



DEKARBONISIERUNG IN DER PRAXIS

EIN LEITFADEN FÜR DIE UMSETZUNG
IN DER MITTELSTÄNDISCHEN INDUSTRIE

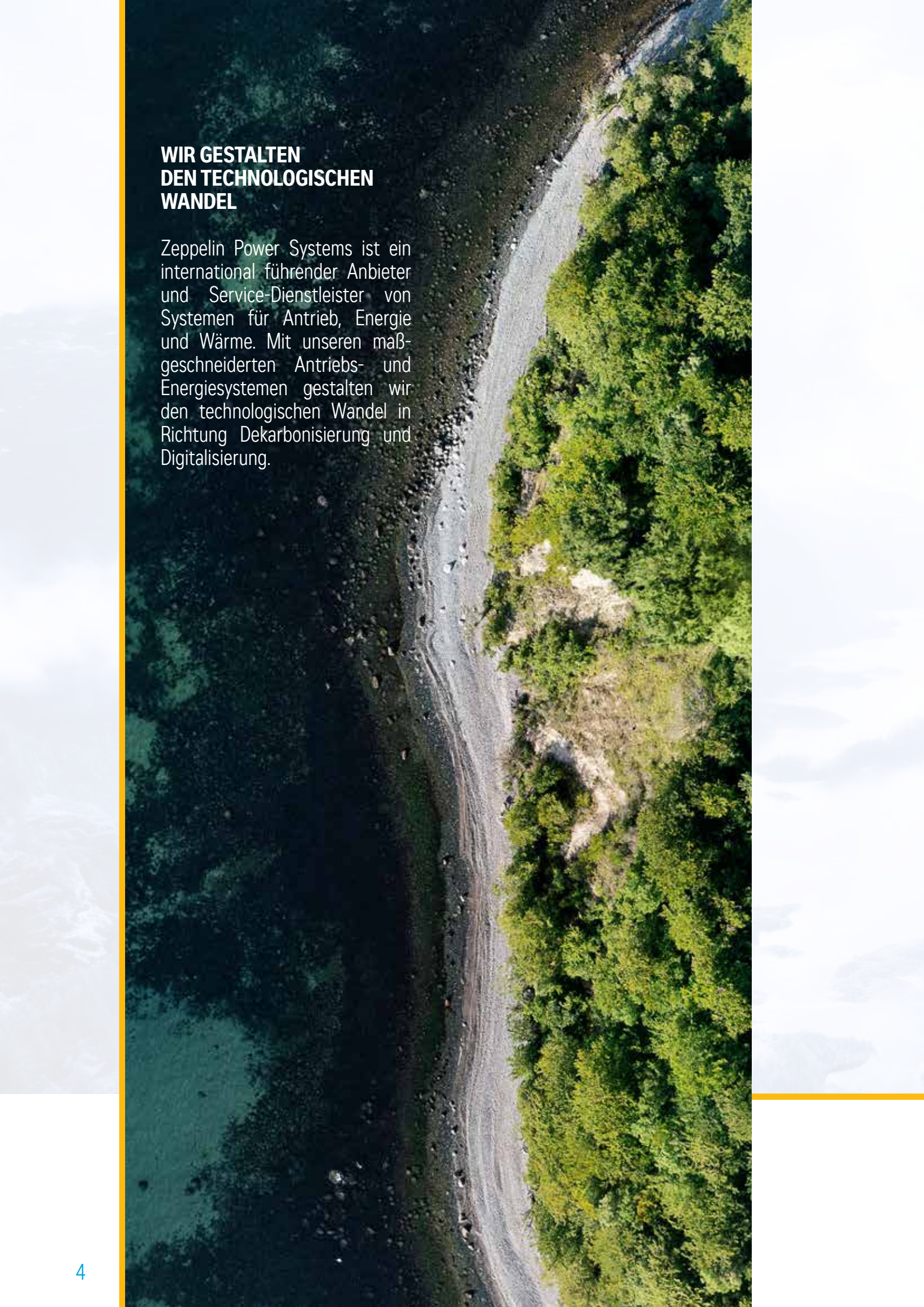


INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	5
REGULARIEN ALS TEMPOMACHER ZUR DEKARBONISIERUNG	6
HERAUSFORDERUNGEN UND HÜRDEN BEI DER IMPLEMENTIERUNG	10
DEKARBONISIERUNGSTECHNOLOGIEN VON ELEKTRIFIZIERUNG BIS E-FUELS	14
Batteriespeicher der neusten Generation:	
Die Rolle der Lithium-Ionen-Batterien in der Dekarbonisierung	14
Von der Produktion zur Anwendung:	
Brennstoffzellen in einer wachsenden Wasserstoffwirtschaft	16
Chancen und Grenzen von kohlenstoffarmen Brennstoffen	20
Digitalisierung als Enabler der Dekarbonisierung	24
BEWERTUNGSKRITERIEN ZUR AUSWAHL GEEIGNETER TECHNOLOGIEN	26
METHODEN FÜR VERGLEICH UND BEWERTUNG VERSCHIEDENER TECHNOLOGIEN	28
8 SCHRITTE ZUM ERSTEN DEKARBONISIERUNGSPROJEKT	30

Hinweis:

Um zu den einzelnen Inhalten zu gelangen, klicken Sie bitte auf das entsprechende Kapitel.

An aerial photograph of a river winding through a dense, green forest. The river is light-colored, possibly due to sand or gravel, and contrasts with the dark green of the surrounding trees. The perspective is from above, looking down at the river as it flows.

WIR GESTALTEN DEN TECHNOLOGISCHEN WANDEL

Zeppelin Power Systems ist ein international führender Anbieter und Service-Dienstleister von Systemen für Antrieb, Energie und Wärme. Mit unseren maßgeschneiderten Antriebs- und Energiesystemen gestalten wir den technologischen Wandel in Richtung Dekarbonisierung und Digitalisierung.

VORWORT

Die Dekarbonisierung stellt eine der zentralen Herausforderungen für Unternehmen und ganze Industrien weltweit dar. Besonders in Europa und Deutschland spielt die Reduzierung von CO₂-Emissionen eine entscheidende Rolle, um die ambitionierten Ziele zu erreichen, die im Pariser Klimaabkommen und im europäischen „Green Deal“ festgelegt wurden.¹ Um bis 2050 die Transformation zu einer klimaneutralen Wirtschaft zu realisieren, müssen Unternehmen ihre Produktionsprozesse, Lieferketten und Energienutzung neu denken und innovative Lösungen zur Emissionsreduktion entwickeln und umsetzen.

Neben den vielseitigen Herausforderungen der Dekarbonisierung bietet diese auch Potenzial für **Kosteneinsparungen** und eine **langfristige Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit**. Unternehmen, die frühzeitig auf Dekarbonisierung setzen, können durch die Implementierung von innovativen Technologien und digitalisierten Prozessen ihre Betriebskosten senken und von First Mover Advantages profitieren.

Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen haben das Potenzial, durch **innovative Dekarbonisierungsstrategien** ihre Marktposition zu verbessern, neue Kundengruppen hinzuzugewinnen oder in neue Nischen einzutreten. Während Endkunden und Privatkonsumenten heute schon klimaneutrale Dienstleistungen nachfragen, erwarten auch vermehrt große Unternehmen und öffentliche Auftraggeber von ihren Zulieferern, dass diese festgelegte Umweltstandards einhalten und halten diese konkret in ihren Ausschreibungskriterien fest.

Dieses Whitepaper soll Unternehmen dabei unterstützen, erste Schritte zur Dekarbonisierung ihrer eigenen Assets zu identifizieren, und mögliche Handlungsstrategien aufzeigen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen!

Ihr Team von Zeppelin Power Systems

¹ <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>

REGULARIEN ALS TEMPOMACHER ZUR DEKARBONISIERUNG

Grundlage aller Richtlinien und Gesetze zur Minderung der Treibhausgasemissionen ist das **Pariser Klimaabkommen von 2015**, welches von 195 Staaten beschlossen wurde. Ziel ist es, den Anstieg der globalen Temperatur auf möglichst 1,5 °C, maximal jedoch auf 2 °C, zu begrenzen.² Die konkrete Umsetzung der vereinbarten Ziele liegt in der Verantwortung der einzelnen Staaten. Alle fünf Jahre findet eine globale Bestandsaufnahme statt, um die Fortschritte zu überprüfen und die Einhaltung der Ziele sicherzustellen.³

Im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen stellt der **Europäische Green Deal** die umfassende Strategie der Europäischen Union dar, mit der das Ziel verfolgt wird, bis zum Jahr 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Die **EU-Kommission** setzt als Zwischenziel fest, die Emissionen bis 2030 um 55 % im Vergleich zum Stand von 1990 zu senken.⁴ Diese Ziele sind im EU-Klimagesetz von 2020 verankert, wodurch die angestrebte Klimaneutralität rechtlich verbindlich wird. Um die erforderlichen Maßnahmen umzusetzen, wurde das **Fit for 55-Paket** ins Leben gerufen.



