

# Digitale Dekarbonisierung

## Technologieoffen die Klimaziele erreichen



Das erste Fachbuch  
zur digitalen Dekarbonisierung

Oliver D. Doleski | Thomas Kaiser | Michael Metzger | Stefan Niessen | Sebastian Thiem

Das Buch liefert erstmals konkrete Antworten auf die Frage, wie datenbasierte Verfahren bei der Dekarbonisierung von Betriebsprozessen helfen können. Der Text beschränkt sich dabei nicht auf die üblichen Ansätze zur Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen wie bspw. dem Verzicht des Einsatzes fossiler Energieträger. Vielmehr wird in dem Text der pragmatische und vor allem technologieoffene Blick auf die Dekarbonisierung energieintensiver Prozesse oder Verfahren gelenkt und dem Leser ein datenanalytisches Modell zur Optimierung des Energiesystems, welches dann deutlich weniger Treibhausgase emittiert, vorgestellt.

Die Hauptanwendungsgebiete der digitalen Dekarbonisierung sind unter anderem in der Energiewirtschaft, Industrie, urbanen Ballungsräumen und industriellen Arealen zu finden.

### *Vorschau auf den Buchinhalt*

Der menschengeschaffene Klimawandel ist Realität. Neunzehn der zwanzig bislang wärmsten Jahre fallen in die Zeit seit der Jahrtausendwende. Wetterextreme nehmen weltweit statistisch belegbar zu. Alle Phänomene, die aus Sicht der Wissenschaft einer seit Beginn der Industrialisierung stetig ansteigenden Konzentration unterschiedlicher Treibhausgase in der Atmosphäre geschuldet sind. Etwa ein halbes Jahrzehnt nach dem Pariser Klimaschutzabkommen gab es kaum Veränderungen im Bereich der weltweiten Emissionen. Unverändert steigen die durchschnittlichen Temperaturen auf der Erde an, ohne dass eine Trendwende erkennbar wäre.



Es ist Zeit für die Menschheit, verantwortungsbewusst zu handeln. Aber was kann der Einzelne tun? Er kann Verzicht üben; er kann versuchen, seinen individuellen Anteil an Treibhausgasemissionen – seinen klimatischen Fußabdruck – zu reduzieren.


Wir, die Autoren dieses Buchs, wollen diesen bekannten Ansatz des Konsumverzichts durch eine neue Idee, eine anwendungsorientierte Methodik ergänzen. In unserer beruflichen Praxis als Forscher, Praktiker und Unternehmensberater wurden wir in zahlreichen Industrieprojekten immer wieder mit der Frage konfrontiert, wie die einen Großteil der globalen Emissionen zu verantwortende Industrie und natürlich auch die menschlichen Ballungsräume einen eigenen, signifikanten Beitrag zur Treibhausgasemissionen beisteuern könnten.

Der in diesem Buch vorgestellte Lösungsvorschlag lautet **Digitale Dekarbonisierung**. Mit diesem Ansatz gelingt es – dies haben zahlreiche von den Autoren durchgeführte Projekte gezeigt – eine signifikante Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen durch die ganzheitliche Optimierung von Energiesystemen zu erzielen. Mithilfe technologieoffener Simulationsmethoden gelingt es unter Zuhilfenahme datenbasierter Modelle, energetische Prozesse so zu optimieren, dass industrielle Standorte und Ballungsräume deutlich weniger Treibhausgase freisetzen. Ziel der Autoren ist, eine Methode vorzustellen, durch die energetische Prozesse so umgestaltet werden können, dass sie, bei gleicher Leistung, deutlich weniger klimaschädliche Emissionen als zuvor freisetzen. Wir werden im Verlauf des Buchs anhand ausgewählter Anwendungsfälle aus der ganzen Welt zeigen, dass es sich bei digitaler Dekarbonisierung nicht erst um ein prototypisches Konzept im Forschungsstadium handelt. – Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels eine gute Nachricht.

