierung der Anlagenteile und Lagerflächen entsprechend der Durchsätze der beiden Stränge
- räumlich parallele Anordnung des Forschungsstrangs zum Demonstrationsstrangs
- Messwarte, Schulungsräume, Büro- und Mitarbeiteräume nahe am Forschungsstrang
- Berücksichtigung der hohen Öffentlichkeitswirksamkeit der EPP als Leuchtturmprojekt für Technologieentwicklung
- zentrale Ausbauflächen nutzbar:
 - für Vormontageaktivitäten, wenn die Kernprozesse auf neue Technologien im Demonstrationsstrang umgebaut werden
 - für zusätzliche Technologiemodule

Layout Forschungsstrang



Exemplarische Komponenten im Forschungsstrang

- ❖ Elektrolyse
- ❖ Energieoptimierung
- ❖ MTO-Oligomerisierung
- ❖ CO₂-Abscheidung/ DAC
- ❖ MeOH-Synthese
- ❖ MTG-Raffination
- ❖ MTO-Raffination
- ❖ MTO-Isomerisierung

Kostenschätzung

Nach Kostenermittlung für die Hauptausrüstungen lt. Ausrüstungsliste wurde als Kalkulationsmethode die Einzelfaktorenmethode (K. H. Weber: Engineering verfahrenstechnischer Anlagen, Springer Verlag, 2016) angewandt.

Bitte hier das Suchwort oder einen Teil davon eingeben: Kreiselpumpe

Gesucht wird in den Feldern Tag-Nummer, Bauteilbeschreibung, Firma

Einzeluche Mehrfachsuche

Anfrage_ID	Pos	Tag-No	Anfragedatum	Beschreibung1	Beschreibung2	Preis	Einheit
0022-255410	4	P33160	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	3	P33150	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	3	P33150	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	2	P33140	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	2	P33140	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	1	P33130	26.02.15	Kreis		1,45	
0022-255410	1	P33130	26.02.15	Kreis		1,45	
0003-255405	8	P-101	18.06.14	Kreis			

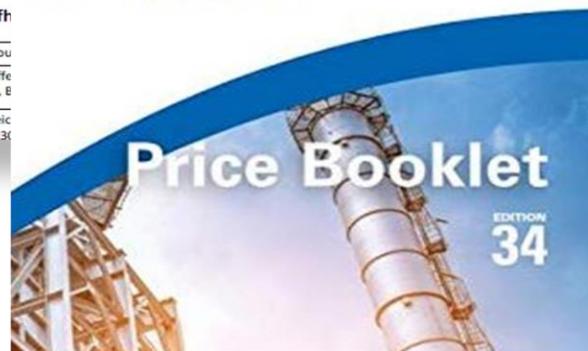
Ihr kaufmännischer Ansprechpartner:
Anfrage: 0001-P001092 Projekt: P001092
 (Bei Angebotslegung und Schriftverkehr immer angeben)
Angebotsabgabetermin: 14.04.2021

Sehr geehrter Herr

wir ersuchen um Erstellung eines für uns kosten ALLGEMEINEN BEDINGUNGEN für die Beschaffung Auslegungsdaten - über:

