



Alexander Schlüter
Juan Bernabé-Moreno



DAS ENERGIESYSTEM DER ZUKUNFT in Smart Cities und Smart Rural Areas

HANSER

Schlüter/Bernabé-Moreno
**Energiesystem der Zukunft in
Smart Cities und Smart Rural Areas**

Alexander Schlüter, Juan Bernabé-Moreno (Hrsg.)

**Das Energiesystem der Zukunft
in Smart Cities und Smart Rural Areas**

HANSER

Die Herausgeber:

Dr.-Ing. Alexander Schlüter, E.ON Digital Technology GmbH

Dr. Juan Bernabé-Moreno, E.ON Digital Technology GmbH und E.ON SE

In diesem Buch wird für die Nennung von Personen oder Personengruppen meist sowohl die weibliche als auch die männliche Form oder eine neutrale Formulierung verwendet. Auch in den Fällen, in denen dies aus Gründen der besseren Lesbarkeit nicht umgesetzt wurde, sind immer alle Geschlechter gemeint. Begriffe wie „Verbraucher“ oder „Investor“ bezeichnen vorrangig Institutionen, technische Anlagen o. Ä. Hier wird die Konvention der männlichen Form beibehalten.



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-446-46822-1

E-Book-ISBN 978-3-446-46897-9

ePub-ISBN 978-3-446-47172-6

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen.

Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autorinnen, Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Rechte aller Grafiken und Bilder liegen bei den Autorinnen und Autoren.

© 2021 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Carolin Benedix

Satz: Eberl & Koesel Studio GmbH, Krugzell

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Titelmotiv: Max Kostopoulos, unter Verwendung von Grafiken von © shutterstock.com/majcot

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH und Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

Vorwort von Dr. Karsten Wildberger

Dr. Karsten Wildberger, Chief Operating Officer – Commercial und Mitglied im Vorstand der E.ON SE



Liebe Leserinnen und Leser,

Nachhaltigkeit ist längst ein Synonym für Zukunftsfähigkeit. Im Zuge des Europäischen Green Deal stehen wir vor der Aufgabe, alle Bereiche unseres Zusammenlebens bis spätestens 2050 zu dekarbonisieren. Jede Stadt, jedes Haus, jede Wohnung wird umgebaut werden müssen, damit wir unsere Klimaziele erreichen. Digitalisierung ist ein wichtiges Kernelement unseres infrastrukturellen Umbaus.

Bereits heute zeigt sich weltweit, wo genug in die digitale Infrastruktur investiert wird und wo nicht. Die Digitalisierung entscheidet über individuelle Bildungs- und Berufsperspektiven. Und sie entscheidet als zentraler Standortfaktor über Attraktivität und Wirtschaftskraft von Staaten und Regionen. Im Zuge neuer Anforderungen an den Klimaschutz könnte die Schere schon bald noch weiter auseinandergehen.

Warum ist das relevant? Weil wir jetzt die Chance haben, aus dem stotternden Start der Digitalisierung in Deutschland zu lernen. Und genau dazu möchten wir mit diesem Buch beitragen. Es wirft die Frage auf, wie eine nachhaltige Infrastruktur aussehen könnte. Es zeigt technische Potenziale und neueste Trends. Und es ermuntert dazu, mutig neue Wege zu gehen. Es ist ein Buch von Praktikern und Experten, das sich ganz konkret an Sie als kommunale Entscheidungsträger richtet. Wir wollen Ihnen zeigen, dass es die Kommunen sind, die den Unterschied machen. Eben dann, wenn sie nachhaltiger und digitaler werden – als smarte Städte und smarte Regionen.

Das Potenzial dazu wartet nur darauf, weiter erschlossen zu werden. Denn heute entscheiden nicht mehr Kraftwerke und Kupferleitungen über die Leistungsfähig-

keit des Energiesystems. Heute sind es Software und künstliche Intelligenz. Wir bewegen uns weg von der linearen Entwicklungslogik analoger Zeiten. Das ermöglicht ganz neue Technologiesprünge und Einsparpotenziale – für eine bezahlbare, stabile und vor allem nachhaltige Energieversorgung. Digitalisierung ist damit im besten Sinne Mittel zum Zweck. Deshalb braucht es ein klares Zielbild für Ihre Kommune!

Als Stadt oder Region smart zu werden, bedeutet Infrastruktur neu zu denken – im Sinne der Bürgerinnen und Bürger und der ortsansässigen Wirtschaft. Dabei geht es um mehr als den Ausbau Erneuerbarer Energien. Es geht darum, diese Energie beim Kunden vor Ort verfügbar zu machen. Und dies muss in allen Bereichen passieren, auch dort, wo bislang die fossile Energienutzung dominiert: Im Verkehr, in der Industrie und Gebäudewirtschaft.

