



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



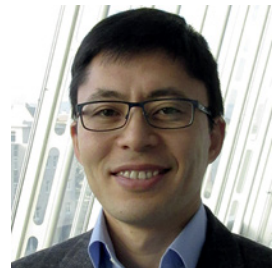
Nicholas Ord, MBA, Tech Eng. (Computer Science and Electronics Systems)

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



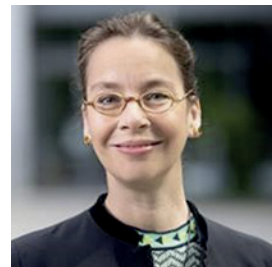
Dr.-Ing. Janybek Orozaliev

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



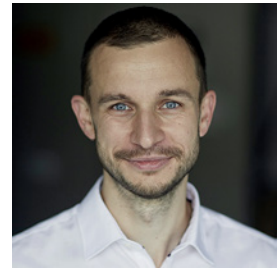
Dr.-Ing. Matthias Philipp

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



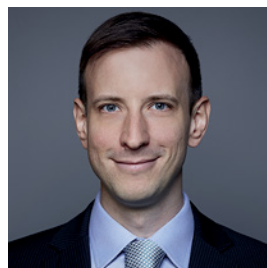
Matthew Timms, BSc

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



I

Grundlagen und strategische Planung

1

Erste Schritte auf dem Weg zur smarten Kommune

Alexander Schlüter

Kennen Sie die Definition einer Smart City? Nein? Nun, kein Wunder. Es gibt gar keine offizielle Definition, die auch konkrete Ziele enthält. Sie müssen sie schon selbst erstellen. Wenn Sie mögen, mit Hilfestellung durch uns. Aber dazu kommen wir später.

In diesem Buch konzentrieren wir uns primär auf zwei Querschnittsthemen: Energie sowie Digitalisierung. Einen Abstecher machen wir zum mit Energie verbundenen Sektor Mobilität. Wenn Sie Ihre Stadt zur Smart City oder Ihre ländliche Region zur Smart Rural Area entwickeln möchten, sollten Sie zunächst eine Vision erstellen. Im nächsten Kapitel finden Sie dazu Anregungen in den genannten Schwerpunkten dieses Buches. Darauf folgend finden Sie handfeste Musterdefinitionen – bezogen auf die drei Beispielstädte dieses Buches. Nach der Vision und Definition folgt logischerweise die Planung. Daher präsentieren wir Ihnen anschließend ein Modell zum strategischen Roadmapping von Smart-City-Projekten. Dieser Begriff beinhaltet in diesem Buch der Einfachheit halber Projekte für alle Kommunen oder Gemeinden, was wiederum Oberbegriffe sowohl für Städte als auch für Dörfer sind. Aber wie viele Menschen leben eigentlich urban und wie viele ländlich? Bild 1.1 stellt dar, wie groß der prozentuale Anteil der Bevölkerung in Deutschland für die vier genannten Klassifikationen für Wohnorte ist.

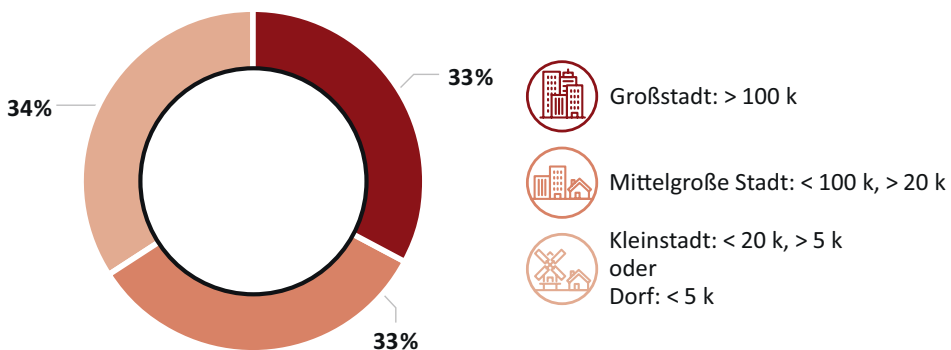


Bild 1.1 Die Aufteilung der Bevölkerung in Deutschland in drei Ortsgrößen, k = 1000, Quelle: vgl. Lauzi (2018)

Laut dieser Klassifizierung wohnen in Deutschland jeweils ca. ein Drittel der Menschen in großen bzw. mittelgroßen Städten. In Kleinstädten finden sich weitere ca. 24% und in Dörfern sind ca. 10% zu Hause.