² <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>

³ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html>

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=FR>

Auswahl konkreter Maßnahmen aus dem Fit for 55-Paket

MASSNAHMEN BZW. RICHTLINIE

BESCHREIBUNG

Erneuerbare-Energien-Richtlinie
(RED II bzw. RED III)⁵

Ziel ist die Erhöhung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen im gesamten Energiemix. Dies geschieht unter anderem durch sektorbezogene Teilziele in Bereichen, in denen der Fortschritt langsam vorankommt, wie Verkehr, Gebäude und Industrie. Im Rahmen der RED III soll der Gesamtenergieverbrauch der EU im Jahr 2030 zu 42,5 % aus erneuerbaren Energien bestehen.

Energieeffizienzrichtlinie (EED)⁶

Die Energieeffizienzrichtlinie (EED) verpflichtet EU-Mitgliedstaaten, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu ergreifen und nationale Energieeffizienz-Aktionspläne zu erstellen. Ziel ist es, den Energieverbrauch zu senken und den Einsatz energieeffizienter Technologien in verschiedenen Sektoren zu fördern.

FuelEU Maritime⁷

Die FuelEU Maritime legt Grenzwerte für die jährliche Treibhausgasintensität von Schiffen über 5.000 BRZ in EU-Häfen fest. Die Intensität soll im ersten Schritt ab 2025 um 2 % sinken und bis 2050 um 80 % reduziert werden. Ab Anfang 2030 müssen Passagier- und Containerschiffe in europäischen Häfen zudem Landstrom oder andere emissionsfreie Technologien nutzen, die Überwachung der GHG-Intensität begann bereits am 1. Januar 2025.

Reform des EU-Emissionshandels-
systems (EU-EHS)⁸

Das EU-EHS ist ein CO₂-Markt, auf dem Emissionszertifikate für energieintensive Industrien und den Stromsektor gehandelt werden. Geplant sind eine schrittweise Reduzierung und eventuelle Einstellung der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten sowie eine Erweiterung, die auch Emissionen aus dem Seeverkehr umfasst.

Carbon Border Adjustment Mechanism
(CBAM)⁹

CBAM zielt darauf ab, Wettbewerbsbedingungen für europäische Unternehmen zu schützen. Dafür erhebt das Grenzausgleichssystem einen Preis auf CO₂-Emissionen für Importe bestimmter Güter. Mit der Maßnahme wird verhindert, dass die Produktion von Unternehmen in Nicht-EU-Länder verlagert wird, wo Emissionsgrenzen und Klimaschutzmaßnahmen weniger ambitioniert sind. Außerdem soll damit eine klimafreundlichere Produktion außerhalb von Europa angeregt werden.

⁵ <https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules>

⁶ <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules>

⁷ <https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime>

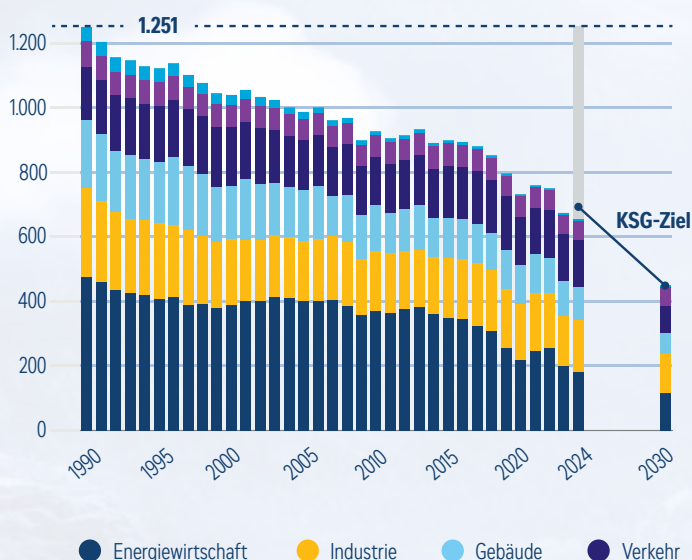
⁸ <https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/eu-emissions-trading-system.html>

⁹ https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

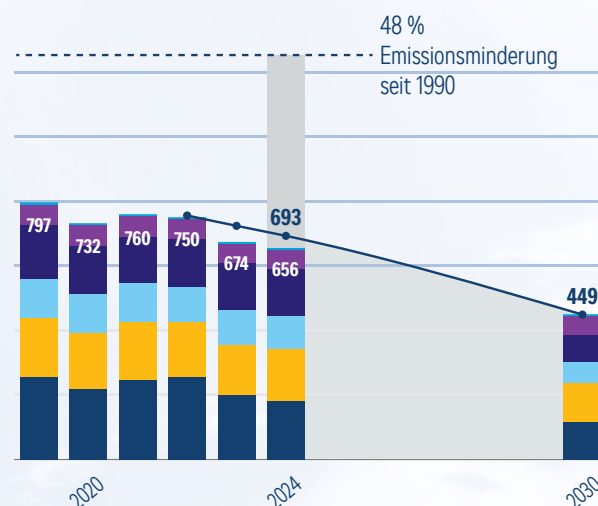
Der **Klimaschutzplan 2050** stellt die Langzeitstrategie der Bundesrepublik Deutschland zur Klimapolitik dar und wurde im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen entwickelt. Das **Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)** bildet den Kern der nationalen Klimapolitik und wurde seither mehrfach angepasst und verschärft. Für das Zieljahr 2030 ist eine Minderungsquote der Treibhausgasemissionen von mindestens 65 % festgeschrieben. Bis 2040 sollen die Emissionen um mindestens 88 % gesenkt werden. Darüber hinaus strebt Deutschland bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität an, was fünf Jahre früher wäre als von der EU gefordert.^{10 11}

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren seit 1990

(Mio. tCO₂ - Äq)



2019 - 2030



Agora Energiewende (2024) nach UBA (2024a) – 2024: Schätzung von Agora Energiewende basierend auf AGEB (2024a). Zielpfad abgeleitet aus Klimaschutzgesetz. Exklusive Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.

Bildquelle: <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/die-energiewende-in-deutschland-stand-der-dinge-2024>

¹⁰ <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf#>

¹¹ <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung>

Auswahl konkreter Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2023

MASSNAHMEN

BESCHREIBUNG

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) ¹²	Bis 2030 sollen mindestens 80 % des Stromverbrauchs in Deutschland aus erneuerbaren Energien stammen. Das Gesetz schafft Anreize für den Einsatz von Solar-, Wind- und Bioenergie und fördert damit den Ausbau von erneuerbaren Energien in Deutschland.
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) ¹³	Das KWKG fördert die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme, um die Energieeffizienz zu steigern und CO ₂ -Emissionen zu reduzieren. Es bietet finanzielle Anreize und Einspeisevergütungen für Betreiber von KWK-Anlagen, um deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern und den Einsatz erneuerbarer Energien zu unterstützen.
Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie ¹⁴	Bis 2030 sollen 30 bis 50 % des deutschen Wasserstoffbedarfs lokal gedeckt werden. Darüber hinaus ist der Aufbau eines Wasserstoffkernnetzes bis 2032 geplant, ebenso wie die Entwicklung eines flächendeckenden Wasserstofftankstellennetzes.
Wärmeplanungsgesetz (WPG) ¹⁵	Das WPG verpflichtet alle Kommunen in Deutschland, Wärmepläne zu erstellen, um die lokale Wärmeversorgung nachhaltiger und klimaneutral zu gestalten. Zudem müssen alle Wärmenetze bis 2045 klimaneutral betrieben werden, indem sie ausschließlich aus erneuerbaren Wärmequellen und unvermeidbarer Abwärme gespeist werden.