Einer aktuellen Studie der Agora-Energiewende zufolge braucht es auf dem Pfad zu Klimaneutralität bis 2050 bereits in diesem Jahrzehnt etwa 14 Millionen zusätzliche Elektrofahrzeuge und rund sechs Millionen Wärmepumpen. Diese müssen wir ebenso in das lokale Energiesystem einbinden, wie eine immer größere Zahl von Anlagen Erneuerbarer Energien – von örtlichen Windparks bis hin zu den vielen Solarpanels auf den Dächern der Bürgerinnen und Bürger. Das alles ist ohne eine datenbasierte Steuerung ebenso wenig denkbar wie eine Optimierung und damit Senkung des Verbrauchs. Smarte Lösungen schaffen Transparenz und helfen, den Energieverbrauch effizient zu steuern. Davon profitieren einzelne Haushalte und ganze Kommunen – erst recht, wenn auch Gebäude, Quartiere und Stadtteile vernetzt werden.

Die Basis all dessen bilden moderne Verteilnetze für Strom, Erdgas und zukünftig Wasserstoff. Sie sind die zentrale Schnittstelle, etwa für die städtische Elektromobilität. Deshalb investieren Verteilnetzbetreiber wie die Regionalversorgungsunternehmen der E.ON in intelligente Netze. Und deshalb sehen wir uns auch im Kundengeschäft immer mehr als innovativer Lösungsanbieter für den kommunalen Bedarf. Wie die Infrastruktur aber im Detail ausgestaltet werden soll und welchen Anforderungen sie entspricht, liegt vor allem auch in Ihrer Hand.

Der Aufbau von Infrastruktur, liebe Leserinnen und Leser, braucht bekanntermaßen immer einiges an Vorlaufzeit; Investitionszyklen betragen oft 10 bis 15 Jahre. Angesichts der rasanten Geschwindigkeit, mit der sich unsere digitalisierte Welt entwickelt, bleibt daher keine Zeit zu verlieren. Mit dieser Lektüre wollen wir Ihnen daher helfen, das Potenzial der Digitalisierung noch besser zu nutzen. Zeitig und konsequent. Es braucht Entscheider, die den Wandel in Gang setzen. Es braucht viele, vor allem Sie.

Vorwort von Burkhard Jung

*Burkhard Jung, Präsident des Deutschen Städtetags
und Oberbürgermeister von Leipzig*

Über Jahrzehnte ging es im Energiesektor vor allem darum, Produkte zu verkaufen: Gas, Strom, Wärme. Das allein reicht nicht. Um uns heute für das Morgen aufzustellen, brauchen wir integrierte Dienstleistungen mit nachhaltigen Lösungen für Wohnen, Mobilität, Kommunikation. Diesen Weg in die Smart City beschreiten die Städte gerade mit viel Elan. Intelligente Vernetzung wird zu-



© Michael Bader

nehmend selbstverständlich. Mobilität gibt es aus einer Hand über die gesamte Palette der Verkehrsträger. Dabei werden Mobilität und Energie klug verbunden.

Um die Dienstleistungen für die Menschen in der Stadt und auf dem Land weiter zu verbessern, benötigen wir eine leistungsfähige Dateninfrastruktur und die passenden Rahmenbedingungen. Die Studie „Die Stadt der Zukunft mit Daten gestalten“, die der Deutsche Städtetag gemeinsam mit der PD – Berater der öffentlichen Hand GmbH erstellt hat, zeigt das umfassende Innovationspotenzial. Zugleich wird deutlich, dass es die passenden Rahmenbedingungen braucht, um das Potenzial zu heben.

Das Energiesystem der Zukunft wird nicht nur auf erneuerbaren Energien basieren, sondern muss integraler Bestandteil einer vernetzten Stadt werden. Übertragungs- und Verteilnetze müssen ausgebaut werden, um den erneuerbaren Strom verlässlich zu den Endverbrauchern bringen zu können. Zugleich brauchen wir ein funktionierendes Leitungsnetz für Wasserstoff.