Vorher sollten Sie sich aber über ein paar grundsätzliche Dinge klar werden: dem WARUM – und dabei ist der Klimawandel nur eine Facette. Ziel jeder Person in öffentlichen Ämtern sollte es sein, das (Zusammen-)Leben in Gemeinden zu verbessern. In unseren Interviews – siehe Teil VI, Kapitel 2 – fiel immer wieder dieser Begriff: Lebensqualität. Eine schlaue (smarte) Bevölkerung nutzt Technologie und Daten, um so ihre Lebensqualität auf ein neues Level zu heben und ihre Umgebung attraktiver zu gestalten.

Definition von „Smart“

Smarte Behandlung von alltäglichen Dingen hat den Zweck, sich schlauer mit etwas auseinander zu setzen als in einem Alternativszenario. Digitale Technologien nehmen Daten auf und vernetzen uns über verschiedene Endgeräte. Wir nutzen die Daten, um Dinge zu ergründen, die vorher mehr Ressourcen oder mehr Zeit in Anspruch genommen hätten. Smart kann zum Beispiel bedeuten: nachhaltig, leicht zugänglich, einfach integrierbar, elegant, flexibel, anpassbar, nutzenstiftend, leicht einsetzbar, benutzerfreundlich, individuell, skalierbar sowie agil.

Die smarte Gemeinschaft und das Erkennen des Werts von Daten

Was macht eine Umgebung lebenswert? Die Bewohner sollten sich zum einen glücklich fühlen und zum anderen das Gefühl haben, dass es aufwärts geht. Chancen sollten Probleme überwiegen. Hierzu ist ein offener Blick auf die Vergangenheit notwendig – aber nicht um von guten alten Zeiten zu schwelgen, sondern um sich zu verbessern.

Denn, mal im Ernst:

- Konnten unsere Vorfahren Filme streamen?
- Oder konnten Sie sehr günstig und spontan um die Welt telefonieren?
- Gab es einfach zu bedienende Leihfahrräder an Rent-a-Bike-Stationen in Städten?
- Finden Sie nicht auch die Apps auf unseren Smartphones mit Kartenfunktionen viel praktischer als aufklappbare Karten?

Überhaupt, Mobiltelefone: Was wären wir ohne sie? Ja, es gibt Menschen mit digitalem Overload – aber generell verbessern sie doch unseren Alltag. Was wäre ich ohne meinen eingebauten Kalender oder meine Einkaufsliste – mit Vernetzung zu anderen Personen. Und erinnern Sie sich noch an Telefonlawinen – wie 80er war das denn? Die Kommunikation in Gruppen ist doch mithilfe der bekannten Apps wesentlich vereinfacht worden, oder nicht?

Menschen fragen sich, was sie zur Gemeinschaft beitragen können – und sind oftmals eher ratlos. Dabei entscheiden sie ja mit, von wem sie regiert werden. In unseren Städten und Gemeinden haben Verwaltungen und die gewählte Exekutive das Sagen – und Macht. Sie können die Kommune auf die Zukunft vorbereiten. Das klingt erstmal abstrakt und furchtbar langsam. Dennoch muss man sich nur mal in die Nachbargemeinden begeben, um zu sehen, dass es eben doch viel ausmachen kann, ob mit Schwung, Fleiß und Fantasie Themen angegangen werden – oder eben nicht. In manchen Städten atmen die Menschen schlechte Luft ein, in anderen weniger. In manchen Städten stehen sie minutenlang vor roten Ampeln, obwohl kein anderes Auto in Sicht ist, in anderen gibt es eine intelligente Steuerung. In einigen Gemeinden ist die Bevölkerung Feuer und Flamme für eine (Eigen-) Versorgung mit nachhaltiger Energie, in anderen stacheln sich die Bewohner gegen Windräder auf – oftmals sehr emotional und angetrieben durch Veränderungsängste. Dabei bieten sich gerade in ländlichen Regionen Chancen – eben, weil sie ja für ein Gelingen der Energiewende unerlässlich sind.

