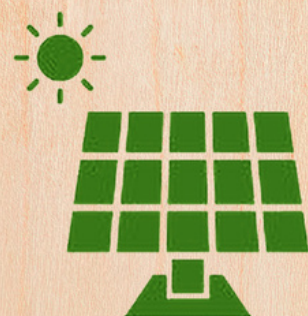


# Dekarbonisierung in der Industrie

## Leitfaden für Entscheider in Unternehmen

NET  
ZERO



Hochschule Karlsruhe  
University of  
Applied Sciences

+IKA

IREES  
research for future.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Impressum

Herausgeber

IREES GmbH  
Durlacher Allee 77  
76131 Karlsruhe  
<https://irees.de>

Hochschule Karlsruhe (HKA)  
Moltkestr. 30  
76133 Karlsruhe  
[www.h-ka.de](http://www.h-ka.de)

Autoren

Dr. Jan Steinbach, IREES GmbH  
Kai Bergmann, IREES GmbH  
Eftim Popovski, IREES GmbH  
Prof. Dr.-Ing. Marco Braun, HKA  
Dr. Markus Bohlayer, HKA  
Markus Fleschutz, HKA

Veröffentlicht

Juli 2022

Dieser Leitfaden ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Forschungsprojektes WIN4climate, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative zwischen 1. Februar 2019 und 30. April 2022 gefördert wurde.

## WIN<sub>4</sub>climate

Wärmewende in der Industrie

<https://win4climate.de/>

# Inhalt

Einleitung und Kernbotschaften

2

Konzeption, Planung und Bilanzierung

6

Bausteine der Dekarbonisierung

11

Unterstützung bei der Umsetzung

24

Erkenntnisse aus Fallstudien

29

# Vorwort

Die Energiewende in Deutschland kann nur unter Einbeziehung der industriellen Strukturen gelingen. Für die Wärmewende in der Industrie ist dabei nicht nur die Reduktion des Energiebedarfs durch Effizienzmaßnahmen und Prozessumstellungen notwendig, sondern ebenso die Umstellung auf eine klimaneutrale und der Sektorkopplung dienliche Wärmeversorgung erforderlich. Industrieunternehmen stehen damit vor enormen Herausforderungen mit Bezug auf die erforderliche Geschwindigkeit zur vollständigen Reduktion der Treibhausgasemissionen bei gleichzeitig zunehmender Komplexität und Unsicherheiten mit Bezug auf die Energiemärkte. Ebenso bieten sich auch Chancen, mit intelligenten Konzepten und rechtzeitigen Planungen die Zukunftsfähigkeit des eigenen Unternehmens zu sichern und bestehende ökonomische Risiken der Nutzung fossiler Brennstoffe zu minimieren. So können thermische Systeme in der Industrie einen wichtigen Beitrag zur Integration der Erneuerbaren Energien leisten. Beispielsweise können Industrieunternehmen durch die Flexibilisierung der Wärmeerzeugung gleichzeitig Kosten senken und systemdienlich wirken. Die Energieeffizienz bei der Wärmeversorgung ist nach wie vor ein sehr wichtiger Stellhebel zur Reduktion der THG-Emissionen. Die Elektrifizierung des industriellen Wärmebedarfs und der Ausbau eigener erneuerbarer Stromerzeugung stellen ein Schlüsselement der Wärmewende dar, mit dem der Wärmesektor an den Stromsektor gekoppelt wird. Damit ist der Einsatz und die stetige Weiterentwicklung von Wärmepumpen und Wärmespeichern ein Schlüssel für die industrielle Wärmewende. „Brücken“-Technologien, die kein Potential zur klimaneutralen Wärmeerzeugung haben, stellen hingegen „Stranded-Assets“ und Energieversorgungsrisiken dar und sollten in Investitionsstrategien konsequent vermieden werden.

**Prof. Dr.-Ing. Marco Braun**  
**Professor der Hochschule Karlsruhe**

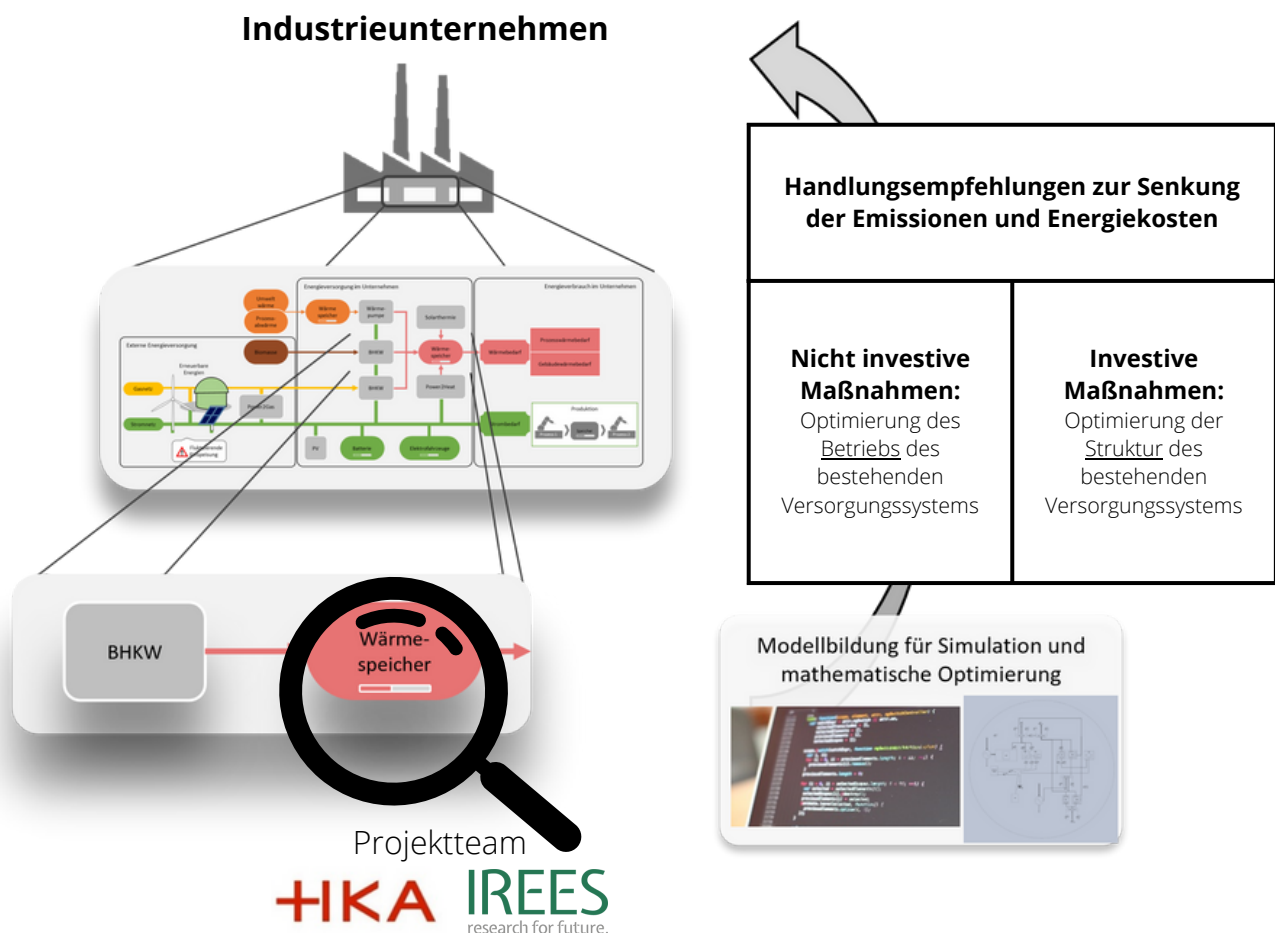
**Dr. Jan Steinbach**  
**Geschäftsführer der IREES GmbH**



# Das WIN4climate Projekt

Im Rahmen des Projektes WIN4climate - Wärmewende in der Industrie - sind Verfahren und Lösungen für eine systemdienliche Wärmewende in einem realen Unternehmensumfeld entwickelt worden. Dazu ist in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteuren der Energiewirtschaft, exemplarisch die Energieversorgung von zehn verschiedenen Industriekomplexen systematisch untersucht worden. Für die Entwicklung der Umsetzungsstrategien sind im Rahmen des Projektes entwickelte Simulations-, Optimierungs- und Analysetools eingesetzt worden. Jedes der zehn Industrieunternehmen ist anhand eines digitalen Zwillings modelltechnisch erfasst worden und Struktur und Betrieb der Energiesysteme hinsichtlich Energiekosten und THG-Emissionen optimiert worden. Daraus sind spezifische investive und nicht-investive Handlungsempfehlungen für die einzelnen Unternehmen abgeleitet worden.

WIN4climate ist ein Projekt im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI), welches zwischen Februar 2019 und April 2022 gefördert worden ist. Die Inhalte dieses Leitfadens sind auf Grundlage der untersuchten Fallstudien, der entwickelten Softwaretools sowie in enger Zusammenarbeit mit den Industrieunternehmen und den assoziierten Partnern aus der Energiewirtschaft, Planern und beratenden Ingenieuren entstanden.

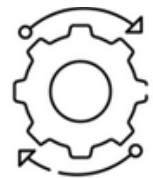


# Kernbotschaften



Die zentralen Bausteine der Dekarbonisierung in Unternehmen sind Energieeffizienz, Elektrifizierung der Energieversorgung, die Umstellung auf erneuerbare Wärmequellen, der Aufbau eigener Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bzw. Bezug von erneuerbarem Strom aus Power Purchase Agreements sowie die Bereitstellung stromseitiger Flexibilitätsoptionen.

Die Dekarbonisierung von Industrieunternehmen erfordert integrierte Ansätze, mit denen abgestimmte Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz, der eigenen Energieerzeugung und dem Energiebezug umgesetzt werden. Maßnahmen und Energiestrategien müssen unter Berücksichtigung der Entwicklung an den Energiemärkten erarbeitet werden, um Stranded Assets zu vermeiden und Chancen für zusätzliche Einnahmen zu nutzen.



Klassische ingenieurtechnische Bewertungsansätze reichen hier nicht aus, um die Komplexität und Abhängigkeiten abzubilden. In Bewertungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden daher in der Regel nur eine Auswahl an Technologien und Technologiekombinationen einbezogen. Notwendige Maßnahmen für eine vollständige Dekarbonisierung werden damit erst gar nicht in Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigt.

Modellbasierte Simulations- und Optimierungstools können Industrieunternehmen und beratende Ingenieure bei der optimalen Bestimmung von Erzeugungsstruktur, Dimensionierung und Betriebsstrategie dezentraler Energiesysteme unterstützen und damit zur Entwicklung betriebswirtschaftlich darstellbarer Dekarbonisierungs- und Klimaneutralitätsstrategien beitragen. Unsicherheiten an den Energiemärkten können durch den Einsatz stochastischer Methoden berücksichtigt werden.



# Kernbotschaften



Die Dekarbonisierung von Industrieunternehmen erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Ingenieurbüros und der Wissenschaft als Know-how Träger in Forschung und Umsetzung, Energieversorgern und Contractoren sowie Komponentenherstellern. In der Projektierungsphase sollten daher möglichst früh verschiedene Akteure einbezogen werden.

Die Dekarbonisierung der industriellen Wärmeerzeugung ist dabei eng mit einer Gesamtstrategie zur Erreichung der Klimaneutralität verbunden und der zentrale Baustein, um THG-Emissionen im eigenen Geltungsbereich der Unternehmen zu reduzieren. Maßnahmenumsetzung sollte sich an wissenschaftsbasierten Transformationspfaden für Industrieunternehmen orientieren, die mit dem Pariser Klimaschutzziel kompatibel sind. Branchenspezifische Ansatzpunkte dafür bietet beispielsweise die Science Based Targets Initiative.



# Konzeption und Planung von Dekarbonisierungsstrategien

Die Dekarbonisierung erfordert im ersten Schritt eine Bestandsaufnahme des Ist-Prozesses und der Festlegung von mittel- und langfristigen Emissionsreduktionszielen. Die Science-Based Targets Initiative ermöglicht Unternehmen wissenschaftlich fundierte Ziele zu definieren und akkreditieren zu lassen. Aus diesen übergeordneten Zielen können dann konkrete Maßnahmen zur Erreichung der Ziele abgeleitet werden. Die wichtigsten Schritte hierbei sind:



Die **Erfassung emissionsrelevanter Daten** ist erstmalig mit hohem Aufwand verbunden, da Energieverbrauchsdaten sowohl in hoher zeitlicher Auflösung als auch auf Ebene einzelner Aggregate relevant sind. Es wird empfohlen dazu eine automatisierte Erfassung im Energiemanagementsystem zu implementieren. Unvollständige Daten können jedoch auch zunächst durch branchenspezifische Kennwerte mittels Methoden und Tools zur Disaggregation ergänzt werden.