Herstellung von 2 Behältern bzgl. Wasserstoff

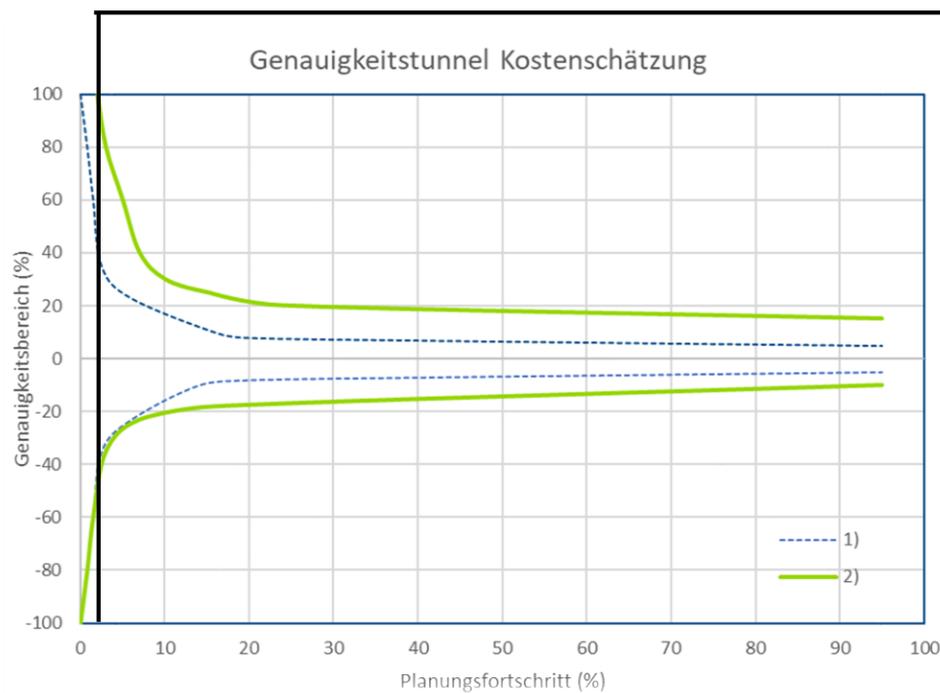
Position	TAG-/Teile-Nr.:	Dimension	Beschreibung
001	B002-09D02		Druckpuffe / T=70°C, E
002	B003-09D02		Druckspeicher / T=30°C, E



Lfd. Nr.	Anlagengegenstand bzw. Gewerk und/oder Arbeitsfähigkeit	Basisfaktor bzw. Zuschlagsfaktor	
		von	bis
1	<i>Kosten-Bezugsbasis: Kosten für Hauptausrüstungen (Maschinen, Apparate, Sonderausrüstung), inkl. Lieferung frei Baustelle</i>	1,00	
2	Nebenkosten insgesamt, davon:	2,35	4,94
2.1	Montage der Hauptausrüstung, inkl. Hebezeug	0,15	0,22
2.2	Material für Rohrleitungen, inkl. Rohrleitungsteile, Armaturen, Dichtungen	0,30	0,60
2.3	Montage der Rohrleitungen, inkl. Rohrleitungsteile, Armaturen, Dichtungen	0,20	0,40
2.4	Lieferung/Material der Prozessleittechnik (MSR)	0,45	0,90
2.5	Montage der Prozessleittechnik (MSR), inkl. Funktionsprüfung	0,20	0,45
2.6	Lieferung/Material der Elektrotechnik	0,18	0,36
2.7	Montage der Elektrotechnik	0,10	0,20
2.8	Lieferung und Montage der technischen Gebäudeausrüstung	0,08	0,18
2.9	Material und Leistung für Tiefbau (Fundamente, Erdarbeiten für Kabel- und Rohrverlegung, Oberflächenbefestigung)	0,08	0,20

Kalkulationsmethode

Die angewendete Einzelfaktorenmethode entspricht der Genauigkeitsklasse nach AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering) Class 4, mit einer Kostengenauigkeit von ca. -30% bis +50%.