Unternehmen sind zunehmend gefordert, sich nicht nur mit Nachhaltigkeitsthemen und Dekarbonisierung auseinanderzusetzen, sondern auch umfassende Informationen darüber zu veröffentlichen. Die Berichtspflichten wurden auf EU-Ebene durch die **Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)** erheblich erweitert. Die Pflichten betreffen nicht mehr nur große Unternehmen von öffentlichem Interesse, sondern schließen nun auch kleine und mittelständische kapitalmarktorientierte Unternehmen sowie alle großen Unternehmen im bilanzrechtlichen Sinne ein. Schätzungen zufolge wird die Zahl der betroffenen Unternehmen in der EU von etwa 11.600 auf rund 49.000 steigen. Die neuen Berichtspflichten gelten ab dem Geschäftsjahr 2024 für die größeren Unternehmen, während kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ab 2026 in den Geltungsbereich der CSRD einbezogen werden. Diese Entwicklungen zielen darauf ab, die Transparenz und Verantwortlichkeit im Bereich der Nachhaltigkeit zu erhöhen und Unternehmen dazu zu bewegen, aktiv zur Umsetzung nachhaltiger Praktiken beizutragen. ¹⁶

¹² <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972>

¹³ <https://www.eon.de/de/gk/energiewissen/kwkg-2023.html>

¹⁴ <https://www.bmfr.bund.de/DE/Forschung/EnergieKlimaUndNachhaltigkeit/Energie/WasserstoffUndSynthetischeKraftstoffe/wasserstoffundsynthetischekraftstoffe.html>

¹⁵ <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/DE/kommunale-waermeplanung.html>

¹⁶ <https://www.csr-in-deutschland.de/DE/CSR-Allgemein/CSR-Politik/CSR-in-der-EU/Corporate-Sustainability-Reporting-Directive/corporate-sustainability-reporting-directive-art.html>

HERAUSFORDERUNGEN UND HÜRDEN BEI DER IMPLEMENTIERUNG

Um gezielte Dekarbonisierungsmaßnahmen im Unternehmen umzusetzen, ist es entscheidend, zunächst die Quellen von Emissionen im eigenen Betrieb genau zu identifizieren. Hierbei spielt der CO₂-Fußabdruck des Unternehmens, auch **Corporate Carbon Footprint (CCF)** genannt, eine zentrale Rolle. Dieser gibt Aufschluss darüber, wie viele Treibhausgase erzeugt werden und in welchen Bereichen diese anfallen. Das Greenhouse Gas Protocol gilt als der am häufigsten verwendete Standard zur Berechnung der Treibhausgasbilanzen von Unternehmen. Es unterscheidet zwischen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen und unterteilt die Emissionen in drei „Scopes“ (zu dt.: Umfänge).^{17 18}

Scope

1

umfasst alle **direkten Emissionen**, die ein Unternehmen **selbst verursacht** und kontrollieren kann. Dazu gehören beispielsweise Emissionen von Produktionsprozessen, die Verbrennung fossiler Brennstoffe in eigenen Anlagen oder Emissionen aus firmeneigenen Fahrzeugen. Scope-1-Emissionen lassen sich vergleichsweise einfach reduzieren, da sich diese in direkter Kontrolle des Unternehmens befinden. So lassen sich klare Reduktionspotenziale erkennen, insbesondere durch eine Senkung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe und die Umstellung auf erneuerbare Energien.

Scope

2

umfasst **indirekte Treibhausgasemissionen**, die **aus dem Bezug von Energie in Form von Strom, Wärme oder Kälte** resultieren. Scope-2-Emissionen sind stärker von lokalen Gegebenheiten abhängig und lassen sich vom Unternehmen nur bedingt beeinflussen. Dennoch können durch Energiesparmaßnahmen, die Erhöhung der Energieeffizienz sowie den Einkauf oder die Eigenproduktion erneuerbarer Energien die emissionsintensiven Energiebezüge und damit Emissionen reduziert werden.

Scope

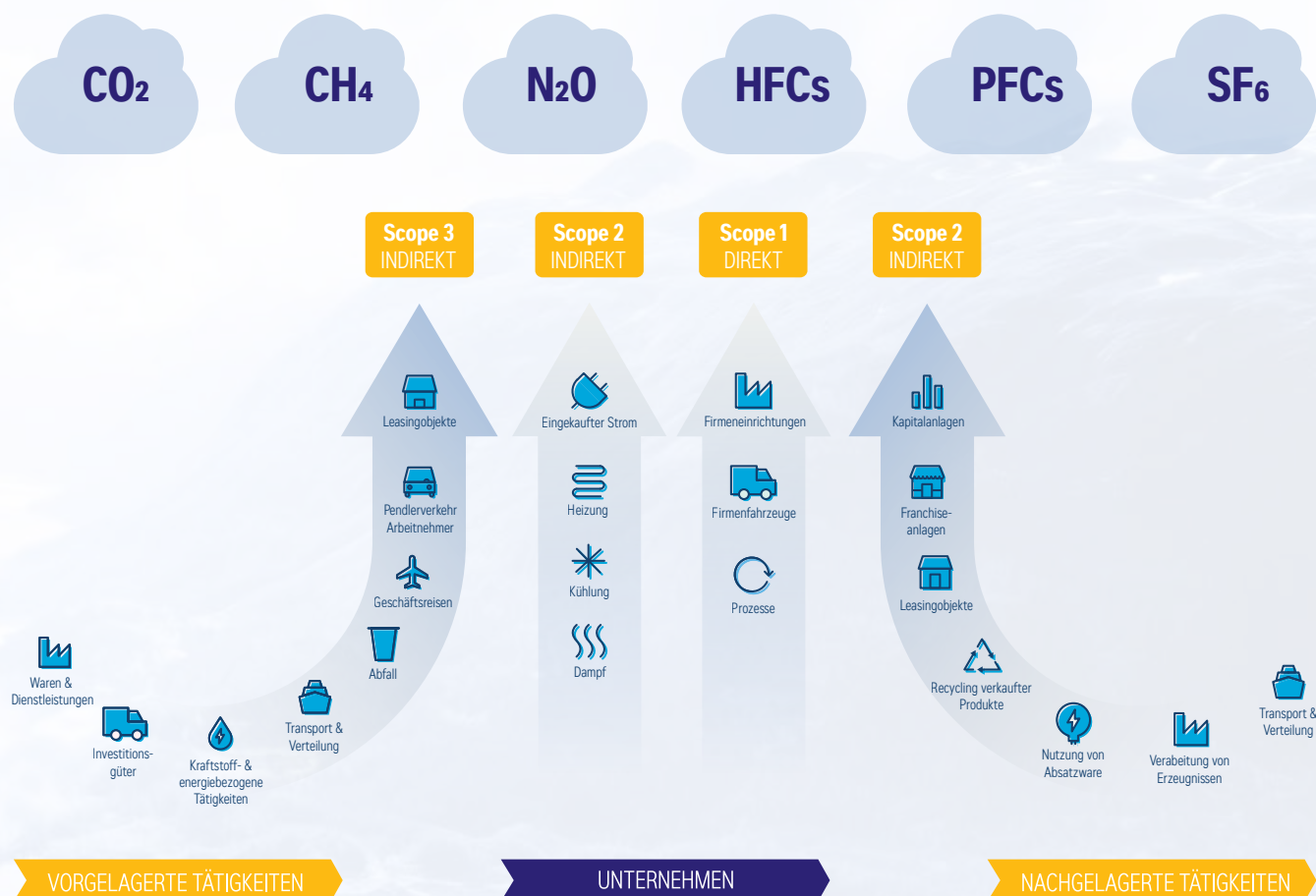
3

umfasst **indirekte Treibhausgasemissionen**, die in **der gesamten vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette eines Unternehmens** anfallen. Zu den Emissionen zählen unter anderem solche, die bei Abbau und Herstellung von bezogenen Rohstoffen, Bauteilen und Materialien sowie beim vor- und nachgelagerten Transport von Waren anfallen. Auch Emissionen, die durch Abfälle und deren Entsorgung sowie durch die Nutzung hergestellter Produkte durch die Endkunden entstehen, fallen in diesen Bereich. Scope-3-Emissionen sind vielfältig und schwieriger zu erfassen und zu beeinflussen, da sie von den Partnern, Lieferanten und Kunden entlang der gesamten Wertschöpfungskette abhängen.