Wir werden nicht allein über die energetische Gebäudesanierung, den Neubau hocheffizienter Gebäude und die verstärkte Nutzung von Wärmepumpen das Ziel der Klimaneutralität erreichen. Die Umstellung der Nah- und Fernwärmeversorgung auf erneuerbare Energien ist eine der großen Zukunftsaufgaben. Dafür müs-

sen auch Abwärme und lokal oder regional erzeugter Wasserstoff stärker genutzt werden. Es braucht Technologieoffenheit und einen integrierten, flexiblen Rahmen für die Verteilnetze für Gas und Wasserstoff. Gleichzeitig werden wir die Umstellung der Erzeugung von Strom auf erneuerbare Energien beschleunigen und dessen Nutzung effizienter gestalten. Gerade die Sektorenkopplung bietet erhebliche Potenziale.

Die vorliegende Publikation behandelt die Handlungsfelder für ein Energiesystem der Zukunft in Smart Cities und Smart Rural Areas und gibt vielfältige Impulse für die Kommunen. Ich wünsche den Leserinnen und Lesern eine spannende Lektüre und Anregungen für die erfolgreiche Gestaltung eines nachhaltigen, dem Klimaschutz verpflichteten und resilienten Energiesystems.

Leipzig im April 2021

Burkhard Jung

Vorwort der Herausgeber

Herzlichen Glückwunsch! Sie gehören zu den wenigen Menschen, die Vorworte beachten und lesen. Im Falle dieses Buches ist das auch sinnvoll, da wir hier erklären, wie Sie es am effektivsten für sich nutzen können. Wir wollen nämlich nicht nur über Technologien und Herausforderungen berichten, sondern auch anspornen und Ihnen konkrete Handlungsempfehlungen mitgeben.

Aber für wen schreiben wir – über 30 ausgewiesene nationale und internationale Fachexperten – dieses Buch überhaupt? Es ist selbstverständlich für alle, die sich für das Thema Smart Cities und Rural Areas interessieren. Wir adressieren dabei Verantwortliche in Städten, Dörfern und Landkreisen direkt. Sie sind für das Gelingen der Weiterentwicklung in den Bereichen Energie, Mobilität und Digitalisierung immens wichtig. Vor Ort haben Sie erste praktische Erfahrungen gesammelt. Wir möchten diese mit wissenschaftlichen Erkenntnissen und Prognosen ergänzen und dabei Fachbegriffe und Zusammenhänge ausführlich erklären. Unser Ziel ist, dass Sie über die Kapitel hinweg Herausforderungen erkennen und interessante Ansätze mitnehmen, um das Leben der Bürger zu bereichern. Ihre Kommune kann einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten und davon zeitgleich auch profitieren. Selbstverständlich sind auch Fachexperten, Studierende und alle, die sich für die genannten Themen interessieren, herzlich eingeladen, sich mit dieser Lektüre zu bilden.

Aber warum ist die Transformation hin zu intelligenten Gemeinden überhaupt erstrebenswert? Sie ermöglichen eine nachhaltigere Lebensweise und sind damit eine Antwort auf die großen Herausforderungen unserer Gesellschaft, wie z. B. auf den Klimawandel. Unsere Umwelt verändert sich außergewöhnlich schnell – leider zu unseren Ungunsten. Die systematische Zerstörung unseres Planeten verschlechtert Lebensbedingungen und erhöht Gefahren für die menschliche Gesundheit, zieht hohe ökonomische und soziale Kosten nach sich und führt zu Artensterben. Derzeit erleben wir, was ein aus dem Gleichgewicht geratenes Verhältnis zwischen Menschen, Natur und Tierwelt unter anderem für Gefahren bringen kann – z. B. erhöhte Pandemiegefahr.

Clever wäre es doch, die notwendigen Veränderungen mit einer Verbesserung unserer Lebensqualität zu verknüpfen, oder? Und genau das ist das Ziel von Smart-City-Projekten. In diesem Buch starten wir zunächst mit Grundlagen und geben den Impuls, damit Sie Vision und Strategie Ihrer intelligenten Stadt der Zukunft selbst erstellen sowie die eigene Rolle und Verantwortung bei der Gestaltung verstehen können. Anschließend lesen Sie von den zahlreichen Herausforderungen und Chancen der Themenfelder Energiesysteme und Digitalisierung. Für Ihre daraus abgeleiteten Schwerpunkte geben wir Ihnen dann Tipps zu ausgewählten Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten.

Zu guter Letzt möchten wir allen Beteiligten herzlich danken. Das Projekt wurde sowohl E.ON-intern als auch durch die vielen externen Autoren von Anfang an begeistert mitgestaltet und erfolgreich umgesetzt. Und nun wünschen wir viel Spaß beim Lesen und Umsetzen.

