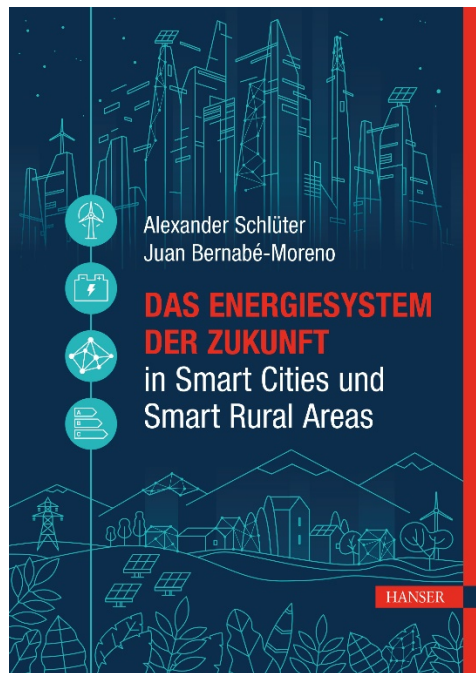


# HANSER



## Leseprobe

zu

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

von Alexander Schlüter und  
Juan Bernabé-Moreno (Hrsg.) et al.

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

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

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

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446468221>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# 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

zunehmend 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

<b>Vorwort von Dr. Karsten Wildberger</b> .....	<b>V</b>
<b>Vorwort von Burkhard Jung</b> .....	<b>VII</b>
<b>Vorwort der Herausgeber</b> .....	<b>IX</b>
<b>Herausgeber, Autoren und Autorinnen</b> .....	<b>XIX</b>
<b>I Grundlagen und strategische Planung</b>	
<b>1 Erste Schritte auf dem Weg zur smarten Kommune</b> .....	<b>3</b>
<i>Alexander Schlüter</i>	
<b>2 Vision einer nachhaltigen und digitalen Zukunft</b> .....	<b>7</b>
<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
<b>3 Die smarte Kommune in Stadt und Land</b> .....	<b>15</b>
<i>Alexander Schlüter</i>	
<b>4 Strategische Planung des Transformationsprozesses</b> .....	<b>19</b>
<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

<b>1</b>	<b>Erfolgsstory mit mehr Potenzial: die Erneuerbaren</b> .....	<b>37</b>
	<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
<b>2</b>	<b>Elektrische Netze: auf dem Weg zum Smart Grid</b> .....	<b>65</b>
	<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
<b>3</b>	<b>Zukunftshoffnung: thermische Netze</b> .....	<b>81</b>
	<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
<b>III</b>	<b>Energie effizienter nutzen</b>	
<b>1</b>	<b>Mit Energieeffizienz Grundlagen legen</b> .....	<b>105</b>
	<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
<b>2</b>	<b>Energie einsparen in Industrie und Gewerbe .....</b>	<b>123</b>
	<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
<b>3</b>	<b>Energieeffiziente Gebäude .....</b>	<b>133</b>
	<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
<b>IV</b>	<b>Sektoren koppeln und Energie speichern</b>	
<b>1</b>	<b>Wer grüne Energie will, muss auch koppeln und speichern ..</b>	<b>153</b>
	<i>Henning Meschede, Diana Khripko, Alexander Schlüter</i>	

<b>2</b>	<b>Mehr Flexibilität durch Speicher</b> .....	<b>159</b>
	<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
<b>3</b>	<b>Mehr Wasserstoff und grüne Brennstoffe einsetzen</b> .....	<b>177</b>
	<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
<b>4</b>	<b>Vorbereiten auf eine nachhaltigere Mobilität</b> .....	<b>205</b>
	<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