¹⁷ <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-3-inventory-guidance>

¹⁸ <https://saim.de/content-hub/blog/scope-1-scope-2-scope-3-emissionen-beispiele-123/#:~:text=mittelbaren%20Einflusses%20relevant%3A%20Scope%201,und%20Lassen%20der%20Wertsch%3%B6pfungspartner%20abh%C3%A4ngig.>

Drei Scopes bei der Betrachtung von direkten und indirekten Treibhausgasemissionen



CO₂ Kohlenstoffdioxid

CH₄ Methan

N₂O Lachgas

FKWs Fluorkohlenwasserstoffe

PFAS Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (synthetische Chemikalien)

SF₆ Schwefelhexafluorid

Die Implementierung neuer Technologien bringt zahlreiche Herausforderungen mit sich, die sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte betreffen. Eine der wesentlichen Hürden ist die **technologische Integration und Reife**. Viele Technologien zur Dekarbonisierung sind in ihren Entwicklungsstadien unterschiedlich weit fortgeschritten.

Auch die **Infrastruktur** spielt eine entscheidende Rolle bei der Implementierung. Neue Technologien müssen nicht nur entwickelt, sondern auch in bestehende Infrastrukturen eingebettet werden. Dies erfordert erhebliche Anpassungen und Investitionen, da bestehende Systeme oft nicht für die Nutzung fortschrittlicher Dekarbonisierungstechnologien ausgelegt sind.

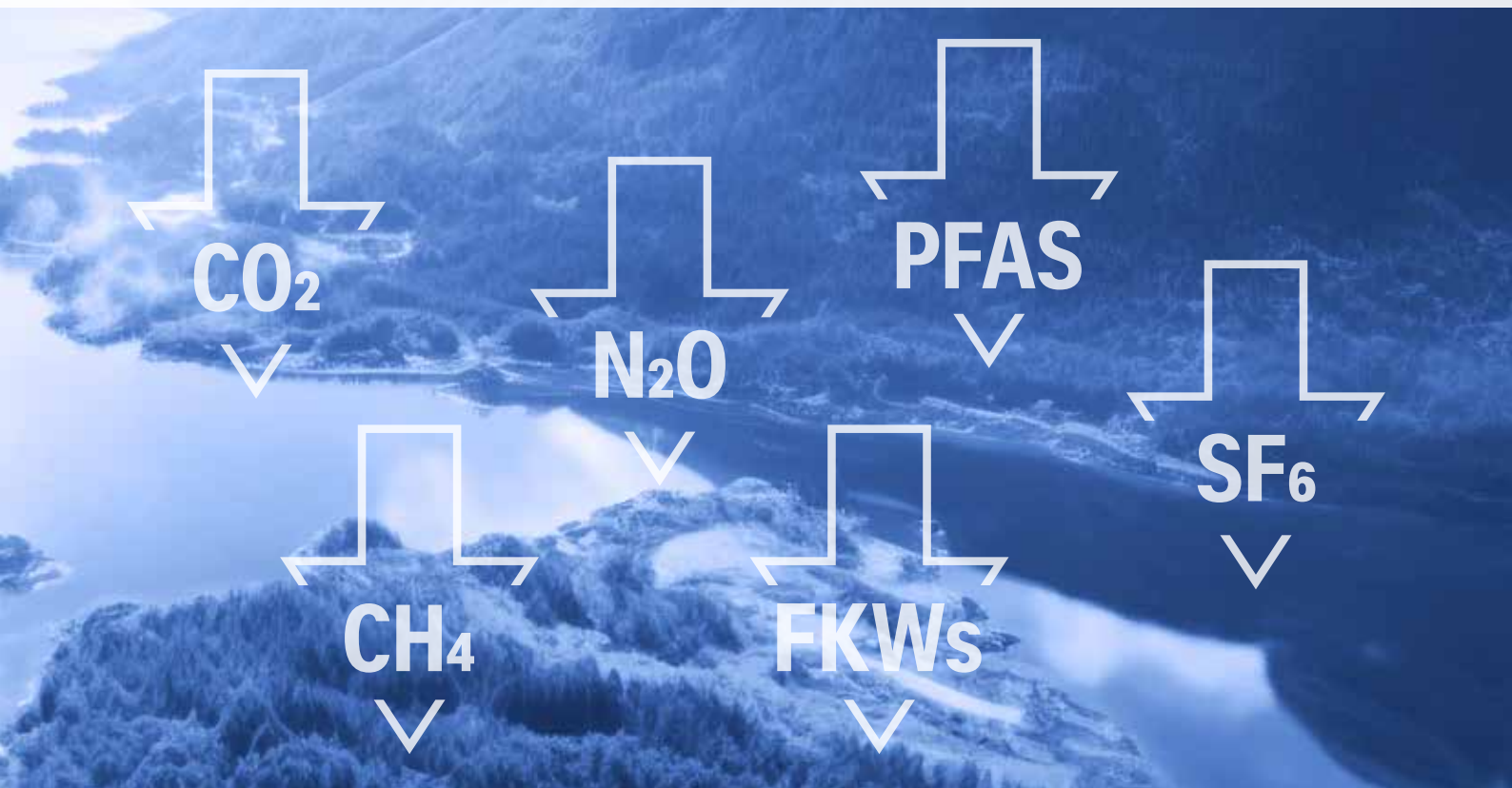
Eine weitere Herausforderung liegt in den **Kosten** und der **Finanzierung** neuer Technologien, insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen. Zudem kann der Return on Investment (ROI) oft erst nach längerer Zeit realisiert werden, was viele Unternehmen zögern lässt. Für Unternehmen stehen jedoch verschiedene Fördermöglichkeiten bereit, die dabei helfen können, die finanziellen Hürden zu mindern.



Darüber hinaus behindert der **Mangel an qualifizierten Fachkräften** die Implementierung. Neue Technologien erfordern spezialisierte Fachkräfte, um Installation, Betrieb und Wartung zu gewährleisten.

Uneinheitliche oder **unklare Regeln** zur Erfassung von Emissionsreduktionen erschweren weiter die Erreichung von Klimaneutralität. Beispielsweise müssen alle Emissionen entlang des gesamten Lebenszyklus (einschließlich Scope-3-Emissionen) berücksichtigt werden. Unterschiedliche Akteure sind sich jedoch oft uneinig über die Implementierung dieser Standards.

Eine zentrale Herausforderung stellt schließlich die **Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen** dar. Technologischer Fortschritt ist oft schwer vorherzusagen, wodurch Prognosen zu Marktentwicklung, Nutzerakzeptanz oder Umweltauswirkungen erschwert werden. Des Weiteren kann das Fehlen von Langzeitdaten die Beurteilung von Lebenszykluskosten und -auswirkungen verkomplizieren.



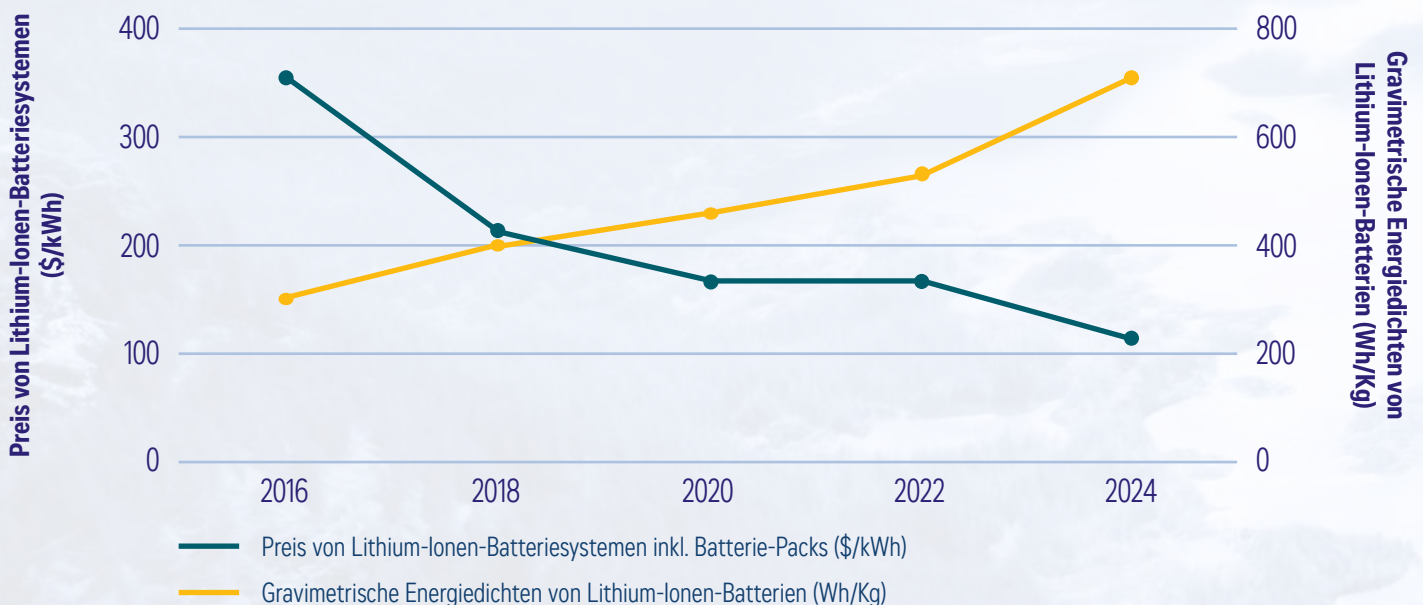
DEKARBONISIERUNGSTECHNOLOGIEN VON ELEKTRIFIZIERUNG BIS E-FUELS