München im Frühjahr 2021

Alexander Schlüter und Juan Bernabé-Moreno

Inhalt

| | |
|---|------------|
| Vorwort von Dr. Karsten Wildberger | V |
| Vorwort von Burkhard Jung | VII |
| Vorwort der Herausgeber | IX |
| Herausgeber, Autoren und Autorinnen | XIX |
| I Grundlagen und strategische Planung | |
| 1 Erste Schritte auf dem Weg zur smarten Kommune | 3 |
| <i>Alexander Schlüter</i> | |
| 2 Vision einer nachhaltigen und digitalen Zukunft | 7 |
| <i>Matthew Timms, Laura Antonia Färber</i> | |
| 2.1 Der Klimawandel und die Konsequenzen | 7 |
| 2.2 Digitalisierung, Städte und ländliche Regionen | 10 |
| 2.3 Literaturverzeichnis | 12 |
| 3 Die smarte Kommune in Stadt und Land | 15 |
| <i>Alexander Schlüter</i> | |
| 4 Strategische Planung des Transformationsprozesses | 19 |
| <i>Diana Khripko, Nicky Athanassopoulou, Imoh Ilevbare, Rob Phaal</i> | |
| 4.1 Hintergrundwissen zum strategischen Roadmapping | 20 |
| 4.2 Scoping, Design und Planung | 22 |
| 4.3 Strategisches Roadmapping | 25 |
| 4.4 Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 32 |
| 4.5 Literaturverzeichnis | 33 |

