

DHL WHITE PAPER

# LOGISTIK DER ENERGIEWENDE



# INHALT

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Executive Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>Kapitel 1: Einleitung</b> .....	<b>5</b>
Es ist Zeit zu handeln .....	6
Die Energie-Revolution.....	8
Zusammenstellung der neuen Energielandschaft.....	9
<b>Kapitel 2: Die Zukunft der Energieversorgung</b> .....	<b>10</b>
Der Pfad zur Reduzierung von CO2-Emissionen.....	11
Nachfrage: Immer noch hoch aber anders.....	13
Die Rolle der erneuerbaren Energien.....	14
Die neue Energielandschaft.....	15
Die Wasserstoffwirtschaft.....	16
<b>Kapitel 3: Neue Geschäftsstrategien für den Wandel und deren Auswirkungen auf die Logistik</b> .....	<b>17</b>
Von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien.....	18
Sich entwickelnde Geschäftsstrategien.....	18
Exkurs: Öl- und Gasunternehmen konzentrieren sich auf Offshore-Windenergie und Solar.....	22
Strukturelle Veränderungen im Energiesystem.....	23
Auswirkungen auf die Lieferkette.....	25
Exkurs: Herausforderungen in der Lieferkette bei Onshore- und Offshore-Windenergie.....	28
<b>Kapitel 4: Innovative Logistik für die Energie-Revolution</b> .....	<b>31</b>
Sichtbarkeit und Digitalisierung in der Logistik.....	33
Innovation im Service und Support.....	35
Nachhaltige Logistik.....	37
<b>Kapitel 5: Zusammenfassung und Empfehlungen</b> .....	<b>38</b>
Unsere Empfehlungen.....	40
<b>Quellen</b> .....	<b>42</b>
<b>Weitere Informationen</b> .....	<b>44</b>

# VORWORT

Als einer der weltweit größten Logistikdienstleister ist DHL ein bedeutender Energieverbraucher. Im Jahr 2020 haben unsere Transportaktivitäten weltweit 33 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen erzeugt, was 0,4% der Emissionen des Transportsektors weltweit entspricht. Gleichzeitig trägt der Energiesektor selbst erheblich zur Treibhausgasemission bei und steht vor tiefgreifenden Herausforderungen in der gesamten Branche.

Als Konsequenz hat DHL enge, langfristige Beziehungen zu Energieunternehmen auf der ganzen Welt aufgebaut, und wir verstehen und akzeptieren die Verantwortung für unseren Energieverbrauch. Neben einem starken Engagement für die Umweltfreundlichkeit all unserer eigenen Betriebe fungieren wir als Katalysator für die Dekarbonisierung in unserer Branche und tragen dazu bei, den Übergang zur erneuerbaren Energie durch Führung in der integrierten Energielogistik zu beschleunigen.

In diesem Whitepaper, das die Transformation der gesamten Energiebranche untersucht, werden Sie erkennen, dass die logistischen Herausforderungen dynamisch und oft einzigartig für die Energiewirtschaft sind. Nehmen Sie zum Beispiel die außergewöhnlichen Aufgaben des Transports immer größerer Windturbinenflügel rund um den Globus und die Ermöglichung nachhaltigerer Betriebsabläufe in einigen der entlegensten denkbaren Orte.

Dies erfordert Agilität, Innovation und die Bereitschaft, sich kontinuierlich weiterzuentwickeln, um die Energieherausforderungen von morgen schon heute zu lösen.

Eines steht fest: Die Energiewende bringt uns näher zusammen - die Energiebranche erfordert eine engere Integration von Dienstleistungen und eine engere Partnerschaft mit Logistikdienstleistern.

Die gegenseitige Abhängigkeit von Fachwissen wird die Wertschöpfung an der Schnittstelle beider Branchen maximieren. Anzeichen für die derzeitige Zusammenarbeit zur Unterstützung der Energiewende sind die erstmalige Verwendung von nachhaltigen Biokraftstoffen, die Erprobung von Wasserstofftechnologie im Transportwesen, die Anwendung von intelligenten Ladetechnologien für Fahrzeug-zu-Netz (V2G), um Batterieleistung zurück ins Netz zu speisen, sowie cloudbasierte virtuelle Kraftwerke (VPPs) für dezentrale Stromerzeugung und eine neue Ära des Stromhandels.

Wir freuen uns, diesen Weg gemeinsam zu gehen, wie durch diesen neuen Bericht über die Logistik als entscheidende Unterstützung der Energiewende belegt wird. Lassen Sie beide unsere Branchen sich zusammenschließen und unsere Welt gemeinsam mit Energie versorgen.



**Katja Busch**  
CCO and Head of CSI  
DHL Customer Solutions  
and Innovation



**Michael Wiedemann**  
President Energy Sector  
and Head of CSI EMEA  
DHL Customer Solutions  
and Innovation



**Amadou Diallo**  
CEO Middle East & Africa  
DHL Global Forwarding



**Bastian Thöle**  
Vice President  
Enterprise Model & Strategy  
Capgemini Invent

# EXECUTIVE SUMMARY

Die Energiewende findet statt. Mit zunehmend offensichtlichen Auswirkungen des Klimawandels beschleunigen Regierungen und Unternehmen ihre Bemühungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Im Zentrum dieser Anstrengungen steht eine bedeutende Transformation des globalen Energiesystems, mit einer Verschiebung der primären Energieversorgung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen wie Wind- und Solarenergie. Diese Veränderung hat weitreichende Auswirkungen auf die Strategien von Energieunternehmen. Sie erfordert auch dramatische Veränderungen in ihren Lieferketten. Wie dieser Bericht zeigt, wird die Logistik ein entscheidender Treiber der Energiewende sein.

## **DIE ENTSTEHENDEN HERAUSFORDERUNG DER LIEFERKETTEN FÜR ERNEUERBARE ENERGIE**

### **Dezentrale und verteilte Stromerzeugung erhöht die Nachfrage nach Logistik**

Die Technologie für erneuerbare Energien erfordert eine dramatische Zunahme des Volumens und der Vielfalt der Logistikdienstleistungen, die benötigt werden, um jede Einheit der Erzeugungskapazität zu beliefern. Die heute vorhandenen großen zentralen Kraftwerke werden durch Netzwerke kleinerer, weit verteilter erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen ersetzt, mit Hunderttausenden von Windturbinen und Millionen von Solarpanels auf Dächern und in speziellen Solarparks.

### **Begrenzte Verfügbarkeit von Logistikressourcen erhöht die Kosten**

Die Verfügbarkeit von Logistikdienstleistungen, Einrichtungen und Ressourcen zur Bereitstellung von erneuerbaren Energiesystemen ist bereits eingeschränkt, mit Engpässen bei spezialisierten Ressourcen für den Transport großer Komponenten sowie anhaltenden Engpässen bei Schiff- und Luftfrachtkapazitäten infolge der COVID-19-Krise. Darüber hinaus existiert die Ausrüstung zur Handhabung zukünftiger Generationen sehr großer Windturbinen noch nicht.

### **Steigende Komplexität der Lieferkette erfordert bessere Sichtbarkeit und Kontrolle**

Der reibungslose Betrieb komplexer, dezentraler und oft globaler Lieferketten für erneuerbare Energien erfordert von Unternehmen, die Herstellung, Lagerung und den Transport von Tausenden von wichtigen Komponenten zu managen. Dies erfordert eine vollständige Transparenz der gesamten Lieferkette, die die Branche bisher noch nicht erreicht hat.

### **Energie-Technologie erfordert umweltfreundliche Logistik**

Die steigende Nachfrage nach Logistiklösungen fällt zusammen mit branchenweitem Druck, die Umweltauswirkungen der Geschäftstätigkeit zu reduzieren. Dies macht die Reduzierung von Emissionen in der Lieferkette zur Prio für die Energiewirtschaft.

## **AUFRUF ZUM HANDELN**

Wir haben fünf Kernbereiche identifiziert, auf die sich jede Organisation, die an der Energiewende beteiligt ist, konzentrieren sollte:

### **1. Zusammenarbeit ist entscheidend**

Robuste, widerstandsfähige Logistiksysteme für erneuerbare Energien erfordern eine intelligente Koordination und kollaborative Innovation zwischen mehreren Interessengruppen, einschließlich Energieunternehmen, Ausrüstungsherstellern und Logistikdienstleistern. Wir sind da, um gemeinsam die Welt mit Energie zu versorgen!

### **2. Arbeiten Sie End-to-End**

Unternehmen benötigen eine End-to-End-Perspektive auf ihre Logistiksysteme, insbesondere wenn sie ihre Aktivitäten auf neue Technologiebereiche, neue Märkte und neue Regionen ausdehnen. Diese Perspektive sollte die gesamte Lieferkette und den gesamten Lebenszyklus der Energieinfrastruktur abdecken, einschließlich der Logistikanforderungen für Service, Wartung, Upgrades und das Ende der Lebensdauer der Anlagen.

### **3. Fokus auf Transparenz und Digitalisierung**

Um die Logistikabwicklung zu verwalten und das Design der Lieferkette zu optimieren, können Energieunternehmen intelligente digitale Plattformen und Tools nutzen. Zukünftige Energielieferketten werden auf eine Reihe fortschrittlicher Technologien angewiesen sein, einschließlich intelligenter vernetzter Sensoren, Drohnen und digitaler Zwillinge.

### **4. Identifizieren Sie übertragbare Fähigkeiten aus benachbarten Branchen**

Mit dem Ausbau erneuerbarer Netzwerke werden Standardisierung und Industrialisierung für eine schnelle und kostengünstige Entwicklung wichtig sein. Die Energiewirtschaft könnte erfolgreiche Logistikansätze aus anderen Branchen wie der Automobilindustrie replizieren und anpassen, ähnlich wie sie es bereits bei der Übertragung von Offshore-Fähigkeiten und -Technologien von der Öl- und Gasindustrie auf die Windenergie getan hat.

### **5. Verfolgen Sie nachhaltige Logistiklösungen**

Mittel- bis langfristig sollten Energieunternehmen Partnerschaften mit Logistikdienstleistern eingehen, um frühzeitige Anwendungsfälle für Schlüsseltechnologien zu entwickeln, von synthetischen Kraftstoffen bis zur elektrischen Luftfahrt. In unmittelbarer Zukunft können Logistikdienstleister der Energiewirtschaft helfen, sowohl Kosten als auch Emissionen in der Lieferkette durch operationelle Änderungen wie Routenoptimierung und verbesserte Nutzung von Transportressourcen zu reduzieren.

KAPITEL 1

# EINFÜHRUNG



## ZEIT ZUM AGIEREN

Im frühen Sommer 2021 ließ sich ein Schwall warmer Luft über Nordamerika nieder, was zu rekordhohen Temperaturen führte. Am 29. Juni verzeichnete eine Wetterstation im Dorf Lytton in British Columbia, Kanada, eine Höchsttemperatur von 49,6°C, die höchste je in dem Land gemessene Temperatur. Am nächsten Tag wurde Lytton von einem Waldbrand erfasst, der 90% der Gebäude zerstörte und zwei Menschen tötete.

Zwei Wochen später erlebten mehrere Länder in Westeuropa anhaltende schwere Regenfälle, wobei einige Regionen die Niederschlagsmenge eines ganzen Monats an einem einzigen Tag verzeichneten. In Deutschland führten die daraus resultierenden Überschwemmungen zu mindestens 184 Todesfällen, der schwersten Naturkatastrophe im Land seit fast 60 Jahren. Im Dezember 2021 brach eine ungewöhnliche späte Tornado-Ausbruchsserie aus, bei der Gebäude zerstört und mehr als 100 Menschen in fünf US-Bundesstaaten ums Leben kamen.

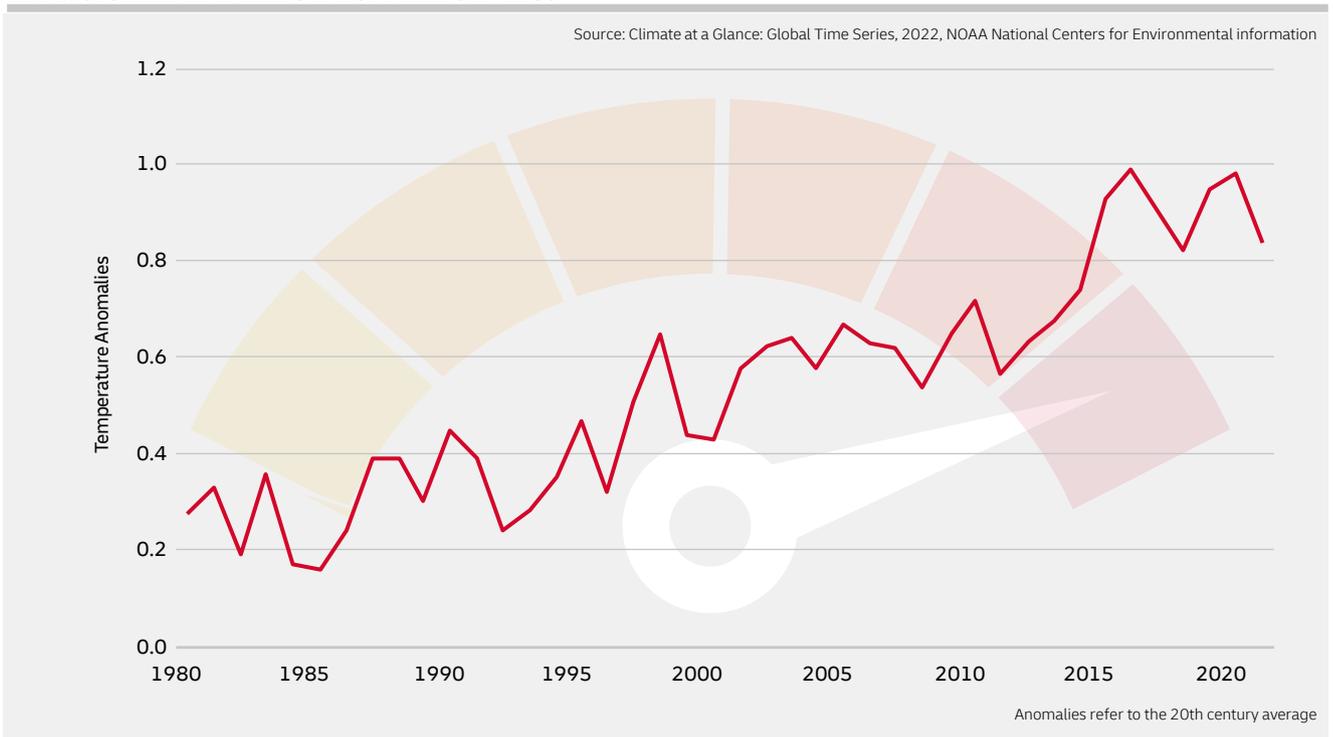
Laut der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization) zeigten 62 von 77 extremen und tödlichen Wetterereignissen, die zwischen 2015 und 2017 gemeldet wurden, eine signifikante menschliche Einflussnahme<sup>1</sup>. Um den anthropogenen Klimawandel einzudämmen, muss die Welt die Emission von CO<sub>2</sub> und



anderen Treibhausgasen drastisch reduzieren (siehe Abbildung 1 für globale Temperaturanomalien). Die Vereinten Nationen (UN) schätzen, dass, wenn in diesem Jahrzehnt keine entscheidenden Maßnahmen ergriffen werden, der durch die globale Erwärmung verursachte Schaden möglicherweise irreversibel wird<sup>2</sup>.

Diese Maßnahmen erfordern nichts weniger als eine Transformation des globalen Energiesystems mit einer deutlichen Abkehr von der Verbrennung fossiler Brennstoffe und einer dramatischen Zunahme des Einsatzes von emissionsarmen und kohlenstofffreien Energiequellen wie Wind- und Solarenergie. Diese Transformation wird Auswirkungen sowohl auf Energieverbraucher als auch auf Energieerzeuger haben, bietet jedoch auch erhebliche Chancen. Neue Technologien, neue Fähigkeiten und neue groß angelegte Lieferketten werden benötigt, um die Energieinfrastruktur von morgen zu entwickeln, zu unterstützen und instand zu halten.

**ABB 1: GLOBALE TEMPERATURANOMALIEN SEIT 1980**



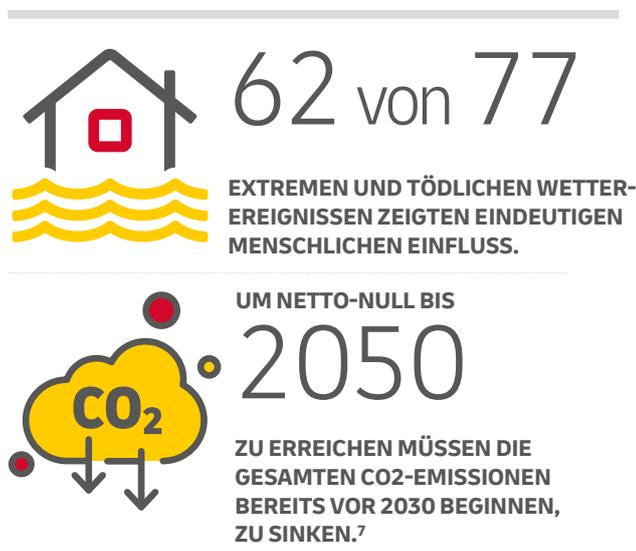
<sup>1</sup> Climate and weather-related disasters surge five-fold over 50 years, but early warnings save lives – WMO report, 2021, United Nations

<sup>2</sup> Only 11 Years Left to Prevent Irreversible Damage from Climate Change, Speakers Warn during General Assembly High-Level Meeting, 2019, United Nations

Regierungsbehörden sind sich der Notwendigkeit des Handelns bewusst. Im Jahr 2015 haben 193 Vertragsparteien das Pariser Abkommen unterzeichnet, in dem sie sich verpflichteten, Maßnahmen zur Begrenzung der Temperaturerhöhung auf deutlich unter 2°C, vorzugsweise auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau, umzusetzen.<sup>3</sup> Heute haben viele Länder zugesagt, bis zum Jahr 2050 netto null Emissionen zu erreichen (siehe unten: Erklärung zu Netto Null).<sup>4</sup> Mit dem Green Deal hat beispielsweise die Europäische Union (EU) ein Klimaprogramm aufgelegt, um dieses Ziel bis 2050 zu erreichen.<sup>5</sup> In den USA plant die Regierung Biden ein Klimaprogramm, um bis 2050 eine Wirtschaft mit netto null Emissionen zu schaffen.<sup>6</sup>

Trotz des Fortschritts sind die derzeitigen Bemühungen jedoch unzureichend, da nur wenige Länder ihre Ambitionen, netto null zu erreichen, rechtlich verbindlich gemacht haben.

Damit diese Ambitionen Realität werden, ist es an der Zeit, jetzt zu handeln: Die Ziele für netto null müssen weitgehend gesetzlich verankert werden, und die Gesetzgebung muss durch konkrete Maßnahmen gestützt werden. Heute steigen die Gesamtemissionen von CO<sub>2</sub> weiter an, wobei CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit Energie der Haupttreiber für den Klimawandel sind und im Jahr 2021 auf rund 34 Milliarden Tonnen (Gt) angestiegen sind (siehe Abbildung 2).



**62 von 77**  
EXTREMEN UND TÖDLICHEN WETTEREREIGNISSEN ZEIGTEN EINDEUTIGEN MENSCHLICHEN EINFLUSS.

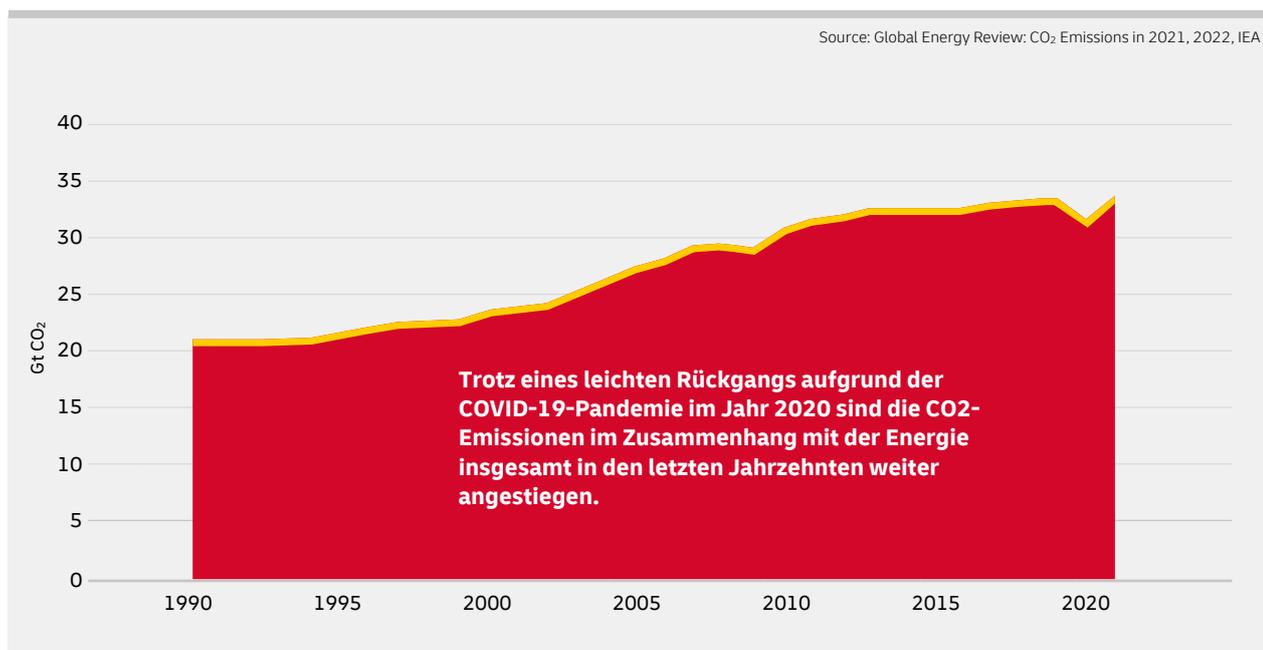
**UM NETTO-NULL BIS 2050**  
ZU ERREICHEN MÜSSEN DIE GESAMTEN CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN BEREITS VOR 2030 BEGINNEN, ZU SINKEN.<sup>7</sup>



**NETTO-NULL ERKLÄRT**

Der Ansatz zur Emissionsreduzierung, den die meisten Regierungen und Organisationen verfolgen, zielt nicht darauf ab, die CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig zu beseitigen. Stattdessen besteht das Ziel darin, die weitere Ansammlung von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu verhindern. Dies würde hauptsächlich durch den Übergang zu nachhaltigeren Energiequellen erreicht. Kohlenstoffentfernungstechnologien wie Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (CCUS) und direkte Luftabscheidung (DAC) spielen hier ebenfalls eine Rolle, allerdings in deutlich geringerem Umfang.