---

<b>5</b>	<b>Energienachfrage flexibler gestalten</b> .....	<b>227</b>
	<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
<b>V</b>	<b>Kommunen und Energiesysteme digitalisieren</b>	
<b>1</b>	<b>Digitalisierung: Thema unserer Zeit</b> .....	<b>253</b>
	<i>Victoria Ossadnik</i>	
<b>2</b>	<b>Energiewende vor Ort: Kommunen digitalisieren</b> .....	<b>255</b>
	<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
<b>3</b>	<b>Der Prosumer im Zentrum des digitalen Energiesystems</b> ....	<b>267</b>
	<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
<b>4</b>	<b>Daten und Internet der Dinge (IoT) .....</b>	<b>283</b>
	<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
<b>5</b>	<b>Künstliche Intelligenz als Wegbereiter für smartere Kommunen .....</b>	<b>293</b>
	<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



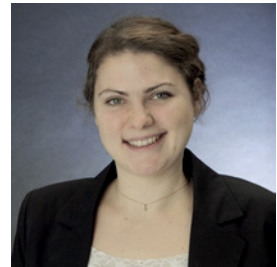
Alexandra Krumm, MSc  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Europa-Universität Flensburg; Doktorandin, Reiner Lemoine Institut



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



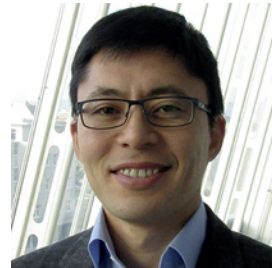
Nicholas Ord, MBA, Tech Eng. (Computer Science and Electronics Systems)

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



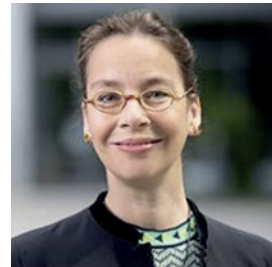
Dr.-Ing. Janybek Orozaliev

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



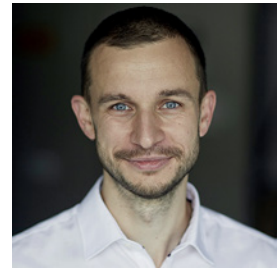
Dr.-Ing. Matthias Philipp

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






# 3

## Die smarte Kommune in Stadt und Land

Alexander Schlüter

Um Ihnen das Lesen dieses Buches zu vereinfachen, bieten wir die in Bild 3.1 dargestellten drei Beispielorte. Wir haben unterschiedliche Größen gewählt, damit sich die Mehrheit der Bevölkerung repräsentiert fühlt.

	 <b>Metropolis</b> 1,5 Mio. Einwohner	 <b>Medio Town</b> 60 k Einwohner	 <b>Villago</b> 10 k Einwohner
<b>Struktur</b>	Industrie, Einzelhandel, belebtes Geschäftsleben, sehr gutes Angebot im öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV), hohe Bebauungsdichte	Einzelhandel, etwas Industrie, großer Anteil an Wohngebieten, Anbindung des ÖPNV an die nächste Großstadt, mittlere Bebauungsdichte	Landwirtschaft, kaum Einzelhandel, kaum Industrie, geringe ÖPNV-Anbindung, geringe Bebauungsdichte

**Bild 3.1** Beispielorte, die Sie in diesem Buch mehrfach finden werden

Zwischen den Beispielorten sind fließende Übergänge möglich. So kann Villago als ländlicher Raum, aber auch als Kleinstadt verstanden werden.

Wie weiter vorne bereits beschrieben, gibt es keine allgemeingültige Definition einer Smart City oder Smart Rural Area mit Tiefgang in Einzelthemen. Dies kann in größeren Projekten mit mehreren beteiligten Organisationen schnell zu Reibereien zwischen den Partnern beitragen. Daher sollten Sie zunächst einmal eine eigene Definition und Zielsetzung erarbeiten. Denn wer sein Ziel nicht kennt, wird es auch nicht erreichen. Außerhalb des Fokus dieses Buches könnte dies zum Beispiel sein: Transparenz in politischen Vorhaben sowie Aufbau eines kooperativen Verbundes, digitale Administration, Industrie und Gewerbe, Bildungs- und Gesundheitseinrichtungen, Sicherheit an öffentlichen Plätzen, Wissenschaft und Kultur.