II Erneuerbare Energiesysteme integrieren

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Erfolgsstory mit mehr Potenzial: die Erneuerbaren | 37 |
| | <i>Jens Weibezahn, Alexandra Krumm, Pao-Yu Oei, Laura Färber</i> | |
| 1.1 | Einleitung | 37 |
| 1.2 | Techno-ökonomische Aspekte | 39 |
| 1.2.1 | Stromsektor | 40 |
| 1.2.2 | Wärmesektor | 44 |
| 1.2.3 | Mobilitätssektor | 45 |
| 1.3 | Sozio-ökonomische, regulatorische und politische Aspekte | 46 |
| 1.4 | Anwendungen erneuerbarer Energien | 48 |
| 1.4.1 | Großstädte: PV-Potenzial in Berlin und urbane Wärmewende in Hamburg und München | 50 |
| 1.4.2 | Mittelgroße Kommunen und Kreise: Masterplan 100 % Klimaschutz im Kreis Steinfurt | 52 |
| 1.4.3 | Kleinstädte und Dörfer: Aufbau und Export von 100 % Grünstrom in Schönau und Feldheim | 53 |
| 1.5 | Mieterstrom: Energieprodukt aus erneuerbaren Energien | 54 |
| 1.5.1 | Funktionsprinzip Mieterstrom | 55 |
| 1.5.2 | Rollen im Mieterstrommodell | 56 |
| 1.5.3 | Technologien, rechtliche Anforderungen und Förderung | 57 |
| 1.5.4 | Messungen und technische Voraussetzungen | 58 |
| 1.5.5 | Sieben Gründe, warum Mieterstrom für Kommunen interessant ist | 59 |
| 1.6 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 60 |
| 1.7 | Literaturverzeichnis | 62 |
| 2 | Elektrische Netze: auf dem Weg zum Smart Grid | 65 |
| | <i>Simon Köppl, Vincenz Regener</i> | |
| 2.1 | Grundlagen von Stromnetzen | 65 |
| 2.1.1 | Physikalische Zusammenhänge – was bringt den Strom von A nach B? | 65 |
| 2.1.2 | Wie sieht die Netzstruktur in Deutschland aus? | 66 |
| 2.1.3 | Wo liegen die Anfänge der elektrischen Kraftübertragung? ... | 67 |
| 2.1.4 | Was sind die Aufgaben der Netzbetreiber? | 68 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.1.5 | Welche Herausforderungen ergeben sich aus der Energiewende für das Netz? | 69 |
| 2.2 | Wie wird das Stromnetz zu einem zukunftsfähigen Smart Grid? | 70 |
| 2.2.1 | Neue, digitale Netzbetriebsmittel und deren Vernetzung | 70 |
| 2.2.2 | Transparenz in Haushalten: Was bringen Smart Meter? | 71 |
| 2.2.3 | Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch: netzdienlich oder zumindest netzverträglich! | 73 |
| 2.3 | Micro Grids: innovative Quartiere als individuelle Lösung | 74 |
| 2.4 | Best Practice für den Einsatz von Smart Grids | 75 |
| 2.5 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 76 |
| 2.6 | Literaturverzeichnis | 77 |
| 3 | Zukunftshoffnung: thermische Netze | 81 |
| | <i>Hagen Braas, Markus Bücherl, Janybek Orozaliev, Peder Berne</i> | |
| 3.1 | Wie steht Deutschland in der Wärmewende da? | 83 |
| 3.2 | Wärmenetze heute und in Zukunft | 85 |
| 3.3 | Moderne Fernwärme | 87 |
| 3.4 | Beispiele aus der Praxis | 90 |
| 3.4.1 | 100% erneuerbare Fernwärme in Marstal | 90 |
| 3.4.2 | Geothermie in der Fernwärme München | 91 |
| 3.4.3 | Das Fernwärmesystem von Malmö | 92 |
| 3.4.4 | ectogrid™ im Medicon Village, Lund | 96 |
| 3.5 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 98 |
| 3.6 | Literaturverzeichnis | 100 |
| III | Energie effizienter nutzen | |
| 1 | Mit Energieeffizienz Grundlagen legen | 105 |
| | <i>Ron-Hendrik Hechelmann, Florian Schlosser, Henning Meschede, Alexander Schlüter</i> | |
| 1.1 | Energieeffizienz nach dem Zwiebelschalenmodell | 107 |
| 1.2 | Energieeffizienz in Querschnittstechnologien | 109 |
| 1.2.1 | Beleuchtung | 110 |
| 1.2.2 | Raumlufttechnische Anlagen (RLT) | 111 |
| 1.2.3 | Wärmebereitstellung und Abwärmenutzung | 113 |
| 1.2.4 | Kälte | 117 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 1.2.5 | Druckluft | 118 |
| 1.2.6 | Elektromechanische Antriebe | 119 |
| 1.3 | Literaturverzeichnis | 120 |
| 2 | Energie einsparen in Industrie und Gewerbe | 123 |
| | <i>Florian Schlosser, Ron-Hendrik Hechelmann, Henning Meschede, Alexander Schlüter</i> | |
| 2.1 | Was können Industrie und Gewerbe ganz konkret tun? | 123 |
| 2.2 | Wo kommt Energieeffizienz in der Industrie an ihre Grenzen? | 128 |
| 2.3 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 129 |
| 2.4 | Literaturverzeichnis | 131 |
| 3 | Energieeffiziente Gebäude | 133 |
| | <i>Garance Emmerich-Bundel, Manuel Lindauer, Alexander Schlüter</i> | |
| 3.1 | Hintergrund | 133 |
| 3.2 | Hauptfaktoren für den Energieverbrauch | 136 |
| 3.2.1 | Gebäudehülle | 136 |
| 3.2.2 | HLK – Systeme für den Nutzerkomfort | 138 |
| 3.2.3 | Raumheizung | 139 |
| 3.2.4 | Warmwasserbereitung | 140 |
| 3.2.5 | Raumkühlung | 140 |
| 3.2.6 | Raumbelüftung | 141 |
| 3.2.7 | Beleuchtung | 142 |
| 3.3 | Die Rolle von digitalen Technologien bei der Energieeffizienz von Gebäuden | 143 |
| 3.4 | Vorschriften für die Energieeffizienz von Gebäuden | 147 |
| 3.5 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 148 |
| 3.6 | Literaturverzeichnis | 149 |
| IV | Sektoren koppeln und Energie speichern | |
| 1 | Wer grüne Energie will, muss auch koppeln und speichern .. | 153 |
| | <i>Henning Meschede, Diana Khripko, Alexander Schlüter</i> | |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2 | Mehr Flexibilität durch Speicher | 159 |