BATTERIESPEICHER DER NEUSTEN GENERATION: DIE ROLLE DER LITHIUM-IONEN-BATTERIEN IN DER DEKARBONISIERUNG

Batteriespeicher stellen eine zentrale Technologie für die Transformation moderner Energiesysteme dar und gelten als essenzieller Baustein zur Erreichung von Dekarbonisierungszielen in mobilen wie auch stationären Anwendungen. Insbesondere durch technologische Fortschritte im Automobilsektor konnten sowohl die Energiedichte als auch die Effizienz von Batteriesystemen signifikant gesteigert werden. Bereits heute ersetzen Batterien zunehmend den Verbrennungsmotor oder fungieren – insbesondere bei Anwendungen mit geringem bis mittlerem Energie- und Leistungsbedarf (<300 kW) – als primäre Energiespeicherlösung.

Neben den besonders energiedichten NMC-Batterien (Nickel-Mangan-Kobalt) werden vermehrt LFP-Batterien (Lithium-Eisen-phosphat) eingesetzt, die zwar eine geringere Energiedichte haben, allerdings auch niedrigere Kosten verursachen. Neben Entwicklungen in der volumetrischen Energiedichte sind vor allem die **fallenden Produktionskosten** einer der größten Treiber der Technologien. So sind die Preise sowohl für Batteriezellen als auch für vollständige Batteriesysteme in den letzten Jahren stetig gesunken, mit Ausnahme einer kurzen Zeitspanne um das Jahr 2022. Bei Großprojekten im MWh-Bereich, insbesondere für stationäre Anwendungsbereiche, liegen die Kosten kompletter Batteriesysteme bei mittlerweile 100-200 \$/kWh, wovon die Batteriezellen rund die Hälfte der Kosten ausmachen (Stand: 2024).

Preisentwicklung und Energiedichten von Lithium-Ionen-Batterien im Zeitverlauf



Preise: Report von BloombergNEF aus 12/2024

<https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>

Energiedichte: <https://physicsworld.com/a/lithium-ion-batteries-break-energy-density-record/>

Für stationäre und mobile Non-Automotive-Anwendungen kommen zusätzlich die Kosten für den Packager hinzu. Dieser führt die universalen Zellen zu einem Gesamtsystem, inklusive Leistungselektronik und Steuerung, zusammen – bereit für den Einsatz in einer Lokomotive, der Marine oder einer stationären Anwendung. Da die Volumina hier noch gering sind, jedoch stetig steigen, wird erwartet, dass die Kosten für die Endanwender in den nächsten Jahren weiter sinken und sich Batterien für eine stetig größere Anzahl an Anwendungen eignen werden.

Die Realisierbarkeit eines ausschließlich batteriegestützten Energiesystems hängt maßgeblich von den spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen der jeweiligen Anwendung ab:

- › Turnus der möglichen Ladevorgänge
- › Benötigte Gesamtenergiemenge
- › Anforderungen an Volumen und Gewicht des Energiesystems
- › Verfügbare Infrastruktur
- › Regionale und anwendungsspezifische Anforderungen an CO₂-Emissionen
- › Verfügbares Investitionsvolumen

Die Vielzahl und Komplexität der Einflussfaktoren verdeutlichen die Notwendigkeit einer vorgelagerten Machbarkeitsanalyse für jedes Projekt, bei dem der Einsatz eines batterieelektrischen Antriebs- oder Energiesystems in Betracht gezogen wird.

Exkurs – Cat® Batterie für Off-Highway-Anwendungen



Erhalten Sie weitere Informationen zu stationären sowie mobilen Batterielösungen für den Industrieinsatz.

Kontakt:

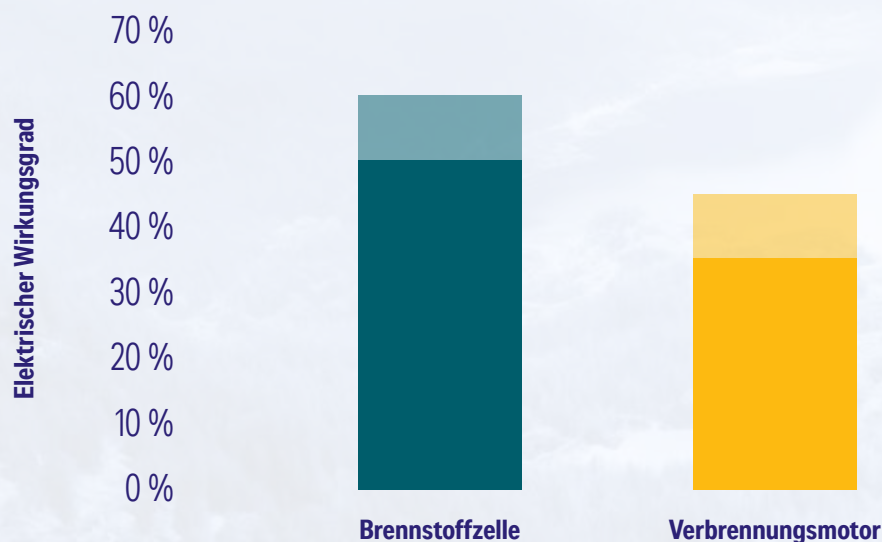
zps.hamburg@zeppelin.com

VON DER PRODUKTION BIS ZUR ANWENDUNG: BRENNSTOFFZELLEN IN EINER WACHSENDEN WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Brennstoffzellen sind eine vielversprechende Lösung zur Dekarbonisierung vieler Sektoren und Anwendungen, die aufgrund der geringen Energiedichte von Batterien nicht direkt elektrifiziert werden können. Sie wandeln beim Betrieb mit Wasserstoff chemische Energie direkt in elektrische Energie um, wobei als einziges Nebenprodukt Wasser entsteht. Brennstoffzellen bieten eine **emissionsfreie Alternative** zu herkömmlichen Diesel- und Gasantrieben und sind für Anwendungen geeignet, in denen eine hohe Energiedichte und lange Betriebszeiten gefragt sind, wie etwa in **Schiffen, Zügen** und **stationären Energiesystemen**.

Durch die zunehmenden Bemühungen, Brennstoffzellen im Schwerlastverkehr zu nutzen, gibt es vermehrt Anbieter auf dem Markt, die Brennstoffzellen sowohl für Automotive- als auch Non-Automotive-Anwendungen anbieten. Auch hier profitieren Brennstoffzellen von den generierten Skaleneffekten und Standardisierungen, durch die die Kosten für Brennstoffzellenkomponenten wie Bipolarplatten, Membranen und Katalysatoren in den nächsten Jahren um mehr als 50 % sinken sollen.¹⁹ Zusätzlich werden diese Skaleneffekte getrieben durch die Entwicklungen bei Elektrolyseuren, die eine Vielzahl an gemeinsamen Komponenten mit Brennstoffzellen haben.

Elektrischer Wirkungsgrad von Brennstoffzellen im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsmotoren



¹⁹ <https://hydrogencouncil.com/en/path-to-hydrogen-competitiveness-a-cost-perspective/>

Hydrogen Council. (2020). Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. Medienmitteilung 20. Januar 2020.