Hier ein paar Anregungen für die Hauptthemen dieses Buches.

(1) Zunächst für **jegliche Kommunengröße**:

- Unser Primärenergiebedarf pro Kopf soll bis 2030 um 25% geringer als derjenige vergleichbarer Kommunen ausfallen. Schon im Jahre 2035 wollen wir die Klimaneutralität erreichen.
- Wir verschärfen die Vorgaben für Baugenehmigungen, so dass Gebäude ab jetzt als Niedrigenergiehäuser, ab 2030 als Passivhäuser gebaut werden müssen. Für bestehende Gebäude wird eine Einbindung in den Energienutzungsplan und lokale Energiekonzepte gefordert und gefördert.
- Dabei nutzen wir mindestens 20% der möglichen Dachflächen für Photovoltaik zur Stromgenerierung.
- Wir wollen deutlich reinere Luft und den Verkehrslärm reduzieren. Dazu erweitern wir Angebote für Fahrradfahrer kontinuierlich und begrenzen den PKW-Verkehr. Ab 2025 darf kein Auto auf Diesel- oder Benzinbasis mehr in unserer inneren Zone verkehren.
- Bei der Neuerrichtung von Gebäuden ist eine ausreichende Anzahl von Abstellplätzen von Fahr- und Lastenrädern zu errichten: Pro Person ein Abstellplatz für ein normales Fahrrad.
- Wir bauen das Angebot für den öffentlichen Nahverkehr aus. Unsere Busse werden ab sofort und bis 2030 sukzessive auf leise Antriebsarten ohne klimarelevante Emissionen umgestellt.
- Wir fördern Car Sharing mit modernen, emissionsarmen Antrieben und bieten hierfür gesonderte Parkplätze in guten Lagen an.
- Es gilt das Top-Runner-Prinzip, das in anderen Teilen der Welt erfolgreich zum Einsatz kommt. Bei einer Neubeschaffung sind nur noch die drei am Markt innovativsten und nachhaltigsten Technologien einzukaufen, die möglichst auch einen Mehrwert für die Energiewende bringen.
- Die indirekten Kosten eines Produkts, wie z.B. die Energiekosten in der Nutzungsphase, sind oftmals wesentlich höher als die anfänglichen Anschaffungskosten. Energieeffizienz wird daher ein essenzieller Bestandteil unseres Einkaufsprozesses. Den Zuschlag erhält das nachhaltigste Angebot mit den niedrigsten Kosten über die gesamte Lebensdauer.
- Auf unserer Homepage informieren wir über die Möglichkeiten der Bevölkerung, ihre Energieeffizienz zu steigern, u. a. mithilfe von Energieexperten, die wir vermitteln.
- Unsere digitale Infrastruktur ist hochmodern.
- Wir bieten kostenlose WLAN-Hotspots.



(2a) Zusätzlich könnten Sie für die Beispielstadt **Metropolis** definieren:

- Die autofreien Zonen in der und um die Innenstadt werden ausgeweitet. Damit Besucher die Gebäude und Parks betrachten und nicht Autos auf den Straßen.
- Lieferverkehr ist im gesamten Stadtgebiet nur noch mit den leisen und wesentlich emissionsärmeren Antriebsarten möglich. Zu Hilfszwecken werden Umschlagsplätze in Nähe von Bahnhöfen eingerichtet.
- Wir vernetzen die Energieströme in und um Gewerbegebiete herum. Fabriken, Schwimmbäder, Gewächshäuser etc. bieten gute Möglichkeiten, thermische Energie auszutauschen. Im besten Fall gelingt eine Kreislaufwirtschaft. Unseren spezifischen Bedarf an Wärme, also z.B. kWh pro Person oder pro Tonne Produkt, wollen wir bis 2030 um 50 % und bis 2050 um 70 % reduzieren.
- Wir fördern Urban Gardening und bieten hierfür Workshops an.
- Wir bieten Internet of Things (IoT)-Technologie an und nehmen uns hierzu 15 Pilotprojekte vor.