**ABB 2: GLOBAL ENERGY-RELATED CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM 1990-2020**



<sup>3</sup> Paris Agreement, 2015, United Nations

<sup>4</sup> Carbon Neutrality - The Road to Net Zero, 2021, Statista

<sup>5</sup> The European Green Deal, 2019, European Commission

<sup>6</sup> Fact sheet: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs and Securing U.S. Leadership on Clean Energy Technologies, 2021, The White House

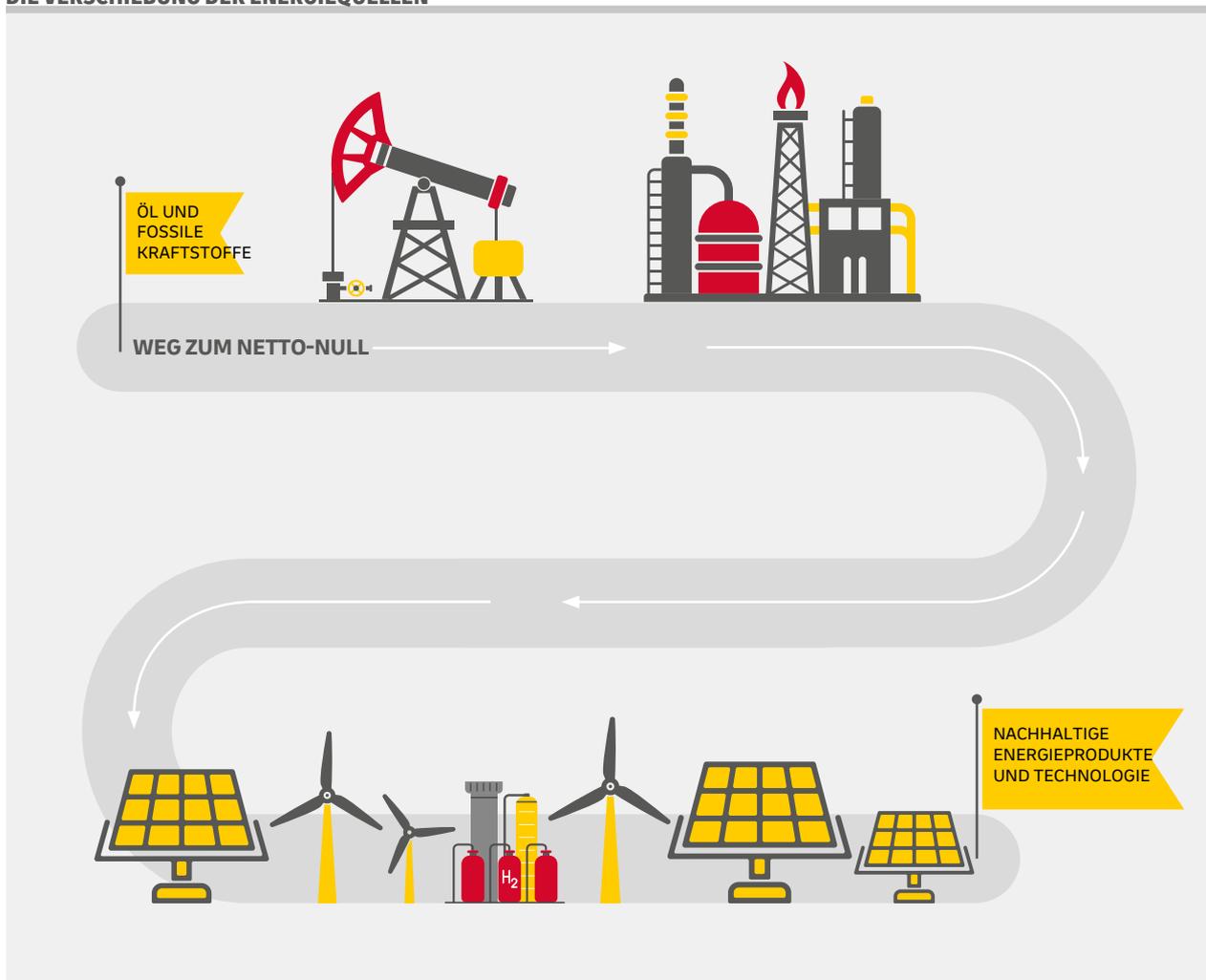
<sup>7</sup> Summary for Policy Makers, 2018, IPCC

## DIE ENERGIE REVOLUTION

Eine signifikante Veränderung in der Art und Weise, wie wir Energie produzieren und verbrauchen, wird ein wesentlicher Bestandteil des Weges zu netto null Emissionen sein. Dieser Weg wird durch eine Umstellung auf emissionsärmere fossile Brennstoffe gekennzeichnet sein, wie beispielsweise den Wechsel von Kohle zu Erdgas, zusammen mit der Entwicklung nachhaltigerer und

letztendlich emissionsfreier Energieprodukte und -technologien. Er wird eine verstärkte Elektrifizierung, die zunehmende Nutzung von Wasserstoff und bio-basierten synthetischen Kraftstoffen sowie eine dramatische Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen umfassen.

### DIE VERSCHIEBUNG DER ENERGIEQUELLEN



Für den Energiesektor wird dieser Übergang nichts geringer als eine Revolution sein. Da die globale Energieproduktion weg von fossilen Brennstoffen hin zu alternativen Energiequellen wie Solar- und Windenergie umschwenkt, wird dies sowohl für Öl- und Gasunternehmen als auch für Spezialisten von erneuerbaren Energien eine Rolle spielen. Öl- und Gasunternehmen müssen sich darauf konzentrieren, ihr Geschäftsportfolio neu zu gestalten und ihre Investitionen in erneuerbare Energien und nachhaltige Technologien (z. B. CCUS) zu erhöhen. Dieser Wandel wird auch durch den gesellschaftlichen Druck für umweltfreundlichere

Energieproduktion vorangetrieben, während die Integration des Klimaschutzes in das Gesetz das Geschäftsrisiko für Unternehmen erhöhen kann, die zu stark auf emissionsintensive Geschäftsmodelle setzen.

Im Gegensatz dazu stellen erneuerbare Energien Unternehmen vor Herausforderungen, um die steigende Nachfrage nach alternativer Energie zu decken und die damit verbundene Infrastruktur bereitzustellen, da Wind- und Solar-Photovoltaik-Technologien an Bedeutung gewinnen.

## GESTALTUNG DER NEUEN ENERGIELANDSCHAFT

Die Umstellung auf neue Energiequellen und Technologien wird weitreichende Konsequenzen für Energieunternehmen haben. Die Energieerzeugung wird tendenziell fragmentierter, dezentralisierter und abgelegener, da beispielsweise große Kraftwerke durch kleinere Anlagen in ländlichen Gebieten, Solarkraftwerke und Onshore- oder Offshore-Windanlagen ersetzt bzw. ergänzt werden.

**Die Logistikindustrie wird zu einem Schlüsselakteur in der Energiewende werden.** Die Energiedichte erneuerbarer Energien ist viel niedriger als die von fossilen Brennstoffen, und die Verfügbarkeit ist oft intermittierend. Die Welt wird daher mehr Energieinfrastruktur und eine größere Vielfalt an Infrastruktur benötigen, um ihren Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen zu decken, und entsprechend mehr Bedarf an Logistik- sowie Supply-Chain-Fähigkeiten.

Um diese Fähigkeiten bereitzustellen, muss sich die Logistikbranche den sich ändernden Anforderungen ihrer Kunden anpassen. Diese Anforderungen werden zunehmend vielfältiger sein, von der Installation und Unterstützung kleiner Off-Grid-Solaranlagen bis zur Handhabung der riesigen Komponenten, die in immer größeren Offshore-Windturbinen verwendet werden.

Darüber hinaus trägt die Logistikindustrie selbst zur CO<sub>2</sub>-Emission bei. Laut dem Internationalen Transportforum entfielen 2019 rund 2,9 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Luft-, Schienen-, See- und Straßengüterverkehr.<sup>8</sup> Das entspricht etwa 8,5% der globalen Emissionen. Der Druck zur Reduzierung dieser Emissionen wird die Logistikbranche dazu veranlassen, darüber nachzudenken, wie ihre Betriebsabläufe nachhaltiger und effizienter gestaltet werden können. Beispielsweise durch die Einführung neuer umweltfreundlicher Kraftstoffe und durch die Digitalisierung zur Verbesserung der Auslastung von Ressourcen als auch der Effizienz.

Aufgrund des Mangels an Alternativen und der Dringlichkeit, netto null zu erreichen, werden Unternehmen neue Wege finden müssen, um Geschäfte zu tätigen, und ihre Geschäftsmodelle sowie Unternehmensstrategien zu transformieren.

**Neue Denkweisen, Fähigkeiten und Lösungen sind erforderlich.** Der Zugang zu neuen Märkten, die Anpassung von Geschäftsmodellen und die Implementierung neuer Technologien werden jedoch Zeit und Engagement von allen Beteiligten in der Wertschöpfungskette erfordern. Daher ist es unerlässlich, dass Regierungsbehörden, Unternehmen im Energiesektor, Logistikdienstleister und andere Interessengruppen zusammenarbeiten, um eine nachhaltigere Zukunft zu gestalten.



LUFT-, SCHIENEN-,  
SEE- UND STRAßEN-  
GÜTERVERKEHR  
VERURSACHTEN 2019

2,9GT

CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN.



DAS ENTSPRICHT  
UNGEFÄHR

8,5%

DER GLOBALEN  
EMISSIONEN.

## KAPITEL 2

# DIE ZUKUNFT DER ENERGIEVERSORGUNG



Das Pariser Abkommen hat das Ziel festgelegt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C, vorzugsweise auf 1,5°C zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Kohlenstoffemissionen in den kommenden Jahren rapide abnehmen und idealerweise bis Mitte dieses Jahrhunderts netto null erreichen.

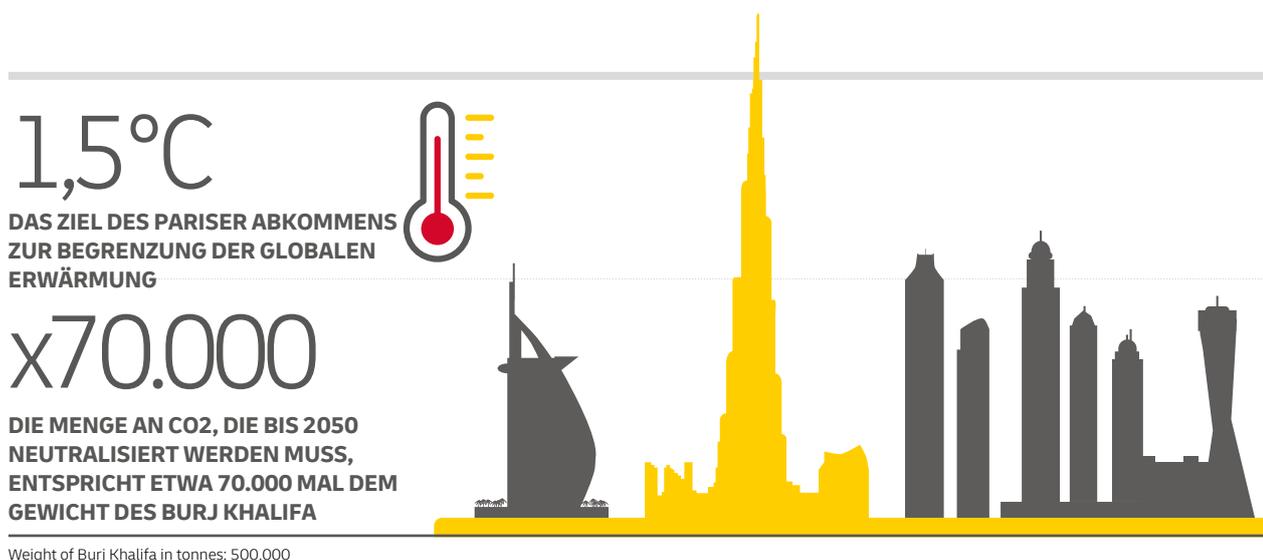
In diesem Kapitel werden wir die Auswirkungen von netto null auf den globalen Energiesektor untersuchen. Unsere Prognose basiert auf Eindämmungsszenarien, die von internationalen Organisationen wie der Internationalen Energieagentur (IEA) und der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) entwickelt wurden.<sup>9,10</sup>

## DER WEG ZUR REDUZIERUNG DER CO2-EMISSIONEN

**Der Wandel zu netto null erfordert drastische Reduzierungen der CO2-Emissionen in den nächsten drei Jahrzehnten.** Nach den Szenarien von IRENA und IEA werden die Erreichung des netto null-Ziels oder sogar leicht negative Emissionen bis 2050 erfordern, dass die Emissionen bis 2030 um rund 40% gegenüber den aktuellen Werten sinken und sich bis 2040 erneut halbieren, um schließlich auf ein Drittel zu fallen (siehe Abbildung 3). Netto null bis 2050 zu erreichen, bedeutet letztendlich, dass eine Menge CO<sub>2</sub>-Äquivalent, die etwa 70.000-mal dem Gewicht des höchsten Gebäudes der Welt, dem Burj Khalifa, entspricht, reduziert werden muss.

Diese Emissionsreduktionen stellen eine enorme Herausforderung dar, insbesondere vor dem Hintergrund jahrzehntelang allmählich steigender Emissionen. Es werden erhebliche Veränderungen in vielen Bereichen der Gesellschaft erforderlich sein, angefangen bei der Art und Weise, wie Menschen reisen, wie wir unsere Häuser auf eine angenehme Temperatur halten, bis hin zu den Technologien, die von der Industrie zur Herstellung und Lieferung von Materialien, Produkten und Dienstleistungen verwendet werden.

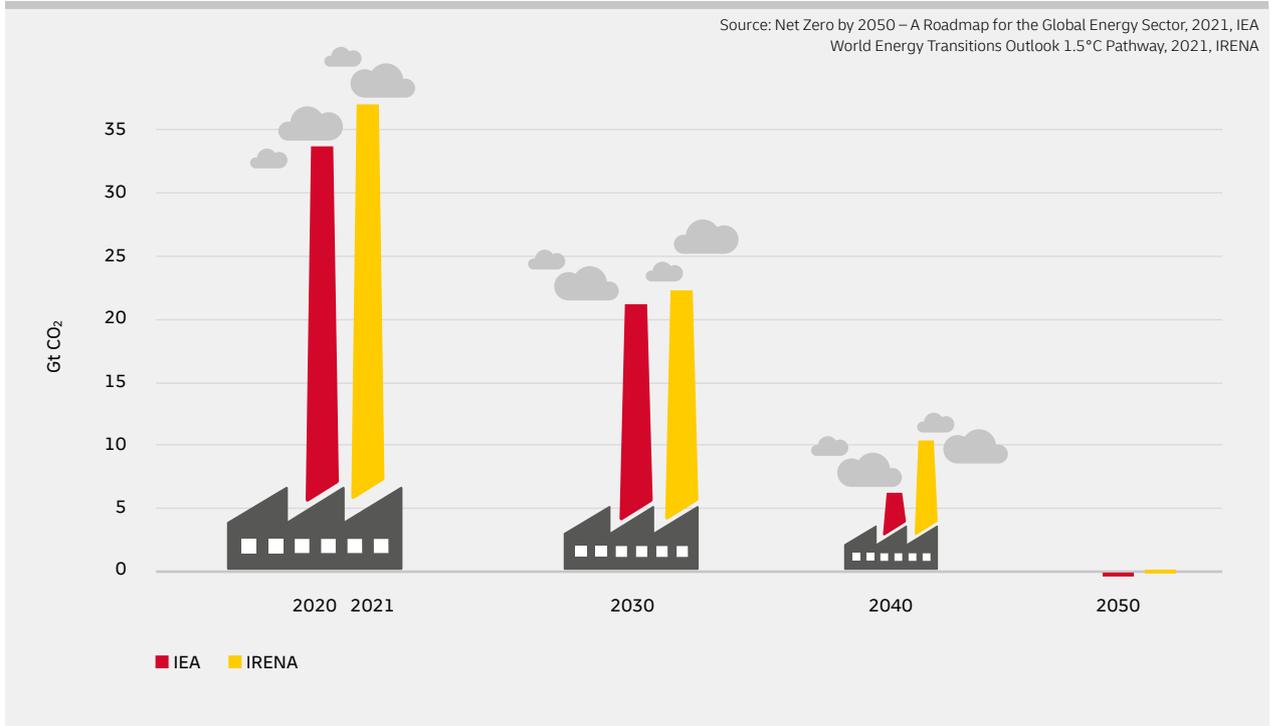
**Für den Energiesektor sind die erforderlichen Veränderungen besonders signifikant.** Das liegt daran, dass die Produktion von Strom und Wärme aus fossilen Brennstoffen heute der größte Verursacher von Kohlenstoffemissionen ist. Darüber hinaus kann der Sektor eine Reihe bewährter technologischer Lösungen für die Herausforderung der Kohlenstoffreduktion anbieten. Als Beispiel wird im IEA-Szenario "Net Zero Emissions by 2050" (NZE) der Energiesektor bis 2040 leicht netto negativ werden. Dieser Zeitpunkt wäre Jahre bevor der Rest der Wirtschaft netto null erreicht (siehe Abbildung 4).



<sup>9</sup> IEA: The International Energy Agency is an intergovernmental organization that was founded in 1974 as an autonomous unit of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). While its original mission was to ensure oil security, the organization now also promotes the sustainable energy transition at global level.

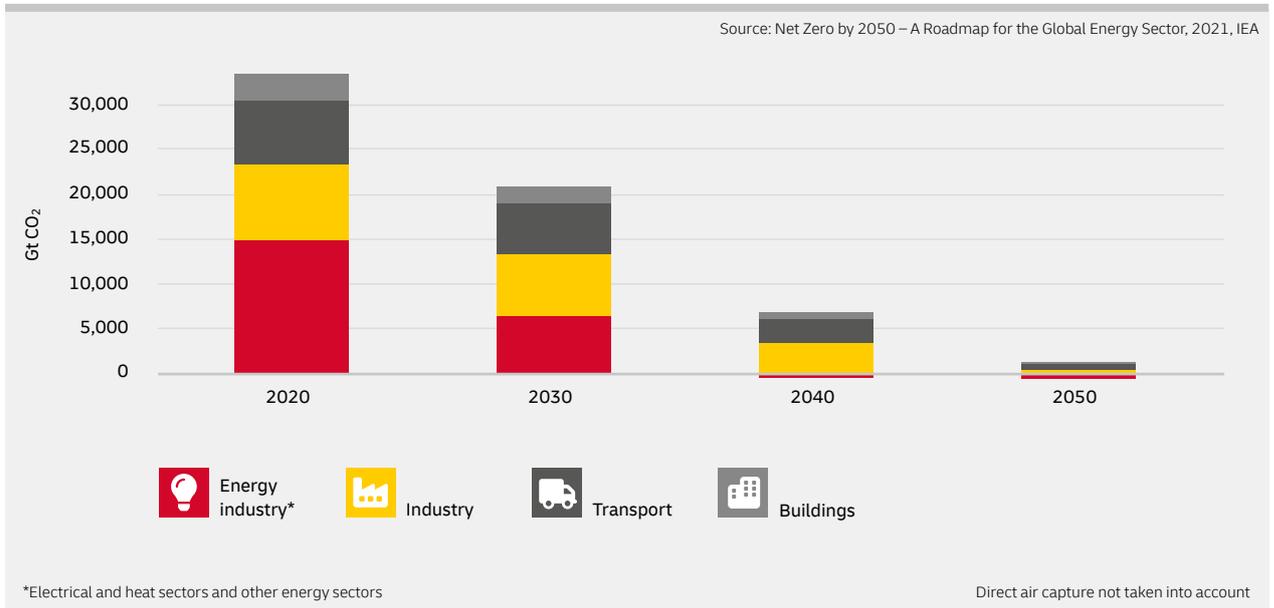
<sup>10</sup> IRENA: The International Renewable Energy Agency was founded in 2009 as an intergovernmental organization. With its current 167 members it promotes the transformation to a sustainable energy future and fosters the use of renewable energies worldwide.

**ABB 3: GLOBALE NETTO-CO2-EMISSIONEN IN NETTO-NULL-EMISSIONEN BIS 2050 SZENARIO (NZE) UND 1,5°C-SZENARIEN**



*Für den Energiesektor sind die erforderlichen Veränderungen besonders signifikant, da die Strom- und Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen heute der größte Verursacher von Kohlenstoffemissionen ist.*

**ABB 4: CO2-EMISSIONEN NACH SEKTOREN IN DER NZE**



## NACHFRAGE: NACH WIE VOR HOCH, ABER ANDERS

Die Umstellung auf eine energieneutrale Energieversorgung hat zwei Hauptkomponenten: die Reduzierung der Energie-Nachfrage und die Reduzierung der Menge an Treibhausgasen, die emittiert werden, um diese Nachfrage zu decken. Die Reduzierung der Energie-Nachfrage kann durch Veränderungen im Konsumverhalten und durch Verbesserungen in der Effizienz von Endanwendungen erreicht werden. Dies könnte Veränderungen im Reiseverhalten beinhalten, beispielsweise die Einführung effizienterer Häuser, Motoren und Maschinen sowie die Verwendung von weniger energieintensiven Materialien und Lieferketten.

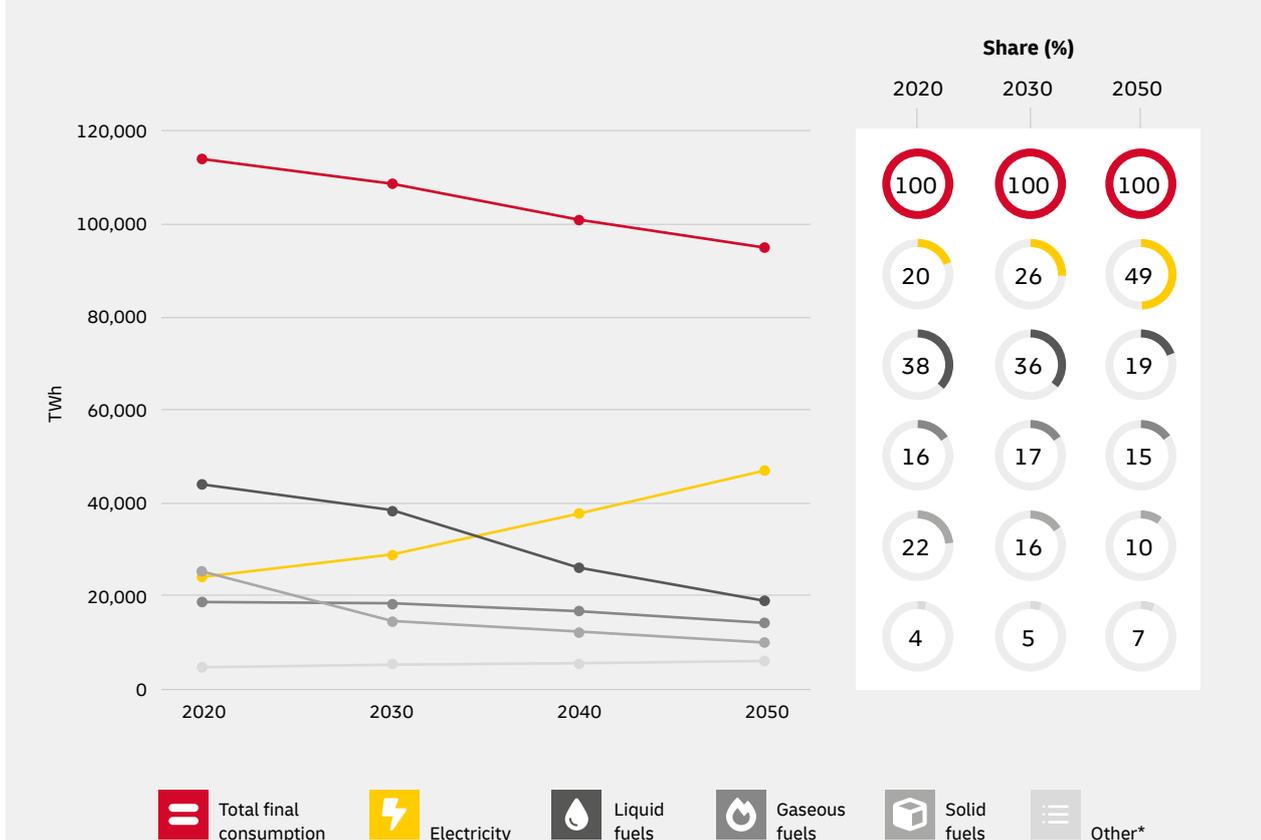
Die Bemühungen zur Nachfragereduzierung sind ein entscheidender Bestandteil des Wegs zu netto null, und sie werden verändern, wo und wie Energie weltweit verbraucht wird. Sie werden jedoch voraussichtlich nur einen relativ geringen Einfluss auf den Gesamtverbrauch haben. Dies liegt daran, dass eine wachsende und zunehmend wohlhabende globale Bevölkerung weiterhin einen Druck auf die Nachfrage ausüben wird.

Das Szenario des IRENA für 1,5°C sieht eine Energie-Nachfrage von rund 96.000 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2050 vor. Ähnlich sieht das Szenario der IEA für netto null eine Gesamtenergienachfrage von etwa 95.000 TWh im Jahr 2050 vor, was nur 17% unter dem Niveau von 2020 liegt.