Schätzklasse	Planungsgrad	Ziel	Genauigkeit
Class 5	0% bis 2%	Concept Screening	-50% bis +100%
Class 4	1% bis 5%	Study or Feasibility	-30% bis +50%
Class 3	10% bis 40%	Budget, Authorization or Control	-20% bis +30%
Class 2	30% bis 70%	Control or Bid/Tender	-15% bis +20%
Class 1	50% bis 100%	Check Estimate or Bid/Tender	-10% bis +15%

1) PRIZING, Dr.-Ing. P.; RÖDL, Dr.-Ing. R; AICHERT, Ing. D., Investitionskosten-Schätzung für Chemieanlagen, Chem.-Ing.-Tech. 57 (1985) Nr. 1, S. 8–14

2) HUMPHREYS, Kenneth K., Project and cost engineers' handbook, Boca Raton, CRC Press, 2005, (4. Auflage)

Investitionskosten des Demonstrationsstranges

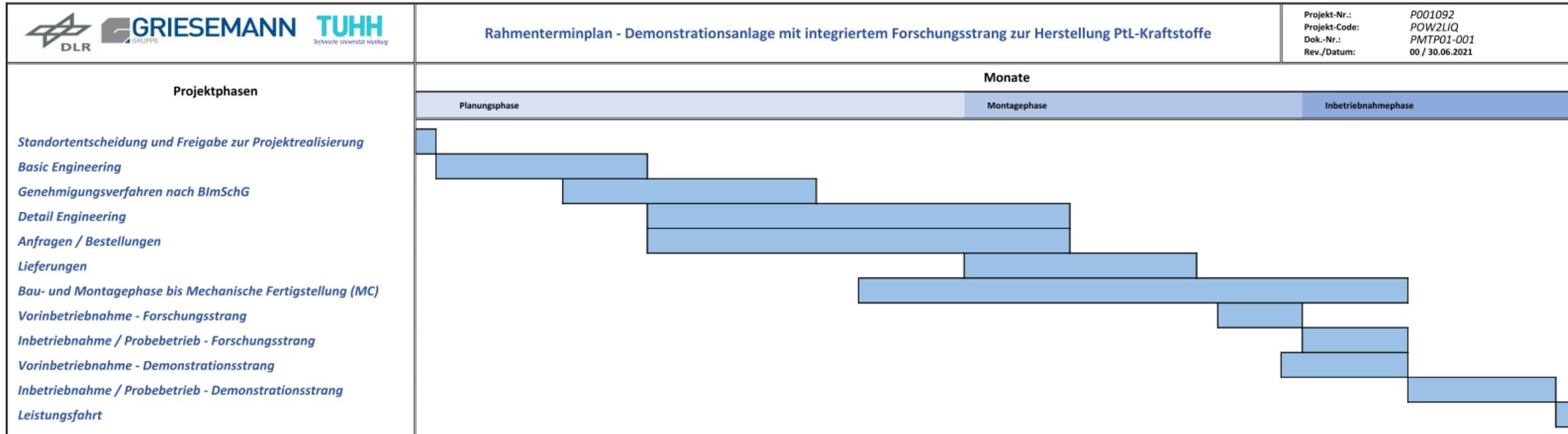
Baugruppe	Kosten
Elektrolyse	63,3 Mio. €
H ₂ Speicher	24,8 Mio. €
CO ₂ Abscheidung	23,0 Mio. €
CO ₂ Aufbereitung	10,7 Mio. €
CO ₂ Lagerung	6,0 Mio. €
RWGS, FT-Synthese	36,3 Mio. €
Hydrocracking, Hydrotreating, Gasrückgewinnung, Rektifikation Mittelöl, Wärmerückgewinnung, Rektifikation Naphtha, Rektifikation Kerosin, Rektifikation Diesel	33,2 Mio. €
Produktverladung, Produkt-TL on spec, Produkt-TL off spec	12,1 Mio. €
Fackelsystem	2,8 Mio. €
Brandschutz/Löschwasser	0,2 Mio. €
Abwassersystem	0,5 Mio. €
O ₂ Verwertung	13,3 Mio. €
Kühlwasserkonditionierung, Rückkühlwerk	4,4 Mio. €
Wasseraufbereitung	3,9 Mio. €
Utilities Wasser/ Dampf	2,1 Mio. €
Utility Instrumentenluft	1,6 Mio. €
Utility Stickstoff	1,5 Mio. €
Utility Natronlauge	0,5 Mio. €
Utility Bio-/Erdgas	0,1 Mio. €
Rückbau der Gesamtanlage	23,0 Mio. €
Gesamtsumme	263,3 Mio. €