(2b) Die Verwaltung von **Medio Town** könnte sich zusätzlich zu (1) dies vornehmen:

- Wir kämpfen für eine noch bessere Anbindung des ÖPNV an die nächste Großstadt und an die anderen Städte im Umkreis.
- Wir bündeln unsere Industrie in einem gut durchdachten Gewerbegebiet.
- Wir bieten IoT-Technologie an und nehmen uns hierzu zwei konkrete Pilotprojekte vor.
- Wir bieten ein Radwegenetz.
- In unseren Wohnsiedlungen und im Zentrum haben wir verkehrsberuhigte Zonen bzw. Fahrradstraßen eingerichtet. Der Autoverkehr wird um das Stadtzentrum herumgeleitet.

(2c) Und **Villago** nimmt sich zusätzlich zu (1) dies vor:

- Wir bieten öffentlichen Nahverkehr an, auch wenn die Nutzungszahlen teilweise sehr gering sind. Dies gestalten wir u. a. in Form von Ruftaxis.
- Wir organisieren einen Wochenmarkt im Umkreis und bieten einen Bring-Service zum Markt, der an den ÖPNV angekoppelt ist.
- Wir wollen die Energie generieren, die wir selbst benötigen und bauen (ggf. mit Nachbargemeinden) ein Smart Grid auf.
- Erneuerbaren Energien wie Windkraftanlagen gegenüber sind wir aufgeschlossen. Allerdings sollen die Menschen vor Ort und die Gemeinde fair am Gewinn beteiligt werden. Wir organisieren öffentliche Informationstreffen, begleiten den Informations- und Willensbildungsprozess und unterstützen die Entstehung von Genossenschaften.
- Wir fördern das Bilden von Fahrgemeinschaften mit einer entsprechenden Internetplattform.

### Ein paar wenige energetische Grundlagen

Den Mitwirkenden des Buches ist bewusst, dass Sie im Themenfeld Energie eventuell nicht so ganz zu Hause sind. Daher umschreiben wir die Begriffe und nutzen an einigen Stellen auch umgangssprachliche Begriffe – wie Strom für elektrische Energie, Speicher statt Energiespeicher usw. Dennoch kann es spannend sein, in der öffentlichen Debatte auf Feinheiten zu achten. Beobachten Sie mal, wovon Zeitungen schreiben oder Politiker im Fernsehen sprechen: Strom, Wärme oder Energie? Letzteres enthält z. B. auch fossile Brennstoffe für Mobilität. Mit anderen Worten: Strom ist eben nicht die einzige Energieform. Strom ist nur ein wichtiger Teil davon. Da aber alle drei Formen für die Menschen vor Ort – und damit für Sie – interessant sind, beschäftigt sich dieses Buch auch mit allen dreien.

Verwechseln Sie dabei bitte nicht die Art des Energieträgers auf dem Weg zu Ihnen – Sekundär- bzw. Endenergie genannt – mit der Nutzung vor Ort. Sie sehen schon: Bei Energie muss auf die Begrifflichkeit geachtet werden. Das gilt insbesondere für die Vergleichbarkeit. Die Kette hier lautet:

- Primärenergie, z. B. Erdgas an der Quelle,
- Sekundärenergie, z. B. elektrischer Strom ab Kraftwerk auf dem Weg zum Endkunden,
- Endenergie, z. B. elektrischer Strom aus unserer Steckdose,
- Nutzenergie, z. B. Wärme oder Bewegung.