**Während die Nachfrage nach Energie voraussichtlich hoch bleiben wird, wird sich die Art und Weise, wie Energie an den Endverbraucher geliefert wird, tiefgreifend verändern.** Im Jahr 2020 machte Strom 20% des gesamten globalen Energieverbrauchs aus. Bis 2050 wird er 49% des Energiemixes ausmachen und danach dominierend sein. Diese Transition "von Atomen zu Elektronen" wird von mehreren Faktoren vorangetrieben. Darunter die insgesamt höhere Energieeffizienz elektrischer Maschinen im Vergleich zu ihren flüssig-, feststoff- und gasbefeuelten Gegenstücken sowie die wachsende Rolle von durch erneuerbare Energietechnologien und andere kohlenstoffarme Energiequellen erzeugtem Strom.

ABB 5: ENERGIEBEDARF IN NZE

Source: Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021, IEA



\*Heat and agriculture and other non-energy uses

## DIE ROLLE DER ERNEUERBAREN ENERGIEN

Heutzutage sind fossile Brennstoffe immer noch die größte primäre Energiequelle für die Stromerzeugung und machten im Jahr 2020 laut IEA etwa 55% der Gesamtkapazität der Stromerzeugung aus. In verschiedenen Szenarien im Einklang mit netto null bis 2050 wird erwartet, dass dieser Anteil bis 2050 nur noch bei etwa 2 bis 7% liegt.

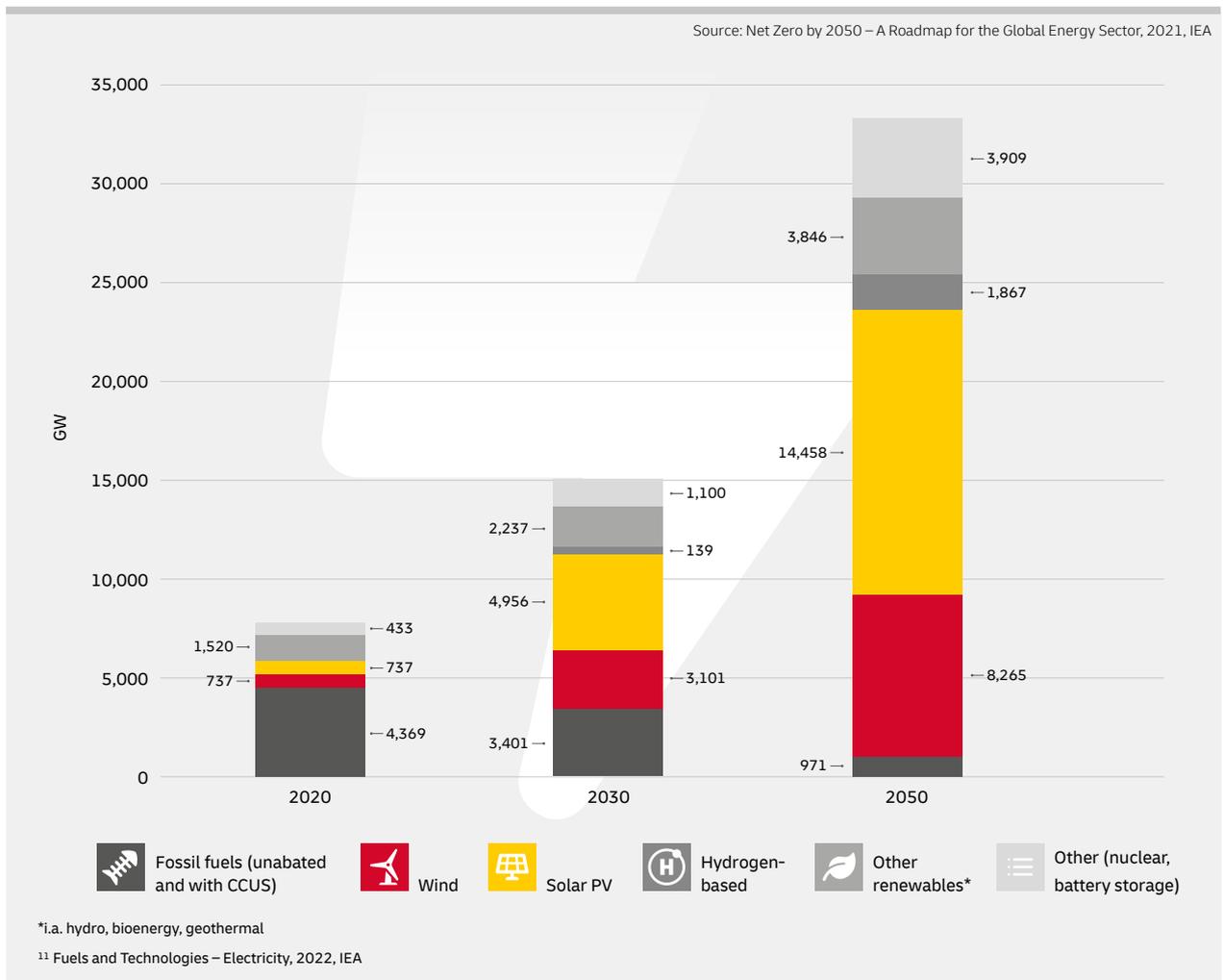
Der Großteil dieser Lücke wird durch erneuerbare Energiequellen wie Wind oder Sonne gefüllt, und der Rest besteht aus anderen fossilen freien Quellen wie Kernenergie. Der jüngste Anstieg der Investitionen in erneuerbare Energien hat bereits dazu geführt, dass diese Quellen etwa 38% der Gesamtkapazität der Stromerzeugung im Jahr 2020 ausmachen. Gemäß dem Szenario der IEA für Netto-Null-Emissionen müsste der Anteil der erneuerbaren Energien bis 2030 auf 70% der Kapazität zur Stromerzeugung erhöht

werden und bis 2050 auf etwa 80% bis 90% (gemäß IEA und IRENA). Allerdings wird die Gesamtkapazität des Stroms bis 2030 verdoppelt und zwischen 2030 und 2050 erneut mehr als verdoppelt werden müssen.

Das bedeutet, dass die Investitionen in Wind- und Solarenergie erheblich zunehmen müssen, damit die Welt überhaupt eine Chance hat, bis 2050 netto null zu erreichen. Genauer gesagt müsste die installierte Solarleistung bis 2030 um das 7-fache und bis 2050 um das 20-fache (im Vergleich zu den Werten von 2020) erhöht werden, wie im Szenario der IEA für Netto-Null-Emissionen.

Ebenso müsste die Windkraft bis 2030 vervierfacht und bis 2050 um das 10-fache (im Vergleich zu den Werten von 2020) erhöht werden. Um dieses Wachstumsniveau zu erreichen, müsste die erneuerbare Energiebranche die Installationsrate für neue Erzeugungsanlagen mehr als verdoppeln, von einem durchschnittlichen Wert von etwas mehr als 193 GW pro Jahr auf 548 GW pro Jahr.<sup>11</sup>

ABB 6: ENTWICKLUNGEN DER ELEKTRISCHEN KAPAZITÄT IN DER NZE



## DIE NEUE ENERGIELANDSCHAFT

Ein netto-null-Energiesystem wird sich erheblich von der heutigen auf fossilen Brennstoffen basierenden Herangehensweise unterscheiden, und diese Veränderungen werden auf regionaler und lokaler Ebene sichtbar sein. Wie in der Vergangenheit wird der Energiebedarf voraussichtlich am stärksten in Regionen steigen, in denen das Wirtschaftswachstum am schnellsten ist.

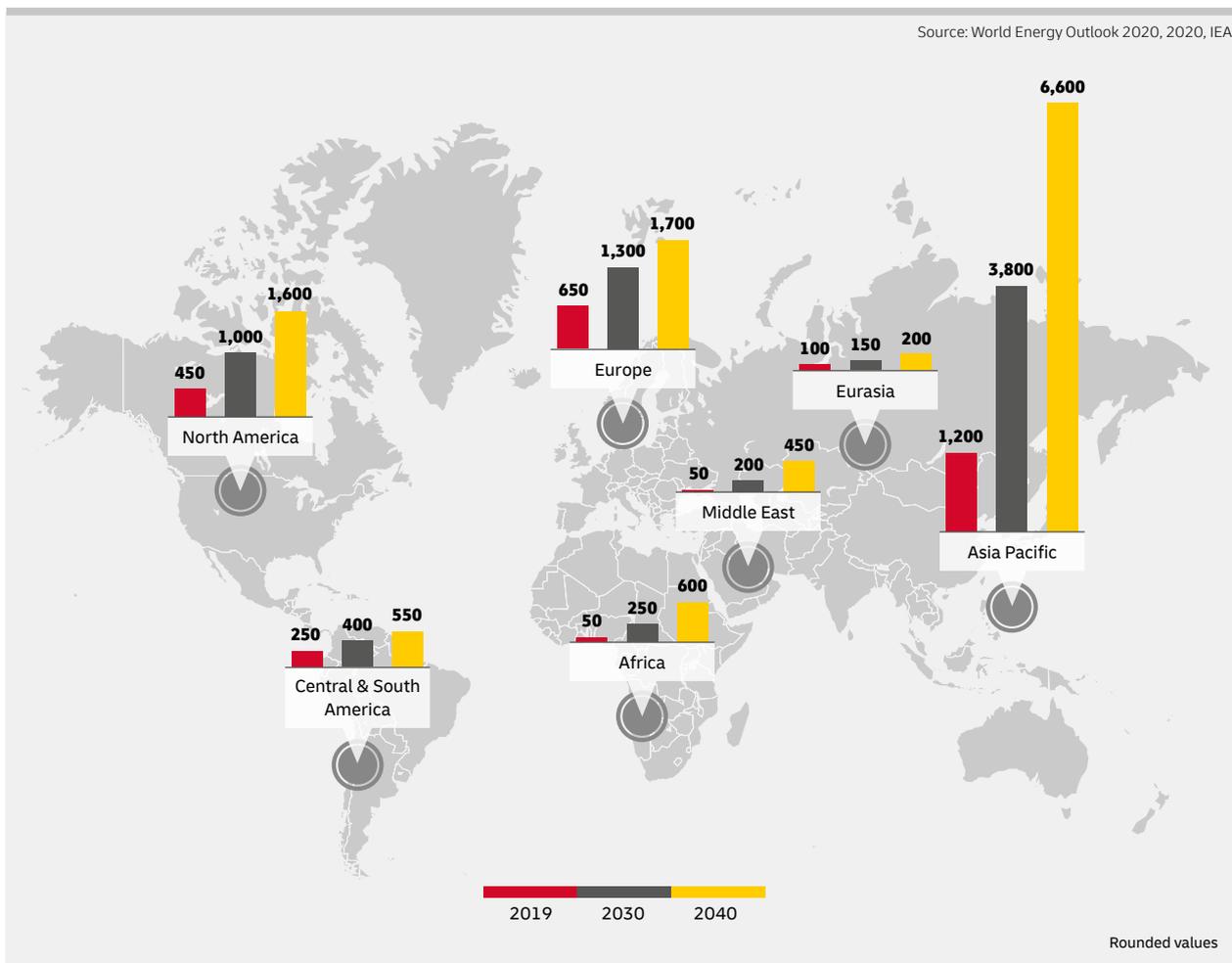
Das bedeutet, dass Asien und der Pazifikraum den größten absoluten Bedarf an neuer erneuerbarer Kapazität haben werden. Nach den Erwartungen der Internationalen Energieagentur (IEA) wird allein China etwa 30% aller neuen Kapazitäten in den Jahren 2030 und 2040 ausmachen. Europa und Nordamerika werden den zweiten Platz für neue Investitionen in Infrastruktur teilen, mit einem kleineren, aber dennoch bedeutenden Anteil an neuer Infrastruktur in anderen Regionen.

Innerhalb von Regionen werden Entscheidungen darüber, wo erneuerbare Kapazitäten eingesetzt werden, von mehreren Faktoren beeinflusst. Darunter die Qualität der örtlichen erneuerbaren Ressourcen, die Verfügbarkeit geeigneter Standorte und die Nähe zur Nachfrage.

Wind- und Solaranlagen benötigen deutlich mehr Platz als herkömmliche thermische Kraftwerke, was in dünn besiedelten oder unbewohnten Gebieten, einschließlich Offshore-Standorten, leichter zu finden sein wird. Diese Standorte bringen jedoch ihre eigenen Herausforderungen mit sich, einschließlich der Notwendigkeit einer geeigneten Infrastruktur für die Stromübertragung sowie eines Zuganges für Bau und Wartung.

**Ein weiterer wichtiger Trend wird ein Anstieg der Menge dezentraler Erzeugungskapazitäten sein.** In Gebieten mit ausgereifter Strominfrastruktur handelt es sich dabei um ein Wind-, Solar- oder anderes erneuerbares Erzeugungskraftwerk, das in die örtlichen Stromverteilungsnetze integriert ist. In abgelegenen Regionen können Netzwerke auf der Grundlage lokaler erneuerbarer Erzeugung und Speicherung die Hauptquelle für Strom sein. In beiden Fällen erfordert die erfolgreiche Umsetzung eine anspruchsvolle Steuerungstechnologie, um Nachfrage und Angebot im Gleichgewicht zu halten und die kombinierte Nutzung zentralisierter und dezentraler Ressourcen zu integrieren. Das Analyseunternehmen Frost & Sullivan erwartet, dass die installierte Kapazität dezentraler Erzeugung bis 2030 verdoppelt wird, mit Gesamtinvestitionen von etwa 850 Milliarden US-Dollar im laufenden Jahrzehnt.

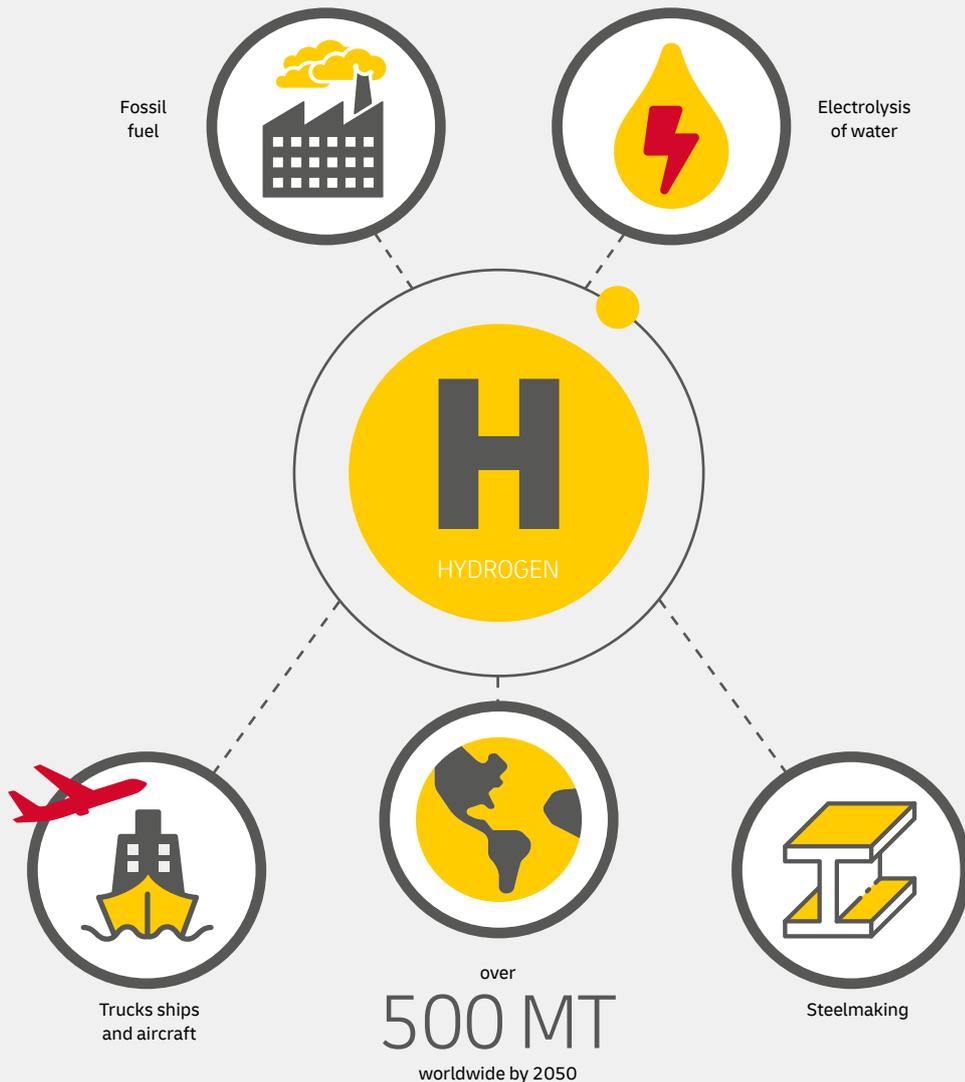
**ABB 7: ELEKTRISCHE KAPAZITÄT (GW) NACH REGIONEN IM IEA-SZENARIO FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG**



## WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Erneuerbare Energien werden in den Stromnetzen von morgen nicht nur eine dominante Rolle spielen. Sie werden voraussichtlich auch an anderer Stelle im Energiesystem eine entscheidende Rolle spielen. In vielen Szenarien für netto null Emissionen wird erwartet, dass Wasserstoff und daraus abgeleitete Produkte wichtige Nischen in einer Vielzahl von Anwendungen erobern werden. Dazu gehören die Verwendung von Wasserstoff zur Versorgung von Hochtemperatur-Industrieprozessen wie der Stahlherstellung und zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe für Lkw, Schiffe und Flugzeuge. In ihrem Szenario für Netto-Null-Emissionen erwartet die IEA, dass die weltweite Wasserstoffproduktion von knapp unter 100 Megatonnen (Mt) im Jahr 2020 bis 2030 auf etwas über 200 Mt und bis 2050 auf über 500 Mt steigen wird.

Wasserstoff kann aus fossilen Brennstoffen hergestellt werden, ein Prozess mit Netto-Null-Potenzial, wenn der damit verbundene CO<sub>2</sub>-Ausstoß erfasst und gespeichert wird. Oder er kann durch die Elektrolyse von Wasser erzeugt werden. Die Verwendung von erneuerbarem Strom in letzterem Prozess könnte den Weg für bedeutende Energieentwicklungen in Gebieten ebnen, die reich an Wind-, Solar- oder Wasserkraftressourcen sind, aber weit entfernt von großen Stromkunden liegen. Im Laufe der Zeit wird erwartet, dass sich ein erheblicher globaler Handel mit Wasserstoff oder auf Wasserstoff basierten Produkten entwickeln wird, "mit großen Mengen, die aus gas- und erneuerbare-energie-reichen Gebieten in Australien, Zentral- und Südamerika sowie dem Nahen Osten in die Nachfragezentren in Asien und Europa exportiert werden."<sup>12</sup>



<sup>12</sup> Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021, IEA

KAPITEL 3

# NEUE GESCHÄFTSSTRATEGIEN FÜR DEN WANDEL UND DIE AUSWIRKUNGEN AUF DIE LOGISTIK



## VON FOSSILEN BRENNSTOFFEN ZU ERNEUERBAREN ENERGIEN

Im vorherigen Kapitel haben wir gesehen, wie der Übergang zu netto null die Nachfrage nach erneuerbarer Energieerzeugungskapazität, insbesondere Wind- und Solarenergie, dramatisch erhöhen wird. Jetzt werden wir uns damit befassen, wie sich die Energiewirtschaft verändert und welche verschiedenen Strategien von etablierten Öl- und Gasunternehmen und anderen Akteuren im Energiesektor verfolgt werden, um dieser Nachfrage gerecht zu werden. Der Übergang zur Energieumstellung stellt Unternehmen, die erneuerbare Energiesysteme installieren und betreiben, sowie Hersteller von Ausrüstungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien, insbesondere in ihren Logistik- und Lieferketten, vor erheblich(en) neuen Herausforderungen.

**Eine wichtige Eigenschaft der Infrastruktur für erneuerbare Energien ist der strukturelle Wandel, den sie erfordert.** Es bedeutet den Übergang von großen zentralisierten fossilen Brennstoffkraftwerken zu einer viel größeren Anzahl kleinerer, dezentraler erneuerbarer Energiesysteme, die Energie in einem fragmentierteren und dezentralisierten Markt produzieren. In diesem Zusammenhang ändert sich auch die Rolle der Logistik und Lieferketten grundlegend. Dieses Kapitel wird veranschaulichen, wie sich die Lieferkette von einer unterstützenden Funktion für die Öl- und Gasindustrie zu einem entscheidenden Enabler für das Wachstum erneuerbarer Energien entwickeln wird.

Die zunehmende Bedeutung der Logistik wird weitgehend durch die Tatsache vorangetrieben, dass es wesentlich mehr logistischen Aufwand erfordert, die gleiche Erzeugungskapazität mit erneuerbaren Energien bereitzustellen als mit Öl und Gas. Es ist jedoch nicht nur das Volumen an logistischer Unterstützung, das erneuerbare Energien von fossilen Brennstoffen unterscheidet. Auch die Art dieser Unterstützung wird sehr unterschiedlich sein. Zu den aufkommenden Herausforderungen gehören die Notwendigkeit neuer Lösungen für den Transport der sehr großen Rotorblätter, die von zukünftigen Generationen von Windturbinen verwendet werden, sowie die Notwendigkeit neuer Transportmittel zur Unterstützung von Offshore-Windprojekten. Im Solarsektor müssen sich Verteilungsnetze anpassen, um neue Standorte und Installationen von stark unterschiedlicher Größe zu unterstützen. Etablierte Energieakteure müssen auch kollaborative Lieferkettenbeziehungen zu neuen Partnern aufbauen, insbesondere zu den Herstellern von Ausrüstungen zur Erzeugung erneuerbarer Energie. In diesem Kapitel werden wir genauer auf die Auswirkungen auf die Lieferkette für die groß angelegte Bereitstellung erneuerbarer Energien eingehen. Wir werden uns auf die Wind- und Solarenergiebereiche konzentrieren, die in den kommenden Jahren den Großteil der Investitionen in erneuerbare Energien ausmachen sollen.

## SICH ENTWICKELNDE GESCHÄFTSSTRATEGIEN

Viele der heutigen Energieunternehmen planen, sich an der Revolution im Bereich erneuerbarer Energien zu beteiligen. Einige sind bereits äußerst aktiv in diesem Sektor, während andere noch an der Entwicklung ihrer Strategien arbeiten. Schauen wir uns die Ansätze von drei wichtigen Gruppen von Organisationen an: Internationale Energieunternehmen (IECs), nationale Ölunternehmen (NOCs) und große Versorgungsunternehmen.

### Internationale Energieunternehmen (IECs)

IECs verlagern ihren Fokus, während sie sich von fossilen Brennstoffen zu neuen Energien diversifizieren und neue Akteure in den Markt eintreten. Dieser Wandel wird durch die Strategien von vier der größten IECs veranschaulicht: BP, ExxonMobil, Shell und TotalEnergies.

Die **europäischen Öl- und Gasriesen** BP, Shell und TotalEnergies haben klare Ziele zur Bekämpfung des Klimawandels, die neue Marktdynamiken, soziale Dynamiken und die Absicht zur Diversifizierung ihrer Geschäftstätigkeiten angesichts des erwarteten Endes des fossilen Brennstoffzeitalters widerspiegeln. Sie verwandeln sich mehr in Versorgungsunternehmen, sind im Rennen um den Status als führende Unternehmen

im Bereich erneuerbarer Energien und haben klare Aussagen zu ihren Investitionen in die Energiewende gemacht (siehe Abbildung 8), insbesondere in Wind und Solar. Der Schwerpunkt dieser Pläne unterscheidet sich jedoch:<sup>13</sup>

- BP und TotalEnergies konzentrieren sich auf die Solarentwicklung – BP hat 8 GW an Solarinvestitionen und TotalEnergies hat 14 GW in der Pipeline.
- Shell konzentriert sich mehr auf die Windentwicklung (6 GW in seinem Portfolio oder in der Entwicklung) und auf die Produktion von grünem Wasserstoff, wo es zum globalen Marktführer werden möchte.

Das Geschäftsmodell dieser IECs wandelt sich langsam von der Förderung, Raffinerie und dem Verkauf von Öl und Gas zur Bewirtschaftung von Wind- und Solaranlagen und zur Verteilung erneuerbarer Energie.