In den Handlungsfeldern Energieeffizienz, Energiewandlung am Standort und Abseits des Standorts und der Energiebeschaffung sollten mögliche **Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen identifiziert** werden.



Die **Marktrecherche** ist eng mit der Identifikation von Maßnahmen verknüpft, da sie die Identifikation von technologischen Lösungen am Markt für die Anforderungen des Unternehmens umfasst. Ebenfalls müssen zukünftige Marktentwicklungen für Technologien, Energieträger und Emissions-, bzw. Herkunftsnachweise prognostiziert werden, um die Maßnahmen ökonomisch bewerten zu können.



Für die **Bewertung der Maßnahmen** sollte ein integrierter Ansatz gewählt werden, der die Abhängigkeit, fluktuierende Verfügbarkeit von erneuerbare Energien und deren Auswirkungen auf die Energiepreise berücksichtigt. Ebenfalls sollten Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen und zukünftige Marktentwicklungen simuliert werden.



# Konzeption und Planung von Dekarbonisierungsstrategien



Anhand der Emissionsziele, der verfügbaren Budgets und der techno-ökonomischen Zusammenhänge der Maßnahmen sollte dann eine Priorisierung erfolgen und daraus eine **Transformationsstrategie** abgeleitet werden.



In einem kontinuierlichen Management-Zyklus in Anlehnung an die ISO 50001 werden die Maßnahmen in einem Plan-Do-Check-Act-Zyklus überwacht. Die Planung wird kontinuierlich überwacht und in Abhängigkeit aktueller Marktentwicklungen adaptiert.

Insbesondere die Identifikation und Bewertung von Maßnahmen sowie die Ableitung eines Transformationspfades ist komplex und erfordert den Einsatz von modellbasierten Planungsverfahren. Unternehmer sollten hierbei das Experten-Know-How von Planungsdienstleistern in Anspruch nehmen und Software zur Planung und Überwachung des Transformationspfades einsetzen.

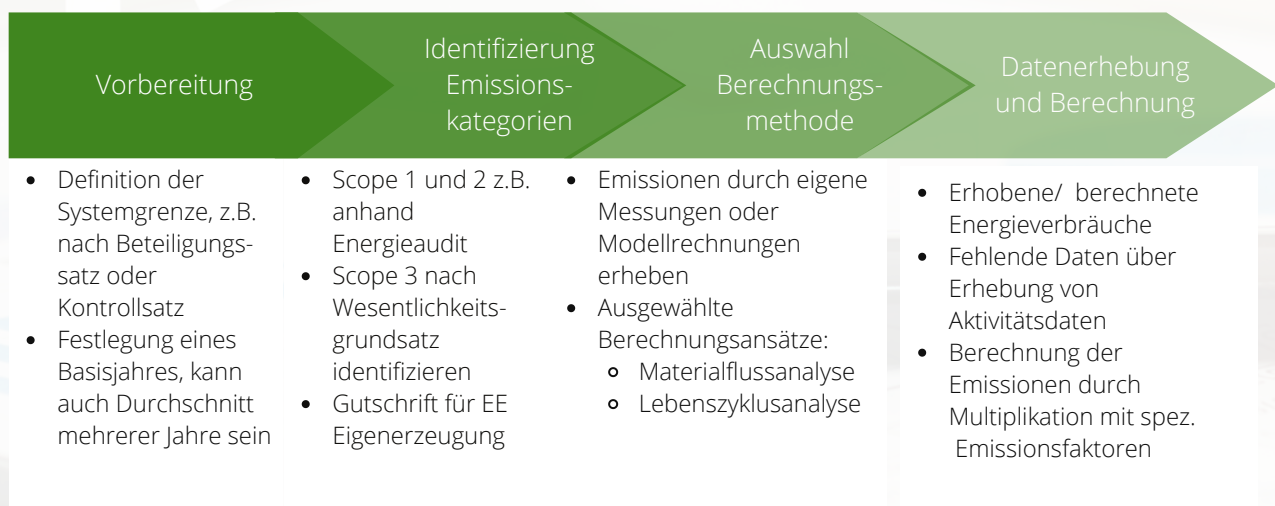
# Treibhausgasbilanzierung in Unternehmen

Durch die Produktion von Waren und Gütern oder das Anbieten von Dienstleistungen sind Unternehmen direkt oder indirekt für den Ausstoß von THG-Emissionen verantwortlich. Eine Aufstellung des *Carbon-Footprints* des Unternehmens stellt daher den ersten Schritt zur Identifikation geeigneter Reduktionspotentiale dar. Die Treibhausgasbilanzierung sollte dabei anhand des *Greenhouse Gas Protocol* (GHG) als weltweit anerkannter Standard zur quantitativen Erfassung von THG-Emissionen in Unternehmen vorgenommen werden.

Eine Treibhausgasbilanz unterliegt folgenden Berichtsprinzipien, um eine wahrheitsgemäße und faire Abbildung des Unternehmens zu gewährleisten:

- THG-Bilanz sollte alle relevanten Emissionen des Unternehmens widerspiegeln
- THG-Bilanz sollte der Entscheidungsfindung inner- und außerhalb des Unternehmens dienen
- Vollständige Erfassung der wesentlichen THG-Emissionen innerhalb der gewählten Systemgrenze
- Offenlegung und Begründung von Ausnahmen
- Bilanzierung unterliegt dem Wesentlichkeitsgrundsatz
- Verwendung einer konsistenten Berechnungsmethode zum Vergleich der erfassten Treibhausemissionen im Zeitverlauf
- Offenlegung von Änderungen in der Systemgrenze, Methodik und Datenerfassung
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit in der Berechnung und Veröffentlichung von getroffenen Annahmen
- Reduktion von Unsicherheiten, um Entscheidungen auf Basis der Bilanz treffen zu können.

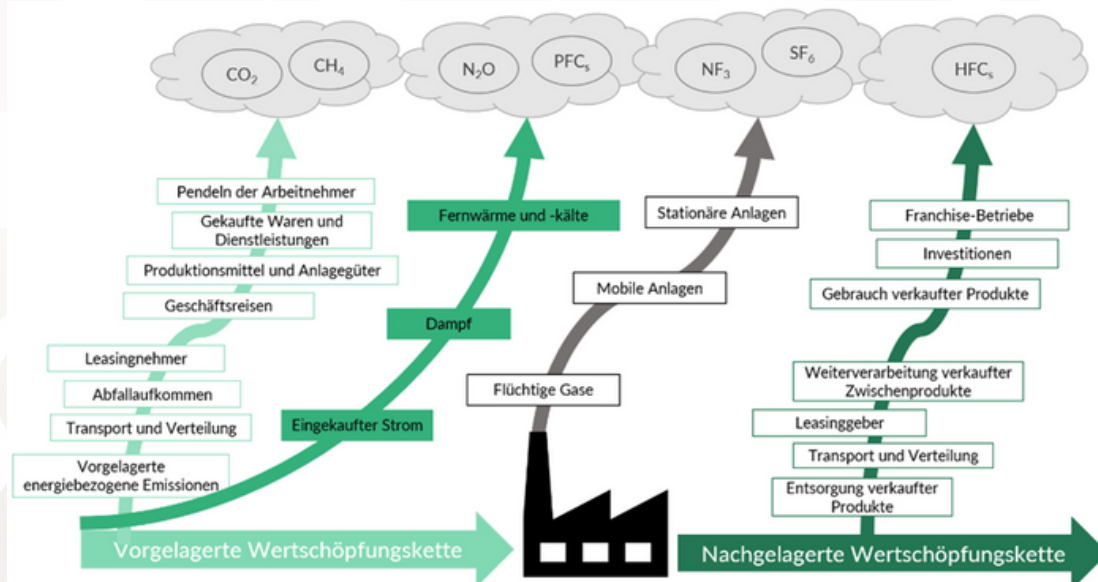
Vorgehen bei der Bilanzierung:



# Treibhausgasbilanzierung in Unternehmen

Zur Abgrenzung und zur Vermeidung einer doppelten Bilanzierung werden im GHG Protokoll THG-Emissionen in drei Kategorien, sogenannte Scopes, eingeteilt. Diese werden grundsätzlich in direkte und indirekte Emissionen unterschieden.

- Direkte Emissionen (Scope 1) umfassen Emissionen aus der Geschäftstätigkeit des Unternehmens, beispielsweise durch Prozesse oder dem unternehmenseigenen Fuhrpark.
- Indirekte Emissionen (Scope 2 und 3) sind dagegen Emissionen, die aus den Aktivitäten des eigenen Unternehmens entstehen, jedoch bei einem anderen Unternehmen verursacht werden. Folgende Abbildung zeigt anschaulich die Einteilung der Emissionen nach Scopes.



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf GHG-Protokoll (2013).

Zu Scope 2 Emissionen zählen der netzabhängige Bezug von Wärme, Kälte, Strom und Dampf. Anders als die Erfassung von Emissionen in den Scopes 1 und 2, ist die Erfassung der Scope 3 Emissionen nach dem GHG Protokoll optional. Scope 3 umfasst alle sonstigen indirekten THG-Emissionen, die aus vor- und nachgelagerten Unternehmenstätigkeiten resultieren. Darunter sind für die Produktion eingekaufte Waren, wie Metalle und Chemieprodukte, aber auch die Nutzung der vom Unternehmen produzierten Güter, wie bspw. Elektrogeräte sowie Geschäftsreisen der Mitarbeiter und das Abfallaufkommen des Unternehmens.

Die Dekarbonisierung der industriellen Wärmeversorgung umfasst Maßnahmen, die Scope 1 und Scope 2 zuzuordnen sind.



# Definition wissenschaftlich fundierter Ziele

Aufgrund des wachsenden Klimabewusstseins durch Investor:innen, Kund:innen und Mitarbeiter:innen, verpflichten sich immer mehr Unternehmen zu Emissionsreduktionszielen bis hin zur Klimaneutralität. Allerdings haben viele Unternehmen die Klimaneutralität bisher insbesondere durch Kompensation von THG-Emissionen und Umstellung auf Ökostrombezug erreicht. Diese Maßnahmen sind jedoch umstritten mit Bezug auf eine zusätzliche Emissionsminderungswirkung. Vielmehr sollten THG-Reduktionsmaßnahmen in der eigenen Wertschöpfungskette der zentrale Ansatzpunkt für Klimaneutralitätsstrategien darstellen.

Um ambitionierten Unternehmen eine Richtlinie zu bieten, wie sich wissenschaftlich fundierte Emissionsreduktionsziele umsetzen lassen, hat sich die *Science-based Targets Initiative (SBTi)* als Zusammenschluss zwischen dem Carbon Disclosure Project, dem Global Compact der Vereinten Nationen, dem World Resources Institute und dem World Wide Fund for Nature gebildet. Diese stellt Leitlinien und Tools zur Definition kurz- und langfristiger Emissionsreduktionsziele zur Verfügung, die mit dem Pariser Klimaabkommen konform sind. Kernanforderungen, um den Netto-Null Standard der SBTi zu erfüllen, sind:

- Die Unternehmen müssen schnelle und tiefe Emissionsreduktionen innerhalb ihrer Wertschöpfung realisieren. Es ist das übergeordnete Ziel der SBTi, klimawirksame Maßnahmen umzusetzen, die zu realen Emissionsreduktionen führen. Die SBTi berücksichtigt dabei die Emissionen der gesamten Wertschöpfungskette, also die Scopes 1-3.
- Unternehmen müssen zwei Ziele definieren: THG-Emissionen müssen bis 2030 halbiert und bis 2050 um mindestens 90 % reduziert werden. Verbleibende THG-Emissionen müssen dann über die Kohlenstoffentfernung vollständig neutralisiert werden.
- Unternehmen dürfen keine Klimaneutralität kommunizieren solange sie Ihre langfristigen Ziele nicht erreicht haben.
- Die Erreichung der Emissionsziele über den Kauf von Carbon Credits, also dem Kauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, die eine Investition in nachhaltige Klimaschutzprojekte auslösen, ist nicht zulässig.