Die größte Herausforderung bei der Einführung von Brennstoffzellen ist die Verfügbarkeit von günstigem und grünem Wasserstoff. Während es heutzutage in Deutschland und Europa nur eine sehr begrenzte Menge an grünem Wasserstoff gibt, ist anhand der geplanten und sich in der Umsetzung befindlichen Projekte absehbar, dass die Menge an verfügbarem Wasserstoff in den nächsten Jahren stark steigen wird. Insbesondere in Zentral- und Westeuropa gibt es eine große Anzahl an Projekten. Aktuell befinden sich davon jedoch noch viele in der Planung oder in einer Machbarkeitsstudie.

Übersichtskarte zu laufenden und angekündigten Projekten zur Wasserstoffproduktion in Europa



Bildquelle: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-production-projects-interactive-map>

Exkurs – Brennstoffzellen-Stromaggregat von Zeppelin Power Systems

Ob eine Brennstoffzelle eine sinnvolle Option zur Dekarbonisierung der jeweiligen Anwendung ist, hängt von diversen Faktoren ab, bei denen immer die Total Cost of Ownership (TCO) betrachtet werden sollten. Brennstoffzellen haben in den letzten Jahren große Sprünge bei Effizienz und Leistungsdichte gemacht, welche die TCO zunehmend positiv beeinflussen. Zudem werden die sinkenden Kosten für Wasserstoff die Brennstoffzelle für Anwendungen, die hohe Betriebsstunden im Jahr sammeln, zu einer sinnvollen Alternative machen.



Bei Zeppelin Power Systems arbeiten wir daran, mit unseren Kunden den **technologischen Wandel** zu gestalten. Um das nötige Know-how unter Beweis zu stellen, haben wir auf Basis einer PEM-Brennstoffzelle den Demonstrator eines Stromerzeugers gebaut. Der Demonstrator ist ein **hybrides Energiesystem**, bestehend aus einer 50-kW-Brennstoffzelle und einer 36-kWh-Hochvoltbatterie sowie einem integrierten Wasserstoffspeicher. Der Demonstrator ist besonders robust gebaut, um ihn in den unterschiedlichsten Anwendungen auszutesten – von der Baustelle bis zum Festival. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Betrieb des Demonstrators fließen in die Entwicklung eines weiteren hybriden Energiesystems, das kompakter, leistungsfähiger und das erste kommerzielle Brennstoffzellenprodukt von Zeppelin Power Systems sein wird.



Das von Zeppelin entwickelte Brennstoffzellen-Stromaggregat kann mit Wasserstoff betrieben werden und bietet eine emissionsfreie und geräuscharme Art der Stromerzeugung. Das hybride Brennstoffzellen- und Batterie-System ist für zahlreiche Baustellen- oder Industrieanwendungen geeignet und kann unter anderem im stationären, maritimen oder auch im Schienenbereich zum Einsatz kommen.

Kontakt:

Zeppelin Brennstoffzellen-Kompetenzzentrum:
Keno Leites, Head of Fuel Cell Competence Centre,
E-Mail: keno.leites@zeppelin.com

CHANCEN UND GRENZEN

VON KOHLENSTOFFARMEN BRENNSTOFFEN

Neben der direkten Elektrifizierung oder der Nutzung von Wasserstoff werden schon heute **alternative, kohlenstoffarme oder -freie Kraftstoffe** eingesetzt. Das bedeutet, dass diese Kraftstoffe über die Produktion und Nutzung hinweg nahezu CO₂-neutral sind. Dazu zählen Biokraftstoffe sowie synthetisch hergestellte E-Fuels. Diese werden vor allem dort genutzt, wo eine direkte Elektrifizierung aufgrund der Leistungs- und Platzanforderungen nicht möglich ist. Jeder Kraftstoff weist dabei Vor- und Nachteile auf und eignet sich somit für bestimmte Anwendungsbereiche mehr oder weniger gut.

Während für Brennstoffe wie **Methanol, Methan** oder **Ammoniak** Änderungen am Energiewandler vorgenommen werden müssen, können Biokraftstoffe wie **Biodiesel** und **HVO** ohne größere Umrüstungen eingesetzt werden. Die meisten Motoren sind bereits für Biokraftstoffe zugelassen, sodass diese sogenannten Drop-in-Fuels (alternative Kraftstoffe, deren Nutzung jederzeit und ohne technische Änderungen erfolgen kann) problemlos genutzt werden können. Da Biokraftstoffe jedoch in ihrer Verfügbarkeit begrenzt sind, können nicht alle Anwendungen durch sie dekarbonisiert werden. Bis 2028 sind globale Produktionskapazitäten angekündigt, die lediglich 2,5 % des globalen Verbrauchs decken könnten. Außerdem herrscht ein steter Konflikt zwischen der Nutzung von Anbauflächen für Biokraftstoffe und ihrer Nutzung zur Nahrungsmittelproduktion. Auch bei bereits bestehenden Kapazitäten wird über die Nutzung für die jeweiligen Anwendungen (Aviation, Automotive, Industrie, Wärmeerzeugung) diskutiert.^{20 21 22}

E-Fuels hingegen unterliegen keinerlei Beschränkungen, die auf die Verfügbarkeit von Anbauflächen zurückzuführen wären. Sie werden durch die Methanol- oder Fischer-Tropsch-Synthese auf Grundlage von CO₂ und Wasserstoff aus Elektrolyse produziert. Aufgrund der Vielzahl an erforderlichen Prozessschritten wird davon ausgegangen, dass die Erzeugung von E-Fuels pro Kilowattstunde signifikant kostenintensiver ausfällt als die direkte Nutzung elektrischer Energie in Batteriespeichern oder der Einsatz von **Wasserstoff**.



Caterpillar Hydrogen Gensets

²⁰ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198562/umfrage/verbrauch-von-otto-und-dieselmotoren-in-deutschland/>

²¹ [https://www.chemanalyst.com/industry-report/diesel-market-2925#:~:text=The%20global%20Diesel%20market%20stood,internal%20combustion%20engines%20\(ICE\)](https://www.chemanalyst.com/industry-report/diesel-market-2925#:~:text=The%20global%20Diesel%20market%20stood,internal%20combustion%20engines%20(ICE))

²² <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/topical-market-themes/hvo>

Kraftstoffkosten „Well-to-Tank“ in € pro Liter Dieseläquivalent 2030 ²³

2030 (€/Liter Dieseläquivalent)	Diesel Referenz	CGH ₂	LH ₂	PtCH ₄ als LNG	PtL- Methanol	PtL- Diesel
Stromerzeugung, -transport und -verteilung		1,21	1,19	1,29	1,52	1,70
H ₂ -Produktion		0,21	0,12	0,14	0,14	0,17
H ₂ -Speicher inkl. Kompressor		0,22	0,22	0,03	0,03	0,17
H ₂ -Verflüssigung, Hydrierung LOHC			0,19	0,21	0,26	0,33
CO ₂ -Abtrennung und -Speicherung				0,05	0,16	0,21
Methanisierung, Synthese					0,05	0,16
Gasnetz					0,03	
Großtechnische Gasspeicherung inkl. Kompressor				0,04		
Kraftstoffverteilung über LKW			0,14		0,08	0,04
CH ₄ -Verflüssigung				0,19		
Tankstelle		0,44	0,10	0,06	0,02	0,02
Summe	0,55	1,85	1,96	2,03	2,21	2,64

Alles in allem kann sich der Einsatz von E-Fuels dann lohnen, wenn die Anwendung, in der sie zum Einsatz kommen, nur wenige Betriebsstunden sammelt. Dadurch wären die CAPEX der entscheidende Faktor für die Total Cost of Ownership (TCO), während die Betriebskosten (OPEX) zu vernachlässigen wären. Dies muss jedoch von Anwendung zu Anwendung in einer TCO-Analyse betrachtet werden.