Investitionskosten des Forschungsstranges

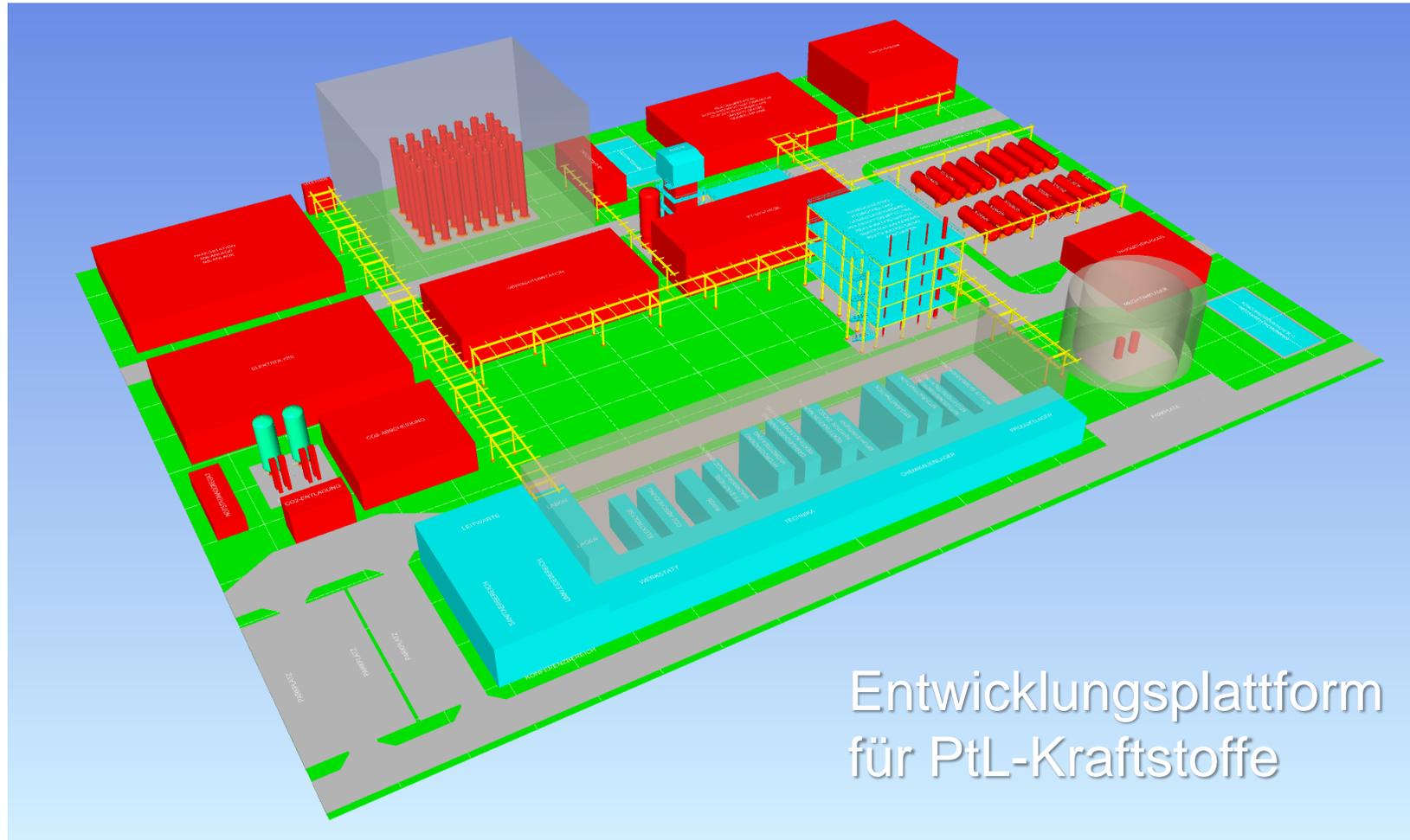
Bezeichnung	Summe
Hauptausrüstung	8,9 Mio. €
Analytik	3,9 Mio. €
Prozess-Monitoring	3,5 Mio. €
Gebäude	5,0 Mio. €
Gesamtkosten	21,3 Mio. €