Das **amerikanische IEC** ExxonMobil konzentriert sich stärker darauf, sein Kerngeschäft zu transformieren, um bis 2050 netto null Treibhausgasemissionen für betriebene Anlagen durch Investitionen in die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, Wasserstoff und Biokraftstoffe zu erreichen.

ABB 8: ENERGIEWANDELSTRATEGIEN AUSGEWÄHLTER ÖL- UND GAS-MARKTFÜHRER

Source: World Energy Market Observatory 2021, Capgemini & companies communication

	BP	Shell	ExxonMobil	TotalEnergies
 <p><b>GHG EMISSIONEN (ACTUALS – Gt/Jahr)</b></p>	1,2	1,7	0,12 (nur Scope 1 & 2, kein Reporting zu Scope 3)	0,45
 <p><b>VERPFLICHTUNGEN/ROADMAP ZUR ENERGIEWENDE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2025: -20% Emissionen</li> <li>■ 2030: -30-35% Emissionen</li> <li>■ Netto-Null-Emissionen in der gesamten Betriebstätigkeit bis 2050 oder früher auf absoluter Basis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2023: -6 bis 8% Emissionen</li> <li>■ 2030: -20% Emissionen</li> <li>■ 2035: -45% Emissionen</li> <li>■ 2050: -100% Emissionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2025: -15 bis 20% THG-Emissionen (im Vergleich zu 2016)</li> <li>■ 2030: -20-30% unternehmensweite THG-Intensität &amp; -70-80% unternehmensweiten Methan-Intensität</li> <li>■ Netto-Null-Emissionen (Scope 1 &amp; 2) von betriebenen Anlagen bis 2050</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2025: &gt;-15 % Scope-1 +2-Emissionen aus betriebenen Anlagen (im Vergleich zu 2015)</li> <li>■ 2030: &gt;-40 % Netto-Scope-1+2-Emissionen auf betriebene Aktivitäten &amp; &gt;-20 % der Kohlenstoffintensität von Energieprodukten (Scope 1+2+3)</li> <li>■ 2050: Weltweit Netto-Null-Emissionen aus betriebenen Aktivitäten (Scope 1+2) und für indirekte Emissionen (Scope 3)</li> </ul>
 <p><b>INVESTITIONEN IN DIE ENERGIEWENDE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 5 Milliarden US-Dollar pro Jahr in emissionsarme Elektrizität und Energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 3 Milliarden US-Dollar pro Jahr in erneuerbare Energien und Energielösungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 15 Milliarden US-Dollar in Projekte zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen von 2021 bis 2027</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 3–3,5 Milliarden US-Dollar in Strom und erneuerbaren Energien</li> </ul>
 <p><b>PFEILER DER ENERGIEWENDE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erdgas, Erneuerbare Energien</li> <li>■ Stadtlösungen, Mobilität, Reduzierung der Ölproduktion</li> <li>■ CO2-Bepreisung</li> <li>■ Energiemanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erdgas/Erneuerbare Energien</li> <li>■ Dekarbonisierung unterstützen/ dekarbonisierte</li> <li>■ Mobilität/ Wasserstoffmarkt/ Versorgungsunternehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Das bezieht sich auf die Emissionen, die in den Bereichen Scope 1&amp;2 anfallen, sowie auf die Reduzierung von Methanflackern (Methanverbrennung) und auf Wasserstoff- (Hydrogen) und CCS- (Carbon Capture and Storage) Projekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erdgas/Erneuerbare Energien/ Energieeffizienz/ Sparsamer Einsatz von Öl/Unterstützung der Kunden bei der Dekarbonisierung/ Kohlenstoffsinken/ Kohlenstoffpreis</li> </ul>

<sup>13</sup> World Energy Market Observatory 2021, Capgemini

ØRSTED WURDE ZUM NACHHALTIGSTEN  
ENERGIEUNTERNEHMEN DER WELT IN

10 JAHREN



SAUDI ARAMCO, EINES DER GRÖßTEN  
ENERGIEUNTERNEHMEN DER WELT,  
HAT DIE AMBITION, BIS 2050 IN SEINEN  
BETRIEBSTÄTIGKEITEN

NETTO-NULL

TREIBHAUSGASEMISSIONEN ZU ERREICHEN.



### Nationale Ölgesellschaften

Einige derzeit oder ehemals staatliche Energieunternehmen sind bereits weiter fortgeschritten in ihrer Transformation als die europäischen IECs. Insbesondere die nordischen nationalen Energieunternehmen Equinor (ehemals Statoil) und Ørsted (ehemals DONG Energy) haben ihre Betriebsabläufe und Geschäftsmodelle signifikant verändert:

- Equinor ist zu einem globalen Schwergewicht in der Offshore-Windenergie geworden und der weltweit führende Entwickler von schwimmenden Offshore-Windanlagen.<sup>14</sup>
- Ørsted hat sich in nur zehn Jahren von einem der kohleintensivsten Energieunternehmen in Europa zum weltweit nachhaltigsten Energieunternehmen (Global 100 Index) gewandelt, und das ausschließlich durch Investitionen in grüne Energie.<sup>15</sup>

Der Wandel verlief bei vielen nicht-europäischen NOCs langsamer, zum Beispiel in Lateinamerika und im Nahen Osten. Die getätigten Investitionen in der gesamten Wertschöpfungskette der Energie waren gering und konzentrierten sich auf Technologien wie CCUS, die die Nachfrage nach fossilen Brennstoffen unterstützen. Viele NOCs verlagern ihre Erforschung und Produktion von Öl auf Gas, das während des Übergangs zur Energieeffizienz weiterhin eine hohe Nachfrage verzeichnen wird.

Diese Unternehmen diversifizieren auch in der Weiterverarbeitung, mit Plänen zur Expansion von Investitionen in Raffinerie und Petrochemie, um zusätzliche Absatzmärkte für ihr Rohöl und neue Einnahmequellen zu schaffen.

**Saudi Aramco**, das größte Energieunternehmen der Welt, hat sich das Ziel gesetzt, bis 2050 in seinen Betriebstätigkeiten netto-null Treibhausgasemissionen zu erreichen, und angekündigt, seinen Fokus auf aufstrebende Sektoren wie grünen Wasserstoff, nachhaltige Technologielösungen, fortschrittliche nichtmetallische Baumaterialien und Digitalisierung auszudehnen.<sup>16</sup>

### Große Versorgungsunternehmen

Die Energiewende ist seit mehreren Jahren ein zentraler Schwerpunkt für Versorgungsunternehmen. Führende internationale Versorgungsunternehmen wie Enel, ENGIE, Iberdrola, NextEra Energy und RWE haben bereits in erneuerbare Energien investiert und planen die Kapazität zur Stromerzeugung aus Wind und Sonne umfassend auszubauen. Ihre Ziele sind in Umfang und Ambitionen ähnlich wie bei den IECs (siehe Abbildung 9). Ihre individuellen Entscheidungen unterscheiden sich in Bezug auf andere Bereiche des Übergangs zur Energieeffizienz wie Speicherung, Biomasse, Wasserstoff und CCUS.

<sup>14</sup> Industrialising floating offshore wind, 2022, Equinor

<sup>15</sup> Our green business transformation, 2021, Ørsted

<sup>16</sup> Aramco expands focus on emerging sectors at Future Investment Initiative, 2021, Aramco

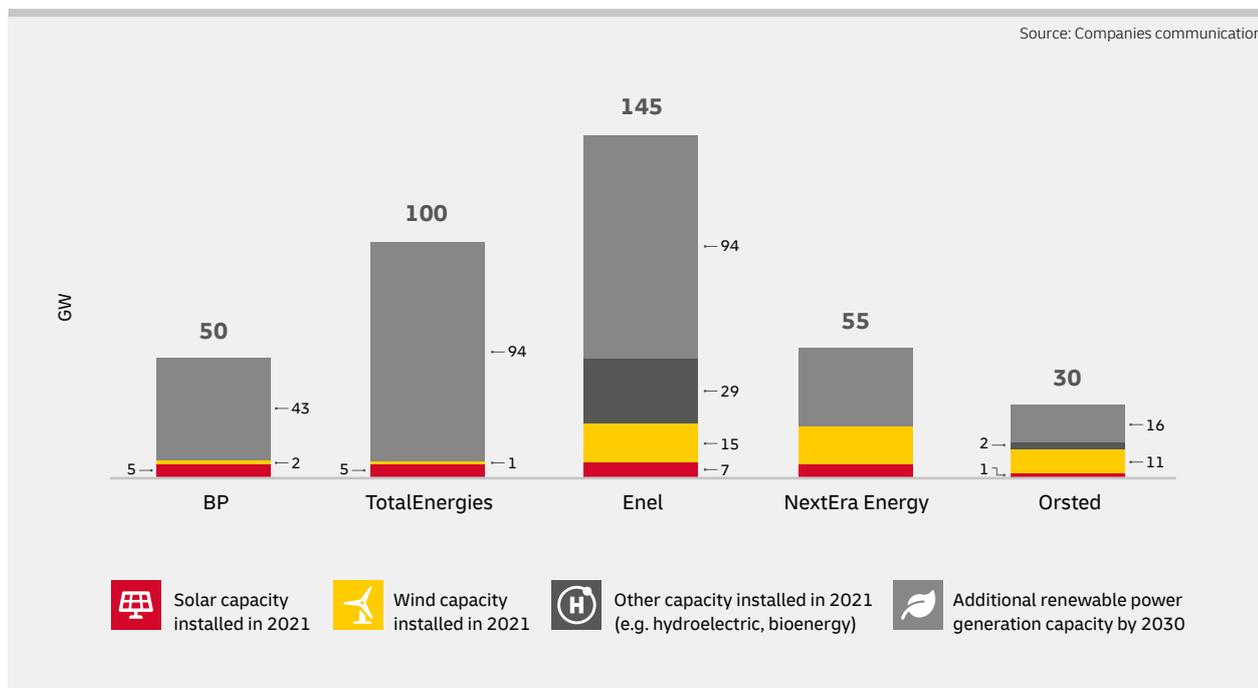
### Laden von Elektrofahrzeugen

Die Welt bereitet sich auf den Boom von Elektrofahrzeugen (EVs) vor und sowohl IECs als auch Versorgungsunternehmen haben ihr Augenmerk auf den Markt für EV-Ladeinfrastruktur gerichtet. Alle diese Unternehmen sind in der Wertschöpfungskette für EV-Ladesysteme tätig - als Hersteller von Ladeausrüstungen, Betreiber von EV-Ladestationen oder Anbieter von E-Mobilitätsdiensten.

Ein zentrales Ergebnis all dieser verschiedenen Investitionen ist eine Verschwommenheit der Grenzen zwischen dem Energie- und Versorgungssektor und dem Öl- und Gassektor. Es ist wahrscheinlich, dass in Kürze neue erneuerbare Energie-Schwergewichte aus ehemaligen IECs und Versorgungsunternehmen hervorgehen werden.

Abbildung 9 zeigt ausgewählte Beispiele für die Ziele zur Kapazitätserweiterung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von IECs (BP und TotalEnergies), Versorgungsunternehmen (Enel und NextEra Energy) und einem ehemaligen NOC (Ørsted). Der mit Abstand größte Anteil der geplanten neuen Kapazität wird aus Wind und Sonne stammen. Wenn diese Ziele erreicht werden sollen, müssen die Hersteller von Windturbinen und Solarmodulen jedoch ihre Produktions- und Lieferkapazitäten erheblich steigern. Die Logistik wird dabei eine zentrale unterstützende Rolle spielen.

**ABB 9: Bis 2030 sollen zusätzliche erneuerbare Stromerzeugungskapazitäten installiert werden; AUSGEWÄHLTE ENERGIE-AKTEURE**



**“Bei TotalEnergies sehen wir uns nicht als Hersteller von Ausrüstungen. Unser Kerngeschäft besteht darin, Energie zu erzeugen und sie an Kunden zu vertreiben und zu verkaufen. Dies galt sowohl für Öl und Gas als auch für unsere erneuerbaren Energien, sei es Biotreibstoffe, kohlenstoffarme Erdgas, Biogas, grüner Strom oder Wasserstoff. Im Bereich der Elektrizität haben wir die Ambition, bis zum Ende des Jahrzehnts zu den fünf größten Produzenten erneuerbarer Energie weltweit zu gehören. Wir werden zu einem großen Akteur in diesem Bereich und konkurrieren jetzt mit großen Versorgungsunternehmen.“**

Mathieu Soulas, SVP Strategy & Supply - Marketing & Services, TotalEnergies

## EXKURS: ÖL- UND GASUNTERNEHMEN KONZENTRIEREN SICH AUF OFFSHORE-WIND UND SOLARENERGIE

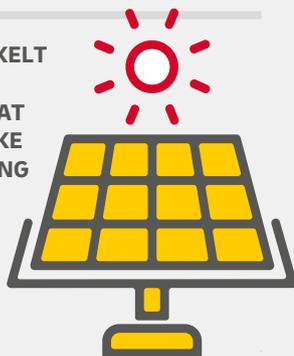
Für traditionelle Öl- und Gasunternehmen sind Investitionen in die Offshore-Windenergie attraktiv, da sie Erfahrungen aus dem Bau und Betrieb von Offshore-Öl- und Gasanlagen übertragen können. Laut der Beratungsfirma Wood Mackenzie sind Öl- und Gasgiganten nur an 5% der heutigen Offshore-Windanlagen beteiligt, aber sie machten 2020 30% der geplanten Anlagen aus, die den endgültigen Investitionsbeschluss erreichten. Bis 2030 wird die Gesamtkapazität der Offshore-Windenergie voraussichtlich 200 GW erreichen, siebenmal mehr als heute.

Erfahrungen aus der Ölindustrie könnten im Laufe der Zeit noch relevanter werden, da Offshore-Windparks in immer tiefere Gewässer verlegt werden, um konstantere Windressourcen zu nutzen und dem wachsenden Widerstand in lokalen Gemeinden gegen küstennahe Standorte zu begegnen. Tiefwasserstandorte werden auch auf eine neue Generation von schwimmenden Turbinendesigns angewiesen sein, bei denen der Öl- und Gassektor Wissen und Erfahrung aus dem Design und Betrieb von schwimmenden Offshore-Produktionsplattformen einbringen kann.

Die Entwicklung von Offshore-Windressourcen in tiefem Wasser wird voraussichtlich Hand in Hand mit der Entwicklung des grünen Wasserstoffsektors gehen.<sup>18</sup>

**LIGHTSOURCE BP ENTWICKELT UND VERWALTET SOLAR-ENERGIEPROJEKTE UND HAT BISHER SOLARKRAFTWERKE MIT EINER GESAMTLEISTUNG VON**

**3,8GW**



**LIGHTSOURCE BP HAT EINE GLOBALE PROJEKTENTWICKLUNGSPipeline MIT EINER GESAMTLEISTUNG VON ÜBER**

**20GW**



Die Produktion von Wasserstoff offshore ist eine Möglichkeit, wie diese Standorte die Herausforderungen begrenzter elektrischer Netzanschlüsse überwinden können. Zudem hat Wind in der Offshore-Umgebung einen höheren Kapazitätsfaktor als andere erneuerbare Energien, was bedeutet, dass ein Elektrolyseur (ein System, das Strom verwendet, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen) einen größeren Teil der Zeit betrieben werden kann, was die Wirtschaftlichkeit des Projekts verbessert. Darüber hinaus befinden sich viele potenzielle Endverwendungen von Wasserstoff, wie in Raffinerien, der Metallindustrie, der Schifffahrt und den Export-/Importanlagen, in der Nähe von Offshore-Windparks an der Küste.

Ein Beispiel für die laufende Zusammenarbeit zwischen IECs, NOCs und Versorgungsunternehmen ist das NorthH2-Projekt, bei dem ein Konsortium von Unternehmen - darunter Equinor, Gasunie, Groningen Seaports, RWE und Shell - große Windparks in der europäischen Nordsee baut und die Umsetzbarkeit der groß angelegten Produktion, Speicherung und Übertragung von grünem Wasserstoff untersucht, mit dem Ziel, bis 2030 4 GW grünen Wasserstoff zu produzieren.<sup>19</sup>

Der Markt für **Solarenergie** wird auch für Öl- und Gasunternehmen immer interessanter. BP hat eine Tochtergesellschaft, Lightsource BP, die Solarprojekte entwickelt und verwaltet, mit bisher 3,8 GW Solarprojekten und mehr als 20 GW in der globalen Projektentwicklungspipeline.<sup>20</sup> Öl- und Gasunternehmen arbeiten auch immer häufiger mit Herstellern von Solarzellen zusammen. Ein Beispiel dafür ist die mehrjährige Vereinbarung zwischen BP/Lightsource BP und First Solar für bis zu 5,4 GW Solarmodule mit geplanten Lieferungen von 2023 bis 2025.<sup>21</sup> Ein ähnlicher Ansatz ist bei TotalEnergies zu beobachten, das seine Aktivitäten im Bereich Solarenergie ausweitet, Solarenergie produziert sowie vertreibt und den Schwerpunkt auf drei Länder legt: Indien (5 GW installiert und geplant), Spanien (5,3 GW bis 2025) und die USA (4 GW installiert und geplant).<sup>22</sup> In den USA ist das Tochterunternehmen von TotalEnergies, SunPower, eines der führenden Unternehmen für dezentrale Energieerzeugung, sowohl im gewerblichen als auch im privaten Bereich.

<sup>17</sup> How Big Oil is set to transform the offshore wind sector, 2021, Wood Mackenzie

<sup>18</sup> Offshore Wind to Green Hydrogen, 2021, Clean Energy States Alliance

<sup>19</sup> NorthH2, 2022

<sup>20</sup> Lightsource BP, 2022

<sup>21</sup> Lightsource BP and BP sign multi-year agreement for up to 5.4 GW of First Solar modules, 2021, Lightsource BP

<sup>22</sup> Solar Power at TotalEnergies: <https://totalenergies.com/media/video/solar-power-at-totalenergies-key-facts-in-pictures>

## STRUKTURELLE VERÄNDERUNGEN IM ENERGIESYSTEM

Die Standorte für die Erzeugungskapazität von fossilen Kraftwerken sind in der Regel nachfragegesteuert. Kraftwerke werden in der Regel in der Nähe von Orten gebaut, an denen Elektrizität benötigt wird, also in der Nähe von Städten. Bei erneuerbaren Energien sieht die Situation oft anders aus. Windparks und Solarfarmen werden oft angelegt, wo Platz vorhanden ist und die Wind- oder Sonnenverhältnisse günstig sind. Darüber hinaus befinden sie sich oft aus sozialen Gründen weiter entfernt von Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte, da Gemeinden möglicherweise zögern, eine Windturbine "in ihrer Nachbarschaft" zu akzeptieren. Als Ergebnis ist die Infrastruktur für erneuerbare Energien oft dezentraler und abgelegener als die traditionelle Energieinfrastruktur.

Eine erneuerbare Energiequelle, die relativ zentralisiert ist, ist die Offshore-Windenergie, bei der riesige Offshore-Windfarmen in Zukunft herkömmliche Kraftwerke ersetzen könnten. Heute befinden sich diese hauptsächlich in der Nordsee und der Ostsee. In den USA gibt es bisher nur ein vollständig installiertes Windfarmprojekt im Atlantischen Ozean vor der Küste von Rhode Island. Es werden jedoch viele weitere Projekte entwickelt und umgesetzt, die in den kommenden Jahren in Betrieb genommen werden.

Die Entwicklung der Offshore-Windenergie ist durch die Wassertiefe begrenzt. Derzeit verwendet die Offshore-Branche Windturbinen mit festen Fundamenten, die in flachen Gewässern vor der Küste installiert sind. In der Zukunft werden jedoch auch Länder ohne flache Gewässer vor der Küste die Offshore-Windenergie durch die Technologie von schwimmenden Turbinen entwickeln können.

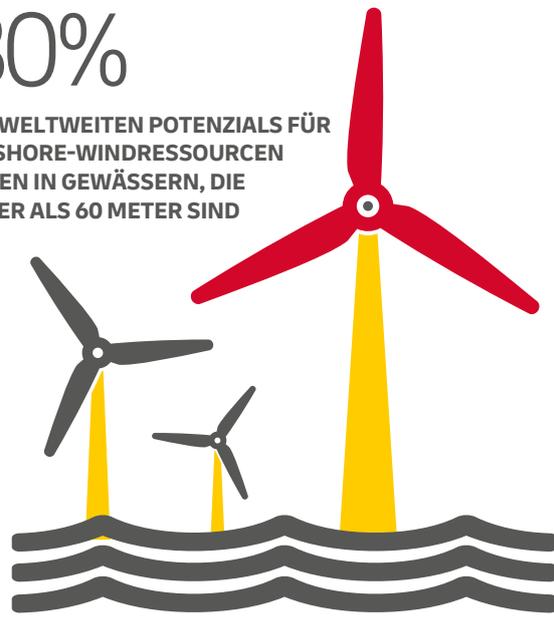
Schwimmende Offshore-Windenergie hat den Vorteil, überall dorthin gehen zu können, wo die besten Windressourcen vorhanden sind. Laut dem Global Wind Energy Council (GWEC) liegen 80% des weltweiten Potenzials für Offshore-Windressourcen in Gewässern, die tiefer als 60 Meter sind. Die besten Standorte für schwimmende Windenergie sind Argentinien, Australien, Chile, China (Südküste), Europa, Japan, Südafrika, Südkorea, Taiwan und die USA (Westküste).

Im Jahr 2017 wurde das weltweit erste kommerzielle schwimmende Offshore-Windprojekt, Hywind Scotland in Großbritannien von Equinor, an das Netz angeschlossen, und im Sommer 2021 wurde die weltweit größte schwimmende Offshore-Windturbine, das Vestas V164-9,5-Megawatt-Modell, im 50-Megawatt-Kincardine-Projekt in Schottland in Betrieb genommen.<sup>23</sup>

Heute ist die Technologie für schwimmende Turbinen immer noch teuer und relativ unausgereift. Sie muss sehr schnell kommerzialisiert werden, um das volle Potenzial der globalen Offshore-Windenergie auszuschöpfen und den Übergang zur erneuerbaren Energie zu beschleunigen. In den letzten zehn Jahren wurden schwimmende Technologien im Megawatt-Bereich in Demonstrations- und Pilotprojekten in Asien und Europa getestet. Laut der globalen Datenbank des GWEC Market Intelligence werden schwimmende Windturbinen voraussichtlich ab der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts in Betrieb genommen und im Jahr 2026 voraussichtlich den Meilenstein von 1 GW schwimmender Windturbinen pro Jahr erreichen. Die vollständige Kommerzialisierung wird voraussichtlich gegen Ende dieses Jahrzehnts erreicht werden.<sup>24</sup>

# 80%

DES WELTWEITEN POTENZIALS FÜR OFFSHORE-WINDRESSOURCEN LIEGEN IN GEWÄSSERN, DIE TIEFER ALS 60 METER SIND



**“Das Skalieren ist der Schlüssel zur Kostenreduzierung und zur Expansion von schwimmendem Offshore-Wind. Zwischen dem Pilotprojekt und Hywind Scotland sanken die Investitionskosten pro Megawatt um 70%. Technologische Fortschritte durch größere Generatoren steigern die Margen, gehen jedoch auch mit erhöhten Logistikkosten einher.”**

Gjert Anders Gjertsen, Product Owner Supply Chain Logistics, Equinor

<sup>23</sup> Global Offshore Wind Report, 2021, GWEC

<sup>24</sup> Global Offshore Wind Report, 2021, GWEC



**“Wir werden dorthin gehen, wo die Turbinen hinmüssen, unabhängig von der Geografie und der Komplexität des Geländes, um die Komponenten zur Baustelle zu bringen. Um dies zu erreichen, müssen wir die logistischen Herausforderungen und alle anderen damit verbundenen Risiken berücksichtigen, um sicherzustellen, dass wir sie bewältigen können. Zum Beispiel transportieren wir derzeit 84 Meter lange Rotorblätter über schwierige Straßen und weite Entfernungen in Brasilien, und wir haben auch Turbinen im nördlichsten Teil Norwegens installiert.”**

Michael Peffermann, Onshore BU Head of Construction & Logistics, Siemens Gamesa

**Onshore-Windkraftanlagen** können wirtschaftlich dezentral betrieben werden, wobei einzelne Turbinen oder kleine Windparks direkt an lokale Stromverteilungsnetze angeschlossen werden. Obwohl es wahrscheinlich ist, dass in Zukunft weiterhin sehr große Onshore-Windparks gebaut werden, gibt es einen Trend zu kleineren Onshore-Windparks, die oft von privaten Investoren finanziert werden. Onshore-Turbinen sind kleiner als ihre riesigen Offshore-Pendants, und die Turbinentechnologie hat sich in den letzten Jahren rapide entwickelt, was die Kosten für die Windenergieerzeugung dramatisch reduziert hat.