Die SBTi stellt auf Ihrer Homepage verschiedene Unterlagen und Berechnungstools für die Definition wissenschaftlich fundierter Emissionsreduktionsziele zur Verfügung.

## Weiterführende Informationen:



[Science Based Targets](#)

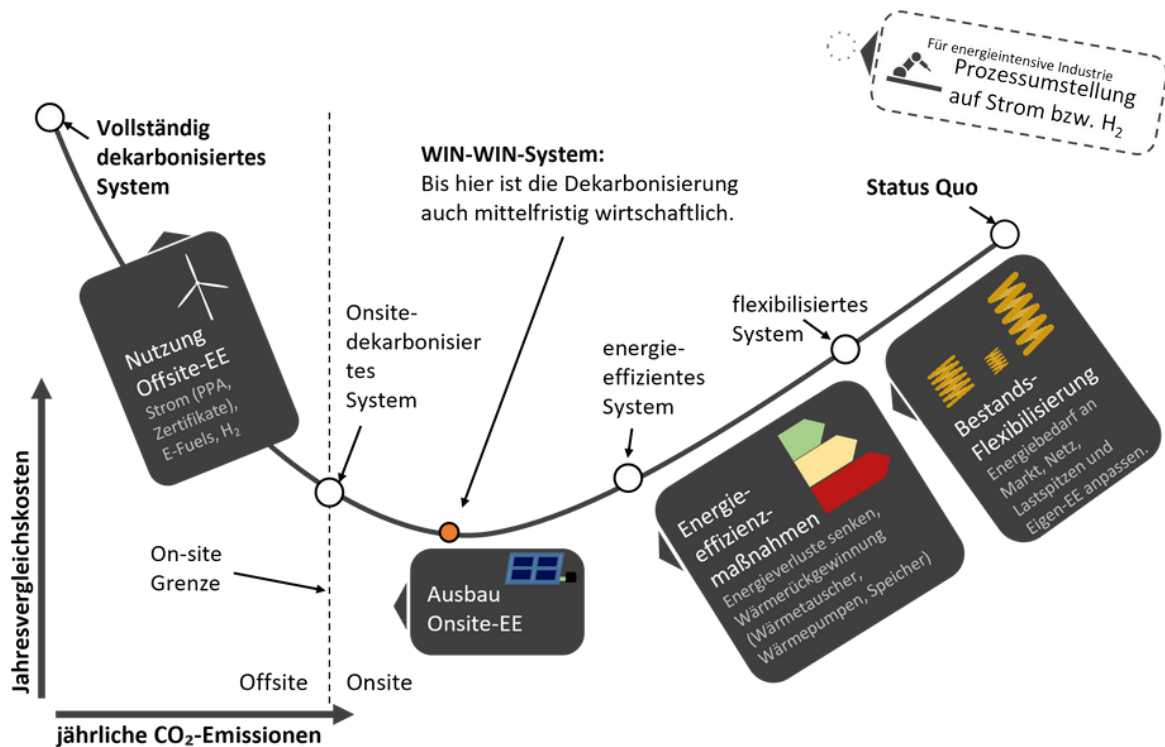


[Greenhouse Gas Protocol](#)



# Bausteine der Dekarbonisierung

Energieeffizienz, der Ausbau erneuerbaren Energien (EE) und die Sektorenkopplung sind die zentralen Bestandteile der Transformation zu einem klimaneutralen Energiesystem. Daraus lassen sich die Bausteine zur Klimaneutralität bzw. Dekarbonisierung der Energieversorgung auf Unternehmensebene ableiten.

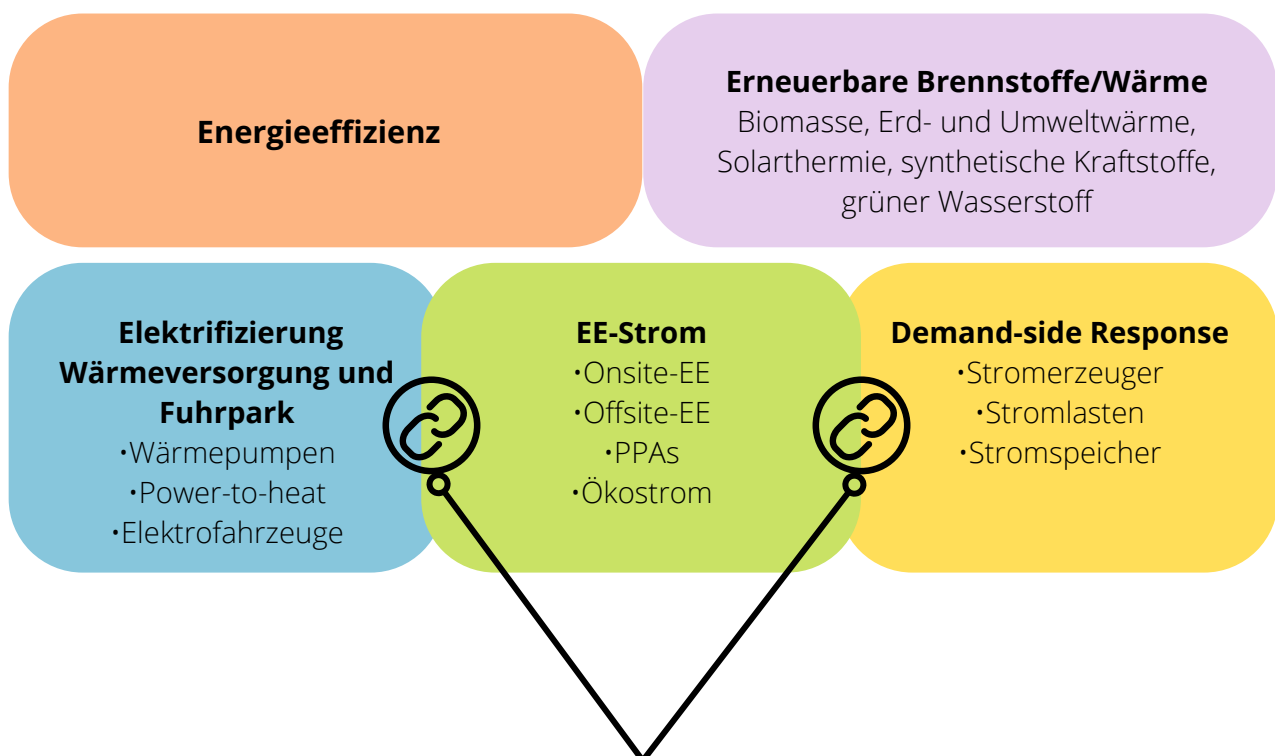


Die Umsetzung von **Energieeffizienzmaßnahmen** und die energetische Optimierung der Produktionsprozesse ist ein kontinuierlicher Prozess. Dieser sollte auch nach der vollständigen Dekarbonisierung der Energieversorgung nicht abgeschlossen sein, da auch erneuerbare Energien aufgrund von Flächenkonkurrenz eine begrenzte Ressource darstellen und möglichst effizient eingesetzt werden sollten. Das Heben von Effizienzpotentialen, insbesondere im Bereich der Querschnittstechnologien, sollte an erster Stelle vor dem Umbau der unternehmenseigenen Energieversorgung stehen. Für die Dekarbonisierung der Energieversorgung können EE direkt in Form von **erneuerbaren Brennstoffen und erneuerbaren Wärmequellen** genutzt werden, oder indirekt über Strom aus erneuerbaren Energien. Letzteres erfordert eine **Elektrifizierung** der Wärmeversorgung sowie die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien durch Eigenerzeugung oder Bezug von außen. Um zu vermeiden, dass die fluktuierende Einspeisung aus Wind- und Sonnenenergie die Stabilität des Stromsystems gefährdet, muss zusätzlich operative Flexibilität bereitgestellt werden. Flexibilität für das Stromsystem kann durch Netzausbau, Energiespeicher oder Lastflexibilisierung erreicht werden.

# Bausteine der Dekarbonisierung

Auf den Netzausbau hat ein Unternehmen keinen Einfluss, auf Batteriespeicher und Lastflexibilisierung jedoch sehr wohl. Die Aktivierung stromseitiger Flexibilität auf der Seite der Unternehmen fassen wir hier mit dem englischen Begriff **Demand-side Response** zusammen. Obwohl die Handlungsbereiche Flexibilisierung, EE-Strom und Elektrifizierung zusammengehören, können diese auf Unternehmensebene auch nacheinander umgesetzt werden.

Auf den folgenden Seiten werden diese fünf Bausteine und deren Zusammenhänge erläutert. Der Farbcode dient dabei der Orientierung und zieht sich durch den Leitfaden.

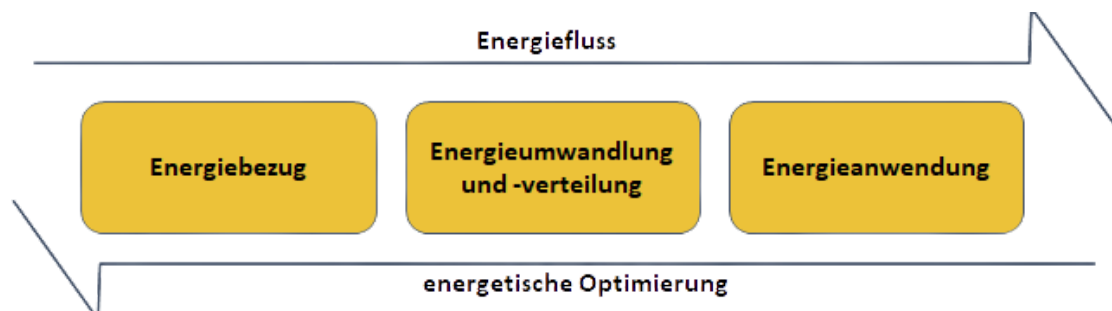


Elektrifizierung, EE-Strom und stromseitige Flexibilität verfügen über wechselseitige Synergien und gehören für die Dekarbonisierung zusammen

## Bausteine der Dekarbonisierung

# Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz, einhergehend mit einer Verbrauchsreduzierung, sollte an erster Stelle stehen, noch vor weiteren Maßnahmen zur Substitution fossiler Energieträger im Rahmen einer Dekarbonisierung. Bei gleichem Nutzen ist die beste Energie diejenige, die gar nicht erst benötigt wird. Daraus ergibt sich die logische Konsequenz der energetischen Optimierung entgegen des Energieflusses, also beginnend bei der Energieanwendung über die Energieumwandlung und -verteilung bis hin zum Energiebezug. Wird dieser Grundsatz nicht befolgt, führt dies auch zukünftig zu überdimensionierten Energiesystemen und somit zu unnötig hohen Investitionen im Rahmen der Dekarbonisierung von Unternehmen.



Typische Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz sind u.a.:

- Einsatz hocheffizienter elektrischer Antriebe und LED-Beleuchtung
- Reduzierung von Druckluftleckagen und Optimierung der Druckluftherzeugung
- Absenkung von Vor- und Rücklauftemperaturen mit Optimierung der Temperaturspreizung
- Umstellung der Dampferzeugung auf Pumpenwarmwasser, Anpassung des Dampfdrucks an die tatsächlichen Bedürfnisse oder Dezentralisierung der Dampferzeugung
- Maßnahmen zur Abwärmenutzung

Zu Energieeffizienzstrategien gehört auch das Infragestellen vorhandener und evolutionär im Unternehmen gewachsener Energieverteilungsstrukturen mit hohen Temperaturniveaus. So können in vielen Fällen vorhandene Dampfnetze mit Pumpenwarmwasser auf niedrigerem Temperaturniveau ersetzt werden und einzelne, verbliebene Dampfverbraucher dezentral elektrisch versorgt werden. Auch die vollständige Substitution von Dampfnetzen durch eine dezentrale, bedarfsgerechte und elektrische Dampfversorgung ermöglicht oft erst eine Dekarbonisierung.

## **Bausteine der Dekarbonisierung**

# **Elektrifizierung**

# **Wärmeversorgung**

Durch Elektrifizierung der industriellen Wärmeerzeugung kann EE-Strom genutzt werden. In Kombination mit Wärmespeichern wird zudem die Integration erneuerbarer Energien aus dem Stromsektor durch Bereitstellung von Flexibilität ermöglicht. Hierbei ist entscheidend, dass thermische Speicher deutlich günstiger sind als Stromspeicher. Durch die daraus mögliche Lastverlagerung wird dem Energiesystem Flexibilität geboten.