²³ https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now_studie-ship-fuel-1.pdf (S.93)

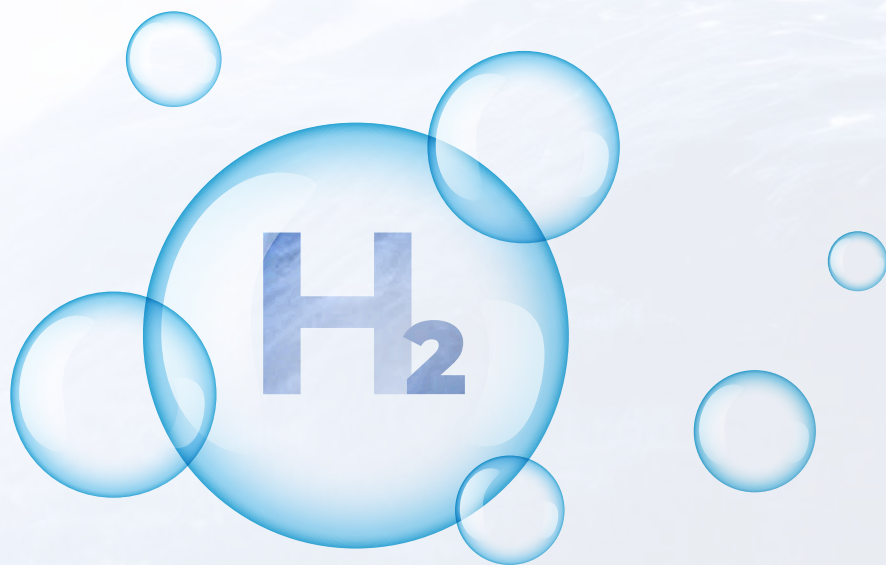
Cat® C13D

Motor der Zukunft und Plattform für
künftige Wasserstofflösungen



Exkurs – kohlenstoffarme Brennstoffe bei Caterpillar

Mit jahrzehntelanger Erfahrung im Bereich der alternativen Kraftstoffe setzt Caterpillar auf Wasserstoff als Wegbereiter einer grüneren Zukunft. So können schon heute eine Vielzahl der Gasmotoren mit bis zu 25 % Wasserstoff betrieben werden. Ein Pilotprojekt von Caterpillar bestätigte zusätzlich die Nutzung des 3516H-Aggregats mit 100 % Wasserstoff. Neben den Entwicklungen im Gasmotorenbereich hat Caterpillar ein dreijähriges Programm zur Demonstration von Wasserstoff-Hybridlösungen auf Basis der neuen C13D-Motorenplattform angekündigt.



Robust, kompakt und eine enorme Leistungsspanne: Der Cat® C13D erreicht die höchste Leistungsdichte aller Dieselmotoren im 13-Liter-Segment. Wie alle Cat® Motoren ist auch der Cat® C13D kompatibel mit alternativen Kraftstoffen wie HVO oder Biodiesel. Zudem ist er die Plattform für künftige Wasserstofflösungen.

Erfahren Sie mehr zum neuen Cat® C13D.

Kontakt:

zps.hamburg@zeppelin.com

DIGITALISIERUNG ALS ENABLER DER DEKARBONISIERUNG

Die **Digitalisierung** spielt eine zentrale Rolle bei der Unterstützung und Optimierung von Dekarbonisierungsmaßnahmen in verschiedenen Sektoren. Bei der Umstellung auf alternative Energiesysteme steht am Anfang immer die Auslegung des Energiesystems, sowie die Simulation unterschiedlicher Betriebe in einem **digitalen Zwilling**. Um dies möglichst realitätsgetreu zu tun und damit die maximale Effizienz aus der Konfiguration zu holen, bedarf es diverser Daten zu den Anwendungen und den jeweiligen Betriebsprofilen. Neben der Anzahl der Datenpunkte ist ebenso die Datenauflösung und -qualität von hoher Bedeutung.

Mithilfe dieser Daten ist eine Auslegung, insbesondere in der **Kombination aus mehreren Energiewandlern oder Energiespeichern**, möglich. Eine falsche Auslegung kann sowohl zu erhöhten Investitionskosten als auch zu erhöhten Betriebskosten führen und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Anwendung reduzieren. Die Sammlung möglichst vieler Betriebsdaten ist daher schon ratsam, bevor sich überhaupt für ein alternatives Energiesystem entschieden wird, um eine umfangreiche Datengrundlage zu haben, sobald eine Umrüstung oder ein Neubau geplant ist.

Zusätzlich können die Daten schon heute dabei helfen, die Primärprozesse zu unterstützen und durch **Predictive Maintenance** die Lebensdauer der Anwendung zu erhöhen, sowie das Troubleshooting zu erleichtern.



Exkurs – digitale Lösungen von Zeppelin Power Systems



Mit den digitalen Lösungen von Zeppelin Power Systems können Sie Motoren- und Anlagen-
daten steuern und verwalten. Ein Telematik-
Modul verbindet die Motoren und erfasst sämt-
liche Betriebs-, Zustands- und Standortdaten in
Echtzeit. Die IoT-Plattform bietet eine sichere
Datenverarbeitung und -auswertung. Ihre Infor-
mationen werden in einem Viewer-Portal über
ein individuell konfigurierbares Dashboard orts-
unabhängig zur Verfügung stellt.

Kontakt:

zps.hamburg@zeppelin.com

BEWERTUNGSKRITERIEN ZUR AUSWAHL GEEIGNETER TECHNOLOGIEN

Um Technologien ganzheitlich zu bewerten, müssen die vier Kategorien **Technologie, Ökonomie, Systemaspekte** sowie **Umwelt** betrachtet werden. Unter der Kategorie Technologie wird die technische Verfügbarkeit und Reife der Technologie geprüft, ebenso wie die Anlagensicherheit und ihre Kompatibilität mit bestehenden Systemen. In der Kategorie Ökonomie liegt der Fokus auf der Kosteneffizienz, sowohl in Bezug auf Kapitalausgaben (CAPEX) als auch auf Betriebskosten (OPEX).

Die Systemaspekte berücksichtigen mögliche Pfadabhängigkeiten, regionale Abhängigkeiten sowie regulatorische Anforderungen und Infrastrukturabhängigkeiten, die den Einsatz der Technologie beeinflussen können. Schließlich umfasst die Kategorie Umwelt die Energieeffizienz und Treibhausgas-Effizienz (THG), ebenso wie die Auswirkungen der Technologie auf den Immissionsschutz. Diese Dimensionen bieten eine umfassende Grundlage, um Dekarbonisierungstechnologien in ihrer gesamten Komplexität zu bewerten.



Quelle: Caterpillar

Die Wahl der passenden Bewertungskriterien spielt eine zentrale Rolle für den Erfolg einer Technologiebewertung. Diese Kriterien legen fest, welche Aspekte in die Analyse einbezogen werden und beeinflussen somit, wie eine Technologie insgesamt beurteilt wird. Die sorgfältige Auswahl dieser Maßstäbe ist daher entscheidend, um ein umfassendes und genaues Bild der Technologie zu erhalten.

Bewertung von Dekarbonisierungstechnologien anhand verschiedener Kriterien²⁴

Technologie

- › Technische Verfügbarkeit & Reife
- › Anlagensicherheit
- › Kompatibilität

Ökonomie

- › Kosteneffizienz (CAPEX & OPEX)

Umwelt

- › Energieeffizienz
- › THG-Effizienz
- › Wirkungen auf Immissionsschutz und Abfallaufkommen

Systemaspekte

- › Erzeugung von Pfadabhängigkeiten
- › Regionale Abhängigkeiten
- › Regulatorische Anforderungen
- › Infrastrukturabhängigkeit

²⁴ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/05_2024_cc_dekarblnd_tbl.pdf

METHODEN FÜR DEN VERGLEICH UND DIE BEWERTUNG VERSCHIEDENER TECHNOLOGIEN

Die Methoden zur Technologiebewertung sind vielfältig und sollten sorgfältig an die jeweiligen Bewertungsziele und Fragestellungen angepasst werden. Im Wesentlichen lassen sich diese Methoden in qualitative und quantitative Ansätze unterteilen, die häufig in Kombination eingesetzt werden, um eine umfassende Analyse zu gewährleisten.

Zu den quantitativen Methoden gehört unter anderem die Analyse der **Total Cost of Ownership (TCO)**, die sich auf die Gesamtkosten eines Projekts über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg beziehen. Dabei werden nicht nur einmalige Ausgaben wie Investitionen in die technische Infrastruktur (CAPEX) berücksichtigt, sondern auch laufende Betriebs-, Instandhaltungs-, Entsorgungs- und Rückbaukosten (OPEX). Da die Erfassung dieser Kosten oft auf Schätzungen und Annahmen basiert, kann diese Methode herausfordernd sein, dennoch liefert sie ein umfassendes Bild der finanziellen Belastungen. Es ist auch zu beachten, dass sich die Kostenstruktur bei neuen Technologien verschiebt und die TCO so komplexer macht. Bei batterieelektrischen Anwendungen beispielsweise sind die CAPEX oft höher als bei konventionellen Technologien wie z. B. Verbrennungsmotoren. Dies ist primär auf die hohen Kosten für Batteriespeicher zurückzuführen. Im Gegenzug fallen jedoch die Betriebskosten (OPEX) häufig geringer aus. Gründe hierfür sind die hohe Energieeffizienz von Batterien und Elektromotoren, die zu einem insgesamt niedrigeren Energieverbrauch führen, sowie der reduzierte Wartungsaufwand infolge der geringeren Anzahl mechanisch beanspruchter Komponenten.