Terminplan EPP

- Detailierung nach Standortwahl erforderlich
- Optimierungspotential durch:
 - Standortbedingungen
 - Vereinfachtes Genehmigungsverfahren
 - Zeitiges Sichern von Planungs- und Realisierungsressourcen
- Level 0 Terminplan (Projektzeitraum ca. 48 – 51 Monate):



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



beauftragt durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Organisatorische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für strombasierte Kraftstoffe

Uwe Molzberger (Vortragender)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



15. Juli 2021

Die im Folgenden vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers und spiegeln nicht notwendigerweise offizielle Positionen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Auftraggeber wider. Damit sind keine rechtsverbindlichen Äußerungen des BMVI verbunden.



Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Projekt-Beteiligte

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

- Prof. Dr. Manfred Aigner
- Dr. Christoph Arndt
- Dr. Marina Braun-Unkhoff
- Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
- Dr. Thorsten Jänisch
- Dr. Markus Köhler
- Dr. Patrick Le Clercq
- Uwe Molzberger
- Dr. Juliane Prause
- Heiko Wollenweber
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Technische Universität Hamburg (TUHH)

- Stefan Bube
- Fabian Carels
- Prof. Dr. Martin Kaltschmitt
- Dr. Ulf Neuling
- Tjerk Zitscher
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Griesemann Gruppe / John Brown Voest GmbH (JBV)

- Uwe Gaudig
- Martin Vorsatz
- weitere Mitarbeitende des Projekt-Teams

Administrative & organisatorische Ausgestaltung einer PtL-Plattform - Aufgabenteilung

Betrachtete Fragen:

- Wie bekommen wir die Prozesse eines „Wissenschaftsbetriebs“ verträglich mit den Betriebs- und Anpassungsprozessen einer PtL-Anlage organisiert?
- Wie können beihilferechtliche Probleme vermieden werden, wenn der produzierter Kraftstoff verwertet wird?
- Wie fördern wir den Gedanken der Forschung im Verbund, also den Gedanken von Forschungskonsortien? Und zwar mit Blick darauf, dass F&E-Projekte auf der Plattform möglichst dem beihilferechtlichen Begriff der „Wirksamen Zusammenarbeit“ genügen sollen?