Neben verschiedenen spezifischen Prozesswärmeverfahren, kommen als Power-to-heat Technologien zur Erwärmung von Heißwasser- oder Dampfelektrodenheizkessel oder Wärmepumpen (WP) in Frage. Bei Wärmepumpen erfolgt nicht nur der Ersatz fossiler Brennstoffe durch Strom und damit einer indirekten Nutzung von EE, sondern ebenso eine direkte Nutzung erneuerbarer Energien in Form von Umwelt- und Erdwärme. Zudem können ungenutzte Abwärmepotentiale ausgeschöpft werden, indem diese auf eine nutzbare Temperatur angehoben werden. Außerdem lässt sich durch Sektorenkopplung Flexibilität vom thermischen in den elektrischen Bereich verschieben, womit durch fluktuierende erneuerbare Energien Stromerzeugung und Netzengpässe ausgeglichen werden können.

Ob eine WP bestehende konventionelle, auf Erdgas- oder Öl basierte Systeme wirtschaftlich ersetzen kann, hängt hauptsächlich von der angenommenen Preisentwicklung von Strom und Brennstoff, aber auch von der Leistungszahl der WP-Anwendung ab. Die Leistungszahl, auch als Coefficient of Performance (COP) bekannt, ist bei WP definiert als Quotient aus erzeugter Nutzwärme und eingesetzter elektrischer Energie und ist im Wesentlichen von den erforderlichen Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen, sprich den Ein- und Ausgangstemperaturen der WP abhängig. Bei einem Temperaturhub von 60K ist ein COP von 3 zu erwarten. Das bedeutet: Ausgehend von einer Quelltemperatur von 60°C lassen sich mit einer Kilowattstunde Strom drei Kilowattstunden Wärme auf 120°C bereitstellen. Die Gesamteffizienz kann signifikant verbessert werden, wenn mit der Wärmepumpe nicht nur Wärme-, sondern auch Kältebedarf gedeckt wird.

Bietet sich kein geeigneter Kältebedarf als Wärmequelle an, können andere Wärmequellen, wie etwa überschüssige Abwärme, Brunnenwasser, Geothermie, Außenluft oder Fernwärme, geprüft werden. Zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit werden Systeme oft redundant geplant.

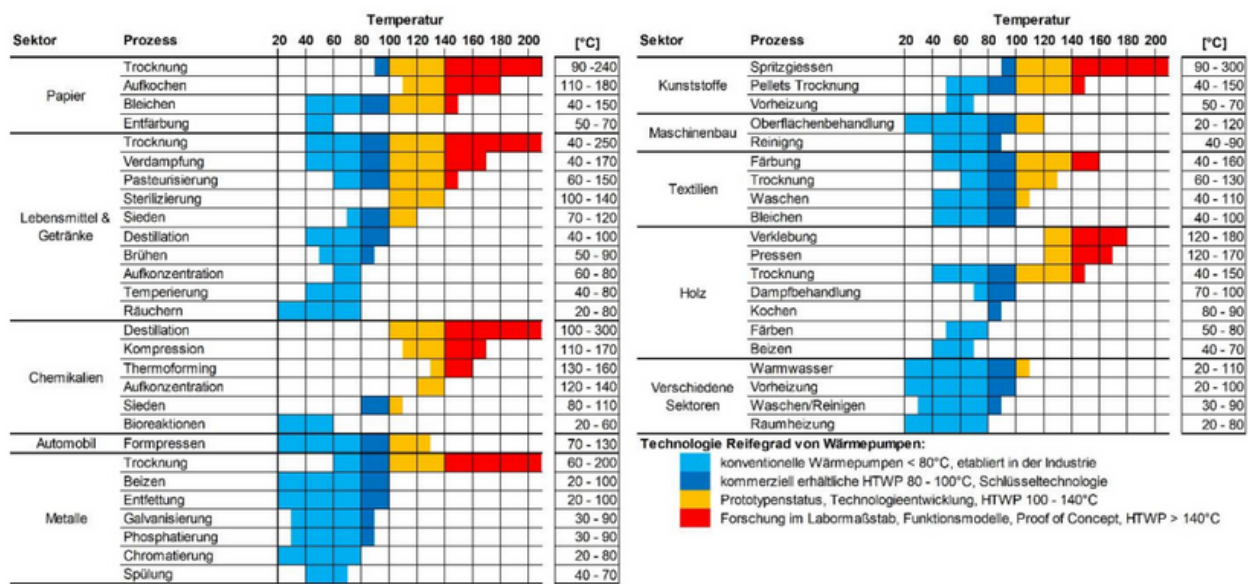


# Bausteine der Dekarbonisierung

## Hochtemperatur-Wärmepumpen

Niedertemperaturwärmepumpen, die Temperaturen bis zu 80°C bereitstellen, sind am Markt etabliert und werden insbesondere für die Raumwärme und Warmwasserbereitstellung eingesetzt. Für den industriellen Prozesswärmebereich, der über 60 % des industriellen Energiebedarfs in Deutschland ausmacht, reichen diese Temperaturen häufig nicht aus. Hier sind Hochtemperatur-Wärmepumpen (HTWP) erforderlich. Diese sind derzeit in der Industrie noch wenig verbreitet, doch zeigt sich eine hohe Dynamik in der technischen Entwicklung der Anlagen. Die untenstehende Tabelle bietet eine Übersicht über die Temperaturbereiche gängiger Industrieprozesse und die bereits bestehenden technischen Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen. Dabei geben die Farben Aufschluss über die Technologiereife zum Stand des Jahres 2019. Damals waren HTWP mit bis zu Temperaturen von 100°C am Markt verfügbar. Mittlerweile sind WP, die eine Nutztemperatur von bis zu 165°C erreichen, kommerziell verfügbar.

*Typische Temperaturniveaus industrieller Prozesse mit überlagertem Technologie-Reifegrad von Wärmepumpen*



Quelle: Cordin Arpagaus (2019).

### Weiterführende Informationen:



[Dena - Technologie-Fakten](#)  
[Klimaschutz in der Industrie:](#)  
[Hochtemperatur-Wärmepumpen](#)



[Arpagaus \(2019\). Hochtemperatur-Wärmepumpen für industrielle Anwendungen. Vierter internationaler Großwärmepumpenkongress](#)

# Bausteine der Dekarbonisierung

## Elektrifizierung

### Fuhrpark

Durch Elektrifizierung der Mobilität und Logistik können Scope 2 Emissionen in Unternehmen reduziert werden, die auf unternehmenseigene Fahrzeuge für Außendienst, Warentransport und Intralogistik entfallen. Bei Personen- und Lastkraftwagen sowie gasbetriebenen Flurförderfahrzeugen werden fossile Brennstoffe wie Diesel, Benzin oder Staplergas durch Strom ersetzt. Des Weiteren kann Ladeinfrastruktur für Mitarbeiter-Fahrzeuge und Besucher aufgebaut werden, durch die gegebenenfalls THG-Emissionsminderungen in Scope 3 bilanziert werden können und weitere Vorteile mit Bezug auf Lastflexibilisierung bringen.



- Elektrische Flurförderfahrzeuge mit Lithium-Ionen Batterien
- Umstellung auf Elektroautos im Außendienst



- Verlagerung Warentransport auf Schiene
- Umstellung auf Elektro-Transporter für kürzere Strecken
- Reduktion Leerfahrten und der Zugangs-/Abgangsfahrten zu Wohnort der Fahrer:innen -> Ausstattung der Fahrer mit E-Autos
- Perspektivisch Umstellung auf E-fuels, Oberleitungs-LKWS und Elektro-LKWs
- Ausbau Ladeinfrastruktur für Mitarbeiter:innen und Besucher:innen
- Smart-Charging
- Perspektivisch Batterien in Elektroautos als Stromspeicher und zusätzliche Flexibilitätsoptionen durch bi-direktionales Laden

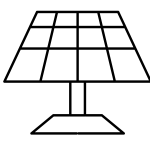
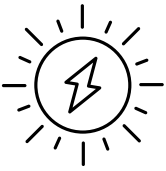


Der Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge kann innerhalb der Strombilanz des Unternehmens oder über externe Dienstleister erfolgen. Bei Eigenbetrieb der Ladeinfrastruktur sollte untersucht werden, welche Abrechnungsmodalitäten steuerlich möglich und betriebswirtschaftlich am günstigsten sind. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur sollte dabei von vornherein auf die Integration in das Energiesystem des Unternehmens ausgelegt sein und steuerbare Beladung (Smart-Charging) sowie Schnittstellen zum Energiemanagementsystem vorsehen. Mit der zunehmenden Möglichkeit zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen, dem gleichzeitigen Ausbau eigener erneuerbarer Stromerzeugung und der Elektrifizierung der Wärmerzeugung entstehen weitere ökonomische Vorteile. Fahrzeugbatterien stehen als zusätzliche Stromspeicher und damit Flexibilisierungskapazitäten zur Verfügung, die entsprechend vermarktet werden können.

## Bausteine der Dekarbonisierung Strom aus erneuerbaren Energien

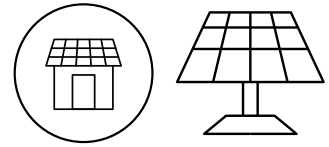
Es gibt verschiedene Möglichkeiten sicherzustellen, dass der verwendete Strom aus erneuerbaren Energien stammt. Diese Möglichkeiten sind hinsichtlich der erforderlichen Investitionen (CAPEX), den Betriebskosten (OPEX) sowie der zusätzlichen THG-Einsparwirkung zu bewerten. Die untenstehende Tabelle bewertet die verschiedenen Möglichkeiten zur Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien.

Der Ausbau eigener EE-Stromerzeugung sollte dabei im ersten Schritt geprüft werden. Diese kann entweder Onsite, auf dem eigenen Betriebsgelände, oder Offsite erfolgen. Zunächst sollten Flächenpotentiale für Onsite-EE genutzt werden bzw. deren Erschließung, beispielsweise bei einer Dachsanierung mit eingeplant werden. Mit dem Ausbau von Onsite-EE kann der erzeugte Strom auch direkt genutzt werden, was in der Regel, je nach Größe der Anlage und der eigenen Strombezugskosten, die rentabelste Option darstellt. Sind Investitionen in eigene Erzeugungskapazitäten nicht möglich, können verschiedene Möglichkeiten zur Beschaffung von EE-Strom eine Rolle spielen, beispielsweise über *Power Purchase Agreements* (PPA)

|                   | <br>Onsite<br>EE | <br>Offsite<br>EE | <br>Physische<br>PPA | <br>Virtuelle<br>PPA | <br>Öko-<br>strom |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAPEX             |                  |                   |                                                                                                         |                                                                                                           |                                                                                                        |
| OPEX              |                                                                                                     |                                                                                                      |                      |                      |                   |
| THG<br>Einsparung |                  |                   |                      |                      |                   |

## Bausteine der Dekarbonisierung

# Eigenerzeugung



Für den Ausbau eigener EE-Stromerzeugung kommt insbesondere der Einsatz von Photovoltaik (PV) auf vorhandenen Dachflächen und Fassaden von Bürogebäuden, Logistik- und Lagerhallen infrage. Auch vorhandene Parkplatzflächen können mit Überdachungen zur Verschattung von Fahrzeugen versehen werden. Dies begünstigt nicht nur die Reduktion des Energieeinsatzes für die Autoklimaanlage, sondern auch die Schaffung einer Ladeinfrastruktur für E-Mobilität. Brachliegende Flächen, die in den nächsten 20 Jahren nicht zur Bebauung vorgesehen sind oder bei denen eine weitere Bebauung nicht möglich ist, könnten mit PV-Freiflächenanlagen versehen werden.

PV-Anlagen sind meist einfach zu implementieren und erzeugen Strom, im Gegensatz zur flächenkonkurrierenden Solarthermie, der sehr flexibel nutzbar ist. Häufig ist bei vorhandenen Anlagen Potenzial zur Erweiterung vorhanden und sie benötigen fast keine Wartung. Als nachteilig ist die fluktuierende Erzeugung zu sehen sowie die kostenintensive Speicherbarkeit, sofern diese batterieelektrisch erfolgt.