Laut der IEA werden China, Europa und die Vereinigten Staaten von 2021 bis 2026 zusammen 80 % des globalen Ausbaus der Onshore-Windkraft ausmachen. Die Entwicklung in Europa wurde jedoch durch mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz und politische Leitlinien, unter anderem, behindert. Trotz der logistischen Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Onshore-Wind, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden, gibt es keine realen Grenzen bei der Standortwahl für Onshore-Windturbinen, wie von Siemens Gamesa's Michael Peffermann beschrieben.

**Solaranlagen** können in zwei Typen unterteilt werden: Großflächen-Photovoltaik (PV), oft in Form von Solarparks, und Wohn- und Gewerbe-PV, wobei die Module größtenteils auf Dächern von Gebäuden installiert werden. Solarstrom kann im Allgemeinen als die weitverbreitetste Form erneuerbarer Energie betrachtet werden, da es praktisch keine Standorte gibt, an denen keine Solaranlagen installiert werden können. Aufgrund der robusten Zunahme der Wirkungsgrad von PV-Modulen in den letzten Jahren ist es auch sinnvoll, Solaranlagen in Regionen mit relativ weniger Sonnenschein zu installieren. Solarenergie ist so zugänglich geworden, dass an außergewöhnlichen Orten neue Installationen in Betrieb genommen werden, selbst mitten im Winter in Alaska.<sup>26</sup>

Obwohl Solarenergie-Ressourcen stark verteilt sind, ist es wahrscheinlich, dass sich Großflächen-Solarkapazitäten in

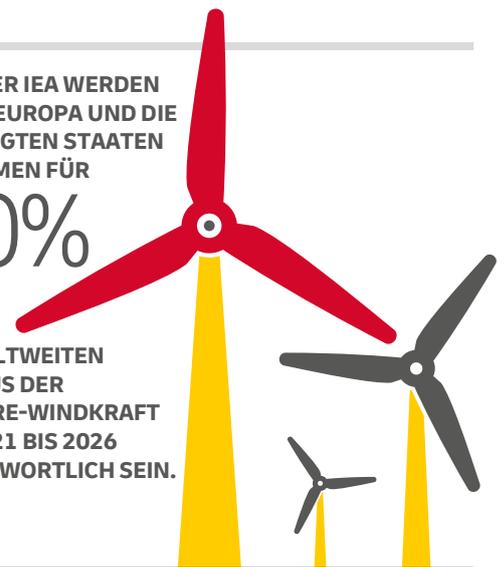
Cluster entwickeln werden, wobei größere Solarparks und Ansammlungen von Farmen eng beieinander liegen, um die Installationskosten, die Netzverbindung und die Wartung zu optimieren. In Ländern wie Portugal und Spanien, wo in den letzten Jahren viel Solarleistung installiert wurde, ist der Raum für weitere Expansion aufgrund der Größe der lokalen Bevölkerung und anderer Ansprüche an verfügbares Land bereits begrenzt. Heute ist das Wachstumspotenzial in Ländern wie Brasilien und Indien am höchsten.

Aktuelle Entwicklungen in der Batterietechnologie fördern auch das Wachstumspotenzial der Solarenergie und ermöglichen es, Energie für die Verwendung in der Nacht zu speichern. Laut der IEA ist die Großflächen-Solarenergie derzeit die kostengünstigste Option für die Erweiterung der Stromkapazität. Sie macht weiterhin mehr als 60 % der weltweiten PV-Neuzugänge aus, während politische Initiativen in China, der Europäischen Union und Indien die Bereitstellung von gewerblichen und Wohn-PV-Projekten fördern.

LAUT DER IEA WERDEN CHINA, EUROPA UND DIE VEREINIGTEN STAATEN ZUSAMMEN FÜR

80%

DES WELTWEITEN AUSBAUS DER ONSHORE-WINDKRAFT VON 2021 BIS 2026 VERANTWORTLICH SEIN.



<sup>25</sup> Renewables 2021, IEA

<sup>26</sup> The world's most unlikely solar farms, 2020, BBC

**“First Solar ist ein globales Unternehmen - unsere Dünnschicht-PV-Module versorgen Solarprojekte in über 40 Ländern auf der ganzen Welt. Wir haben viel in unsere Technologie investiert, und sie entwickelt sich in rasantem Tempo weiter. Und obwohl die Leistung von PV-Modulen von der Umgebung abhängt, in der sie betrieben werden, ist es eine Tatsache, dass die Installation von PV-Anlagen in nahezu jeder Betriebsumgebung, in der die Sonne scheint, wirtschaftlich sinnvoll ist.”**

Bart Verbeke, Head of Global Logistics, First Solar

## AUSWIRKUNGEN AUF DIE LIEFERKETTE

### Die dezentrale Energieerzeugung erhöht die Nachfrage nach Logistik

Ein Energiesystem, das auf erneuerbaren Technologien basiert, wird erheblich vielfältiger und geografisch verteilter sein als das heutige fossilbasierte System. Anstatt sich auf eine relativ geringe Anzahl großer Anlagen zu konzentrieren, wird die zukünftige Energieerzeugungskapazität von Hunderttausenden von Windturbinen, sowohl an Land als auch auf See, und Millionen von Solarpanelen, die auf Dächern und in speziellen Solarparks installiert sind, stammen. Um diese neuen Energiesysteme zu errichten, wird der Energiesektor seine Lieferketten modernisieren und seine Logistikfähigkeiten transformieren müssen. Mit einer größeren Anzahl von Frachtbewegungen und einer größeren Anzahl und Vielfalt von Zielen wird der Energiesektor mehr Logistikkapazität und eine anspruchsvollere Logistikverwaltung benötigen. Somit geht der Paradigmenwechsel im Energiesektor von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien und von zentralisierter zu dezentralisierter Energieerzeugung mit einer grundlegenden Verschiebung in der Logistik einher, von einer unterstützenden Funktion für Öl und Gas zur zentralen Unterstützung des Wachstums erneuerbarer Energien.

Es steht eine beträchtliche Aufgabe bevor. Im Jahr 2021 verfügte Deutschland über 13 Ölraffinerien<sup>27</sup> und rund 100 Erdgaskraftwerke mit einer nominellen Gesamtkapazität von 32 GW.<sup>28</sup> Die landgestützte Windenergiekapazität des Landes im Jahr 2021 umfasste 28.230 Windturbinen mit einer Nennleistung von 55 GW. Auf der grundlegendsten Ebene erfordert die Erzeugung von einem Gigawatt Stromerzeugungskapazität drei oder vier Gaskraftwerke oder zwischen 200 und 300 landgestützte Windturbinen der neuesten Modelle. Die realen Berechnungen sind jedoch nicht so einfach, da es intermittierende Winde gibt und die Herausforderungen darin bestehen, die Produktion erneuerbarer Energien an die Nachfrage anzupassen. Die Logistikkomplexität erstreckt sich weit über die schiere Anzahl der zu errichtenden und zu wartenden Anlagen

hinaus. Die Windenergie beispielsweise umfasst einen großen Anteil von außergewöhnlichen Gütern (OOG), wie Turbinenblätter, die spezielle Ausrüstung, Handhabungsfähigkeiten, Routenplanung und Genehmigungen erfordern. Die Herstellung von Solarzellen ist derzeit in Asien konzentriert. Um eine schnelle Bereitstellung zu unterstützen, wird der Sektor in neue Netzwerke regionaler Vertriebszentren in der Nähe der Endkunden investieren müssen. Und der Übergang von der Energieversorgung durch Tanker und Pipelines auf Kabel erfordert ebenfalls umfangreiche Upgrades der Stromübertragungs- und -verteilungssysteme.

Grüner Wasserstoff, der mithilfe erneuerbarer Energien hergestellt wird, wird auch neue Produktions-, Vertriebs- und Speicherinfrastrukturen erfordern. Wasserstoff ist teuer zu lagern und zu transportieren, aufgrund seiner geringen volumetrischen Energiedichte und der leichten Entweichung kleiner Wasserstoffmoleküle aus Containern und Pipelines. Die Offshore-Wasserstoffproduktion würde eine spezialisierte Pipeline-Infrastruktur erfordern, um den Brennstoff an Land zu bringen. Neben dem Transport über Pipelines gibt es auch andere Wasserstoffträgertechnologien wie verflüssigten Wasserstoff, Ammoniak und flüssige organische Wasserstoffträger (LOHC). Jeder dieser Ansätze hat unterschiedliche technische und kommerzielle Vor- und Nachteile und erfordert spezialisierte Ausrüstungsanforderungen.

**“Das aktuelle Netz ist nicht für eine dezentrale Energieversorgung in einem Netto-Null-Szenario ausgelegt. Die Transformation des Netzes ist ebenso eine Herausforderung wie die Transformation der Energieerzeugung.”**

Guido Wendt, Executive Vice President Energy & Utilities, Capgemini Invent



<sup>27</sup> Number of oil refineries in Germany from 2009 to 2020, 2021, Statista

<sup>28</sup> Bundesnetzagentur 2022: Kraftwerksliste

**Zunahme der Logistikanforderungen**

Das vereinfachte Beispiel unten zeigt, wie sich die Logistikanforderungen für verschiedene Lösungen zur Energieerzeugung ändern. Es vergleicht die erforderlichen Sendungen zur Installation einer 200 MW Gasturbine mit denen, die benötigt werden, um die gleiche Erzeugungskapazität entweder mit landgestützter Windkraft oder Solar-PV zu liefern.

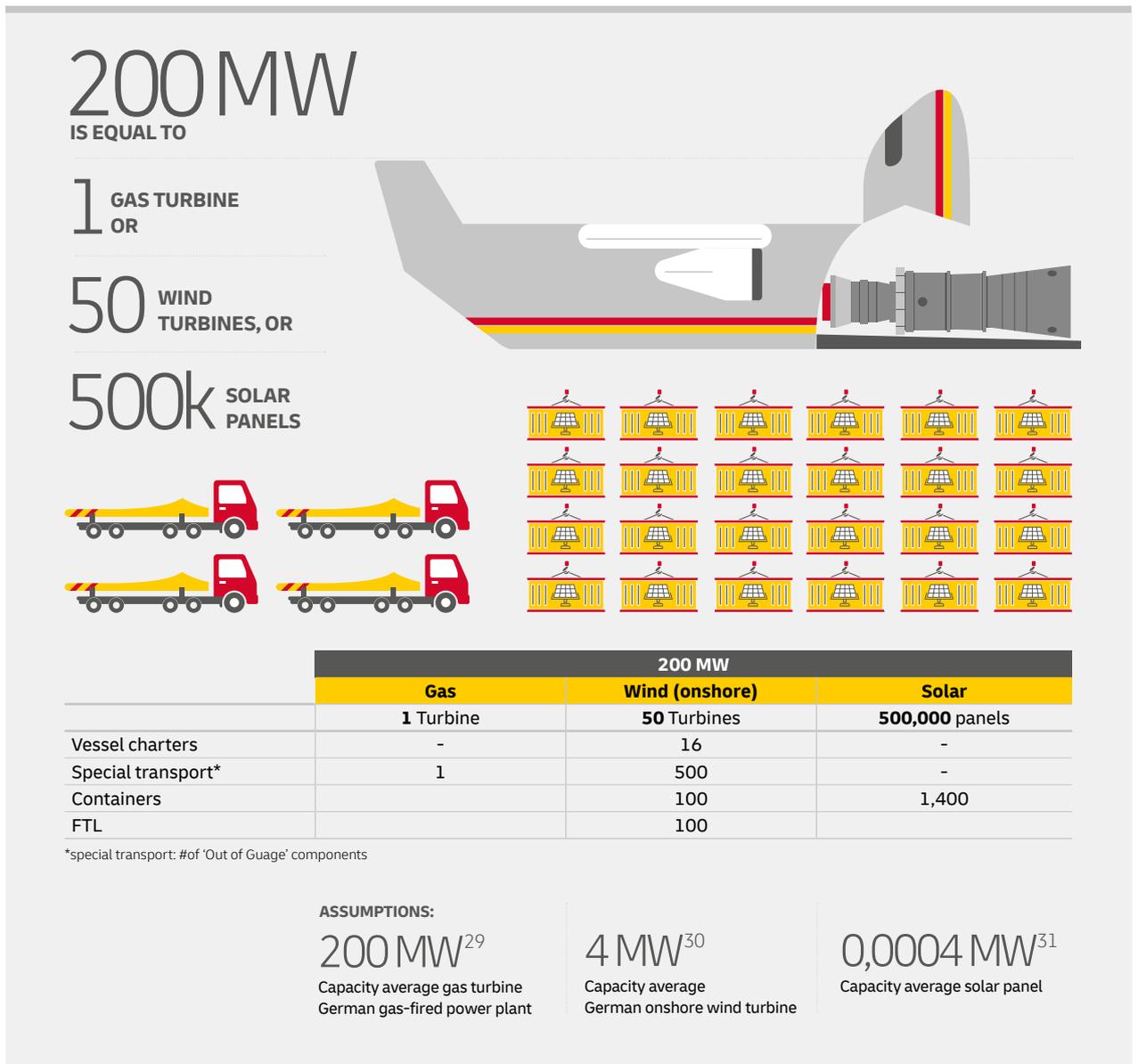
Wie dieses Beispiel zeigt, kann die Ersetzung von fossilbasierten Erzeugungsanlagen durch erneuerbare Anlagen mit der gleichen Kapazität zu einer 1.000-fachen Zunahme des Logistikvolumens führen, verbunden mit einer erheblichen Steigerung der Logistikkomplexität. Und dieses vereinfachte Beispiel ist äußerst konservativ. Der tatsächliche Anstieg der Logistikanforderungen im Energiesektor dürfte wahrscheinlich zwei, drei oder sogar viermal höher sein als das.

Wie im Kapitel 2 diskutiert, wird die Gesamterzeugungskapazität zwischen 2030 und 2050 im Rahmen des NZE-Plans verdoppelt werden müssen, um den steigenden Bedarf zu decken und den geringeren Kapazitätsfaktor der meisten erneuerbaren Energietechnologien auszugleichen.

**Logistikkosten**

Die jüngsten Störungen in den Lieferketten im Zusammenhang mit COVID-19 haben zu Engpässen sowohl in der Schiffs- als auch in der Luftfrachtkapazität geführt und weltweit die Versandkosten erhöht. Diese Frachtkosten werden voraussichtlich nicht vor 2023 nachlassen.<sup>32</sup> Und schon vor der COVID-19-Krise hatte der Bereich erneuerbare Energien Herausforderungen im Zusammenhang mit den steigenden Kosten und der begrenzten Verfügbarkeit von logistischen Ressourcen und Dienstleistungen gemeldet.

**ABB 10: INFOGRAFIK: LOGISTIK FÜR EINE 200-MW-GASTURBINE IM VERGLEICH ZU WIND UND SONNE**



<sup>29</sup> Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, 2018, Fraunhofer ISE

<sup>30</sup> Status of Onshore Wind Energy Development in Germany, 2021, Deutsche Wind Guard

<sup>31</sup> Maxeon 3, 2019, SunPower

Während das rasche Wachstum der Windenergiebranche beispielsweise mehr Logistikspezialisten auf den Markt gebracht hat, führte die Entwicklung größerer Turbinendesigns mit längeren Rotorblättern und schwereren Gondeln dazu, dass die Versandkosten für jede Turbine weiter stiegen. Diese Herausforderungen werden voraussichtlich fortbestehen, insbesondere da die Lösungen, die benötigt werden, um die Windturbinen der Zukunft zu transportieren, noch nicht existieren. Vestas, ein großer Hersteller von Windturbinen, gab an, dass die steigenden Transportkosten seine Rentabilität im Jahr 2021 erheblich beeinflussen würden.<sup>33</sup>

In der Solarindustrie sind die Preise für Solarmodule in den letzten Jahrzehnten rapide gefallen. Die herausfordernden Marktbedingungen der letzten beiden Jahre haben jedoch begonnen, diese Preise wieder zu erhöhen, aufgrund der steigenden Material- und Transportkosten (Abbildung 11). Laut der Beratungsfirma Rystad Energy könnten diese Erhöhungen die Rentabilität von 50 GW geplanter Utility-PV-Anlagen gefährden, die für 2022 vorgesehen sind, was mehr als die Hälfte des weltweiten Gesamtvolumens für dieses Jahr ausmacht.<sup>34</sup>

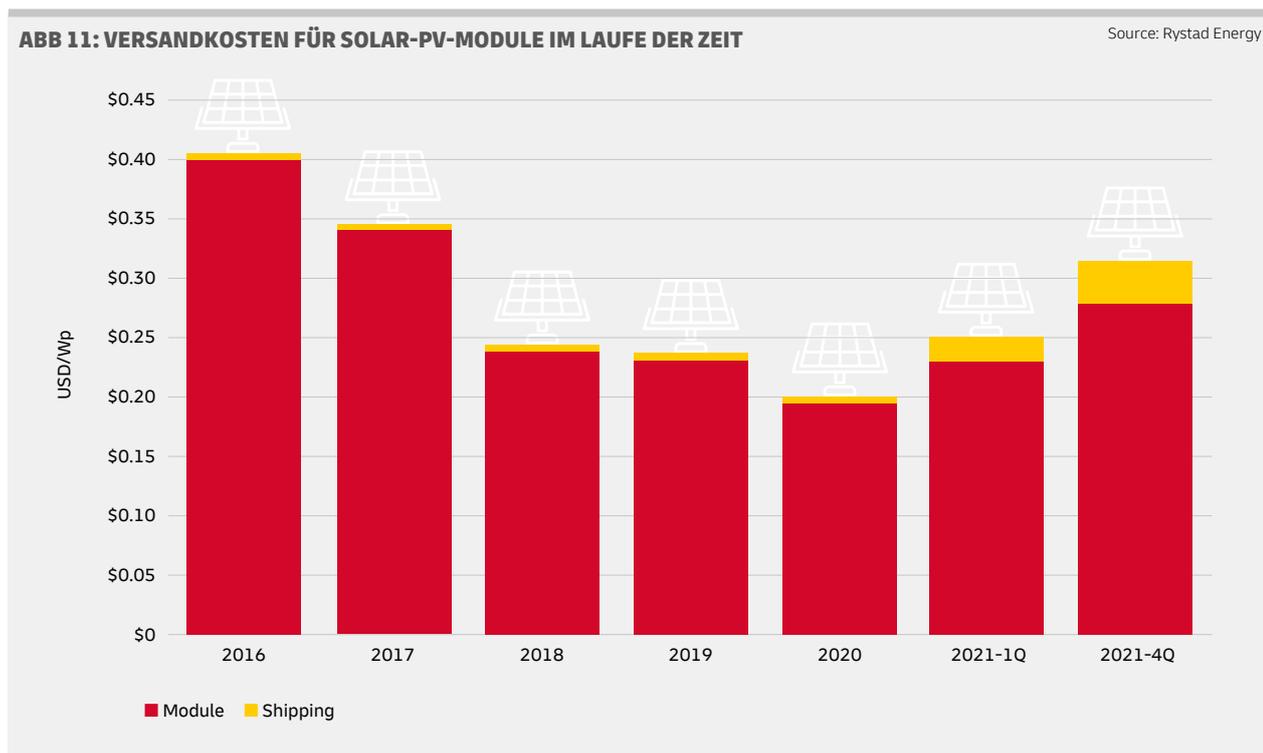
Heute steht der Energiesektor vor einer erheblichen Herausforderung. Um die Netto-Null-Ziele zu erreichen, muss er die Verfügbarkeit von Logistikdienstleistungen und Ressourcen dramatisch erhöhen, die allerdings bereits knapp sind.



**“Logistik wird zunehmend als treibende Kraft von Windenergieprojekten anerkannt. Sie ist immer stärker in Entscheidungsprozesse involviert, und daher kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass sie einfach im Hintergrund funktioniert.”**

Stefan Bernotat, Unit Lead CoC for Digitalization in Supply Chain & Logistics, Siemens Gamesa

Und diese Herausforderung wird nicht aufhören, wenn Tausende neuer erneuerbarer Anlagen installiert und betriebsbereit sind. Da erneuerbare Energietechnologien eine Betriebsdauer von mehreren Jahrzehnten haben, werden sie regelmäßige Wartung erfordern. Insbesondere im Windenergiesektor hat die Verwaltung von Ersatzteilen erhebliche Auswirkungen auf die Gesamtbetriebskosten, ein Thema, das wir im Kapitel 4 erörtern werden.



<sup>32</sup> DHL expects freight rates to stay high in 2022, 2022, Reuters

<sup>33</sup> Interim financial report, third quarter 2021, Vestas

<sup>34</sup> Most of 2022's solar PV projects risk delay or cancelation due to soaring material and shipping costs, 2021, Rystad Energy

## EXKURS: HERAUSFORDERUNGEN IN DER LIEFERKETTE BEI ONSHORE- UND OFFSHORE-WINDENERGIE

Die Größe ist ein wichtiger Treiber für die Leistungssteigerung im Windenergiesektor, da größere Turbinen mehr Energie zu geringeren Kosten erzeugen. In den letzten 30 Jahren haben sich die Blattlängen und Turmdurchmesser etwa vervierfacht. Die durchschnittliche Kapazität von landgestützten Windturbinen im Jahr 2025 wird voraussichtlich mehr als doppelt so hoch sein wie diejenige, die im Jahr 2018 verwendet wurde. Im Offshore-Bereich wird die Kapazität im gleichen Zeitraum voraussichtlich vervierfacht.

Um das Potenzial der technologisch verbesserten landgestützten Windturbinen mit größerer Kapazität und verbessertem Energieertrag zu nutzen, sind neue Fertigungs- und Installationsverfahren erforderlich. Es wird auch unerlässlich sein, die mit Transport und Logistik verbundenen Herausforderungen zu bewältigen.

Für den Transport von Komponenten mit der Größe und Komplexität von Turbinenblättern, Türmen und Gondeln von den Herstellungsorten zu den Einsatzorten sind erhebliche logistische Anstrengungen erforderlich. Hierbei kommen Straßen-, Schienen- und Seetransportmittel zum Einsatz. Dies erfordert umfangreiche Planung sowie spezielle Fahrzeuge, Ausrüstung und Techniker. nabelanhänger transportiert werden.

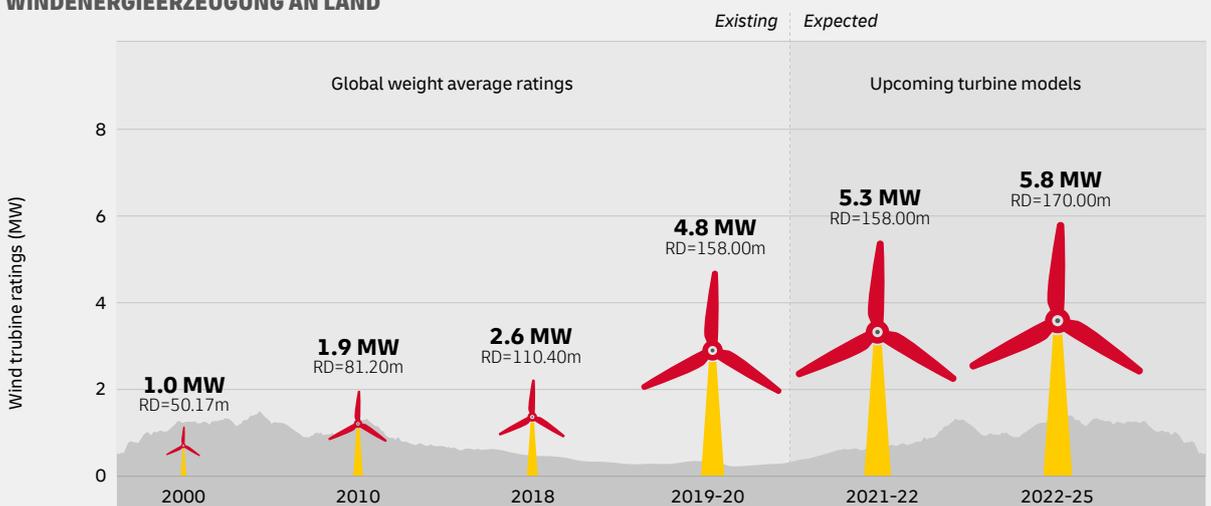
Der Turm muss in der Regel in drei Teilen auf einem Doppel- oder Einzelschnabelanhänger transportiert werden. Jedes der Rotorblätter wird separat auf einem speziell entwickelten Anhänger transportiert, ebenso wie die Gondel. Die übrigen Komponenten werden normalerweise auf Flachbetten transportiert.