Literaturverzeichnis

Lauzi, M. (2018). Smart City – Technische Fundamente und erfolgreiche Anwendungen. München: Hanser.

2

Vision einer nachhaltigen und digitalen Zukunft

Matthew Timms, Laura Antonia Färber

Energie und Energiegewinnung sind seit der landwirtschaftlichen Revolution das Herzstück der Gemeinden und der Motor für Fortschritt (Piementel und Piementel, 2008). Dieser Fortschritt basiert auf Technologien; so trieb die Dampftechnologie die Automatisierung von Herstellungsprozessen voran und ermöglichte damit die Massenproduktion. Heute erleben wir Fortschritt im Bereich der Rechenleistung und Vernetzung, die eine stark vernetzte und digitalisierte Gesellschaft schaffen.

Diese Digitalisierung bedeutet die Anwendung von Technologien (Hard- und Software) und Konnektivität, um die Automatisierung und Effizienz von Geschäftsprozessen zu verbessern, neue Wege in der Kommunikation mit unseren Kunden zu nutzen oder völlig neue Geschäftsmodelle zu schaffen, die durch die Vernetzung möglich geworden sind. Die digitale Transformation gibt allerdings auch Anlass, um bestehende Geschäftsmodelle und -prozesse zu überprüfen und sicherzustellen, dass die Organisation auf die neuen technologiegetriebenen Ökosysteme und Geschäftshorizonte vorbereitet ist.

■ 2.1 Der Klimawandel und die Konsequenzen

Neben den Chancen aufgrund des digitalen Wandels stellt jedoch der Klimawandel und seine Folgen eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar. Laut Analyse der Weltorganisation für Meteorologie waren die Jahre 2015 bis 2018 die wärmsten seit Aufzeichnung und die globale Temperatur stieg um 1 °C (World Meteorological Organization, 2019).

„Getrieben von der hohen Dringlichkeit, dem Klimawandel, den steigenden Temperaturen und der Luftverschmutzung Einhalt zu gebieten, muss die Schaffung einer intelligenten, nachhaltigen Energiezukunft eine der obersten Prioritäten des 21. Jahrhunderts sein.“

European Commission (2018a)

Die Erderwärmung hat zu signifikanten wirtschaftlichen Auswirkungen geführt (European Commission, 2018a). Die Economist Intelligence Unit (2019) prognostiziert Kosten für die Weltwirtschaft von 7,9 Billionen Dollar und ihr schrumpfen um 3% bis 2050 – verursacht durch den Klimawandel. Diese Kosten werden sich auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und Gemeinden und Städte auswirken.