Bei vorhandenen Dachflächen sollte stets eine Prüfung der Dachstatik erfolgen. Die Nachrüstung einer aufwendigen Unterkonstruktion kann eine PV-Anlage schnell unwirtschaftlich machen. Bei in Planung befindlichen Gebäuden sollten die Dachflächen von vornherein die zusätzlichen Lasten einer PV-Anlage berücksichtigen. Eine nicht optimale Ausrichtung von PV-Anlagen, z.B. durch Dachflächen mit Ost-/West-Ausrichtung oder an Fassaden, können abhängig vom Lastprofil auch vorteilhaft sein. Solarertragsspitzen zur Mittagszeit (häufig auch Pausenzeit) können dadurch in den Vor- bzw. Nachmittag verschoben werden. Insgesamt ist der Solarertrag einer Süd-Anlage der einer Ost-/West-Anlage überlegen, jedoch sind Anlagen mit einer nicht optimalen Ausrichtung nicht per se unwirtschaftlich. Die Verschattung kann einen großen Einfluss auf den Solarertrag haben, daher sollte stets eine Verschattungsanalyse bei der Planung durchgeführt werden.

Ist die Installation einer PV-Anlage nicht möglich, kann die Installation einer Kleinwindkraftanlage eine weitere Option sein. Hierzu können auch sogenannte geräuscharme Vertikalläufer zum Einsatz kommen. Ein solches Konzept stellen der Windbusch und der Windbaum dar, die mit 12 bzw. 36 kleinen Windturbinen ausgerüstet sind.

# Bausteine der Dekarbonisierung

## Power Purchase Agreements



Ein Power Purchase Agreement stellt eine Sonderform eines Stromlieferungsvertrags dar, der zwischen einem Abnehmer und einem Erzeuger (und Betreiber) erneuerbarer Energien abgeschlossen wird. Er erlaubt dem Abnehmer direkt oder indirekt Strom zu einem vorab vereinbarten Preis beziehen zu können. Üblicherweise werden dabei neben den vertraglichen Vereinbarungen zum Preisniveau auch die Übertragung der Herkunftsnachweise (HKN) mit abgedeckt. Es wird häufig unterschieden zwischen:

- Physische PPA: Direkte, zeitgleiche Profil-Lieferung aus Erneuerbare-Energien-Anlage aus unmittelbarer Umgebung (onsite) oder über öffentliches Stromnetz (offsite)
- Virtuelle PPA: Keine physische Lieferung, sondern Entkoppelung der physischen von den finanziellen Stromflüssen, z.B. durch Handel an den Strommärkten

| Onsite PPA                                                                                      | Offsite PPA                                                                                     | Virtuelle PPA                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Kein finanzielles oder betriebsführendes Risiko für das Betreiben der Anlage                    | Kein finanzielles Risiko für den Bezug der vereinbarten Strommenge                              | Quantifizierbares Risiko für den Bezug der vereinbarten Strommenge              |
| Lange Laufzeiten möglich                                                                        |                                                                                                 |                                                                                 |
| Stabiler Strompreis für die über das PPA bezogene Strommenge                                    | Stabiler Strompreis für die gesamte vom Unternehmen benötigte Strommenge an diversen Standorten | Niedrigerer Strompreis durch Bezug aus EE-Anlagen an kostengünstigen Standorten |
| Einsparung der Netzentgelte durch Direktleitung (rechtliche Prüfung nötig!)                     | Langfristige Sicherung großer Strommengen aus erneuerbaren Energien                             | Bezug der gesamten Strommenge aus erneuerbaren Energien möglich                 |
| Effiziente Nutzung von verfügbaren Flächen in unmittelbarer Nähe                                | Unterstützung lokaler Stromerzeugungsunternehmen                                                | Unterstützung weltweiter Stromerzeugungsunternehmen                             |
| Erhalt von Herkunftsnachweisen                                                                  |                                                                                                 |                                                                                 |
| Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien durch die Finanzierung von EE-Erzeugungsanlagen |                                                                                                 |                                                                                 |
| Verbesserung des Unternehmensimages hinsichtlich EE und Nachhaltigkeit                          |                                                                                                 |                                                                                 |



# Bausteine der Dekarbonisierung Grüner Wasserstoff und synthetisches Gas

Wasserstoff ist insbesondere für den Einsatz in Industrieunternehmen geeignet, die aufgrund hoher Prozesstemperaturen und hohem Brennstoffbedarf keine alternative Möglichkeit zur Dekarbonisierung haben. Erst wenn Wasserstoff mit erneuerbarem Strom erzeugt wird, trägt dieser als *Grüner Wasserstoff* zur Emissionssenkung bei. Insofern ist eine direkte Elektrifizierung der Prozesse immer vorzuziehen, wenn das möglich ist. Wasserstoff muss zukünftig mindestens anfänglich für die vorrangigsten und unbedenklichsten Verwendungszwecke eingesetzt werden. Schwer zu dekarbonisierende Industriezweige sind auf die Umstellung der Prozesse auf Wasserstoff und E-Fuels angewiesen. Ob ein Einsatz über Sektoren hinweg sinnvoll ist, hängt von Verfügbarkeit und dem Preis ab. Der Einsatz in Sektoren in denen günstige Alternativen für klimaneutrale Wärmebereitstellung bestehen, ist jedoch auch zukünftig unwahrscheinlich.

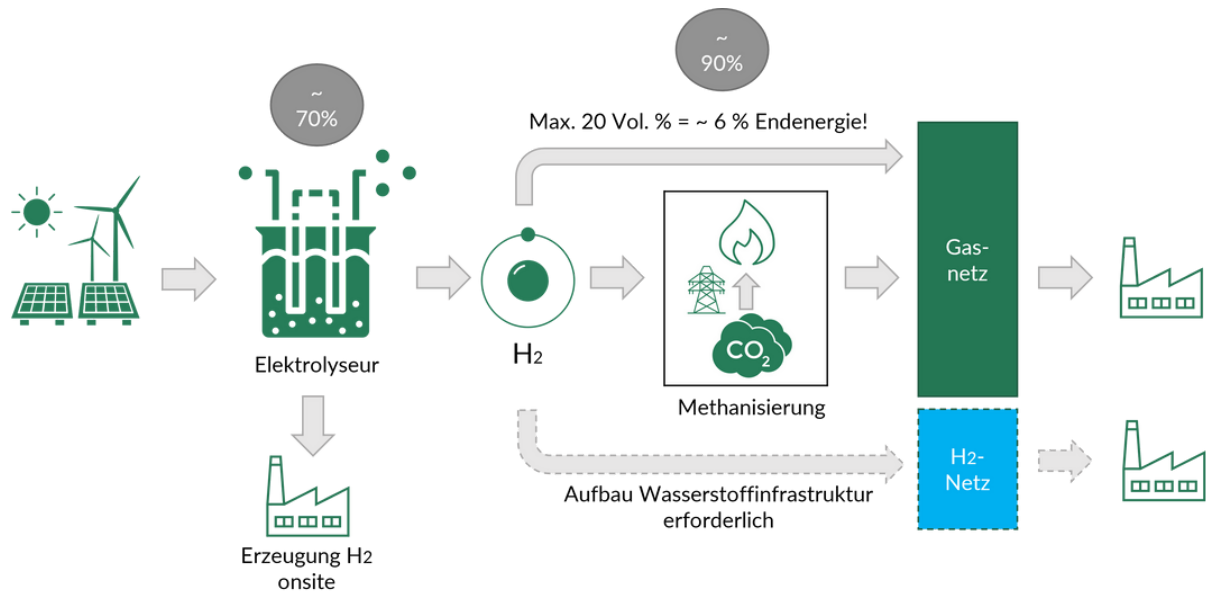
| Wasserstoff erforderlich             | Industrie                                                                                                                                                                                                                                                | Verkehr                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Gebäude                                                                                                                         |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativlos / Unumstritten         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Primärstahl:</b> Reaktionsmittel</li> <li>▪ <b>Chemie:</b> stoffliche Nutzung (Ammoniak, Methanol, SynFuels, etc.)</li> <li>▪ <b>Raffinerien:</b> Hydrierung, Entschwefelung, Hydrocracker, etc.)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Luftverkehr (Langstrecke)</b></li> <li>▪ <b>Schiffsverkehr (Langstrecke):</b> SynFuels oder Ammoniak</li> </ul>                                                                                                                                                           |                                                                                                                                 |
| Unsicher / Analysebedarf             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Industrielle Hochtemperaturwärme:</b> Industrieöfen, Brenner, Feuerungsanlagen → Konkurrenz zu direktelektrischen Verfahren / Hochtemperatur-WP</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Luftverkehr (Kurzstrecke)</b></li> <li>▪ <b>Schiffsverkehr (Kurzstrecke)</b></li> <li>▪ <b>Schienenverkehr</b> → Konkurrenz zu Elektrifizierung bei geringer Nutzungsintensität</li> <li>▪ <b>Nutzfahrzeuge</b> (LKW, Busse) → Konkurrenz zur Elektrifizierung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evtl. vereinzelt für <b>residuale Wärmelast</b></li> <li>▪ <b>Fernwärme</b></li> </ul> |
| Nicht erforderlich / Nicht Prioritär | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Niedertemperaturwärme-Anwendungen</b></li> </ul>                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Individuelle Mobilität /KfZ</b></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Niedertemperatur-Gebäudewärme:</b> vorteilhaftere Optionen vorhanden</li> </ul>     |

Quelle: IREES

Wasserstoff kann entweder durch Produktion am eigenen Standort der Unternehmen erfolgen, womit der Aufbau eigener Elektrolyseurkapazitäten notwendig wird, oder über den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland und Europa. Da Erzeugungskosten für grünen Wasserstoff in Länder wie Island oder der MENA-Region aufgrund besserer EE-Potentiale weitaus geringer sind als in Deutschland, wird der Aufbau eines Wasserstoffnetzes und Bezug außerhalb des Unternehmensstandortes der wahrscheinlichste Nutzungspfad für Industrieunternehmen darstellen.

Für synthetische Gase, die durch Methanisierung aus Wasserstoff erzeugt werden, ist hingegen kein eigener Infrastrukturaufbau erforderlich, da für die Verteilung das Gasnetz genutzt werden kann. Allerdings liegen die Bezugskosten für erneuerbare synthetische Gase deutlich über denen von Wasserstoff, da der zusätzliche Prozessschritt mit entsprechendem Energieaufwand verbunden ist.

# Bausteine der Dekarbonisierung Grüner Wasserstoff und synthetisches Gas



Quelle: IREES

Insgesamt gibt es derzeit noch hohe Unsicherheiten hinsichtlich der Verfügbarkeit von Wasserstoff und der damit verbundenen Infrastrukturen, der technologischen Lernkurven für Elektrolyseure und der politischen Unterstützung, womit Preisprognosen für Wasserstoff und synthetisches Methan schwierig sind.

Die Preisspanne unterscheidet sich in vielen Studien aufgrund verschiedener Indikatoren wie Produktionsstandort, Art der Stromerzeugung (Wind onshore und offshore, Photovoltaik) und Zusatzkosten wie Netz- und Vertriebskosten.