Bei der traditionellen Logistikroutenplanung wird die schnellste und kostengünstigste Route gewählt. Beim Transport von Windturbinen muss die Route jedoch an zahlreiche Einschränkungen angepasst werden:

- **Straße:** Große, lange Komponenten setzen Grenzen für die Strecke, die ein LKW befahren kann, und für den Radius der Kurven, die er machen kann.
- **Schiene:** Eisenbahnkurven können zu eng für lange Komponenten (z. B. Blätter) sein, und Tunnel können zu eng für Gondeln und Turmteile sein, sodass komplette Strecken möglicherweise nicht realisierbar sind.
- **Meer:** Die Laderaumkapazitäten unter Deck sind zu begrenzt, um bestimmte Komponenten aufgrund ihres Volumens oder Gewichts aufzunehmen, und Schiffe mit großer Tragfähigkeit sind eine begrenzte Ressource.

**ABB 12: ENTWICKLUNG VON TURBINEN FÜR DIE WINDENERGIEERZEUGUNG AN LAND**

Source: Future of Wind – A Global Transformation Paper, 2019, IRENA



Für **Offshore-Windenergie** können Synergien mit bestehenden Branchen in der Lieferkette gefunden werden. Vor allem wird die Erfahrung der Öl- und Gasindustrie in der Offshore-Logistik voraussichtlich die sich entwickelnden Lieferkettenstrategien beeinflussen. Es gibt auch viele Ähnlichkeiten mit der maritimen Logistik, da Fabriken in der Regel in der Nähe von Häfen liegen, was den Transport von Komponenten erleichtert. Diese können direkt vom Hafen zur Baustelle der Offshore-Windturbine verschifft werden. Im Vergleich zu den Ambitionen der Branche für die Offshore-Windentwicklung ist die Hafeninfrastuktur in Märkten außerhalb Europas jedoch in der Regel unzureichend, um den Bau von Offshore-Windparks zu unterstützen.

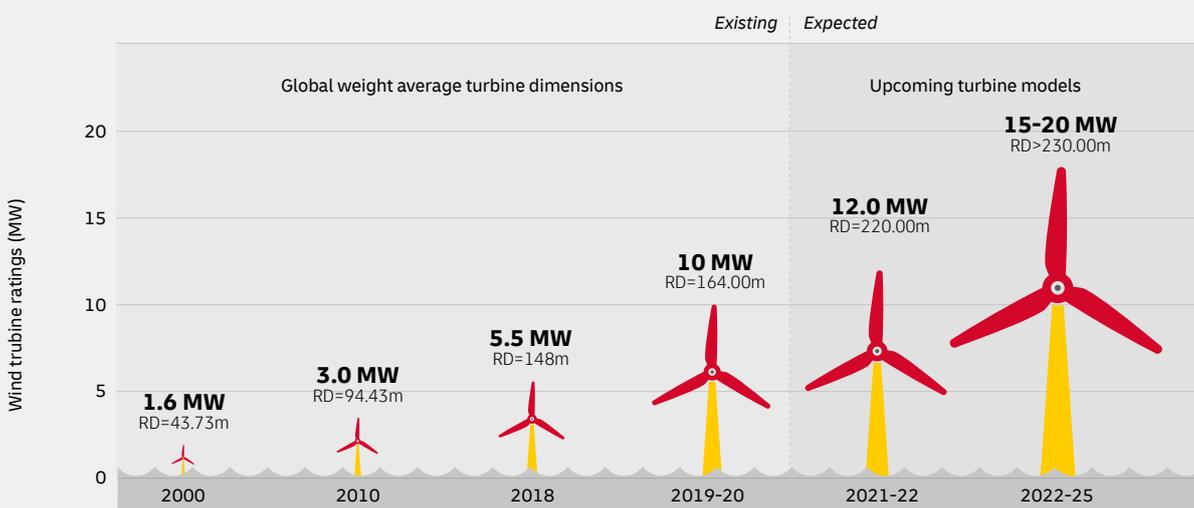
Das Wetter ist ein entscheidender Faktor bei der Offshore-Entwicklung. Stürme auf hoher See können zu Verzögerungen beim Transport und beim Aufbau der Turbinen führen. Darüber hinaus werden die Wartung und die Logistik für Ersatzteile auf See wesentlich komplizierter.

Weitere Herausforderungen ergeben sich aus der Verfügbarkeit spezialisierter Turbinen-Installationsfahrzeuge. Die Größe der Turbinen hat sich schneller erhöht, als die investitionsintensive Schiffbauindustrie Schritt halten konnte. Die Lieferanten von Schiffen haben reagiert, indem sie bestehende Schiffe, einschließlich ihrer Kräne, aufgerüstet haben. Diese Herangehensweise wird jedoch wahrscheinlich an ihre Grenzen stoßen, insbesondere wenn der Offshore-Markt über Europa hinaus expandiert. Die Anzahl der Jack-Up- und Schwerlastschiffe, die in der Lage sind, Monopiles für die derzeit größte Turbinengröße zu installieren, liegt derzeit im niedrigen zweistelligen Bereich. Dieses Engpassproblem wird voraussichtlich in den kommenden Jahren noch schlimmer werden.

Letztendlich sind die heutigen Logistiklösungen unzureichend, um zukünftige Windturbine-Modelle zu transportieren. Es besteht ein dringender Bedarf an Innovationen in der Lieferkette und der Notwendigkeit für Hersteller, Entwickler und Logistikdienstleister, gemeinsam an Lösungen zu arbeiten.

**ABB 13: TURBINENTWICKLUNGEN FÜR DIE OFFSHORE-WINDENERGIEERZEUGUNG**

Source: Future of Wind – A Global Transformation Paper, 2019, IRENA



### Überlegungen zur Logistikstruktur

Die heutigen Lieferketten der Energieindustrie haben sich rund um wichtige Öl- und Gasförderstandorte entwickelt, sodass es eine erhebliche Konzentration technischer und logistischer Fähigkeiten im Nahen Osten gibt. Mit dem Übergang des Energiesystems zu erneuerbaren Energien werden solche Konzentrationen weniger häufig sein. Stattdessen wird die Energieerzeugung weltweit stattfinden, und die Standorte werden nach Nähe zu Verbrauchern und der Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen ausgewählt. Für die heutigen Akteure in der Energiebranche erfordert diese Veränderung eine Anpassung der Logistikstruktur.

Einige Teile der bestehenden Energie-Lieferkette können umfunktioniert werden, um neue Investitionen in erneuerbare Energien zu unterstützen. Das Nahostgebiet hat zum Beispiel erhebliches Potenzial als Standort für Großprojekte im Bereich der Solarenergie. Mehrere große Projekte befinden sich in der Entwicklung, insbesondere in der Golfregion. Die Region verfügt über günstige solare Bedingungen mit preiswertem und sonnigem Wüstenland sowie gut konzipierten Angebotsstrukturen.

Im Allgemeinen können erneuerbare Energien, insbesondere landgestützte Windkraft und private Solarenergie, in weniger abgelegenen Gebieten als die Öl- und Gasentwicklung eingerichtet werden, wodurch sie von vorhandener Logistikinfrastruktur profitieren können. Dies gilt für die attraktivsten Märkte wie China, Deutschland und die USA. Auch für die landgestützte Windkraft sind die Hauptlogistikherausforderungen auf technische Schwierigkeiten und die erforderlichen speziellen Transportlösungen zurückzuführen.

### Treiber für lokale Inhalte und verkürzte Lieferketten

Im Gegensatz zu ihren fossilbrennstoffbasierten Gegenständen könnten die Lieferketten für erneuerbare Energien sich eher regional als global entwickeln. Im Bereich der Windenergie fragt sich die Branche, wie mehr mit weniger transportiert werden kann (weniger Zeit, weniger Schiffe usw.) und wie die Zuverlässigkeit und Vorhersagbarkeit von Bauprojekten verbessert werden können. Die Herstellung in der Nähe der Standorte, an denen Windturbinen installiert werden, unterstützt all diese Ziele und kann ein entscheidender Faktor für die Ausbreitung der Turbinenproduktion über China hinaus zu neuen Produktionszentren in Europa und den USA sein.

Im Fall der Offshore-Windenergie bietet die wachsende Nachfrage nach landgestützten Einrichtungen bereits eine neue Perspektive für Häfen und Werften, die zuvor aufgrund des Rückgangs in der Fischerei und anderen maritimen Branchen unterausgelastet waren. Häfen - insbesondere solche mit ausreichend Platz für Produktionshallen, Lagerung, Montage- und Verladebereiche - sind gut positioniert, um die Anforderungen von

Unternehmen in der Offshore-Windindustrie zu erfüllen und als Basis zu dienen. Hierfür müssen sie jedoch mit geeigneter Infrastruktur wie Ladekränen und Ausrüstung für die Beladung und Lieferung von Windturbinenkomponenten oder Rohstoffen ausgestattet sein. Diese Entwicklung ist bereits in der europäischen Nordsee und insbesondere im Vereinigten Königreich zu beobachten. Häfen entlang der östlichen Küste des Vereinigten Königreichs haben in den letzten zehn Jahren massive Investitionen im Zusammenhang mit der Entwicklung von Windenergie getätigt. Hier profitieren kleinere Gemeinden, die Arbeitsplatzverluste aufgrund des Rückgangs der maritimen und industriellen Industrien erlitten haben, nun von der Schaffung von Arbeitsplätzen in der wachsenden Energiewirtschaft.

Für Unternehmen wie First Solar spielt auch Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle bei der Nachfrage nach stärker lokalisierten Lieferketten. Die Herstellung von Solarausrüstung in der Nähe des Verwendungsortes reduziert den Energieverbrauch beim Transport und die Einrichtung von Produktionsstätten in Gebieten, in denen saubere Energie verfügbar ist, reduziert den Umwelteinfluss der Produktion. Das Unternehmen ermutigt heute wichtige Lieferanten wie Glashersteller, Betriebe in der Nähe seiner Produktionsstätten zu eröffnen, und verfolgt das von der Automobilindustrie weit verbreitete Campus-Konzept.

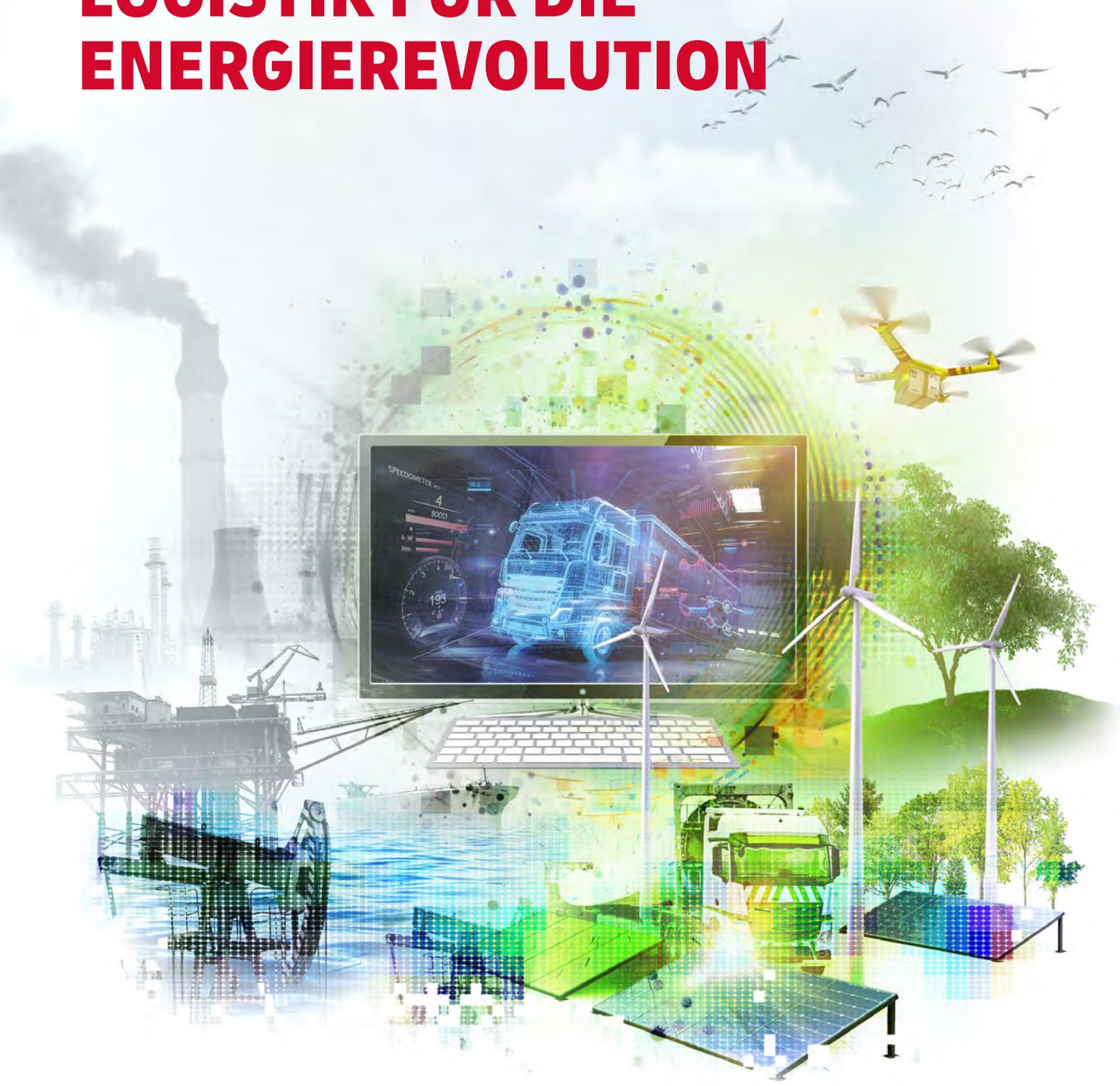
### Notwendigkeit von Service-Logistik zur Unterstützung von installierten Windparks

Die größten Herausforderungen bei der Betreuung von Windparks sind plötzliche und unerwartete Ausfälle sowie Ausfallzeiten. Mit zunehmendem Alter der Anlagen wird die Wartung zu einem Schlüsselthema. Wichtige und teure Komponenten erreichen das Ende ihrer Lebensdauer und müssen überholt oder ersetzt werden. Die Rotorblätter sind erheblicher Erosion durch ständige Windexposition ausgesetzt, was ihre Effizienz reduziert.

Inspektion und Wartung von Windturbinen sind besonders zeitaufwändig und kostspielig, verschärft durch hohe Ausfallraten und teure Ersatzteile. Die Arbeit an Windparks ist auch herausfordernd, da eine defekte Komponente mehr als 100 Meter über dem Boden sein kann. Im Fall von Offshore-Windparks ist der Zugang zu den Turbinen eine noch größere Herausforderung, da die Wartung dieser Windparks sowohl technisch als auch logistisch komplexer ist, insbesondere wenn es sich um groß angelegte Wartungsarbeiten handelt. Die optimale Wartungsstrategie maximiert die Verfügbarkeit bei geringsten Kosten, indem sie den besten Zugang zu jedem Windpark sicherstellt und geplante Wartungsarbeiten so effizient wie möglich durchführt. Neue innovative Lösungen für die Wartung von Windturbinen, einschließlich des Einsatzes von Drohnen, werden in Kapitel 4 ausführlicher behandelt.

KAPITEL 4

# INNOVATIVE LOGISTIK FÜR DIE ENERGIEREVOLUTION



Im vorherigen Kapitel haben wir die dramatische Zunahme der Nachfrage nach Logistikdienstleistungen hervorgehoben, die die Energiewende begleiten wird. Der Übergang von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien erfordert erheblich mehr logistischen Aufwand pro Einheit der Erzeugungskapazität. Das liegt daran, dass Wind- und Solarausrüstung pro Installation weniger Energie erzeugt und weil erneuerbare Installationen weniger zentralisiert sein werden als ihre fossilen Gegenstücke. Darüber hinaus erfordert die Umstellung auf Netto-Null insgesamt eine höhere Kapazität für die Stromerzeugung, da elektrische Energie in Anwendungen wie Transport und Raumheizung Öl und Gas ablöst und die Netze sich an diese Nachfrage mit erneuerbaren Energieanlagen mit niedrigeren Kapazitätsfaktoren anpassen.

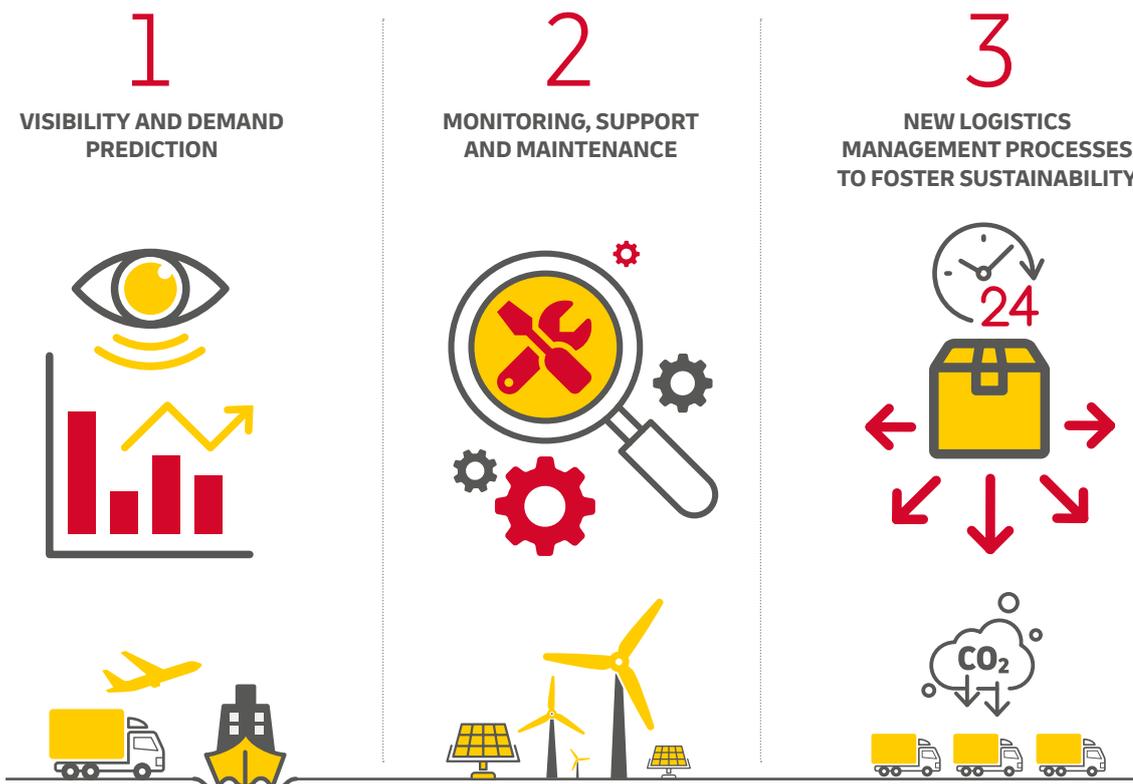
**Logistik ist bereits eine echte Herausforderung für den Bereich erneuerbare Energien.** Beispielsweise müssen Projekte mit Kapazitätsbeschränkungen bei kritischen Geräten wie spezialisierten Schiffen für den Transport und die Installation großer Komponenten von Windturbinen umgehen. Und die Logistik-Ausrüstung, die für zukünftige Generationen von Riesenturbinen benötigt wird, existiert noch nicht. Mit der zunehmenden Skalierung der Branche und der Erschließung neuer Märkte werden diese Herausforderungen durch die Notwendigkeit verstärkt, große und komplexe Lieferketten in verschiedenen

Regionen und Standorten zu betreiben, von denen viele über begrenzte bestehende Infrastrukturen verfügen.

Einige dieser Probleme werden durch Investitionen in neue Logistikressourcen gelöst, von spezialisierten Transportausrüstungen bis hin zu neuen Lager- und Hafenanlagen. Um jedoch den raschen Anstieg des geforderten Umfangs im Rahmen der Netto-Null-Transition zu bewältigen, muss die Logistik im Bereich erneuerbare Energien auch innovativ sein. Wir sehen drei Hauptbereiche, in denen Technologie und Einfallsreichtum der Energiebranche helfen könnten, die benötigten Logistikfähigkeiten zu erlangen und gleichzeitig die Kosten im Griff zu behalten. Erstens werden Fortschritte bei Sichtbarkeit und Nachfrageprognose, ermöglicht durch digitale Technologien und intelligente Analysefähigkeiten, dem Sektor helfen, immer komplexere und verteilte Logistiknetzwerke zu planen und zu betreiben. Zweitens werden technologiegetriebene Ansätze zur Überwachung, Unterstützung und Wartung von erneuerbaren Energieanlagen dazu beitragen, die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu verbessern und langfristige Betriebskosten zu senken. Drittens werden neue Logistikmanagementprozesse und neue Technologien unerlässlich sein, da der Energiesektor bestrebt ist, die in seiner eigenen Lieferkette erzeugten Treibhausgasemissionen zu reduzieren - und letztendlich zu eliminieren

**TECHNOLOGIE UND ERFINDUNGSREICHTUM**

**3 Anwendungsbereiche für Innovationen zur Bewältigung der Herausforderungen in der Logistik erneuerbarer Energien**



## SICHTBARKEIT UND DIGITALISIERUNG IN DER LOGISTIK

Die reibungslose Abwicklung komplexer, dezentraler und oft globaler Lieferketten für erneuerbare Energien erfordert von Unternehmen das Management der Herstellung, Lagerung und Transport von Tausenden von wichtigen Komponenten. Um dies gut zu bewältigen, müssen sie den Status und den Standort dieser Artikel kennen.

Die volle Transparenz der Lieferkette von Anfang bis Ende hat mehrere Vorteile. Sie ermöglicht es Unternehmen, die Nutzung von Logistikressourcen, insbesondere spezialisierten Transportgeräten und anderen stark eingeschränkten Ressourcen, zu optimieren. Sie verbessert die Genauigkeit der vorhergesagten Ankunftszeiten, ein kritischer Punkt in komplexen Bauprojekten mit vielen Abhängigkeiten. Sie ermöglicht es Unternehmen, Verzögerungen und andere potenzielle Probleme früher zu erkennen, wenn noch mehr Zeit zur Intervention und Anpassung ihrer Pläne bleibt. Und sie hilft ihnen, die Betriebsabläufe in der Lieferkette zu optimieren - dies könnte bedeuten, die zuverlässigsten Routen und die am besten geeigneten Transportmittel für jede Sendung auszuwählen.

Die Grundlage der Transparenz in der Lieferkette ist die Digitalisierung. Genauere, rechtzeitige und detaillierte

Daten über den Standort von Artikeln und Ressourcen innerhalb der Lieferkette bilden die Grundlage für effektivere Entscheidungsfindung, verbesserte Leistung der Lieferkette und größere Effizienz.

Michael Peffermann, Leiter der Onshore-Abteilung für Bau und Logistik bei Siemens Gamesa, sagt, dass die Digitalisierung "eine Notwendigkeit ist, insbesondere im Onshore- und auch im Offshore-Bereich. Die Logistik benötigt dieses Know-how, um Volumina und Bewegungen zu verwalten. Aber nicht nur in der Logistik, auch in der Fertigung und im Design - digitale Lösungen müssen in allen Produktionslinien eingesetzt werden."