| | <i>Matthias Philipp, Alexander Jäger, Andreas Kießling, Egon Westphal</i> | |
| 2.1 | Bedarf an Speichern im elektrischen Energiesystem | 159 |
| 2.2 | Technologien | 164 |
| 2.3 | Anwendungsgebiete | 165 |
| | 2.3.1 Batteriesysteme | 165 |
| | 2.3.2 Thermische Speicher | 167 |
| 2.4 | Praxisbeispiel: „Werksviertel Mitte“ in München | 168 |
| 2.5 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 171 |
| 2.6 | Literaturverzeichnis | 174 |
| 3 | Mehr Wasserstoff und grüne Brennstoffe einsetzen | 177 |
| | <i>Eugenio Scionti, Matteo Genovese, Christoph Pellingner, Petronilla Fragiaco</i> | |
| 3.1 | Motivation | 177 |
| | <i>Katherina Reiche</i> | |
| 3.2 | Einleitung | 178 |
| 3.3 | Gegenwärtiger Stand und Perspektiven | 179 |
| 3.4 | Herstellung | 186 |
| 3.5 | Infrastrukturen für Übertragung, Verteilung und Speicherung | 190 |
| 3.6 | Nutzung in den energieintensiven Sektoren | 192 |
| 3.7 | Nutzung im Stromsektor | 194 |
| 3.8 | Nutzung in Gebäuden | 196 |
| 3.9 | Nutzung in der Landwirtschaft | 198 |
| 3.10 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 200 |
| 3.11 | Literaturverzeichnis | 202 |
| 4 | Vorbereiten auf eine nachhaltigere Mobilität | 205 |
| | <i>Alexander Schlüter, Matteo Genovese, Petronilla Fragiaco</i> | |
| 4.1 | Herausforderungen für den Sektor | 205 |
| 4.2 | Technologien und Perspektiven für Elektrofahrzeuge | 210 |
| 4.3 | Lade- und Flexibilitätsoptionen durch Anschluss an das Energiesystem | 218 |
| 4.4 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 221 |
| 4.5 | Literaturverzeichnis | 223 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Energienachfrage flexibler gestalten | 227 |
| | <i>Diana Khripko, Henning Meschede, Eva Meschede</i> | |
| 5.1 | Lastverschiebungspotenzial identifizieren | 229 |
| 5.2 | Praktische Beispiele für Flexibilisierung in Industrie und GHD | 233 |
| 5.2.1 | Umwandlung von elektrischer Energie in andere Energieformen | 233 |
| 5.2.2 | Nachfrageanpassung durch Energieträgerwechsel | 235 |
| 5.2.3 | Flexibilität in betrieblicher Planung und Steuerung von elektrischen Anlagen | 237 |
| 5.2.4 | Fokus: gewerbliche Wasserversorgung | 238 |
| 5.3 | Praktische Beispiele für Flexibilisierung in Haushalten | 239 |
| 5.4 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 244 |
| 5.5 | Literaturverzeichnis | 247 |
| V | Kommunen und Energiesysteme digitalisieren | |
| 1 | Digitalisierung: Thema unserer Zeit | 253 |
| | <i>Victoria Ossadnik</i> | |
| 2 | Energiewende vor Ort: Kommunen digitalisieren | 255 |
| | <i>Matthew Timms, Laura Antonia Färber</i> | |
| 2.1 | Digitalisierung als zentrales Element der Energiewende | 255 |
| 2.1.1 | Digitalisierung von Energieanlagen | 256 |
| 2.1.2 | Digitalisierung auf der Energieverbraucherseite | 257 |
| 2.1.3 | Wendepunkte für signifikante Veränderungen in Energiesystemen | 259 |
| 2.2 | Technologien als Verstärker des Wandels | 261 |
| 2.3 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 264 |
| 2.4 | Literaturverzeichnis | 265 |
| 3 | Der Prosumer im Zentrum des digitalen Energiesystems | 267 |
| | <i>Svetlana Ikonnikova, Alexander Schlüter, Bernadette Brandner</i> | |
| 3.1 | Energiewende durch Digitalisierung | 269 |
| 3.2 | Die Digitalisierung unterstreicht die Rolle von Netzwerkeffekten | 271 |
| 3.3 | Neue Möglichkeiten zur Wertschöpfung nutzen | 275 |
| 3.4 | Rechenzentren aufbauen und Blockchain nutzen? | 277 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.5 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 280 |
| 3.6 | Literaturverzeichnis | 282 |
| 4 | Daten und Internet der Dinge (IoT) | 283 |
| | <i>Giorgio Cortiana, Nicholas Ord</i> | |
| 4.1 | IoT-Wachstum und -Potenzial | 284 |
| 4.2 | Daten jenseits spezifischer Domänen | 286 |
| 4.3 | Daten von und zu IoT-Geräten für steuerbare Fernlenkung | 287 |
| 4.4 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 290 |
| 4.5 | Literaturverzeichnis | 291 |
| 5 | Künstliche Intelligenz als Wegbereiter für smartere Kommunen | 293 |
| | <i>Juan Bernabé-Moreno, Theodoros Evgeniou</i> | |
| 5.1 | Einführung | 293 |
| 5.1.1 | Definition von KI und intelligenten Systemen | 296 |
| 5.1.2 | Voraussetzungen und einschränkende Faktoren für KI: Stichwort Daten | 298 |
| 5.1.3 | Problemtypen und KI-Tools | 299 |
| 5.2 | KI macht unsere Kommunen smart | 300 |
| 5.2.1 | Intelligente Fertigung | 301 |
| 5.2.2 | Intelligente Gebäude | 303 |
| 5.2.3 | Intelligente Mobilität | 304 |
| 5.2.4 | Intelligente Energiesysteme | 306 |
| 5.2.5 | Intelligente Logistik | 307 |
| 5.2.6 | Intelligente Landwirtschaft | 309 |
| 5.2.7 | Intelligente Abfallentsorgung: Der Weg zur Kreislaufwirtschaft | 311 |
| 5.2.8 | Intelligente Polizei und Rettungsdienste | 312 |
| 5.2.9 | Intelligente Gesundheitsversorgung und Nachhaltigkeit | 313 |
| 5.3 | Der Weg der Anpassung | 315 |
| 5.3.1 | Ökosystem für die Serviceentwicklung | 317 |
| 5.3.2 | Prozesse und Steuerung | 317 |
| 5.3.3 | Daten und Technologiebereitschaft | 318 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.4 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 319 |
| 5.5 | Literaturverzeichnis | 320 |