## Weiterführende Informationen



[NRL - Norddeutsches Reallabor](#)



[Agora Energiewende \(2022\): 12 Thesen zu Wasserstoff](#)



[Lösch et al. \(2021\): Bewertung der Hochtemperaturelektrolyse zur Herstellung von grünem Wasserstoff für die Anwendung in der Grundstoffindustrie](#)



[Lösch et al. \(2021\): Umfassende Bewertung der Direktreduktionsroute für eine zukunftsfähige, klimaneutrale Stahlherstellung](#)

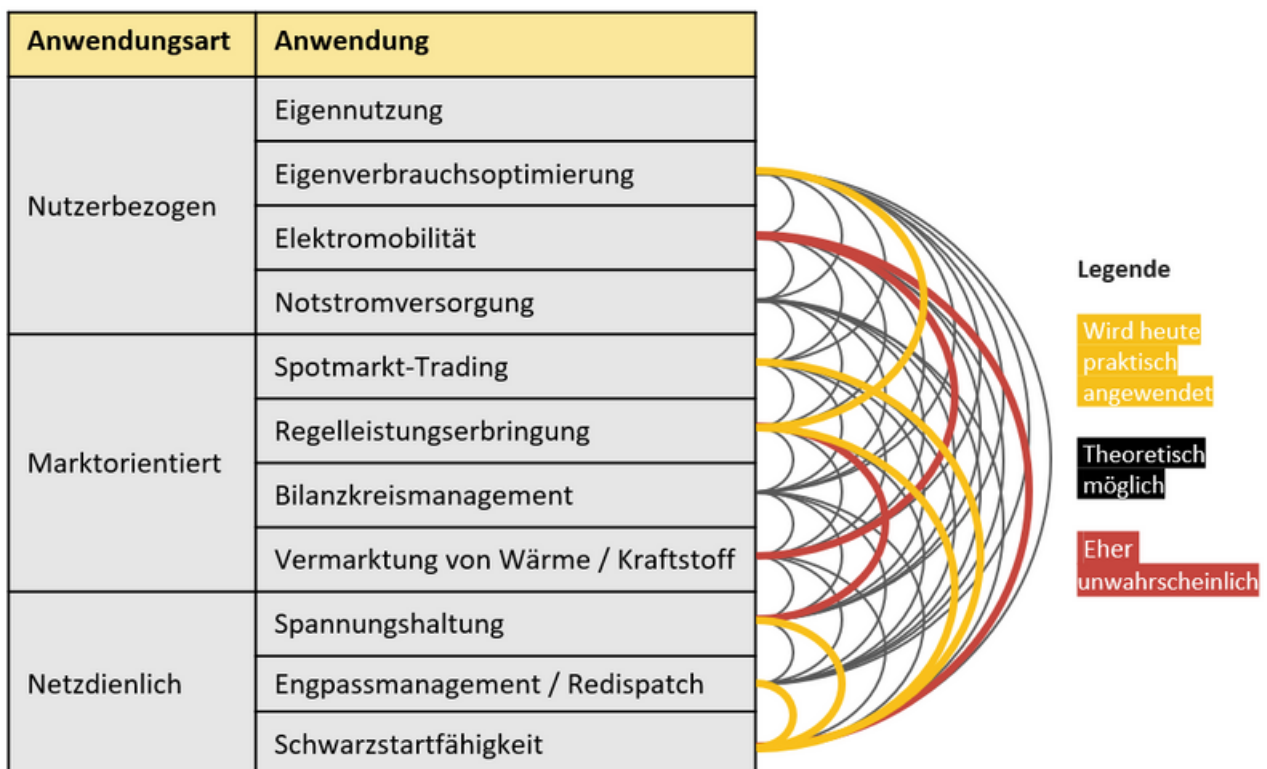
# Bausteine der Dekarbonisierung

## Demand-Side-Response

Lastflexibilisierung oder Demand-Side-Management bedeutet die Nutzung von Flexibilität eines Stromkonsumenten zur gezielten Veränderung seines elektrischen Verbraucherlastprofils. In Industrieunternehmen kann das sowohl durch eigene Erzeugungsanlagen und Stromspeicher als auch durch Optimierung des eigenen Stromverbrauchs erfolgen.

Diese Flexibilität lässt sich auf verschiedenen Märkten und Anreizsystemen monetarisieren und kann dabei helfen, die Einspeisung von volatilen erneuerbaren Energien zu kompensieren, das Stromsystem zu stabilisieren und die Überlastungen der Stromnetze vorzubeugen. Auf lange Sicht kann Lastflexibilisierung den Bedarf an anderen Flexibilitätsquellen wie Netzausbauten oder Speichern senken.

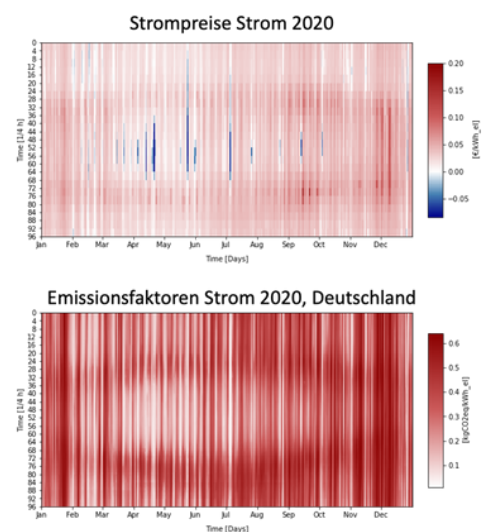
Flexibilität kann für verschiedene Einsatzbereiche genutzt und monetarisiert werden. Dabei kann zwischen nutzerbezogenen, marktorientierten und netzdienlichen Anwendungsarten unterschieden werden (dena 2017). Besonders interessant ist die Möglichkeit, Flexibilitätsanwendungen zu kombinieren, also eine bestimmte Flexibilitätstechnologie hinsichtlich mehrerer Anwendungen auszureizen. Das untenstehende Diagramm, das auf der Netzflexstudie der dena basiert, verdeutlicht das bisher noch ungenutzte Kombinationspotential.



# Bausteine der Dekarbonisierung THG-Einsparung durch Lastflexibilisierung

In den allermeisten Unternehmen lässt sich an irgendeiner Stelle Lastflexibilisierung umsetzen. Doch bevor die Potentiale erschlossen werden können, müssen zunächst flexible Lasten identifiziert werden. Bei der industriellen Lastflexibilisierung wird zwischen Produktionsprozessen und Querschnittstechnologien unterschieden. Im Gegensatz zu den Produktionsprozessen, die von der Industriebranche abhängen, sind Querschnittstechnologien branchenübergreifende Prozesse, wie zum Beispiel die Raumwärmeversorgung, Druckluft, oder die Beladung von Flurförderfahrzeugen.

Durch Anwendung eines Flexibilitätsmodells oder durch Erstellung eines digitalen Zwillings der relevanten Prozesse, lässt sich quantifizieren, welche Kosten und THG-Emissionen eingespart werden können, wie der flexibilisierte Betrieb aussieht und welche Märkte dabei relevant sind. Neben ökonomischen Anreizen lässt sich durch Demand-Side-Response auch der Carbon-Footprint des Unternehmens verbessern. Dazu müssen jedoch dynamische Emissionsfaktoren angesetzt werden, welche den tatsächlichen Strommix in der jeweiligen Stunde reflektieren.



Um Unternehmen zu befähigen selber Emissionseinsparungen aus Lastflexibilisierung zu quantifizieren und Potentiale aufzudecken, sind im Rahmen von WIN4climate zwei open-source Python-basierte Berechnungsmodelle dazu entwickelt worden, welche zum Download zur Verfügung stehen:



- Das Tool elmada ermöglicht die Berechnung dynamischer THG-Emissionsfaktoren des Stromnetzes für die meisten europäischen Länder
- draf - Demand Response Analysis Framework quantifiziert potentielle Kosten- und Emissionseinsparungen von preis-basierter Lastflexibilisierung. Dabei werden auch Investitionen in neue Technologien, wie Speicher und Wärmepumpen berücksichtigt. Mehr Informationen zu den Tools finden Sie unter <https://github.com/DrafProject>

## Weiterführende Informationen



Fraunhofer IFF (2020): Prospektive  
Flexibilitätsoptionen in der  
produzierenden Industrie



dena(2017): Netzflexstudie

# Ausgewählte Förderprogramme

## KfW-Energieeffizienzprogramm

Kredit und Zuschuss von der KfW: Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich Produktionsanlagen und -prozesse gewerblicher Unternehmen in Deutschland und im Ausland.

Bis zu 25 Mio. € Kreditbetrag



[KfW-Energieeffizienzprogramm-  
Produktionsanlagenprozesse \(292\) | KfW](#)



## Förderwettbewerb Energie- und Ressourceneffizienz

Zuschuss mit wettbewerblicher Komponente vom BMWK: Förderung von akteurs-, sektor- und technologieoffenintensiven Maßnahmen, bei denen Unternehmen in neue hocheffiziente Technologien investieren sowie den Anteil der erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Prozesswärme ausbauen, die sich ohne Förderung erst nach einem Zeitraum von mindestens vier Jahren rechnen würden.

Die Förderentscheidung orientiert sich an der sogenannten Fördereffizienz. Diese setzt die beantragte Fördersumme ins Verhältnis zur erwarteten CO<sub>2</sub>-Einsparung.

BMWK - Wettbewerb Energieeffizienz - Was, wer, wie?



[BMWK - Wettbewerb Energieeffizienz -  
Was, wer, wie?](#)



# Ausgewählte Förderprogramme

## **Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft Kredit und Zuschuss vom BAFA**

In dem Förderprogramm „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft“ ist eine Förderung in fünf wählbaren und kombinierbaren Modulen möglich:

Modul 1: Querschnittstechnologien

Modul 2: Prozesswärme aus erneuerbaren Energien

Modul 3: MSR, Sensorik und Energiemanagement-Software

Modul 4: Energiebezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen

Modul 5: Transformationskonzepte

Hinweis zu Modul 5: Unternehmen sollen bei der Planung und Umsetzung der eigenen Transformation hin zur THG-Neutralität unterstützt werden.

- Erstellung/Zertifizierung THG-Bilanz
- Kosten für Beratung und Umsetzung, auch unternehmensübergreifend
- Kosten für Messungen, Datenerhebungen und Datenbeschaffungen

Es werden bis zu 50 % der zuwendungsfähigen Investitionskosten gefördert, 60 % bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU).

Max. 80.000 € pro Transformationskonzept.



[BAFA - Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit](#)

# Klimaneutralitätsnetzwerk

Die Idee der Energieeffizienznetzwerke kommt ursprünglich aus der Schweiz und fand seit 2002 zunächst in verschiedenen Pilotprojekten in Deutschland Anwendung. Diese Bestrebungen mündeten ab 2014 in die bundesweite Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN) mit dem Ziel, 500 dieser Netzwerke in Deutschland zu etablieren.

Die Netzwerke ermöglichen einen moderierten und zielgerichteten Erfahrungsaustausch von üblicherweise 8 bis 15 Unternehmen in einem Zeitraum von 3 bis 4 Jahren. Wesentliche Ziele sind die gemeinsame Energieeffizienzsteigerung und die Reduktion von Emissionen durch die Umsetzung von Maßnahmen. Dazu wird zunächst in einer Fachberatung die Ausgangssituation der teilnehmenden Unternehmen analysiert und konkrete Maßnahmen erarbeitet, auf deren Basis ein gemeinsames Reduktionsziel für das gesamte Netzwerk vereinbart werden kann. In regelmäßigen Netzwerktreffen werden Fachthemen und umgesetzte Maßnahmen diskutiert. Begleitet wird dies durch ein jährliches Monitoring, in dem der Fortschritt des Netzwerks ermittelt und dokumentiert wird.

Die Erfahrungen aus den Netzwerken zeigen, dass die selbst gesetzten Ziele meist übertroffen werden, da Maßnahmen schneller implementiert werden, als außerhalb von Netzwerken.



Netzwerk von bis zu 15 Unternehmen aus einer Region



Expertenvorträge und Fachwissen zu spezifischen Themen und Maßnahmen



Moderierter Erfahrung- und Wissensaustausch



Entwicklung von Klimaneutralitätsstrategien und Unterstützung und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen



# Klimaneutralitätsnetzwerk

Das Klimaneutralitätsnetzwerk Technologieregion Karlsruhe greift diese Systematik auf und erweitert sie um den Aspekt einer Klimaneutralitätsstrategie für die teilnehmenden Unternehmen. Dazu wird die anfängliche Fachberatung um die Betrachtung ausgewählter Scope 3 Emissionen ergänzt und somit Aspekte außerhalb der üblichen Energiebilanz (Scope 1 bis 2) einbezogen. Das Themenspektrum der Netzwerktreffen wird gezielt durch Webinare erweitert, um die Unternehmen zur Entwicklung einer eigenen Klimaneutralitätsstrategie zu befähigen. Neben den bereits benannten Netzwerkzielen, die möglichst zur Netzwerklaufzeit erreicht werden sollen, zeichnet die Klimaneutralitätsstrategie einen oder mehrere Pfade zur Dekarbonisierung der teilnehmenden Unternehmen, auch nach Ende des Netzwerks auf. Das Klimaneutralitätsnetzwerk geht somit einen wesentlichen Schritt weiter und ist vor allem als strategische Maßnahme zur langfristigen Erhaltung der Geschäftstätigkeit von Unternehmen zu sehen.