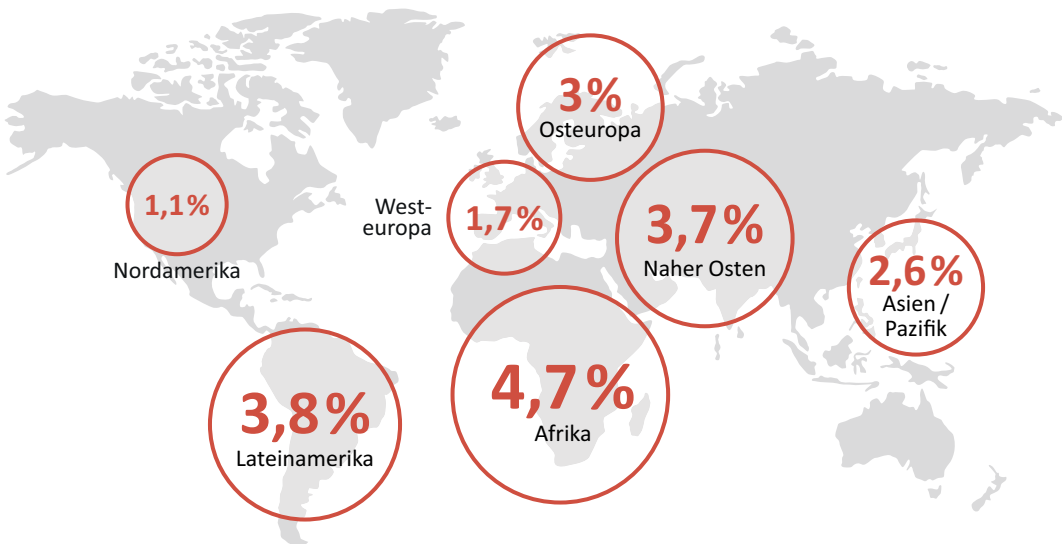


Bild 2.1 Weltkarte mit dem durchschnittlichen realen BIP-Verlust aufgrund des Klimawandels, Zahlen bis 2050 nach Weltregionen, Quelle: Economist Intelligence Unit (2019)

Transformation des Energiesystems

Damit gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen abgewendet werden können, muss der Klimawandel bekämpft werden. Ein wesentlicher Aspekt ist die Umstellung auf erneuerbare Energieerzeugung und die Abwendung von konventionellen Kraftwerken, die beispielsweise mit Kohle betrieben werden (European Commission, 2018a). In ihrem Zuständigkeitsbereich müssten Städte und ländliche Gebiete systemische Änderungen am Energiesystem vornehmen. Es müssen Anreize gesetzt werden, damit lokale Unternehmen und Verbraucher neue erneuerbare Energieanlagen vor Ort installieren (Kamyab *et al.*, 2020). In ländlichen Gebieten besteht zudem die Möglichkeit, größere erneuerbare Anlagen – zum Beispiel Windkraftanlagen – zu errichten, die sowohl benachbarte Städte als auch Dörfer beliefern und mit einer lokalen Wiederbelebung der Natur vereinbar ist (European Investment Bank, 2019).

Die konventionelle Stromerzeugung ist zentral, mit großen vorgelagerten Kraftwerken, die über Hochspannungsleitungen mit lokalen Netzbereichen verbunden sind. Unterstützt von Regierungen und Regulierungsbehörden treiben erneuer-

bare Energien, E-Mobilität, Elektrifizierung der Gesellschaft und die Notwendigkeit der Dekarbonisierung jedoch den Übergang zu einem gemischten Modell aus zentraler und dezentraler Erzeugung voran. Letztendlich könnte die Stromerzeugung sogar vollständig dezentral und vor Ort stattfinden.

Für den Umstieg auf eine dezentrale Energieerzeugung ist es daher auf kommunaler Ebene notwendig, dass Kommunen und Energieunternehmen ihre Infrastruktur überprüfen und gegebenenfalls modernisieren. Hierbei spielen die Digitalisierung und Automatisierung der lokalen Stromnetze eine besondere Rolle. Zwar bedeutet dies kurzfristig steigende Kosten für die Umrüstung der Netze, langfristig jedoch eine Verbesserung der Zuverlässigkeit und eine Senkung der Kosten für die Übertragung und Lieferung von Strom zwischen den Parteien im Netz und zugleich die Möglichkeit für Städte und ländliche Gebiete, smart zu werden. Die wachsende Nachfrage nach E-Mobilität verstärkt diese Notwendigkeit der intelligenten Netzinfrastuktur, da Ladedienste aufgebaut und in das lokale Netz integriert werden müssen (Färber *et al.*, 2018).

Der Nachteil der erneuerbaren Energien – im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken – ist, dass ihre Produktionsmengen starken Schwankungen unterliegen. Um daher die Erträge der Anlagen zu verbessern, spielen Speichertechnologien eine wichtige Rolle (Lu *et al.*, 2021). Elektrische Stromspeicher können überschüssigen Strom aufnehmen und ihn in Zeiten geringer Stromerzeugung in das Netz zurück einspeisen (OECD, 2018). Da die Preise für Strom deutlich steigen können, wenn eine niedrige Produktion auf hohe Nachfrage trifft, können Speichertechnologien die Verfügbarkeit von Strom zu einem bestimmten Zeitpunkt verbessern und sich positiv auf die Kostenstruktur von Strom für lokale Unternehmen und Verbraucher auswirken. Wie Ladestationen sind daher auch Speicherkapazitäten aufzubauen und in das lokale Stromnetz zu integrieren.