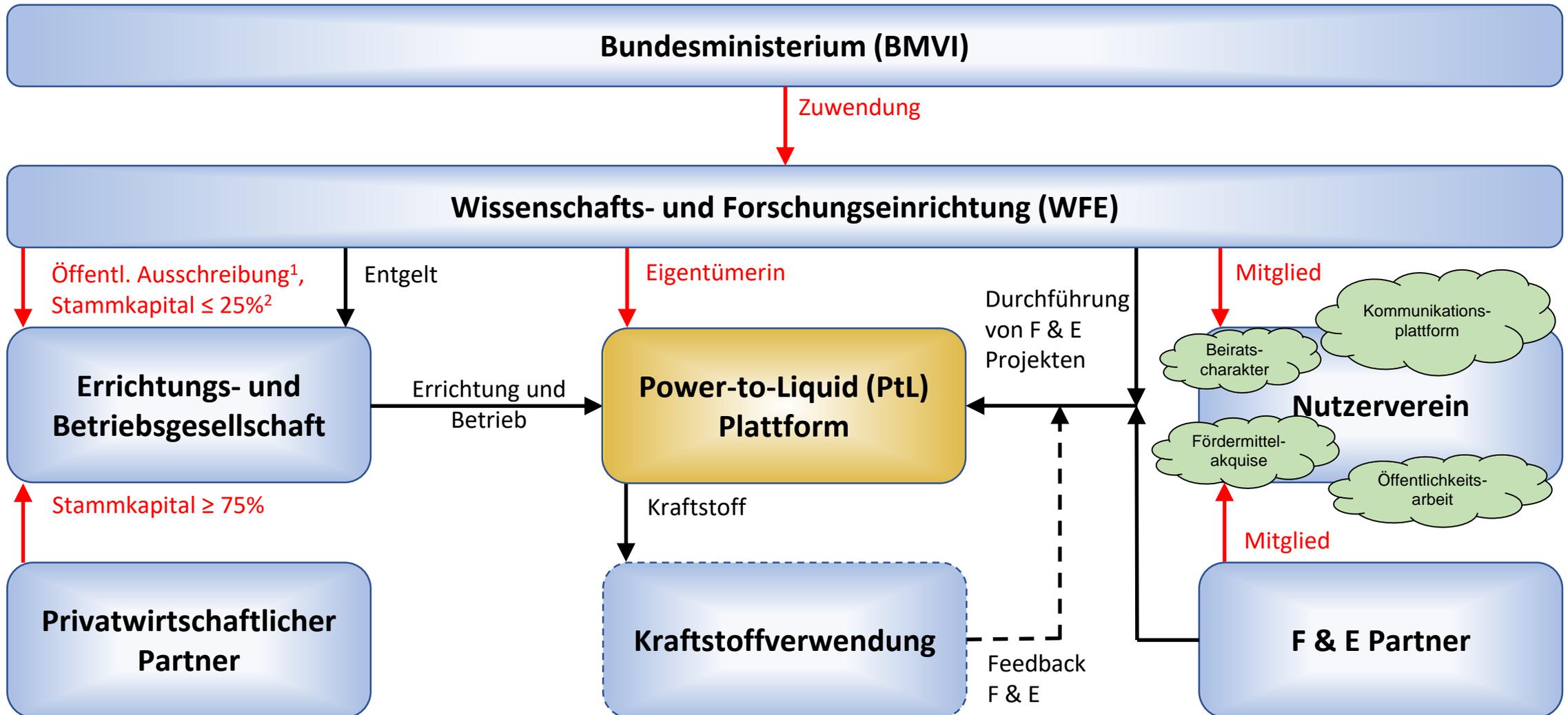
Die Fragen stellen sich dann, wenn

- die Finanzierung des Projektes über eine Zuwendung erfolgt und
- der Zuwendungsempfänger eine Organisationseinheit ist, die in der Regel im Sinne des „Unionsrahmen für Forschung und Entwicklung und Innovation“ nicht-wirtschaftlich tätig ist.

Dargestellt wird nachfolgend ein hierauf aufbauendes „**Szenario**“. Was aber auch bedeutet:

- **Andere Prämissen führen zu anderen Fragen und folglich anderen Überlegungen.**
- **Auch gleiche Prämissen und/oder gleiche Fragestellungen können zu anderen organisatorischen Überlegungen führen.**

Administrative & organisatorische Ausgestaltung einer PtL-Plattform - Aufgabenteilung



¹ Die öffentliche Ausschreibung regelt in der Leistungsbeschreibung die Errichtungs- und Betriebsbeauftragung und fragt **optional** die Bereitschaft einer gesellschaftsrechtliche Beteiligung an.