## Weiterführende Informationen:



[Klimaneutralitätsnetzwerk  
Technologieregion Karlsruhe](#)



[Initiative Energieeffizienz- und  
Klimaschutz-Netzwerke](#)

## Unterstützung bei der Umsetzung

# Mehr zum Thema

### Win4Climate Ausgründung



Path to Zero hilft Unternehmen die Entscheidung für die richtigen Investitionen und Beschaffungsstrategien zu treffen, sich von der Abhängigkeit fossiler Brennstoffe zu befreien und eine zukunftssichere und wirtschaftliche Transformationsstrategie zu entwickeln. Die eingesetzten Methoden basieren auf 6 Jahren angewandter Forschungsarbeit und der Zusammenarbeit mit über 50 Unternehmen in den Projekten Win4Climate und Interflex4Climate. Mit der Ausgründung Path to Zero werden die in Win4Climate entwickelten Methoden und Tools fortgeführt.



Dr. Markus Bohlayer  
Co-Founder  
[markus.bohlayer@pathtozero.de](mailto:markus.bohlayer@pathtozero.de)  
[www.pathtozero.de](http://www.pathtozero.de)

### Vorreiter-Initiative Klimaschutz-Unternehmen e.V.

<https://www.klimaschutz-unternehmen.de>



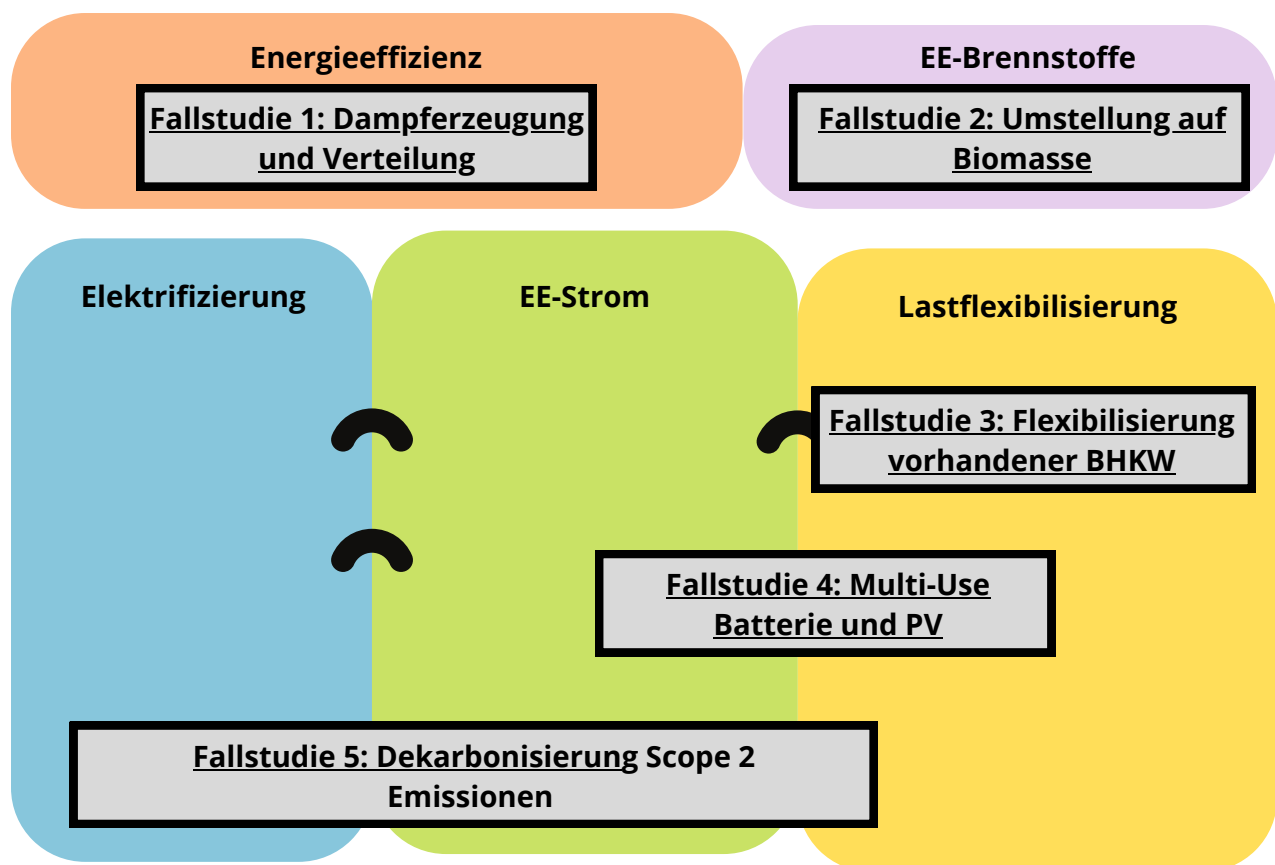
Klimaschutz-Unternehmen e.V. ist ein Verband und Vorreiter-Initiative von Unternehmen, die ambitionierte Klimaschutzziele setzen und dazu erforderliche Maßnahmen realisieren. Im Fokus steht dabei ein wachsendes Know-how und ein kontinuierlicher Austausch. Die Mitgliedschaft ist nicht von Unternehmensgröße oder Branchenzugehörigkeit abhängig.



Best Practice Klimaschutz-Unternehmen

# Erkenntnisse aus Fallstudien

Im Folgenden sind Erkenntnisse aus ausgewählten Fallstudien des Projekts WIN4climate zusammengefasst dargestellt. Der Fokus im Projekt lag vorrangig auf der unternehmensinternen Energieversorgung, auch wenn es in der Produktion selbst viel Handlungsbedarf und Chancen zur Dekarbonisierung gibt. Für die Fallstudien wurde jeweils ein digitaler Zwilling der Energieversorgung zum Leben erweckt, der mitunter Lastprognosen, Wetterprognosen, Systemzustände und Marktinformationen zur Erstellung optimaler Fahrpläne für die regelbaren Einheiten berücksichtigt. Daraus ergab sich dann jeweils ein Bündel an investiven sowie nicht investiven Handlungsempfehlungen, die an das jeweilige Unternehmen zurückgegeben wurden. Die Fallstudien lassen sich wie folgt in die fünf Bausteine der Dekarbonisierung einordnen.



Die angewandte Methodik erstreckt sich im Wesentlichen auf Simulation und mathematische Optimierung. Bei der Simulation werden durch Parametrierung von Anlagenwahl, Dimensionierung und Betriebsstrategie unterschiedliche Varianten erzeugt. Eine Optimierung erfolgt dann durch den Vergleich aller Varianten. Bei der mathematischen Optimierung wird hingegen nur eine Superstruktur gebildet, welche alle denkbaren Varianten enthält, die berücksichtigt werden sollen. Das ökonomische Optimum wird dann für alle Varianten numerisch bestimmt, woraus sich nur eine einzige, und zwar die beste ergibt.



# Dampferzeugung und Verteilung



**Konzern, 400 Mitarbeiter am Standort,  
2-Schichtbetrieb, Lebensmittelbranche**

**Ziel:** Bewertung der vorhandenen, konventionellen Dampferzeugung (Erdgas) inkl. der Verteilung und Teilsubstitution durch elektrische Schnelldampferzeuger bzw. Pumpenwarmwasser für Niedertemperaturprozesse.

**Vorgehen:** Mathematische Optimierung mit Minimierung der jährlichen Vergleichskosten (Investition und abgezinste jährliche Einsparungen), Bildung von Szenarien des energietechnischen Systems im Zeitraum von 2021 bis 2035 und die ökonomische und ökologische Bewertung durch setzen von Rahmendaten und Annahmen zu Bautechnik, Elektro- und Leittechnik, Planung, Genehmigung und Gutachten, Unvorhergesehenes, Wartung und Instandhaltung, Personal- und Betriebskosten, Emissionsfaktoren, Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise etc.

### Szenario und Ergebnisse:

Die Dampferzeugung ist abgänglich und es steht eine Investitionsentscheidung an. Es gibt aktuell nur noch wenige Einzelverbraucher mit einem direkten Dampfbedarf, deren Energieverbrauch mit ca. 20 % jedoch keine primäre Rolle spielt. Alle anderen Prozesse sind bereits auf Niedertemperatur umgestellt, beziehen jedoch, wie die Gebäudeheizung, die benötigte Energie durch Dampf-Wasser-Wärmetauscher aus dem bestehenden Dampfnetz.



Die Untersuchung hat ergeben, dass eine Abkopplung und elektrifizierte, dezentrale Dampfversorgung der wenigen noch im Einsatz befindlichen Dampfverbraucher sinnvoll ist. Dies ermöglicht den Umbau des Dampfnetzes auf ein Pumpenwarmwassernetz und begünstigt somit eine bedarfsgerechte Versorgung der Gebäudeheizung bzw. der verbleibenden Prozesse mit den notwendigen Temperaturniveaus. Daraus ergeben sich nutzbare Effizienzpotenziale von ca. 18 % durch die Reduktion und Vermeidung von Netzverlusten und bessere Jahresnutzungsgrade durch den Technologiewechsel.

# Dampferzeugung und Verteilung

### Übergeordnete Erkenntnisse:

Konventionelle Dampferzeugungsmodelle mit Auslegung auf den Verbraucher mit dem höchsten Dampfdruckniveau sind nicht bedarfsgerecht, genau so wie evolutionär gewachsene Netze, deren Verbraucherstruktur sich im Laufe von Jahrzehnten grundlegend verändert hat. Die dezentralisierte, elektrifizierte und bedarfsgerechte Dampfversorgung von Einzelverbrauchern eröffnet vor allem Dekarbonisierungs- und Flexibilisierungspotenziale. Voraussetzung ist deren Identifikation und Analyse des Lastprofils ggf. durch zusätzliche Dampfmessungen.

Der Rückbau oder die Umstellung vorhandener Dampfnetze auf Pumpenwarmwasser mit deutlich niedrigerem Temperaturniveau ermöglicht die Erschließung von Effizienzpotenzialen durch Technologiewechsel, die sonst nicht möglich wären. Die Optimierung muss daher stets von der Energieanwendung über die Verteilung zum Energiebezug hin erfolgen.

Die Berücksichtigung eines CO<sub>2</sub>-Preises für die fossilen Energieträger hat ganz wesentlich Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen und sollte daher stets erfolgen.

# Dampferzeugung mit Biomasse



**Familienunternehmen, 250 Mitarbeiter am Standort,  
Zulieferer für die internationale Lebensmittelindustrie**

**Ziel:** Bewertung der vorhandenen Contracting-Dampfversorgung aus Biomasse und Prüfung der Substitution durch Eigenerzeugung von Dampf und Strom unter Einsatz von Biomasse in Kombination mit einer Dampfturbine. Dazu wurden verschiedene Szenarien gebildet

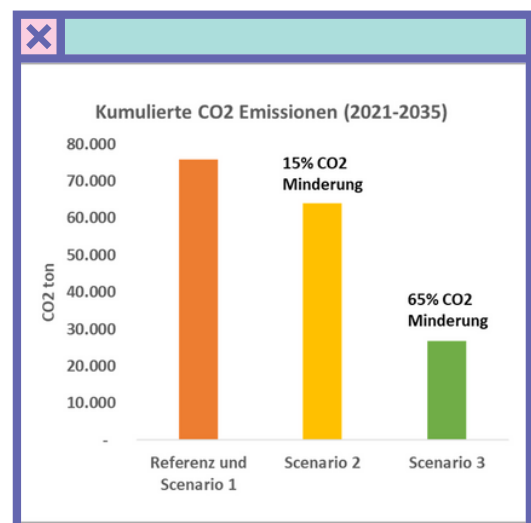
**Vorgehen:** Mathematische Optimierung mit Minimierung der jährlichen Wärmebereitstellungskosten, Szenarienanalyse für die Energieversorgung am Standort für 2021 bis 2035 und ökonomische und ökologische Bewertung.

## Szenarien und Ergebnisse:

Es wurden drei Szenarien untersucht:

- Szenario 1: Biomasse-Dampferzeuger zur Eigenerzeugung von Dampf
- Szenario 2: Biomasse-Dampferzeuger und Dampfturbine zur Eigenerzeugung von Dampf und Strom - 25 % Strombedarf
- Szenario 3: Biomasse-Dampferzeuger und Dampfturbine zur Eigenerzeugung von Dampf und Strom - 100 % Strombedarf

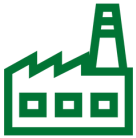
Die Investition in eine eigene Dampferzeugungsanlage (Szenario 1) ist als "No-Regret-Maßnahme" mit einer dynamischen Amortisationszeit von unter 5 Jahren und einer internen Verzinsung von über 20 % umsetzbar. Dies ist im wesentlichen auf die bisherige kostenintensive Contracting-Lösung zurückzuführen. Da Referenz und Szenario 1 gleichermaßen auf dem Einsatz von Biomasse basieren, kann durch den Wechsel zur Eigenerzeugung bilanziell keine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktion erreicht werden.