## ■ 2.2 Wie wird das Stromnetz zu einem zukunftsfähigen Smart Grid?

Die Bundesnetzagentur beschränkt in Ihrer Definition Smart Grids auf die eigentlichen Netzkomponenten und beschreibt sie durch eine einfache Gleichung (BNetzA, 2011):

$$\text{Konventionelles Stromnetz} + \text{IKT Erweiterungen} = \text{Smart Grid}_{\text{BNetzA}}$$

Zentral ist dabei der Einsatz von Mess-, Steuerungs-/Regelungs- und IT-Komponenten, die Netzzustände in Echtzeit erfassen können und in der Lage sind, untereinander zu kommunizieren.

In Summe entsteht dadurch weit mehr als nur eine digitale Version des konventionellen Stromnetzes: Es wird mit innovativen Netzbetriebsmitteln ertüchtigt und es werden neue, intelligente Betriebsstrategien ermöglicht. Smart Meter digitalisieren und vernetzen dabei Haushalte und dezentrale Anlagen. Bidirektionale Kommunikation und neue Regelungsschnittstellen machen es möglich, viele hinzukommende Stromerzeuger und -verbraucher zu flexibilisieren. Damit sollen Smart Grids auch in Zukunft eine nachhaltige, wirtschaftliche und sichere Stromversorgung gewährleisten (Ali, 2013, S. 25).

Die alleinige Erweiterung um IKT-Komponenten wird dem Stromnetz der Zukunft damit nicht gerecht. Berücksichtigen wir die genannten Punkte, die das Netz von heute zukunftsfähig machen, könnte eine Formel zur Definition von *Smart Grids* stattdessen so lauten:

$$\text{Konv. Stromnetz} + \text{neue Netzbetriebsmittel \& deren Vernetzung} + \text{Smart Meter} + \text{intelligente Flexibilisierung von Erzeugung \& Verbrauch} = \text{Smart Grid}$$

Wie sieht ein solches zukunftsfähiges Smart Grid konkret aus? Was versteckt sich hinter Begriffen wie Smart Meter? Was ändert sich für die Kundschaft und wie werden Consumer zu Flexumern? Gleich erfahren Sie es.

### 2.2.1 Neue, digitale Netzbetriebsmittel und deren Vernetzung

Die Energiewende macht einen Ausbau und eine Digitalisierung der Netzinfrastruktur unumgänglich. Hierbei sprechen wir nicht nur von neuen Betriebsmitteln wie innovativen Transformatoren und Schaltanlagen, die einen sicheren Netzbetrieb auch in Zukunft gewährleisten, sondern auch von einer Vernetzung der Komponenten. Das Stromnetz wird damit um ein digitales Informationsnetz mit Messtechnik und Sensorik an den Leitungen ergänzt (Limbacher, 2018). Für den Datenaus-

tausch zwischen den Netzbetriebsmitteln stehen unterschiedliche Kanäle zur Verfügung. Zum einen existieren dedizierte Glasfaser-Verbindungen, zum anderen können auch Mittelspannungsleitungen über die Powerline-Technologie für den Datenverkehr genutzt werden. Auch die kabellose Kommunikation über die gängigen Mobilfunkstandards LTE oder 5G ist möglich. Die Daten laufen in den Leitstellen der Netzbetreiber zusammen, wo diese aus den gesammelten Informationen eine optimale Betriebsstrategie entwickeln, um die Netzspannung zu halten und Energieflüsse effizient zu steuern.

### **DSO 2.0: Größere Verantwortung für die Verteilnetzbetreiber**

Der Betrieb eines Smart Grids ist ungleich komplexer als der Netzbetrieb in früheren Zeiten. Da sich die Energiewende fast ausschließlich im Verteilnetz abspielt, wird auch der Koordinationsbedarf für Verteilnetzbetreiber wesentlich größer. Diese gestiegene Verantwortung und das größere Aufgabenspektrum führte zum Begriff „DSO 2.0“ (vgl. Colle *et al.*, 2018). Damit soll verdeutlicht werden, dass sich die Verteilnetzbetreiber nicht inkrementell weiterentwickeln, sondern sich ihre Rolle in kurzer Zeit fundamental wandelt.