### Wegweiser durch das Buch

Das Buch ist nach einem übergreifenden Einführungsteil in weitere sechs aufeinander aufbauende Kapitel gegliedert. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Struktur und den Aufbau des Texts schematisch.

<b>1</b> Einleitung	<b>2</b> Facetten	<b>3</b> Handlungsoptionen	<b>4</b> Methodik
1.1 Herausforderungen	<b>W a r u m</b>	<b>W a s</b>	<b>W i e</b>
1.2 Megatrends	2.1 Treiber	3.1 Energieflüsse als unterschätzter Hebel	3.1 Methodik
1.3 Dekarbonisierung	<b>W o</b>	3.3 Sektorübergreifende Modellierung	3.2 Vorgehen
1.4 Leitidee	2.2 Handlungsfelder	3.3 Datenbasierte Dekarbonisierung	3.3 Betrieb
	2.3 Technologiefelder		<b>5</b> Makrobetrachtung
	<b>W o h i n</b>		<b>W i e</b>
	2.4 Zielbild		<b>6</b> Mikrobetrachtung
			<b>W i e</b>
			<b>7</b> Perspektiven



**Digitale Dekarbonisierung**  
Technologieoffen die Klimaziele erreichen

Das einleitende, erste Kapitel „Dekarbonisierung als strategischer Fixpunkt“ bietet dem Leser die Möglichkeit zur besseren Orientierung und Standortbestimmung. Dazu werden zunächst die klimapolitischen Initiativen der letzten Jahrzehnte in der gebotenen Kürze skizziert und der Versuch einer

vorsichtigen Bewertung des Status quo unternommen. Diesem folgt ein kurzer Abriss der wichtigsten Megatrends zur Lösung der Klimakrise sowie eine weiterführende Betrachtung der für diese Publikation konstitutiven Thematik der Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgase. Das Einführungskapitel schließt mit einem Plädoyer zur technologieoffenen, d. h. freien Auswahl vorhandener Instrumente zur Dekarbonisierung des Energiesystems.

Im darauffolgenden zweiten Abschnitt „Facetten der Dekarbonisierung“ wird die konzeptionelle Basis des Dekarbonisierungsansatzes unter Zuhilfenahme dreier Leitfragen erörtert. Mit der Frage, **warum** sich Gesellschaft und Wirtschaft intensiv mit der Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgase beschäftigen, werden die wesentlichen Treiber der Dekarbonisierung vorgestellt.

Die Autoren liefern hier eine Gesamtschau auf die relevanten Treiber für konkrete Maßnahmen zur Dekarbonisierung. Im Anschluss an die deskriptive Aufbereitung dieser Faktoren anhand der vier Themencluster Gesellschaft, Ökonomie, Technik und exogene Schocks wird die Frage erörtert, **wo** sich geeignete Ansatzpunkte oder Hebel in Gesellschaft, Wirtschaft und Technik für eine erfolgreiche Treibhausgasminimierung identifizieren lassen. Somit werden an dieser Stelle die zentralen Handlungs- und Technologiefelder einer nicht fossilen Wirtschaft vorgestellt. Zum Ende des zweiten Kapitels wird das Zielbild formuliert, welches die Frage zu beantworten sucht, **wohin** voraussichtlich die Dekarbonisierungsreise gehen wird.

Die Grundannahmen des zweiten Kapitels aufgreifend, beschreibt der dritte Abschnitt „Handlungsoption digitale Dekarbonisierung“, **was** konkret getan werden kann, um eine signifikante Reduktion klimaschädlicher Treibhausgasemissionen zu erreichen. Dabei werden fundierte Ansätze wie die systemische Optimierung von Energieflüssen sowie der Ansatz der sektorübergreifenden Modellierung diskutiert. Bezugnehmend auf die Kerninhalte der allgemeinen Beschreibung des Systemmodells schließt das dritte Kapitel mit einer allgemeinen Beschreibung der Idee, digitale Technologien als Beschleuniger der gebotenen Reduzierung von Treibhausgasemissionen einzusetzen. Dies geschieht jedoch, ohne dabei die im folgenden vierten Kapitel synthetisierte methodische Lösung vorwegzunehmen.