Vielmehr kann durch den zusätzlichen Einsatz einer Dampfturbine mit 25 % (Szenario 2) bzw. mit 100 % (Szenario 3) Strombedarfsdeckung der Bezug von Strom aus dem öffentlichen Netz reduziert bzw. vollständig verdrängt werden. So wird eine CO<sub>2</sub>-Reduktion durch die Substitution von Strom durch Biomasse erreicht, wobei der Einsatz der kleineren Dampfturbine in Szenario 2 ökonomisch attraktiver im Vergleich zum Einsatz der großen Dampfturbine in Szenario 3 ist. Die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Szenarien sind in der Abbildung ersichtlich.

# Flexibilisierung vorhandener BHKW

DSR



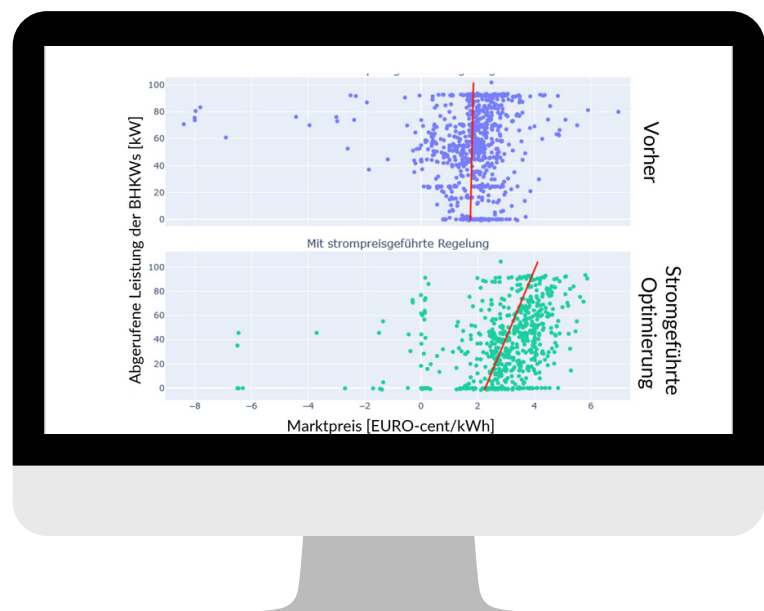
**KMU, 50 Mitarbeiter am Standort  
Metallveredelung**

**Ziel:** Technische Umsetzung eines am Spotmarkt optimierten BHKW-Betriebs.

**Vorgehen:** Zur Erreichung des Ziels wurde zunächst ein Modell zur Erarbeitung einer optionalen Regelung mit der Programmiersprache Python erstellt und mittels Einplatinencomputer implementiert. Dadurch war die Darstellung der aktuellen Werte für den Benutzer möglich. Anschließend erfolgte der Aufbau der Regelung nach Wichtigkeit, z.B. wärmegeführt nach Tanktemperaturen, nach maximalem Strombezug (Lastspitze), nach minimalem Strombezug und nach dem aktuellen Strompreis. Abschließend erfolgte die zukünftige Optimierung des Tagesfahrplans unter der modellbasierten Regelung durch Nutzung von Day-Ahead-Preisen, eines prognostizierten Lastprofils, die Ermittlung von stündlichen Leistungspreisen der BHKW und die Nutzung thermischer Speicher.

## Ergebnisse:

Es ergaben sich hohe „Flex“-Vermarktungschancen an den Spotmärkten durch die steigende Preisvolatilität infolge des steten Zubaus fluktuierender erneuerbarer Energien. Immer mehr Energieversorgungsunternehmen bieten dynamische Strompreise und Flexibilisierungslösungen an, insbesondere Betreiber virtueller Kraftwerke. Die Spotmarktpreise korrelieren mit den Emissionsfaktoren.



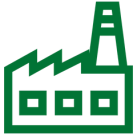
Eine technische Implementierung der entwickelten Lösung war möglich und kann somit bestätigt werden. Sie ist jedoch sehr aufwendig und es ist spezielles Know-How dazu erforderlich. Daher erscheint es sinnvoll diese Komponente an einen Dienstleister auszulagern.



# Multi-Use Batterie und PV

DSR

EE-Strom



**Konzern, 1.000 Mitarbeiter am Standort**

**EEG-Umlagebefreit, ca. 7.000 Vollbenutzungsstunden (intensive Netznutzung nach §19 Strom-NEV)**

**Ziel:** Design- & Betriebsoptimierung einer PV-Anlage in Kombination mit einem stationären Batteriespeicher unter Berücksichtigung verschiedener Flexibilitätsanwendungen, wie z.B. Spitzenlastreduktion, Reduzierung der Fluktuation und Spitzenlast zur Erhaltung der Netzentgelt-Privilegien (intensive Netznutzung), PV-Eigenverbrauchsoptimierung und Spotmarktoptimierung zur Nutzung von Preisunterschieden.

**Vorgehen:** Mathematische Optimierung mit Minimierung der jährlichen Vergleichskosten, Bildung von Szenarien durch Variation der Randbedingungen, Modellierung der PV-Erträge mit realen Wetterdaten, Sensitivitätsanalysen z.B. durch Variation von Batteriepreisen.

**Ergebnisse:** Unabhängig vom Batteriespeicher war die volle Ausnutzung der verfügbaren Dachflächen für Photovoltaik von ca. 1 MWp mit Berücksichtigung der intensiven Netznutzung suboptimal und ohne Berücksichtigung der intensiven Netznutzung optimal. Bei Batteriespeichersystempreisen ab 100 €/kWh oder darunter waren Dimensionen von mehreren Megawatt Leistung auch ohne Berücksichtigung intensiver Netznutzung optimal.

**Übergeordnete Erkenntnisse:** Die Einsatzmöglichkeiten eines industriellen, stationären Batteriespeichers sind vielfältig und reichen von der Optimierung der intensiven Netznutzung über das klassische Spitzenlastmanagement bis hin zur Spotmarktoptimierung. Weitere, nicht betrachtete Möglichkeiten, bieten der Redispatch 2.0 und der Regelleistungsmarkt (Primär- und Sekundärregelleistung).

Die intensive Netznutzung bietet für Unternehmen lukrative Anreize, steht jedoch dem Ausbau von onsite PV-Anlagen entgegen, da diese Fluktuationen im Strombezug verursachen.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Multi-Use Batterie ist komplex und von vielen stark dynamischen Faktoren abhängig. Dazu gehören z.B.:

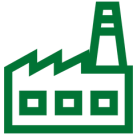
- die intensive Netznutzung nach §19 Strom-NEV, deren Abschaffung in der aktuellen Form von mehreren Stellen gefordert wird,
- die Strompreisentwicklung mit zuletzt stark gestiegenen täglichen Preisspreads,
- die im Prinzip stetig fallenden Batteriespeicherpreise, jedoch die zuletzt rasanten Preissteigerungen bei Lithium.

# Dekarbonisierung Scope 2 Emissionen

DSR

EE-Strom

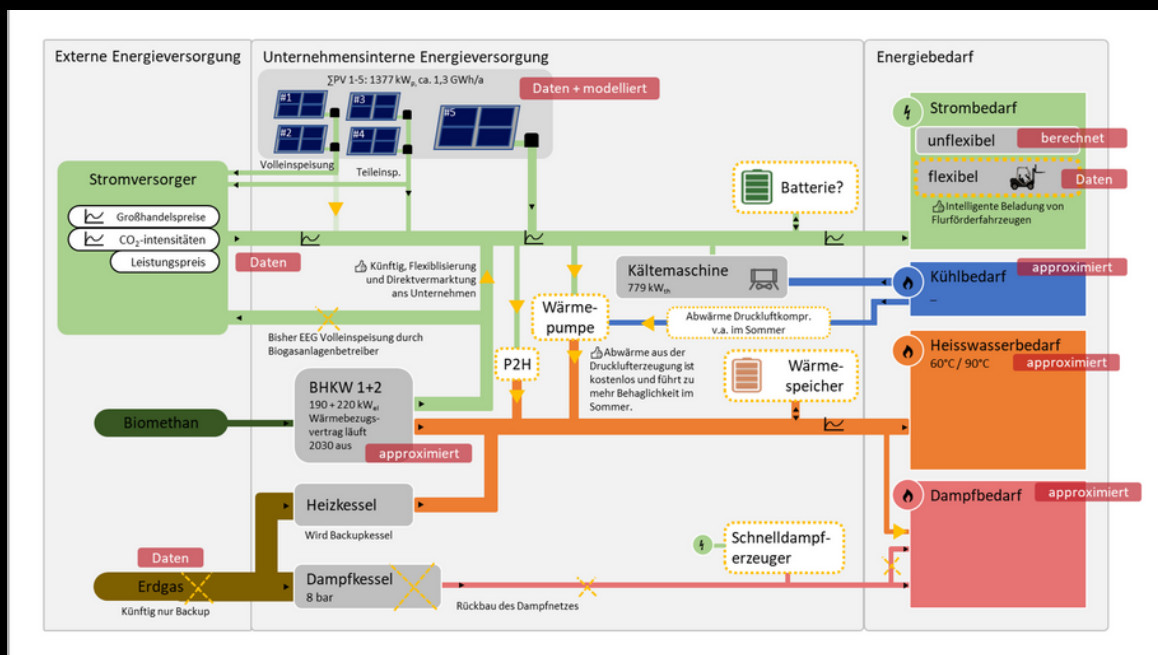
Elektrifizierung



**KMU, 150 Mitarbeiter am Standort  
Getränkeherstellung**

**Ziel:** Entwicklung eines Scope 2 Dekarbonisierungspfades bis 2030 unter der Berücksichtigung der bestehenden Abwärmenutzung aus einer externen Biogas-KWK-Anlage in unmittelbarer Umgebung des Unternehmens.

**Vorgehen:** Gesamtheitliche mathematische Optimierung



# Dekarbonisierung Scope 2 Emissionen

Lastflexibilisierung

EE-Strom

Elektrifizierung

**Ergebnisse:** Eine optimale Dekarbonisierung kann durch den Mix unterschiedlicher Maßnahmen erfolgen. Dazu gehört die Reduzierung von Vorlauftemperaturen durch einen Dampfnetzrückbau und die Elektrifizierung der Wärme- und Kälteversorgung durch Wärmepumpen, Heizstäbe und den Einsatz von thermischen Speichern. Die externe Biogas-KWK-Anlage kann ggf. zusätzlich Biogas zur Verfügung stellen, ansonsten kann die Wärmeerzeugung über Wärmepumpen erfolgen. Durch den hohen Temperaturhub für die Prozesswärmebereitstellung ist jedoch mit einer geringeren Effizienz zu rechnen. Zusätzliche Flexibilität wird durch die smarte und bidirektionale Beladung von Flurförderfahrzeugen und den Einsatz von stationären Batteriespeichern ermöglicht. Dies erfolgt in Kombination mit einer möglichst optimalen Ausnutzung aller Flächen für Onsite-Photovoltaik. Die Dimensionierung elektrischer und thermischer Speicher ist abhängig davon, ob der Dekarbonisierungspfad über die Elektrifizierung oder über den Einsatz nachhaltiger Brennstoffe erfolgt.

**Übergeordnete Erkenntnisse:** Bereits bei KMU gibt es vielfältige Abhängigkeiten innerhalb der Maßnahmenbereiche (Bausteine der Dekarbonisierung) und der Energiesektoren (Strom, Wärme, Mobilität), die für einen optimalen Transformationspfad berücksichtigt werden müssen. Diese Abhängigkeiten können durch Modellbildung und digitale Zwillinge berücksichtigt werden, sind aber sehr zeitaufwändig und erfordern Spezialwissen (Markt, Modellierung, Energietechnik, Industrieprozesse).



**NET  
ZERO**

## Kontakt



Dr. Jan Steinbach  
Geschäftsführer  
IREES GmbH - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien  
[info@irees.de](mailto:info@irees.de)  
<https://irees.de>



Prof. Dr.-Ing. Marco Braun  
Hochschule Karlsruhe  
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik  
Forschungsgruppe Energiesystemanalyse  
[marco.braun@h-ka.de](mailto:marco.braun@h-ka.de)  
<https://www.h-ka.de/ikku/energiesystemanalyse>