Insbesondere Mittel- und Niederspannungsnetze sind allerdings heute nur vereinzelt mit der nötigen Mess- und Regelungstechnik ausgestattet. Eine Kenntnis über den Netzzustand ist so nur schwer möglich. Zusätzlich weisen die Transformatoren meist ein konstantes Übersetzungsverhältnis auf. Bei temporär erhöhter Einspeisung durch erneuerbare Energien kann es dadurch zu unzulässig hohen Netzspannungen kommen. Abhilfe kann hier der regelbare Ortsnetztransformator (rONT) mit variablem Übersetzungsverhältnis schaffen, indem er die Spannungsebenen entkoppelt. Der rONT kann somit vom Umspannwerk aus niederspannungsseitig immer eine konstante Spannung zur Verfügung stellen.

Um in längeren Niederspannungsleitungen lokal verursachte Schwankungen auszugleichen, kommen zusätzlich sogenannte Längsregler zum Einsatz. Diese Regler sind örtlich nicht an die Trafostation gebunden, sondern werden idealerweise möglichst nahe beim Verbraucher bzw. Stromeinspeiser platziert (Hoppert und Krüger, 2014).

## **2.2.2 Transparenz in Haushalten: Was bringen Smart Meter?**

Um die angestrebte Transparenz im Smart Grid und den Kunden Partizipation zu ermöglichen, wurden intelligente Messsysteme bestehend aus einem digitalen Zähler und einer standardisierten Kommunikationseinheit, dem Smart Meter Gateway (SMGW) entwickelt. Sie werden nach den Vorgaben des Messstellenbetriebsgesetzes die bestehenden Ferraris-Stromzähler sukzessive ersetzen. Diese sog.

Smart Meter erlauben eine Visualisierung Ihres Stromverbrauchs, was alleine durch die Sensibilisierung zu Einsparungen führen kann (Auer *et al.*, 2019). Außerdem können durch die 15-minütige Abrechnung variable Tarife und damit auch schwankende Strompreise weitergegeben werden.

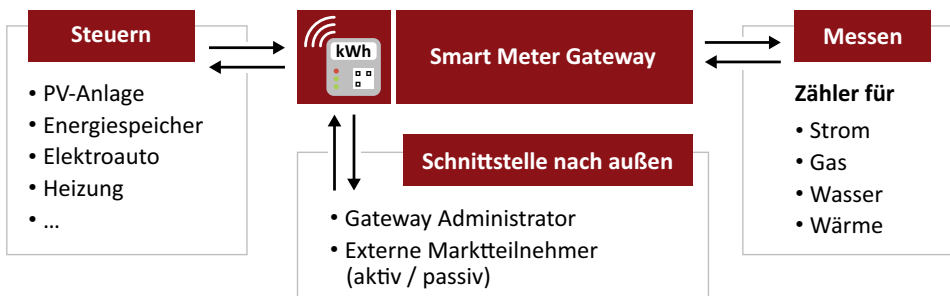
Auch eine Anbindung von Gas-, Wasser- und Wärmezähler ans SMGW ist möglich, was zusätzliche Mehrwerte bieten kann.

Das SMGW bietet darüber hinaus einen sicheren Steuerungskanal zu den Anlagen, was in netzkritischen Situationen dem Netzbetreiber Eingriffsmöglichkeiten bietet, z. B. wenn er über § 14a EnWG Zugriff auf die Anlagen hat. In vielen Fällen können diese neu gewonnene Transparenz und die neuen Handlungsmöglichkeiten helfen, Verbraucher mit hoher Spitzenleistung, wie Elektroladesäulen im Netz unterzubringen, ohne das Stromnetz „bis auf das letzte Kilowatt“ ausbauen zu müssen.