Dementsprechend wird der für das Konzept der digitalen Dekarbonisierung konstitutive methodische Überbau im vierten Kapitel „Dekarbonisierung durch datenbasierte Optimierung“ eingeführt. Damit wird die Frage, **wie** das maßgebliche Methodengerüst für eine technologieoffene Dekarbonisierung durch datenbasierte Optimierung beschaffen sein muss, gestellt und beantwortet. Dies geschieht dergestalt, dass nach einer grundlegenden Einführung in die Modellierungsmethodik eine anwendungsorientierte Roadmap zur Umsetzung datenbasierter Optimierungsansätze vorgestellt wird.

Gemeinsam mit dem sechsten Kapitel „Mikrobetrachtung inkl. Anwendungsfälle“ repräsentiert das fünfte Kapitel „Makrobetrachtung inkl. Anwendungsfälle“ den, bildlich gesprochen, umsetzungsbezogenen „Maschinenraum“ eines digitalen Dekarbonisierungsvorhabens. Aufbauend auf der zuvor beschriebenen methodischen Basis präzisieren beide Kapitel die Idee technologieoffener Optimierung energetischer Prozesse.

Zum Abschluss geben die Autoren im siebten Kapitel „Perspektive weniger Treibhausgase: eine Schlussbetrachtung“ einen Ausblick.

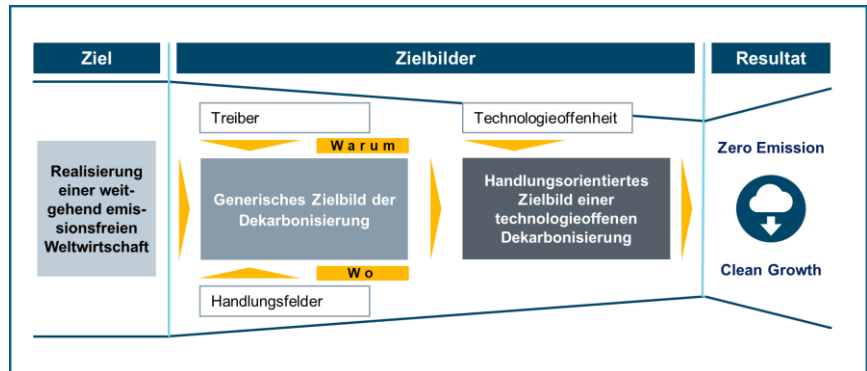
Im Folgenden die Zusammenfassung der einzelnen Kapitel im Detail:

## 1 – Dekarbonisierung als strategischer Fixpunkt

Der menschengeschaffene Klimawandel gilt heute als anerkannte Tatsache. Nur zu verständlich ist die inzwischen von immer mehr Menschen global und lokal vehement vorgetragene Forderung nach einem konsequenten Übergang hin zu einer klimafreundlichen Ökonomie. Nur, wo stehen wir in der Klimafrage heute? Und welche Trends sehen wir perspektivisch zur Lösung der vermutlich größten Herausforderung der Menschheit aller Zeiten? Die Autoren dieses Buchs beantworten in diesem Einführungskapitel diese und weitere Fragen in der gebotenen Kürze. Aber vor allem bieten sie dem Leser einen ersten Einblick in ihre Idee – und damit gewissermaßen den „Nordstern“ dieser Publikation – zur Lösung der Klimakrise: die Ergänzung etablierter Ansätze zur Senkung des Ausstoßes von Treibhausgasen durch die technologieoffene Dekarbonisierung energetischer Betriebsprozesse aller Art. Aus Sicht des Autorenquintetts kann insbesondere das gewählte Paradigma der Technologieoffenheit einen, die bekannten Instrumente ergänzenden, Beitrag zur Klimarettung leisten.