VI Konkret werden

1 Interessen einbinden und optimale Finanzierung finden 327

Maria Garbuzova-Schlifter, Philipp Bugs, Kuldip Singh

| | | |
|-------|--|-----|
| 1.1 | Einführung | 327 |
| 1.2 | Ein Blick auf die Interessenvertreter | 329 |
| 1.3 | Ausgewählte Finanzierungs- und Förderungsmöglichkeiten | 332 |
| 1.3.1 | Fremdfinanzierung | 335 |
| 1.3.2 | Eigenkapitalfinanzierung | 337 |
| 1.3.3 | Hybridfinanzierung | 340 |
| 1.4 | Ausgewählte Förderungsoptionen | 342 |
| 1.5 | Ausgewählte Partnerschaftsmodelle | 346 |
| 1.5.1 | Joint Venture | 346 |
| 1.5.2 | Öffentlich-private Partnerschaft | 347 |
| 1.5.3 | Bürgerbeteiligungsmodelle | 348 |
| 1.6 | Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen | 349 |
| 1.7 | Literaturverzeichnis | 352 |

2 Interviews 355

| | | |
|-----|---------------------------|-----|
| 2.1 | Interview Wunsiedel | 355 |
| 2.2 | Interview Rosenheim | 357 |
| 2.3 | Interview München | 359 |

3 Wir müssen handeln: Jetzt! 361

Alexander Schlüter, Juan Bernabé-Moreno

Abkürzungsverzeichnis für Fachbegriffe 363

Register 367

Herausgeber, Autoren und Autorinnen

■ Herausgeber und Autoren

Dr.-Ing. Alexander Schlüter

Venture Manager, Future Lab, E.ON Digital Technology GmbH; Lehrbeauftragter, REMENA-Programm der Universitäten Kairo, Kassel und Monastir



Dr. Juan Bernabé-Moreno

Chief Data Officer, E.ON; Global Head of Data and Analytics, E.ON Digital Technology GmbH; Reserach Fellow, University of Oxford & Universidad de Granada



■ Die Autorinnen und Autoren

Dr. Nikoletta Athanassopoulou

Head of Solution Development, IfM Engage,
Institute for Manufacturing, University of
Cambridge



Peder Berne, MSc

Project Manager Sustainable City, E.ON City
Energy Solutions



Hagen Braas, MSc

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für
Thermische Energietechnik, Universität Kassel



Bernadette Brandner, MSc

Ehemalige Masterandin, Studiengang Manage-
ment & Technology, Technische Universität
München; Stipendiatin, UnternehmerTUM GmbH



Dr.-Ing. Markus Bücherl
Technischer Referent E.ON Energy Solutions
GmbH



Philipp Bugs, MSc
Venture Manager, Future Lab, E.ON Digital
Technology GmbH



Dr. Giorgio Cortiana
Head of Advanced Analytics – Energy Intelli-
gence, E.ON Digital Technology GmbH



Garance Emmerich-Bundel, MSc, MBA
Head of Digital Solutions & Commercialization,
E.ON Business Solutions GmbH



Prof. PhD Theodoros Evgeniou
Professor of Decision Sciences and Technology
Management, INSEAD; academic partner, World
Economic Forum for Artificial Intelligence



Dipl.-Pol. Laura Färber, MSc
Venture Manager, Future Lab, E.ON Digital
Technology GmbH



Prof. Ing. Petronilla Fragiaco
Associate Professor of Energy Systems and Power
Generation and Head Responsible of Fuel Cell and
Hydrogen Team, University of Calabria (IT)



Dr. rer. pol. Maria Garbuzova-Schlifter
Venture Manager & Data Scientist, Future Lab,
E.ON Digital Technology GmbH



Dr.-Eng. cand. Matteo Genovese
PhD Candidate and Research Fellow, University of
Calabria (IT)