Die Technologien für die digitale Lieferkette haben sich in den letzten Jahren extrem schnell entwickelt. Das Internet der Dinge (IoT) hat es ermöglicht, fast alles auf der Erde zu verbinden. Die Hälfte der Weltbevölkerung kann bereits über Smartphones auf das Internet zugreifen, und IoT-Technologien haben die Konnektivität auch auf Milliarden von Objekten ausgedehnt. Neue drahtlose Kommunikationstechnologien machen IoT-Geräte billiger, energieeffizienter und zuverlässiger, selbst an den entlegensten Orten, und ebnen den Weg für vollständig vernetzte globale Lieferketten.<sup>36</sup>



### THE INTERNET OF THINGS

Das Internet der Dinge (IoT) hat das Potenzial, praktisch alles mit dem Internet zu verbinden und datengesteuerte Logistik zu beschleunigen. Alltägliche Objekte können jetzt Informationen senden, empfangen, verarbeiten und speichern und somit aktiv an selbststeuernden, ereignisgesteuerten Logistikprozessen teilnehmen. Das IoT verspricht weitreichende Vorteile für Logistikdienstleister und generiert handlungsrelevante Erkenntnisse, die Veränderungen und neue Lösungen vorantreiben.



<sup>35</sup> DHL Trend Radar, 5th Edition, 2020

<sup>36</sup> DHL Trend Radar, 5th Edition, 2020

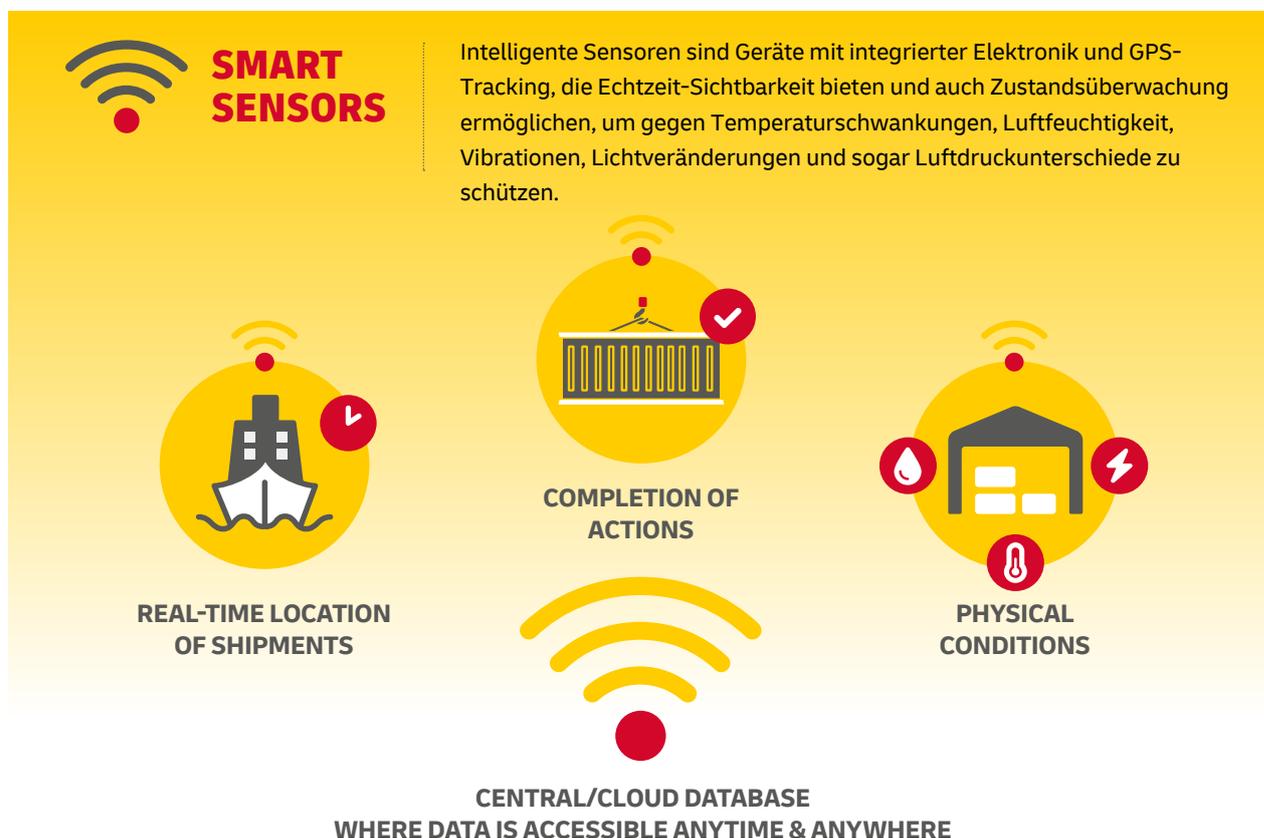
Die IoT-Technologie stellt die erforderliche Konnektivität für die Sichtbarkeit in der Lieferkette bereit, aber es sind intelligente Sensoren, die zunehmend die Daten liefern. Robuste, kostengünstige Sensoren können eine breite Palette kritischer Logistikinformationen speichern und übertragen, darunter den Echtzeit-Standort von Sendungen, die Durchführung von Aktionen (wie das Be- und Entladen) und die physischen Bedingungen während des Transports und der Lagerung (wie Stöße, Wassereintritt und extreme Temperaturen). Intelligente Sensoren spielen eine zentrale Rolle in den Logistikprozessen vieler Branchen heute.<sup>37</sup>

Bisher hat der Bereich erneuerbare Energien diese Technologien in seinen Lieferketten nur langsam übernommen. Für Unternehmen in der Branche könnte die Umsetzung von Ansätzen, die bereits in anderen Branchen ausgereift und weit verbreitet sind, wie die Verfolgung von Sendungen mit IoT-Sensoren, jedoch erhebliche Vorteile bringen. Um das volle Potenzial der Digitalisierung zu nutzen, werden jedoch digitale Ansätze benötigt, die auf die einzigartigen Anforderungen ihres

Sektors zugeschnitten sind. Dies kann weitere inkrementelle Innovationen in der Technologie erfordern, wie die Entwicklung und Bereitstellung von kostengünstigen Sensoren, die für die Zustandsüberwachungsanforderungen sensibler Wind- und Solarenergiekomponenten optimiert sind. Es wird auch erforderlich sein, dass die Akteure in der Lieferkette in die richtige Infrastruktur und die erforderlichen Fähigkeiten investieren, um digitale Informationen in der Lieferkette zu sammeln, zu analysieren und darauf zu reagieren.

Zum Beispiel wird es entscheidend sein, Daten von verschiedenen Hardware-Anbietern in eine einzige auf IoT basierende Plattform zu integrieren und nicht nur die Daten zu erfassen, sondern sie auch in handlungsfähige Erkenntnisse umzuwandeln. Darüber hinaus muss der globale Mangel an Halbleitern in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden. Die aktuellen und kommenden Jahre sind entscheidend für die Energiewende. Daher ist es wichtig, dass alle grundlegenden Voraussetzungen für die Ausweitung der Digitalisierung, wie ein ausreichender Bestand an Halbleitern, vorhanden sind.

*Es wird auch erfordern, dass Akteure in der Lieferkette in die richtige Infrastruktur und die Fähigkeiten investieren, um digitale Lieferketteninformationen zu sammeln, zu analysieren und darauf zu reagieren.*



<sup>37</sup> DHL Trend Radar, 5th Edition, 2020

## INNOVATION IM DIENSTLEISTUNGS- UND SUPPORTBEREICH

Für komplexe, hochwertige Geräte wie Windturbinen erstreckt sich der Bedarf an effektiven und effizienten Lieferketten weit über die Produktionsphase hinaus. Moderne erneuerbare Energieanlagen sind so konzipiert, dass sie autonom arbeiten können. Viele von ihnen sind in entlegenen Gebieten installiert, ohne tägliche menschliche Aufsicht. Um solche Anlagen über eine Servicelebensdauer von Jahrzehnten am Laufen zu halten, benötigen Betreiber intelligente und kosteneffiziente Ansätze zur Überwachung und Wartung von Vermögenswerten. Auch hier werden Digitalisierung und IoT-Technologien voraussichtlich wichtige Bestandteile der Lösung für diese Herausforderung sein, wobei vernetzte Sensoren die kontinuierliche, Online-Fernüberwachung von erneuerbaren Energieanlagen ermöglichen.

Die Behebung von Problemen an dieser Ausrüstung, wenn sie versagt, hängt ebenfalls von der rechtzeitigen Verfügbarkeit von Werkzeugen und Ersatzteilen ab, und dies wird schwieriger, wenn sich erneuerbare Netzwerke weltweit ausdehnen. Hier kann sich die Branche ein Beispiel an anderen Branchen wie der Luft- und Raumfahrt nehmen, die anspruchsvolle Analyseansätze verwenden, um Teile nach Kritikalität und Ausfallhäufigkeit zu kategorisieren. Dies hilft dabei, die optimale Größe und Zusammensetzung der Ersatzteillager zu bestimmen. Immer mehr Unternehmen suchen nach Möglichkeiten, all diese Aktivitäten weiter zu automatisieren und die Wartung und Unterstützung so weit wie möglich zu optimieren. Die Technologie des Digitalen Zwillinges bietet eine Möglichkeit, dies zu tun. Dieser Ansatz verbindet die digitale und die physische Welt und verwendet hochentwickelte Computermodelle von erneuerbaren Energieanlagen, die kontinuierlich mit Daten aktualisiert werden, die von ihren physischen Gegenständen gesammelt werden. Digitale Zwillinge geben den Betreibern zusätzliche Einblicke in den

Zustand ihrer Ausrüstung, was ihnen hilft, Probleme zu diagnostizieren. Sie ermöglichen sogar das Testen potenzieller Lösungen in einer virtuellen Umgebung, bevor sie in der realen Welt angewendet werden. Um die Unterstützung während des Betriebs zu optimieren, kann der digitale Zwilling eines Vermögens-werts sogar mit den Logistik- und Lieferketten-Systemen verbunden werden, die die Herstellung und Verteilung von Ersatzteilen verwalten. Wenn der digitale Zwilling ein Problem in einer Windturbine identifiziert, kann er automatisch eine Bestellung für die entsprechenden Ersatzteile aufgeben, damit diese an das Wartungsteam geliefert werden können, das die Reparatur durchführt.

In der Luft- und Raumfahrtbranche verstärken einige Unternehmen die Verbindung zwischen digitalen Zwillingen und physischen Produkten noch weiter, indem sie additive Fertigungstechnologien (3D-Druck) verwenden, um Service-Teile bedarfsgerecht direkt aus digitalen Modellen herzustellen, jederzeit und überall, ohne dass sie durch die Lieferkette transportiert werden müssen.

Digitale Zwillinge haben viele andere potenzielle Anwendungen in der Lieferkette für erneuerbare Energien. Sie können während der Herstellung und des Baus verwendet werden, um den Fortschritt zu verfolgen und einen hochdetaillierten "Lebensbericht" einer Installation, wie eines Windparks, zu erstellen. Die detaillierten Informationen zur Leistung und den Betriebsbedingungen einer Komponente, die in einem digitalen Zwilling gespeichert sind, können Entscheidungen über die Reparatur und die Remanufacturierung von Teilen für zukünftige Wiederverwendung informieren. Digitale Zwillinge von Lagern oder Hafengebieten können Unternehmen dabei helfen, ihre Logistikplanung und Erfüllungsprozesse zu verwalten und zu verbessern.



### DIGITALE ZWILLINGE

Als einzigartige, virtuelle Darstellungen potenzieller oder tatsächlicher physischer Objekte und Prozesse ermöglichen es digitale Zwillinge Unternehmen, ihre Vermögenswerte effektiver zu gestalten, zu visualisieren, zu überwachen, zu verwalten und zu warten. Diese simulierten Nachbildungen helfen dabei, neue servicebasierte Geschäftsmodelle zu entwickeln, die auf wertvollen Erkenntnissen aus Betriebsdaten basieren.



DIAGNOSE



REPAIR



3D SCANNING

Die **Drohentechnologie** ist ein weiterer Bereich mit dem Potenzial, Geschwindigkeit, Effizienz und Sicherheit in der gesamten Lieferkette für erneuerbare Energien zu verbessern. Drohnen waren bisher relativ teuer, aber ihr Einsatz könnte sich in gezielten Szenarien auszahlen. Ein Beispiel hierfür könnten Drohnen sein, die mit ausgeklügelten Steuerungsalgorithmen und geeigneten Sensoren Inspektionsarbeiten an Windturbinen und Solaranlagen durchführen. Dadurch wird der Bedarf an menschlichen Technikern in entlegenen und manchmal gefährlichen Orten reduziert. Es spart auch Zeit, da eine Drohne einen Turm innerhalb von 15 Minuten inspizieren kann.<sup>38</sup>

Drohnen können auch verwendet werden, um Werkzeuge und kleine Teile während Wartungsarbeiten an Techniker zu liefern. Dies kann ungeplante Wartungsaufgaben beschleunigen und die Betriebssicherheit verbessern, insbesondere in Offshore-Anlagen, wo die Alternative der Abstieg einer 100 m langen Leiter zur Erreichung des Versorgungsschiffes ist.<sup>39</sup>

Die vollständige Entwicklung der Drohnentechnologie für Anwendungen im Bereich erneuerbarer Energien erfordert die Weiterentwicklung der Inspektionstechnologie zusammen mit der Entwicklung von Betriebspraktiken, die die Sicherheit auf Produktionsstätten gewährleisten. In diesem Rahmen macht es auch Sinn, progressive Technologien zu kombinieren, von denen viele parallel entwickelt werden und sich oft überschneiden.

Gjert Anders Gjertsen, Product Owner Supply Chain Logistics bei Equinor, sagt, dass seine Organisation die Nutzung von Drohnenlieferung und 3D-Druck zur Verbesserung der Offshore-Service- und Supportoperationen erkundet. "Equinor prüft die Verwendung von Drohnen und 3D-Druck für Notlieferungen an Offshore-Installationen, aber wir sind noch in den Anfangsphasen", sagt er. "3D-Druck kann eine Lösung für Ersatzteile für alte Ausrüstung oder für den Fall sein, dass ein Lieferant die Produktion eingestellt hat. Er wird auch Expresslieferungen ermöglichen und die Lagerkosten verbessern."

**DROHNEN-TECHNOLOGIE**

Drohnen können für die Lieferung von Waren in der sogenannten ersten und letzten Meile eingesetzt werden, sowie für Intralogistik- und Überwachungsoperationen. Allerdings werden sie den traditionellen landgestützten Transport nicht ersetzen, sondern die Lieferung mit Punkt-zu-Punkt- und automatisierten Operationen ergänzen.

**15 MINUTEN**  
INSPEKTIONSZEIT EINES  
TURBINENTURMS

*3D-Druck kann eine Lösung für Ersatzteile für ältere Ausrüstung oder für den Fall sein, dass ein Lieferant die Produktion eingestellt hat. Es ermöglicht auch Expresslieferungen und verbessert die Lagerkosten.*

<sup>38</sup> How Drones Help Workers Inspect Wind Turbines, 2021, Bloomberg

<sup>39</sup> Siemens, Orsted partner on drone-based offshore turbine parts delivery, 2020, Smart Energy International

## NACHHALTIGE LOGISTIK

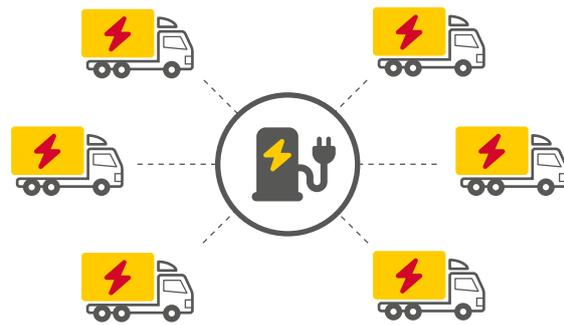
Logistik ist ein energieintensives Geschäft. Die gestiegene Nachfrage nach Logistikdienstleistungen zur Unterstützung der Entwicklung erneuerbarer Energien wird zwangsläufig zu einem verstärkten Fokus auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck dieser Dienstleistungen führen. "Nachhaltigkeit ist ein klares Ziel für uns. Je weniger wir transportieren müssen, desto besser - und Nachhaltigkeit ist ein wichtiger Treiber", sagt Michael Peffermann von Siemens Gamesa. "Wenn Schiffe beispielsweise viel Energie verbrauchen, ist dies nicht nur ein Kostentreiber. Auch CO<sub>2</sub>-Emissionen spielen eine Rolle und sind Teil der Gleichung. Daher geht es um Kosten, Nachhaltigkeit, Sicherheit und Durchführbarkeit. Kann Geschäft mit einem Schiff gemacht werden, das weniger verbraucht?"

Darüber hinaus wird Nachhaltigkeit in der gesamten Energiebranche, einschließlich der Öl- und Gasunternehmen, zu einer Priorität. Anbieter von Logistikdienstleistungen müssen nun den Umwelteinfluss ihrer Aktivitäten gegenüber ihren Kunden offenlegen und diesen Fußabdruck nach Möglichkeit reduzieren. "Heutzutage bemüht sich jeder darum, volle Transparenz über den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck seiner Lieferkette von Anfang bis Ende zu erhalten", sagt Florent Andrillon, Global Head of Climate & Sustainability bei Capgemini. "Der Zugang zu Daten wird entscheidend sein, um den nächsten Schritt in Richtung Transparenz zu erreichen."

Die gemeinsame Nutzung von Daten über den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Logistikaktivitäten ermöglicht es den Teilnehmern in der Lieferkette, gemeinsame Wege zur Reduzierung ihres Einflusses zu finden. Dies kann die Optimierung von Routenwahlen für den Straßentransport, die Maximierung der Nutzung von Logistikressourcen durch Änderungen in der Ladungsplanung und den Wechsel zu weniger kohlenstoffintensiven Transportmitteln umfassen.

Nachhaltigkeit in der Transport- und Logistikbranche beschränkt sich jedoch nicht nur darauf, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu reduzieren. In der gesamten Lieferkette sollte auch die Kreislaufwirtschaft in Betracht gezogen werden - angefangen bei Design und Art des Inputmaterials (z. B. Stahl hergestellt mit grünem Wasserstoff) und dem Transportprozess (z. B. mit grünen Brennstoffen) bis hin zur Entsorgung von Komponenten und ihrer Rückführung in das Recycling von Materialien. Das weitreichende Thema der Kreislaufwirtschaft und die Kreislaufwirtschaft erfordern mehr Aufmerksamkeit. Vielleicht möchten Sie diese Artikel von DHL "Delivering on Circularity"<sup>40</sup> und Capgemini Invent "Loops of Life" lesen.<sup>41</sup>

### LADEINFRASTRUKTUR



Zusammenarbeit wird ebenfalls erforderlich sein, wenn Unternehmen über die Optimierung bestehender Ansätze in der Logistik hinausgehen möchten. Ein Beispiel hierfür ist die Zusammenarbeit zwischen DHL und TotalEnergies in einigen Märkten, bei der DHL eine Flotte von elektrisch betriebenen Lastwagen betreibt und TotalEnergies die erforderliche Ladeinfrastruktur bereitstellt.

Laut Michael Peffermann von Siemens Gamesa bietet diese Art der Zusammenarbeit eine Vorlage für weitere Fortschritte. Er betont die Bedeutung von Gesprächen mit Logistikdienstleistern so früh wie möglich über die Gestaltung neuer Lieferketten und Geschäftsmodelle zu führen. "Zwei Arten der Zusammenarbeit sind für die Zukunft entscheidend", sagt er. "Die frühzeitige Einbindung der Logistik und verschiedene Arten der Einbindung, wie Vereinbarungen, Entwicklungswerkstätten, Umsetzung und gegenseitiger Wissensaustausch."

Einige Herausforderungen in Bezug auf Low-Carbon-Logistik sind noch nicht gelöst. Es gibt beispielsweise noch keine kommerziell verfügbaren Alternativen zu fossilen Brennstoffen für schwere Lastwagen, Langstreckenschiffe oder Lufttransporte. Alternative Brennstoffe wie grüner Wasserstoff könnten hier langfristig Lösungen bieten, erfordern jedoch auch eine neue Niedrigkohlenstoff-Verteilungsinfrastruktur und sind in Bezug auf den Preis noch nicht wettbewerbsfähig.

Während die Zusammenarbeit zwischen Logistikdienstleistern zur Unterstützung von Unternehmen im Energiesektor erhebliche Fortschritte auf dem Weg zur Netto-Null erzielen kann, erfordert die vollständige Reise eine Zusammenarbeit in größerem Maßstab, die technologische Innovation und eine gesellschaftsübergreifende Anstrengung zur Umsetzung neuer Ansätze in der Logistik und im Transportwesen involviert. Wie Florent Andrillon von Capgemini es ausdrückt: "Dreiviertel der Technologie, die erforderlich ist, um global Netto-Null zu erreichen, benötigt Unterstützung von Regierungen, Unternehmen und Bürgern, um wirtschaftliche Machbarkeit zu erreichen und so schnell wie möglich eine größere Skalierung zu erreichen."

<sup>40</sup> Delivering on Circularity, 2022, DHL

<sup>41</sup> Loops of Life, 2019, Capgemini Invent

## KAPITEL 5

# ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN



Ein netto-null Energie-System wird sich grundlegend von der heutigen fossil-basierten Herangehensweise unterscheiden. Der Energiebedarf wird voraussichtlich hoch bleiben, aber es wird einen tiefgreifenden Wandel hin zur Elektrifizierung geben. Die Stromerzeugung wird sich von Kohle, Öl und Gas hin zu erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Solar verlagern. Der steigende Bedarf und die niedrigeren Kapazitätsfaktoren von erneuerbaren Energien bedeuten, dass die installierte Windkraftkapazität bis 2030 um das Vierfache und die Solar-PV-Kapazität um das Siebenfache gegenüber 2020 steigen muss.

Die **Logistik** wird Teil des Übergangs zur Energieumstellung sein, aber sie **wird auch ein Mittel sein, um die Energierevolution voranzutreiben**. Dennoch bieten die heutigen Logistikansätze zu wenig Kapazität und erzeugen zu viele CO<sub>2</sub>-Emissionen, um den Bedarf der weltweiten Umstellung auf null Emissionen vollständig zu decken.

Der Wechsel von großen, zentralisierten fossilbetriebenen Kraftwerken zu dezentralen Netzwerken kleinerer, weit verbreiteter erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen wird zu einem dramatischen Anstieg des Volumens und der Vielfalt, der für jede Einheit an Erzeugungskapazität erforderlichen Logistikdienstleistungen führen. Der Druck auf die Logistik wird auch durch die Notwendigkeit verstärkt, die Einführung neuer erneuerbarer Kapazitäten in den kommenden Jahren zu beschleunigen.

Das bedeutet für Energieunternehmen, dass die Logistik wichtiger wird und einen viel größeren Anteil an ihren Gesamtkosten ausmachen wird. Und die Verfügbarkeitsbeschränkungen der Logistikkapazität werden zu einem entscheidenden Faktor bei der Durchführung neuer Energieprojekte. Der Energiesektor spürt bereits den Druck durch Engpässe bei der Logistikkapazität, bedingt durch den Mangel an spezialisierten Assets für den Transport großer Komponenten sowie an Frachtkapazität auf See und in der Luft infolge der COVID-19-Krise.

Die zukünftige Entwicklung erneuerbarer Energien wird auch völlig neue logistische Herausforderungen mit sich bringen. Die Größe der Komponenten von **Windturbinen** hat sich in den letzten dreißig Jahren um das Vierfache erhöht. Während vorhandene Transportmittel aufgerüstet wurden, um mit den heutigen größten Turbinen zurechtzukommen, existiert die Ausrüstung, die für zukünftige Generationen sehr großer Turbinen erforderlich ist, noch nicht.