Eine weitere quantitative Methode ist die **Kosten-Nutzen-Analyse**, bei der die Kosten einer Technologie den erwarteten Vorteilen, wie Energieeinsparungen oder **Emissionsreduktionen**, gegenübergestellt werden. Zudem spielen Simulationen und **digitale Zwillinge** eine wichtige Rolle, insbesondere wenn es darum geht, die Leistung einer Technologie unter verschiedenen Bedingungen oder in potenziellen Zukunftsszenarien zu modellieren.

Neben den quantitativen Methoden, die sich auf messbare Größen konzentrieren, spielen auch qualitative Ansätze, wie die **Szenario-Analyse**, eine wichtige Rolle. Mit ihr können verschiedene mögliche Entwicklungspfade und deren potenzielle Auswirkungen aufgezeigt werden. Technologie-Ratings und Benchmarking-Verfahren ermöglichen eine systematische Bewertung der Leistungsfähigkeit technischer Lösungen im Vergleich zu etablierten Standards oder zur jeweils besten verfügbaren Technologie. Häufig kommen dabei Punktesysteme oder Scorecards zum Einsatz, die eine multidimensionale Bewertung anhand definierter Kriterien erlauben.

8 SCHRITTE ZUM ERSTEN DEKARBONISIERUNGSPROJEKT

Wenn Sie als kleines oder mittelständisches Unternehmen vor der Aufgabe stehen, einzelne Systeme oder Anwendungen zu dekarbonisieren, empfehlen wir Ihnen folgenden Leitfaden. Ein **systematisches Vorgehen** schafft die besten Voraussetzungen, um die vielfältigen Herausforderungen der Dekarbonisierung erfolgreich zu bewältigen. Gern unterstützen wir Sie dabei, die passenden Strategien und Lösungen für Ihr Unternehmen zu finden.

1

Datenerhebung und Lastprofilanalyse

Die Erhebung und Analyse von Betriebsdaten und Lastprofilen ist essenziell für eine erfolgreiche Dekarbonisierung, da sie präzise Entscheidungen und Optimierungen ermöglichen. Daten zu Lastprofilen, Verbrauchsmustern und Betriebsbedingungen sind die Basis für die optimale Dimensionierung von Energiesystemen, wodurch Über- und Unterdimensionierung vermieden und Kosten reduziert werden. Mithilfe hochaufgelöster und hochwertiger Daten können digitale Zwillinge genutzt werden, um Betriebsszenarien zu simulieren und Effizienzpotenziale auszuschöpfen.

2

Regulatorische Anforderungen prüfen

Die Überprüfung regulatorischer Anforderungen ist ein entscheidender Schritt bei der Dekarbonisierung, da gesetzliche Vorgaben und Normen den Rahmen für die Planung, Umsetzung und den Betrieb von Energiesystemen setzen. Regulierungen auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene beeinflussen maßgeblich, welche Technologien, Verfahren und Fördermöglichkeiten in einer bestimmten Anwendung eingesetzt werden können. Daher ist es unverzichtbar, frühzeitig einen umfassenden Überblick über die geltenden Vorschriften zu gewinnen. Ein wichtiger Aspekt sind Emissionsgrenzwerte, die insbesondere in energieintensiven Branchen strenger werden und die Nutzung emissionsarmer Technologien erforderlich machen.

3

Infrastruktur prüfen

Eine sorgfältige Prüfung der bestehenden Infrastruktur ist unumgänglich, um Dekarbonisierungsmaßnahmen effektiv umzusetzen. Dazu gehört die Analyse der Energieversorgung, Netzanschlüsse, Speicher- und Transportkapazitäten sowie der baulichen Gegebenheiten. Insbesondere bei der Umstellung auf batterieelektrische Anwendungen oder auf Wasserstoff ist eine umfangreiche Prüfung notwendig, aber auch bei neuen Kraftstoffen wie Methanol oder Ammoniak ist ausführlich zu prüfen, welche infrastrukturellen Maßnahmen getroffen werden müssen.

4

Grobkonzept entwickeln

Das Erstellen eines Grobkonzepts ist ein entscheidender Schritt, um die Basis für die Umsetzung einer Dekarbonisierungsmaßnahme zu legen. Dabei werden die wichtigsten Rahmenbedingungen, Zielsetzungen und technischen Lösungsansätze definiert. Im Grobkonzept wird zunächst ein Überblick über die erforderlichen Technologien, die Dimensionierung des Energiesystems und die Integration in bestehende Strukturen gegeben.

5

Digitaler Zwilling und Simulation unterschiedlicher Konzepte

Ein digitaler Zwilling kann, insbesondere bei komplexeren Energiesystemen, dabei helfen, die optimale Auslegung zu finden, indem er eine möglichst realistische Simulation darstellt, welche auf den echten Betriebsdaten beruht. Dies führt zu geringeren Investitionskosten, da Komponenten nicht überdimensioniert werden, und zu reduzierten Betriebskosten, da die Komponenten auf ihr reales Betriebsoptimum ausgelegt werden können. Zudem können Änderungen am Energiesystem am digitalen Zwilling getestet werden, bevor sie in der Realität umgesetzt werden.

6

Wirtschaftliche Bewertung der Konzepte

Nachdem das Grobkonzept definiert ist und unterschiedliche Varianten simuliert wurden, kann eine Betrachtung der Total Cost of Ownership stattfinden, bei der die unterschiedlichen Varianten auf ihre Kosten hin analysiert und optimiert werden. Dies bietet die Grundlage zur letztendlichen Entscheidung für ein finales Design. Hier werden auch Möglichkeiten, öffentliche Fördergelder zu nutzen, miteinbezogen.

7

Konzeptauswahl und -finalisierung

Im Anschluss wird das ausgewählte Konzept finalisiert und detailliert ausgearbeitet. Dazu gehören genaue technische Spezifikationen, eine präzisere Kostenkalkulation und die Berücksichtigung von Schnittstellen zu bestehenden Systemen.

8

Projektinitiierung und Umsetzung

Die Projektinitiierung markiert den Übergang von der Planungs- in die Umsetzungsphase und legt den Grundstein für den erfolgreichen Rollout des Dekarbonisierungsprojekts. In diesem Schritt werden die notwendigen Ressourcen bereitgestellt, Verantwortlichkeiten definiert und ein detaillierter Projektplan erstellt. Dazu gehören Meilensteine, Zeitpläne und Budgets, die eine strukturierte Durchführung ermöglichen.



Zeppelin Power Systems

Zeppelin Power Systems ist einer der führenden Anbieter für Antrieb und Energie. Das Unternehmen gehört zum international erfolgreichen Zeppelin Konzern. Zeppelin ist weltweit in 29 Ländern mit über 12.000 Mitarbeitenden vertreten. Im Geschäftsjahr 2024 hat Zeppelin einen Umsatz von 3,8 Milliarden Euro erwirtschaftet. Mit einer im Jahr 2025 abgeschlossenen Akquisition konsolidiert sich der Umsatz auf über 5 Milliarden Euro.

Seit 1954 ist Zeppelin Power Systems exklusiver Vertriebs- und Servicepartner für Motoren von Caterpillar. Mehr als 1.000 qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bieten individualisierbare, hocheffiziente und langlebige Systemlösungen und umfassende Serviceleistungen für die Bereiche Industrie- und Marineanwendungen, Öl- und Gasindustrie, Schienenfahrzeuge sowie Strom- und Wärmeerzeugung. Digitale Produkte, Systemkomponenten und fertige Lösungen zur Behandlung von Ballastwasser komplettieren das Portfolio.

IMPRESSUM:

Zeppelin Power Systems GmbH
Ruhrstraße 158
22761 Hamburg
Tel: +49 40 853151-0
E-Mail: zps.hamburg@zeppelin.com

Veröffentlicht: Februar 2026

zeppelin-powersystems.com