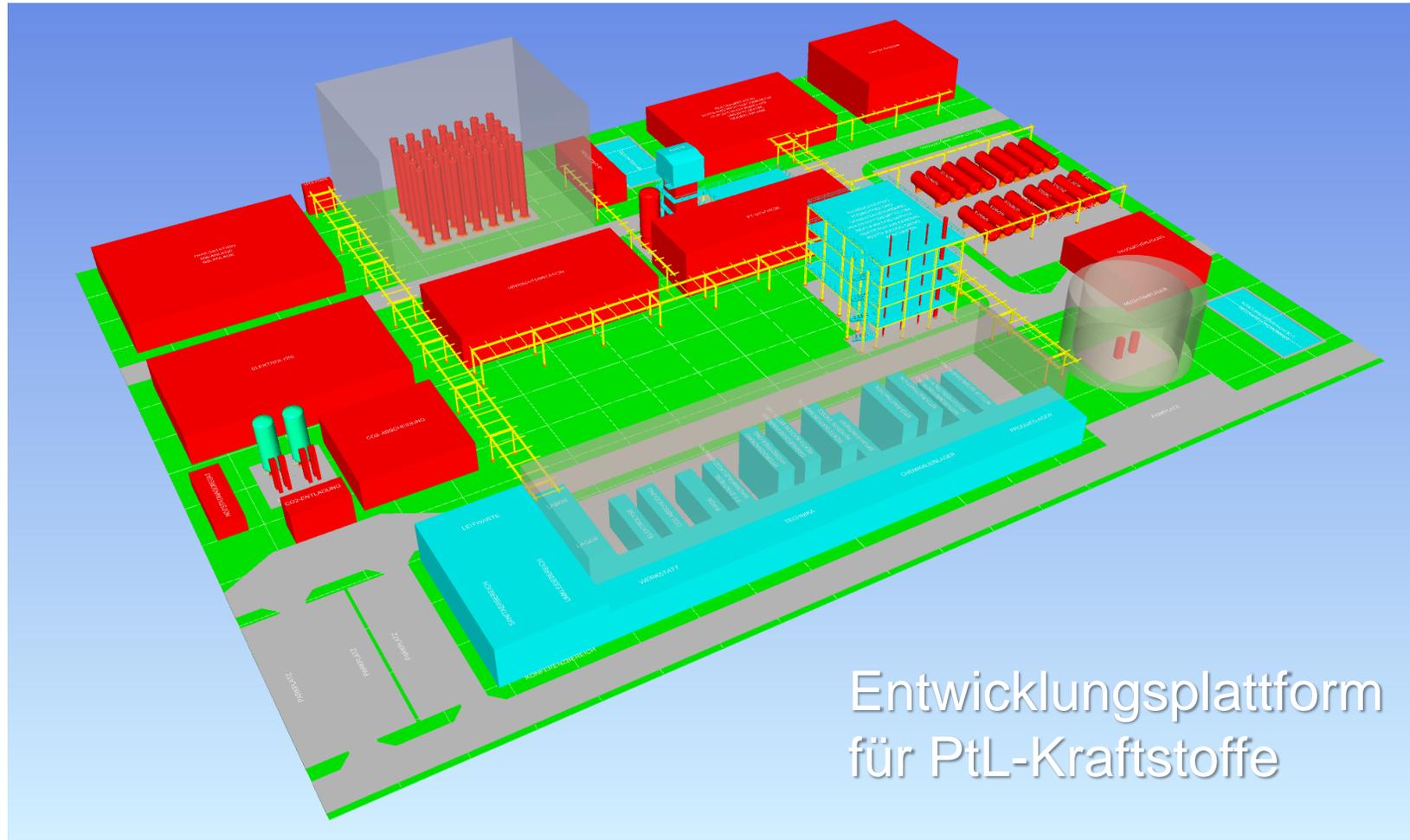
² Bei einer solchen gesellschaftsrechtlichen Beteiligung sind die jeweils geltenden einschlägigen Regelungen (z. B. §65 BHO) zu beachten.

Die Aufteilung des Stammkapitals hat hier lediglich indikativen Charakter.

Administrative & organisatorische Ausgestaltung einer PtL-Plattform - Aufgabenteilung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Entwicklungsplattform
für PtL-Kraftstoffe