## 2 – Facetten der Dekarbonisierung

Im zweiten Kapitel werden die konzeptionellen Grundlagen des Dekarbonisierungsansatzes mittels dreier Leitfragen erörtert. Mit der einleitenden Frage, **warum** sich Gesellschaft und Wirtschaft intensiv mit der Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgase beschäftigen, werden die wesentlichen Treiber bzw. Katalysatoren der Dekarbonisierung vorgestellt. Anschließend wird die Frage erörtert, **wo** sich geeignete Ansatzpunkte oder Hebel in Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Technik für erfolgreiche Initiativen zur Treibhausgasminimierung identifizieren lassen. Das Kapitel endet mit der Formulierung eines Zielbilds, welches die Frage zu beantworten sucht, **wohin** voraussichtlich die Dekarbonisierungsreise gehen wird.

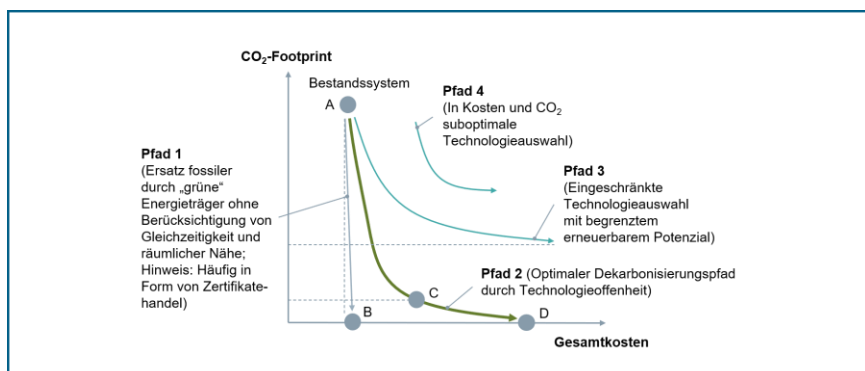


## 3 – Handlungsoption digitale Dekarbonisierung

Im dritten Kapitel wird das Konzept der Modellierung von Energiesystemen als Grundlage für die Identifikation der wirksamsten Maßnahmen eingeführt. Energiebedarfe werden dazu mit der optimalen Kombination aus vorhandenen und zukünftigen Technologien für die Versorgung mit Strom, Wärme, Kühlung, Antriebsenergie, Trinkwasser und chemischen Energieformen gedeckt. Freiheitsgrade sind hierbei langfristig die Auswahl der Komponenten und kurzfristig deren geschickter Betrieb. Die Basis für bestmögliche Auslegung und Betrieb der Energiesysteme sind Prognosen der Energiebedarfe und eine Datenbank mit den technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der verfügbaren Komponenten. Insbesondere bei den wirtschaftlichen Annahmen muss mit Szenarien gearbeitet werden, denn die zukünftige Entwicklung wesentlicher Grundgrößen – wie Zinssätze, Primärenergiepreise oder konjunkturbedingte Nachfrageschwankungen – sind zum Zeitpunkt der Investition in Komponenten mit Abschreibungszeiträumen von über zehn Jahren und mehr unbekannt.

## 4 – Dekarbonisierung durch datenbasierte Optimierung

Die wichtigsten Facetten der Methodik der digitalen Dekarbonisierung werden in diesem Kapitel dargestellt. Wie können energetische Prozesse technologieoffen dekarbonisiert werden? Zu den wichtigsten Facetten dieser Frage wird hier ein praxiserprobter Überblick gegeben. Nach Klärung der Systeme und ihrer Grenzen, die der digitalen Dekarbonisierung zugänglich gemacht werden, wird der mathematische Optimierungsansatz mit einem besonderen