### IT-Security von Smart Metern

Digitalisierung ist in Deutschland wegen Datenschutz- und Sicherheitsbedenken oft ein brisantes Thema. Vor einer Zulassung müssen die intelligenten Stromzähler daher hohe Hürden bei der Produktzertifizierung überwinden (vgl. Bogensperger *et al.*, 2018). Die Sicherheitsstandards, die vor Hackerangriffen schützen sollen, liegen teilweise noch über den Anforderungen an das Online-Banking. Zudem sind für einen intelligenten Netzbetrieb nicht unbedingt personenbezogene Daten notwendig. Auch eine Nutzung von anonymisierten oder aggregierten Daten aus Messungen im Netz ist möglich. Für viele Anwendungsfälle ist aber ein Smart Meter auch für den Kunden sinnvoll und Voraussetzung für individuelle Partizipationsmöglichkeiten.

Bild 2.3 zeigt das Smart Meter in seiner Einsatzumgebung mit den beteiligten Schnittstellen. Der Smart Meter Gateway Administrator sorgt dafür, dass nur berechtigte externe Akteure auf Anlagen und Daten zugreifen können.



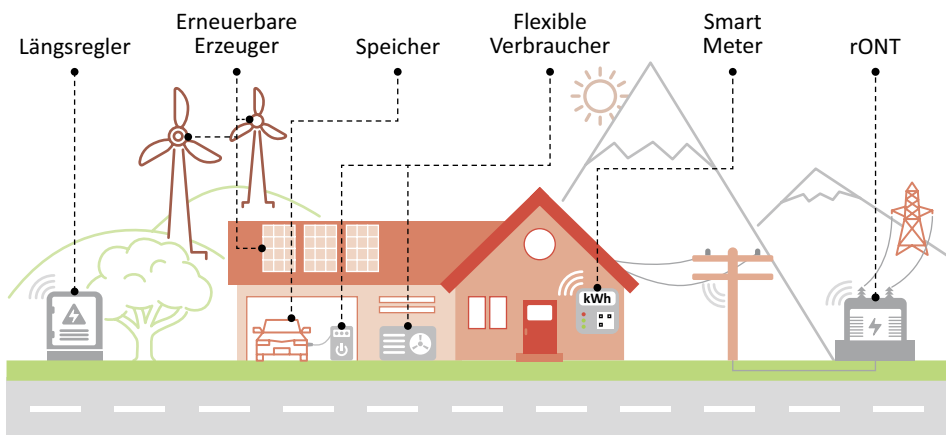
**Bild 2.3** Schematische Darstellung des Smart Meters in seiner Einsatzumgebung

### 2.2.3 Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch: netzdienlich oder zumindest netzverträglich!

Viele neue Erzeugungsanlagen, wie Photovoltaiksysteme oder Blockheizkraftwerke (BHKW), sind dezentral verortet. Allerdings muss die Einspeisung aus diesen Anlagen netzverträglich koordiniert werden. Das bedeutet, dass die eingespeiste Leistung in einem gewissen Maß flexibel auf die netzseitigen Anforderungen reagiert, entweder durch den Einsatz zusätzlicher Speicher oder durch Abregelung. In Teil IV, Kapitel 2 finden sich Erläuterungen zu den verschiedenen Möglichkeiten.

Gleiches gilt für Anlagen aus dem Wärme- und Verkehrssektor, die mit der zunehmenden Elektrifizierung zu Verbrauchern im Stromnetz werden. Klassische Beispiele dafür sind die Elektro-Wärmepumpe oder das Elektrofahrzeug. Damit die fortschreitende Sektorenkopplung zukunftsfähig ist, muss auch hier darauf geachtet werden, dass bei der Integration ein gewisser Flexibilitätsgrad bei den Lastkurven vorgesehen wird. Optimieren alle Akteure den Betrieb dieser Anlagen ausschließlich nach persönlichen Kriterien (z.B. Steigerung des Eigenverbrauchs), wird das Netz früher oder später an seine Kapazitätsgrenzen stoßen. Lesen Sie gerne mehr zur Flexibilisierung der Lastseite in Teil IV, Kapitel 5.