Dr.-Ing. Ron-Hendrik Hechelmann
Postdoc, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte
und Prozesse, Universität Kassel



Prof. Dr. Svetlana Ikonnikova

Associate Professor in Resource Economics,
Center for Energy Markets, Technische
Universität München



Dr. Imoh Ilevbare

Principal Solution Development Specialist, IfM
Engage, Institute for Manufacturing, University
of Cambridge



Dipl.-Ing. Alexander Jäger

Referent für strategische Sonderprojekte und
Grundsatzfragen, Bayernwerk AG



Dr.-Ing. Diana Khripko

Senior Solution Development Specialist, IfM
Engage, Institute for Manufacturing, University
of Cambridge



Dr. Andreas Kießling

Leiter Verbändearbeit und Qualitätssicherung,
Bayernwerk AG



Dipl.-Ing. Simon Köppl
Projektleiter, FfE



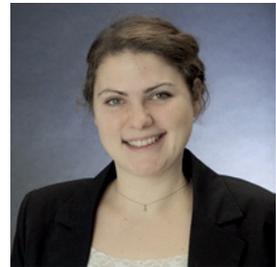
Alexandra Krumm, MSc
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Europa-Universität Flensburg; Doktorandin, Reiner Lemoine Institut



Dr.-Ing., Dipl. Math. Manuel Lindauer
Product Development, Calcon Deutschland GmbH;
freier Mitarbeiter, Fraunhofer Institut für Bau-physik



Eva Meschede, MSc
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Vernetzte Energiesysteme



Prof. Dr.-Ing. Henning Meschede
Professor für Energiesystemtechnik, Universität Paderborn



Prof. Dr. Pao-Yu Oei

Professor für die Ökonomie der Transformation von Energiesystemen, Europa-Universität Flensburg; Gastwissenschaftler, Technische Universität Berlin



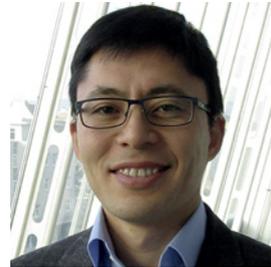
Nicholas Ord, MBA, Tech Eng. (Computer Science and Electronics Systems)

Venture Manager, Future Lab, E.ON Digital Technology GmbH



Dr.-Ing. Janybek Orozaliev

Gruppenleiter Thermische Komponenten und Systeme, Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel



Dr. Victoria Ossadnik

Vorstand, E.ON SE; Aufsichtsratsmitglied, Linde plc.; Aufsichtsratsmitglied, Commerzbank AG



Dr.-Ing. Christoph Pellingner

Leitung strategische Projektplanung, FfE



Dr. Rob Phaal

Director of Research (STIM, CUED), Institute for
Manufacturing, University of Cambridge



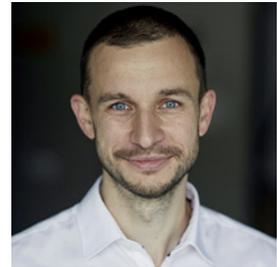
Dr.-Ing. Matthias Philipp

Projektmanager Produkt- und Lösungs-
entwicklung, Bayernwerk Natur GmbH



Vincenz Regener, MSc

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, FfE



Dipl.-Chem. Katherina Reiche

Vorstandsvorsitzende, Westenergie AG;
Vorsitzende, Nationaler Wasserstoffrat der
deutschen Bundesregierung



Dr.-Ing. Florian Schlosser

Postdoc, Fachgebiet Energiesystemtechnik,
Universität Paderborn



Eugenio Scionti, MSc

Venture Manager, Future Lab, E.ON Digital
Technology GmbH



Kuldip Singh, Drs., CMA, CFM

Head of Digital Transformation CS, E.ON Digital
Technology GmbH



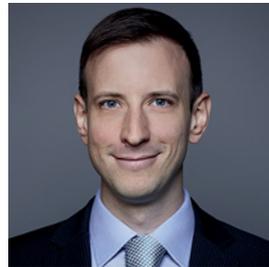
Matthew Timms, BSc

Chief Digital and Technology Officer, E.ON SE;
Chief Executive Officer, E.ON Digital Technology
GmbH



Dr. Jens Weibezahn

Post-Doktorand, Fachgebiet Wirtschafts- und
Infrastrukturpolitik (WIP), Technische Universität
Berlin und Copenhagen School of Energy Infra-
structure (CSEI), Copenhagen Business School
(CBS)



Dr.-Ing. Egon Leo Westphal

Mitglied des Vorstandes und seit Juli 2021 dessen
Vorsitzender, Bayernwerk AG