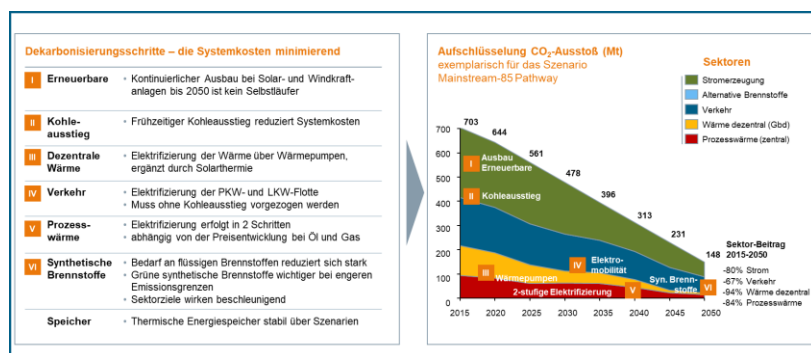




Fokus auf der Modellierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und prinzipiellen Überlegungen zur Dekarbonisierung von Energiesystemen dargestellt. Diese prinzipiellen Überlegungen werden anhand von mehreren Fallbeispielen in den Kapiteln 5 und 6 konkretisiert. Das vierte Buchkapitel gibt darüber hinaus noch einen Überblick über das typische Vorgehen der digitalen Dekarbonisierung im Rahmen eines Beratungsprojekts. Zuletzt wird aufgezeigt, mit welchen Schritten ein optimal geplantes Energiesystem auch in die Praxis umgesetzt werden kann.

### 5 – Makrobetrachtung inkl. Anwendungsfälle

Zu Beginn der Energiewende zeigte sich der Fortschritt im Wesentlichen durch die technologische Optimierung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Ressourcen und deren steigenden Anteil an der Gesamtstromproduktion. Die Maßnahmen hatten sich allein auf den Stromsektor konzentriert.



Heute wird für die Dekarbonisierung in Ländern wie Deutschland, die diesen Weg schon seit Längerem eingeschlagen haben, klar, dass weitere Fortschritte allein im Stromsektor nur zu stark steigenden Kosten zu haben sind. Aus diesem Grund sind in den letzten Jahren zu Recht die übrigen Energiesektoren in den

Fokus geraten. Für Deutschland sind hier der Wärme- und Verkehrssektor gemeint; unter anderen Randbedingungen sind Sektoren wie Wasserentsalzung oder Kühlung zu nennen.

Nach einer kompakten Auflistung der entscheidenden methodischen Aspekte der Makromodellierung zeigt dieses Kapitel die Rolle der Sektorkopplung zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland auf. Hierfür werden insbesondere die Konsequenzen einer Elektrifizierung des Wärmesektors und der Elektromobilität auf den Stromsektor abgeleitet. Die Ergebnisse der Makromodellierung werden kritisch diskutiert und bewertet. Auch wenn Deutschland ein lehrreiches Fallbeispiel für die Möglichkeiten der digitalen Dekarbonisierung liefert, wollen die Autoren im Folgenden sich der weltweiten Sicht annähern. Hierzu diskutieren sie Energiesysteme mit differierenden Randbedingungen und die Möglichkeiten von Archetypen.

### 6 – Mikrobetrachtung inkl. Anwendungsfälle

Hat das vorhergehende Kapitel Fallbeispiele für Länder (also auf Makroebene) aufgezeigt, so wird im sechsten Kapitel anhand einiger Fallbeispiele auf Mikroebene das „Wie“ der digitalen Dekarbonisierung für einzelne Unternehmen erläutert. Die Anwendungsfälle sind nicht fiktiv, sondern waren konkrete Projekte aus der Infrastruktur, Industrie, der Wohnwirtschaft und Energieversorgung, welche die Autoren in den letzten Jahren mit der vorgestellten Methode der digitalen Dekarbonisierung bearbeitet haben. Besonderer Fokus wird in diesen Beispielen auf die Wirkung von Regulatorik, die Komplexität von Multi-Stakeholder-Systemen und die anspruchsvolle Aufgabe der Dekarbonisierung von urbaner Wärmeversorgung gelegt. Mithilfe dieser Beispiele ist der Leser in der Lage, die Vorzüge der digitalen Dekarbonisierung vollends zu erfassen und sie in der Praxis anzuwenden.