Eine kohlenstoffneutrale Zukunft erfordert jedoch nicht nur eine Veränderung der Produktion, der Verteilung und der Speicherung von Elektrizität oder ihre Nutzung für Mobilität, sie betrifft auch das Heizen und Kühlen. Eine Elektro- und Wärmespeicher-umfassende Fernwärmeplanung ist folglich ein wichtiger Aspekt der Dekarbonisierung. Fernwärme- und Fernkältelösungen ermöglichen es Kommunen, energieeffizienter zu werden (Geels, 2018). Zudem ist die thermische Versorgung ein wichtiger Bestandteil, um Gebäude energieeffizienter zu machen.

Der Nutzen für Städte, ländliche Gebiete, Verbraucher und Erzeuger besteht in einem integrierten und nachhaltigen Energiesystem, das wirtschaftliche, ökologische und soziale Ergebnisse in lokalen Gebieten liefert und deren Autarkie erhöht. Eine nachhaltige Energiezukunft ist für die Dekarbonisierung essenziell und unterstützt den Kampf gegen den Klimawandel.

Transformation der Mobilität

Ein weiterer Eckpfeiler – neben der Energie – für einen kohlenstoffneutralen Planeten und eine florierende Wirtschaft ist der Verkehr. Um eine Verkehrsverlagerung von kraftstoffbetriebenen Transportmitteln zu einem kohlenstofffreien Transport zu schaffen, müssen Kommunen die notwendige Infrastruktur bereitstellen (Brozynski und Leibowicz, 2018). Sie müssen nachhaltige Transportsysteme und Warenverteilungskapazitäten aufbauen, die es den Einwohnern ermöglichen, mit nachhaltigen Transportformen zu reisen (Geels, 2018). Exekutive und Legislative sollten prüfen, ob sie mehr Anreize für die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs oder moderne Angebote – wie Carsharing oder Rent a Bike – setzen sollten und wie sie ein umweltfreundlicheres Transportsystem für Waren schaffen können. Selbstfahrende Fahrzeuge und automatisierte Güterfahrzeuge werden zum Stadtbild gehören. Wie Studien nahelegen, könnte dies zu optimierten Verkehrsflüssen und damit zu einer Abnahme von Staus führen. Zudem wird durch die Elektrifizierung des Transportsektors die Feinstaubbelastung reduziert und damit die Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger verbessert (Khomenko *et al.*, 2021).

Neue Technologien werden den Transportsektor nachhaltig verändern. Es wird einen signifikanten Anstieg der Elektromobilität geben, der teilweise eine neue bzw. eine Aufrüstung der existierenden Infrastruktur erforderlich macht. Aber auch Wasserstoff wird das Energiesystem und den Transport verändern.

Außerdem ist ein ausgeweiteter Einsatz von Drohnen oder die Erfindung von fliegenden Autos denkbar, was sich auf die Flugsicherung aber auch auf die Konstruktion von Parkplätzen auswirken wird. So sind z. B. Tiefgaragen für fliegende Technologien weniger geeignet. Konsequenterweise könnten Sky-Parking und Landeflächen auf Gebäuden denkbare Lösungen sein.

■ 2.2 Digitalisierung, Städte und ländliche Regionen

Digitalisierung, Daten und Künstliche Intelligenz (KI) haben bereits heute Auswirkungen auf das Energiesystem und auf unser Zusammenleben. Alle Teile der Gesellschaft sind vernetzt, wir produzieren mit unseren Geräten mehr Daten als je zuvor aus allen Bereichen unseres Lebens. Smarte Kommunen werden stärker vernetzt sein und ihre Gebäude und Transportmittel werden in Echtzeit Daten austauschen. Die Anzahl an Sensorik und von anderen Technologien, die den Datenaustausch ermöglichen, wird weiter ansteigen. Zudem wird sich die Geschwindigkeit der Konnektivität durch 5G-Telekommunikation erhöhen. Für das Gemeinwesen und die Kommunen ergeben sich dadurch Möglichkeiten, diese Daten zu nutzen,