Die rasche Expansion der **Offshore-Windkraft** stellt zusätzliche Herausforderungen sowohl im Bau als auch im Betrieb dar. Es gibt weltweit nur eine Handvoll Schiffe, die in der Lage sind, die größten Offshore-Turbinen zu installieren. Und die Entwicklung neuer Offshore-Windparks weiter draußen auf See erhöht erheblich die Kosten und die Komplexität der Wartung und der Logistik für Ersatzteile, mit längeren Transportzeiten und einem größeren Risiko für Unterbrechungen aufgrund schlechten Wetters und rauer Seebedingungen.

Die **Solarenergie** hingegen wird vor eine andere Reihe von Herausforderungen gestellt. Solarenergie wird voraussichtlich die größte und am weitesten verbreitete erneuerbare Energiequelle werden, mit der Entwicklung sowohl von großflächigen Solarparks als auch von kleineren dezentralen Installationen auf Dächern. Der Aufbau dieser Kapazitäten erfordert den Versand großer Mengen zerbrechlicher Fracht, oft an Orte mit begrenzter Straßeninfrastruktur. Und da die Panelherstellung derzeit hauptsächlich in Asien konzentriert ist, werden effiziente, zeitkritische Lösungen für die letzte Meile benötigt, die durch gut durchdachte globale Lieferketten und Vertriebsnetze unterstützt werden.

Darüber hinaus erstrecken sich die logistischen Herausforderungen der Energierevolution weit über die Installation und Unterstützung von erneuerbaren Energieerzeugungskapazitäten hinaus. Die Stromübertragungs- und -verteilungsnetze müssen aufgerüstet werden, um die neue dezentrale Energieinfrastruktur bewältigen zu können. Und neue Energietechnologien wie grüner Wasserstoff benötigen ihre eigenen dedizierten groß angelegten Speicher- und Transportsysteme.

Die hohe Transportintensität bei der Entwicklung erneuerbarer Energien bereitet dem Energiesektor bereits Probleme, da er an der Grenze der verfügbaren Frachtkapazität operiert. In einer Umgebung, die immer noch von COVID-bezogenen Herausforderungen beeinflusst ist, tragen steigende Transportkosten und Engpässe bei den Transportmitteln dazu bei, Verzögerungen bei Projekten zu verursachen.

## UNSERE EMPFEHLUNG

Die Bewältigung der logistischen Herausforderungen wird für den Erfolg des Übergangs zur CO<sub>2</sub>-Neutralität entscheidend sein. Energieunternehmen müssen von nun an die Logistik als von entscheidender

Bedeutung für die Geschäftsfähigkeit und Rentabilität betrachten. Hier sind fünf Schlüsselbereiche, auf die sich jede Organisation, die an der Energiewende beteiligt ist, konzentrieren sollte:



### 1. Zusammenarbeit ist entscheidend

Robuste und widerstandsfähige Logistiksysteme für erneuerbare Energien erfordern eine intelligente Koordination zwischen verschiedenen Interessengruppen, einschließlich Energieunternehmen, Herstellern von Ausrüstungen und Logistikdienstleistern. Um die besten Lösungen zu liefern, sollten diese kooperativen Beziehungen frühzeitig beginnen. Die Einbeziehung von Logistikingenieuren während der anfänglichen Gestaltung zukünftiger Windturbinenmodelle wird beispielsweise entscheidend sein, um die mit ihrem Transport und ihrer Wartung verbundenen logistischen Anforderungen zu berücksichtigen. Designentscheidungen, die die Logistikkosten erheblich beeinflussen können, umfassen die Festlegung der maximalen Abmessungen von Hauptkomponenten, damit sie durch Tunnel und unter Brücken passen, und das Design von Modulen, die für den Transport in Containern geeignet sind.

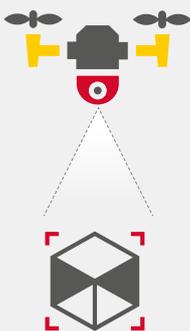


### 2. Durchgängig arbeiten

Die Logistik für die Entwicklung erneuerbarer Energien stellt Unternehmen vor eine Reihe von diskreten - und schwierigen - Problemen. Die Aufarbeitung dieser Probleme nacheinander führt jedoch zu suboptimalen Lösungen. Stattdessen sollten Unternehmen eine durchgängige Perspektive auf ihre Logistiksysteme einnehmen, insbesondere wenn sie ihren Eintritt in neue Technologiebereiche, neue Märkte und neue Regionen planen. Eine solche Denkweise sollte den gesamten Lebenszyklus der Energieinfrastruktur berücksichtigen, einschließlich der logistischen Anforderungen für Service und Wartung bis hin zur Handhabung von Altanlagen.

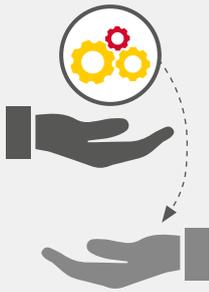
Der beste Weg, eine solche Perspektive sicherzustellen, besteht darin, eine Organisation für die zentrale Koordination der Supply-Chain- und Logistikaktivitäten verantwortlich zu machen und die Übergabepunkte zwischen Auftragnehmern zu begrenzen. Die verantwortliche Organisation muss einen äußerst proaktiven Ansatz verfolgen, da lange Vorlaufzeiten erforderlich sind, um in neuen Märkten Supply Chains aufzubauen, und die Notwendigkeit besteht, Lizenzen und Zugang zu Häfen, Werften und anderer logistischer Infrastruktur zu sichern.

Das Denken in einer durchgängigen Weise wird Unternehmen auch dabei helfen, den Fall für die Regionalisierung der Produktion zu bewerten, was eine schnellere, flexiblere und kostengünstigere Supply-Chain ermöglichen kann.



### 3. Fokus auf Sichtbarkeit und Digitalisierung

Leistungsstarke Lieferketten können sich keine blinden Flecken leisten. Energieunternehmen müssen in intelligente digitale Plattformen, Funktionen und Tools investieren, die ihnen helfen, die Logistik zu verwalten und die Lieferkette zu optimieren. Vollständige Transparenz in der Lieferkette ist ein entscheidender Faktor für viele der Ansätze, die die größten Auswirkungen auf die End-to-End-Kosten haben können. In der Service- und Wartungslogistik beispielsweise ermöglicht sie es Unternehmen, unkritische und selten genutzte Artikel von den vorderen Standorten weg zu verlagern und im vorgelagerten Netzwerk zu halten. Dies kann zu deutlich niedrigeren Lagerhaltungskosten führen, da dieselben Teile für mehrere Wind- oder Solaranlagen bereitstehen können.



#### 4. Identifizierung übertragbarer Fähigkeiten aus angrenzenden Branchen

Bei so viel Arbeit und so wenig Zeit kann es sich der Energiesektor nicht leisten, Zeit damit zu verbringen, Lösungen für Probleme zu finden, die bereits anderswo gelöst wurden. Stattdessen sollte die Branche bereit sein, erfolgreiche bestehende Ansätze aufzuspüren, zu kopieren und anzupassen, wo immer sie zu finden sind.

Die Energieunternehmen tun dies bereits in gewissem Umfang, insbesondere beim Transfer von Offshore-Fähigkeiten und -Technologien von der Öl- und Gasindustrie auf die Windenergie, aber es gibt noch viel mehr Möglichkeiten.

Der Industrialisierungsansatz der Automobilindustrie bietet beispielsweise eine Vorlage für die Projektgestaltung und -ausführung. Anstatt jede Werksfertigung oder die Einführung eines neuen Modells als eigenständige Maßnahme zu behandeln, versuchen die Automobilunternehmen, wo immer sie können, zu standardisieren und Änderungen nur dort vorzunehmen, wo es einen klaren geschäftlichen Grund dafür gibt.



#### 5. Verfolgen Sie nachhaltige Logistiklösungen

Energieunternehmen haben sowohl die Möglichkeit als auch die Notwendigkeit, die Entwicklung nachhaltiger Logistiklösungen zu unterstützen. Dieser Übergang wird Zeit in Anspruch nehmen. Während die Logistikbranche für den Erfolg der Energiewende von entscheidender Bedeutung ist, ist die Branche auch darauf angewiesen, dass diese Wende ihre eigene Reise in Richtung Netto-Null antreibt.



Mittelfristig können Energieunternehmen mit Logistikern zusammenarbeiten, um frühe Anwendungsfälle für wichtige aufkommende Technologien zu entwickeln, von synthetischen Kraftstoffen bis zur elektrischen Luftfahrt. In unmittelbarer Zukunft können Logistikdienstleister jedoch der Energiebranche helfen, sowohl die Kosten als auch die Emissionen in der Lieferkette durch operationale Änderungen wie Routenoptimierung und verbesserte Nutzung von Transportmitteln zu reduzieren. Neue Serviceangebote wie gemanagte Transportlösungen können die Emissionen, die End-to-End-Sichtbarkeit und die Kostenkontrolle verbessern und Energieunternehmen gleichzeitig die Möglichkeit geben, ihre Lieferkettennetzwerke proaktiv zu verwalten.

Die Netto-Null-Transition wird grundlegende Veränderungen in der Art und Weise mit sich bringen, wie Energieversorgungsnetze entworfen, gebaut, betrieben und gewartet werden. Wie dieser Bericht gezeigt hat, werden fortschrittliche Logistikfähigkeiten ein Schlüsselement dieser Veränderung sein und in einem bisher in der Energiewirtschaft nicht gesehenen Umfang benötigt werden. Aus diesem Grund müssen Energieunternehmen und ihre Logistikpartner bereits heute zusammenarbeiten, um innovative Lösungen für aufkommende logistische Herausforderungen zu entwickeln. Wir freuen uns darauf, mit Ihnen zusammenzuarbeiten, um die Energiewende zu ermöglichen.

## QUELLEN

### KAPITEL 1 SEITE 6

- Climate and weather-related disasters surge five-fold over 50 years, but early warnings save lives – WMO report, 2021, United Nations (<https://news.un.org/en/story/2021/09/1098662>)
- Only 11 Years Left to Prevent Irreversible Damage from Climate Change, Speakers Warn during General Assembly High-Level Meeting, 2019, United Nations (<https://www.un.org/press/en/2019/ga12131.doc.htm>)
- Climate at a Glance: Global Time Series, 2022, NOAA National Centers for Environmental information (<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>)

### SEITE 7

- Paris Agreement, 2015, United Nations
- Carbon Neutrality – The Road to Net Zero, 2021, Statista (<https://www.statista.com/chart/26053/countries-with-laws-policy-documents-or-timed-pledges-for-carbon-neutrality/>)
- The European Green Deal, 2019, European Commission (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>)
- Fact sheet: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs and Securing U.S. Leadership on Clean Energy Technologies, 2021, The White House (<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-president-biden-sets-2030-greenhouse-gas-pollution-reduction-target-aimed-at-creating-good-paying-union-jobs-and-securing-u-s-leadership-on-clean-energy-technologies/>)
- Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emissions in 2020, IEA (<https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>)
- Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emissions in 2021 - Global emissions rebound sharply to highest ever level, 2022, IEA (<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>)
- Summary for Policymakers, 2018, IPCC (<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>)

### KAPITEL 2 SEITE 9

- ITF Transport Outlook 2019, 2019, International Transport Forum

### SEITE 11 - SEITE 16

- Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021, IEA
- World Energy Outlook 2020, 2020, IEA

- World Energy Transitions Outlook 1.5°C Pathway, 2021, IRENA
- Renewable Energy Statistics 2021, 2021, IRENA
- Fuels and Technologies – Electricity, 2022, IEA (<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>)
- Growth Opportunities in Distributed Energy, Forecast to 2030, 2020, Frost & Sullivan
- Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021, IEA

### KAPITEL 3 SEITE 19

- World Energy Market Observatory 2021, Capgemini (<https://wemo.capgemini.com/>)

### SEITE 20

- Industrialising floating offshore wind, 2022, Equinor
- Our green business transformation, 2021, Ørsted (<https://orsted.com/en/about-us/whitepapers/green-transformation-lessons-learned>)
- Aramco expands focus on emerging sectors at Future Investment Initiative, 2021, Aramco (<https://www.aramco.com/en/news-media/news/2021/aramco-expands-focus-on-emerging-sectors-at-future-investment-initiative>)

### SEITE 22

- How Big Oil is set to transform the offshore wind sector, 2021, Wood Mackenzie (<https://www.woodmac.com/news/opinion/how-big-oil-is-set-to-transform-the-offshore-wind-sector/>)
- Offshore Wind to Green Hydrogen, 2021, Celan Energy States Alliance (<https://www.cesa.org/wp-content/uploads/Offshore-Wind-to-Green-Hydrogen-Insights-from-Europe.pdf>)
- NorthH2, 2022 (<https://www.north2.eu/en/>)
- Lightsource BP, 2022 (<https://www.lightsourcebp.com/>)
- Lightsource BP and BP sign multi-year agreement for up to 5.4 GW of First Solar modules, 2021, Lightsource BP (<https://www.lightsourcebp.com/us/2021/11/lightsource-bp-and-bp-sign-multi-year-agreement-with-first-solar/>)
- Solar Power at TotalEnergies: <https://totalenergies.com/media/video/solar-power-at-totalenergies-key-facts-in-pictures>

### SEITE 23

- Global Offshore Wind Report, 2021, GWEC (<https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2021/>)

### SEITE 24

- Renewables 2021, IEA (<https://www.iea.org/reports/renewables-2021>)
- The world's most unlikely solar farms, 2020, BBC (<https://www.bbc.com/future/article/20200219-the-solar-farms-fighting-climate-change-in-alaska>)

**SEITE 25**

- Number of oil refineries in Germany from 2009 to 2020, 2021, Statista (<https://www.statista.com/statistics/926381/number-of-oil-refineries-germany/>)
- Bundesnetzagentur 2022: Kraftwerksliste ([https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html))

**SEITE 26**

- Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, 2018, Fraunhofer ISE ([https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018\\_Fraunhofer-ISE\\_LCOE\\_Renewable\\_Energy\\_Technologies.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf))
- Status of Onshore Wind Energy Development in Germany, 2021, Deutsche Wind Guard ([https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/dokumente-englisch/statistics/Status\\_of\\_Onshore\\_Wind\\_Energy\\_Development\\_in\\_Germany\\_-\\_First\\_Half\\_of\\_2021-1.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/dokumente-englisch/statistics/Status_of_Onshore_Wind_Energy_Development_in_Germany_-_First_Half_of_2021-1.pdf))
- Maxeon 3, 2019, SunPower ([https://sunpower.maxeon.com/au/sites/default/files/2019-07/max3-400-390-370-au\\_0.pdf](https://sunpower.maxeon.com/au/sites/default/files/2019-07/max3-400-390-370-au_0.pdf))

**SEITE 27**

- DHL expects freight rates to stay high in 2022, 2022, Reuters (<https://www.reuters.com/business/dhl-expects-freight-rates-stay-high-2022-2022-01-20/>)
- Interim financial report, third quarter 2021, Vestas ([https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/investor/reports-and-presentations/financial/2021/211103\\_18\\_Company\\_Announcement.pdf](https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/investor/reports-and-presentations/financial/2021/211103_18_Company_Announcement.pdf))
- Most of 2022's solar PV projects risk delay or cancelation due to soaring material and shipping costs, 2021, Rystad Energy (<https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/>)

most-of-2022s-solar-PV-projects-risk-delay-or-cancelation-due-to-soaring-material-and-shipping-costs/) Future of Wind – A Global Transformation Paper, 2019, IRENA ([https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/oct/irena\\_future\\_of\\_wind\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/oct/irena_future_of_wind_2019.pdf))

**KAPITEL 4 SEITE 33**

- DHL Trend Radar, 5th Edition, 2020 (<https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/insights/logistics-trend-radar.html>)

**SEITE 36**

- How Drones Help Workers Inspect Wind Turbines, 2021, Bloomberg (<https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-07-28/how-wind-turbine-blades-are-inspected-by-drones>)
- Siemens, Orsted partner on drone-based offshore turbine parts delivery, 2020, Smart Energy International (<https://www.smart-energy.com/industry-sectors/new-technology/siemens-orsted-partner-on-drone-based-offshore-turbine-parts-delivery-esvagt/>)

**SEITE 37**

- Delivering on Circularity, 2022, DHL (<https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/white-papers/delivering-on-circularity.html>)
- Loops of Life, 2019, Capgemini Invent ([https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/12/Circular-Economy\\_POV-2.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/12/Circular-Economy_POV-2.pdf))

**VERZEICHNIS DER AKRONYME**

**CCUS** .....Carbon capture, utilization, and storage  
**DAC** .....Direct air capture  
**EV** .....Electric vehicle  
**GW** .....Gigawatt  
**GWEC** .....Global Wind Energy Council  
**IEA** .....International Energy Agency  
**IECs** .....International energy companies  
**IoT** .....Internet of Things  
**IRENA** .....International Renewable Energy Agency

**LOHC** .....Liquid organic hydrogen carriers  
**MW** .....Megawatt  
**NOCs** .....National oil companies  
**NZE** .....IEA Net Zero Emissions by 2050 Scenario  
**OoG** .....Out of gauge  
**PV** .....Photovoltaic  
**RD** .....Rotor diameter  
**SDS** .....IEA Sustainable Development Scenario  
**TWh** .....Terawatt-hour

## WEITERE INFORMATIONEN



### Michael Wiedemann

President Energy Sector and Head of CSI EMEA  
DHL Customer Solutions and Innovation  
e-mail: michael.wiedemann@dhl.com



### Gert Van Dijck

Business Development Renewable Energy  
DHL Customer Solutions and Innovation  
e-mail: gert.van.dijck@dhl.com



### André Hartig

Senior Analyst, Global Sector Development Energy  
DHL Customer Solutions and Innovation  
e-mail: andre.hartig@dhl.com



### Bastian Thöle

Vice President, Enterprise Model & Strategy  
Capgemini Invent  
e-mail: bastian.thoele@capgemini.com



### Jonathan Kahe

Senior Manager, Supply Chain Transformation  
Capgemini Invent  
e-mail: jonathan.kahe@capgemini.com

---

#### HERAUSGEBER

DHL Customer Solutions & Innovation  
Represented by Katja Busch

#### PROJEKTLEITUNG UND REDAKTION

André Hartig, Allinson Ziolkowski  
DHL Customer Solutions & Innovation

#### AUTOREN

Clemens Pudewill	Dr. Kristina von Gehlen
Levin Dumm	Gert van Dijck
André Hartig	Jonathan Ward

#### BESONDEREN DANK AN

Wir möchten uns bei allen Kunden, Industriepartnern und Experten für ihre wertvollen Beiträge zu diesem Projekt bedanken.

Mathieu Soulas, TotalEnergies; Michael Peffermann, Siemens Gamesa; Stefan Bernotat, Siemens Gamesa; Gjert Anders Gjertsen, Equinor; Bart Verbeke, First Solar; Rafael Salmeron Venegas, Eiffage Energía; Chris Garwood, BP; Florent Andrillon, Capgemini Invent; Guido Wendt, Capgemini Invent; Stefan Brühl, Capgemini Invent; Jacob Jensen, DHL

## WEITERE INFORMATIONEN

### IN ZUSAMMENARBEIT MIT



### ÜBER DIE DP DHL GROUP

Deutsche Post DHL Group ist das weltweit führende Logistikunternehmen. Der Konzern verbindet Menschen und Märkte und ist ein Motor des globalen Handels. Er hat den Anspruch, weltweit die erste Wahl für Kunden, Mitarbeiter und Investoren zu sein. Zu diesem Zweck konzentriert sich Deutsche Post DHL Group auf das Wachstum in seinen profitablen logistischen Kerngeschäften und beschleunigt die digitale Transformation in allen Unternehmensbereichen. Der Konzern leistet seinen Beitrag für die Welt durch nachhaltiges Wirtschaften, gesellschaftliches Engagement und Umweltaktivitäten. Bis zum Jahr 2050 strebt Deutsche Post DHL Group eine emissionsfreie Logistik an. Der Konzern ist mit zwei starken Marken vertreten: DHL bietet ein umfassendes Angebot an Paket- und internationalen Expressdiensten, Frachttransport und Supply Chain Management sowie E-Commerce-Logistiklösungen. Die Deutsche Post ist der führende Post- und Paketdienstleister in Europa.

### ÜBER DHL ENERGY

Als weltweit führender Anbieter von integrierter Energielogistik hilft DHL schon heute, die Energieprobleme von morgen zu lösen. Wir wissen, wie wichtig es ist, die Produktivität zu steigern, Kosten zu senken und sich an den sich verändernden Energiemix anzupassen. Wir kennen sowohl das große Ganze als auch die spezifischen Marktbedürfnisse und sind global und lokal in über 220 Ländern und Territorien vertreten, darunter auch in den rauesten und abgelegensten Regionen der Welt.

Gemeinsam mit anderen Visionären leisten wir Pionierarbeit bei der Entwicklung sicherer, konformer und zuverlässiger Lieferkettenlösungen - von dringenden Lieferungen bis hin zu übergroßen Transporten, Projektlogistik, Lagerhaltung und mehr. Wir versprechen Ihnen eine echte Partnerschaft, die Ihre Anpassung an ein sich ständig veränderndes Umfeld unterstützt. Und wir verpflichten uns, mit Ihnen zusammenzuarbeiten, um unsere Welt für eine nachhaltige Zukunft zu sichern.

### ÜBER CAPGEMINI INVENT

Capgemini Invent, die Marke für digitale Innovation, Design und Transformation der Capgemini-Gruppe, ermöglicht es die Zukunft ihres Unternehmens zu planen und zu gestalten.

In mehr als 36 Büros und 37 Kreativstudios auf der ganzen Welt arbeitet ein mehr als 10.000 Mann starkes Team aus Strategen, Datenwissenschaftlern, Produkt- und Erlebnisdesignern, Markenexperten und Technologen an der Entwicklung neuer digitaler Dienstleistungen, Produkte, Erfahrungen und Geschäftsmodelle für nachhaltiges Wachstum.

Capgemini Invent ist ein integraler Bestandteil von Capgemini, einem weltweit führenden Anbieter von Partnerschaften mit Unternehmen, die ihr Geschäft durch die Nutzung von Technologie transformieren und steuern wollen. Die Gruppe lässt sich täglich von ihrem Ziel leiten, die menschliche Energie durch Technologie für eine integrative und nachhaltige Zukunft freizusetzen. Sie ist ein verantwortungsbewusstes und vielfältiges Unternehmen mit über 325.000 Mitarbeitern in mehr als 50 Ländern.

Capgemini blickt auf eine 55-jährige Geschichte zurück und verfügt über ein umfassendes Branchen-Know-how. Seine Kunden vertrauen darauf, dass Capgemini die gesamte Bandbreite ihrer geschäftlichen Anforderungen abdeckt, von der Strategie über das Design bis hin zum Betrieb, angetrieben durch die sich schnell entwickelnde und innovative Welt von Cloud, Daten, KI, Konnektivität, Software, Digital Engineering und Plattformen. Die Gruppe verzeichnete 2021 einen weltweiten Umsatz von 18 Mrd. €.

### RECHTLICHER HINWEIS

Das Unternehmen übernimmt keine Haftung oder Garantie für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der in dieser Publikation bereitgestellten Informationen.

Gleiches gilt auch für alle anderen Quellen, auf die in dieser Publikation durch Hyperlinks oder auf andere Weise verwiesen wird. Die Deutsche Post AG ist für den Inhalt der Webseiten, die aufgrund einer solchen Verbindung erreicht werden, sowie für den Inhalt der Webseiten, auf die verwiesen wird (z.B. in Fußnoten), nicht verantwortlich. Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen stellen weder ein Angebot zum Kauf von Aktien der Deutsche Post AG oder eines anderen Unternehmens dar, noch sind sie eine Aufforderung zum Kauf oder zum sonstigen direkten oder indirekten Handel mit Aktien. Des Weiteren behält sich die Deutsche Post AG das Recht vor, Änderungen oder Ergänzungen der bereitgestellten Informationen vorzunehmen.

Inhalt und Struktur dieser Publikation sind urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung von Informationen oder Daten, insbesondere die Verwendung von Texten, Textteilen oder Bildmaterial, bedarf der vorherigen Zustimmung der Deutschen Post AG.



DHL Research and Innovation GmbH  
Kurt-Schumacher-Str. 12-14  
53113 Bonn  
**dhl.com**  
**[dhl.com/global-en/home/industry-sectors/energy.html](https://dhl.com/global-en/home/industry-sectors/energy.html)**