Spinnen wir den Gedanken einer netzverträglichen Betriebsweise weiter, führt dies im nächsten Schritt zur Netzdienlichkeit. Prosumer im Besitz von Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen stellen ihre Flexibilitätsoptionen den Netzbetreibern gegen Vergütungsanreize zur Verfügung und werden damit zu Flexumern. So ließen sich private BHKW oder die Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen zur Erbringung von Regelleistung ansteuern, um die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen auszugleichen. Grundlage dafür sind wiederum die konsequente horizontale und vertikale Vernetzung der Komponenten sowie universale Steuerungsschnittstellen. Bild 2.4 zeigt das Zielmodell eines Smart Grids.



**Bild 2.4** Komponenten in einem Smart Grid

# 2

## Energie einsparen in Industrie und Gewerbe

Florian Schlosser, Ron-Hendrik Hechelmann,  
Henning Meschede, Alexander Schlüter

Das Bewusstsein für Energieeffizienz ist bei vielen Unternehmen mittlerweile vorhanden. Daneben wollen sich immer mehr Unternehmen Klimaneutralität auf die Fahne schreiben (CDP, 2020). Das Ausschöpfen von Effizienzpotenzialen hat auch dazu oberste Priorität. Die dena geht beispielhaft in den Szenarien ihrer Leitstudie „Integrierte Energiewende“ von einer Steigerung der Effizienz zwischen 0,85 und 1,12% pro Jahr im Zeitraum von 2015 bis 2050 aus (dena, 2018, S. 25).

### ■ 2.1 Was können Industrie und Gewerbe ganz konkret tun?

Es gibt sehr viele Möglichkeiten, die sich Firmen bieten, um Energie einzusparen und sich so zum einen nachhaltig aufzustellen und zum anderen Geld zu sparen. Im Zentrum jeder Überlegung sollte – wie wir in Teil III, Kapitel 1 gelesen haben – daher die Frage stehen: Was benötigt eigentlich mein Prozess und wie stelle ich es bisher bereit?

Hier ein paar Beispiele:

- Sie müssen etwas bewegen und benutzen dafür Druckluft.
- Sie müssen einen Prozess oder Raum beheizen und nutzen dafür einen Erdgas- oder Erdölkessel.
- Sie müssen einen Prozess oder Raum unterhalb der Raumtemperatur halten und kühlen dafür die gesamte Produktion herunter.

Sie können sich schon vorstellen, worauf dies hinausläuft. Es wurde zum Beispiel irgendwann angefangen, Lichtsysteme mit Bewegungsmeldern zu kombinieren, da Beleuchtung nur bei Anwesenheit und in bestimmten Räumen notwendig ist. Auch die benötigte Beleuchtungsstärke hängt von der Tätigkeit ab. Die Realität in Fabrikhallen ist jedoch eine andere. Geht man außerhalb der Fertigungszeiten durch Produktionshallen, sind nicht selten Leckagen des sehr teuren Mediums Druckluft

zu hören. Pures Geld zischt hier durch die Ritzen. Beginnt die Schicht, werden teilweise alle Maschinen auf Betriebsmodus gestellt: Die Maschinen fahren hoch. Aber meist werden gar nicht alle benötigt, oder erst in ein paar Stunden. Die Anlagen und Maschinen benötigen daher Energie, obwohl sie längere Zeit gar nicht wertschöpfend zum Einsatz kommen. Auch das ist ineffizient und der Effekt nicht zu vernachlässigen (Goy, 2016, S. 143).

Anders als in Haushalten ist die Energieversorgung in industriellen Unternehmen kompliziert. Die genannten Beispiele zeigen, dass viele Nutzenergieformen an vielen Orten, in verschiedenen Abteilungen und zu unterschiedlichen Zeiten Anwendung finden. Folglich bedarf es einer organisatorischen Verankerung der Energieeffizienz in der Unternehmenskultur für einen ganzheitlichen Ansatz bei der Erschließung der Effizienzpotenziale.

### **Organisatorischer Rahmen**

Welchen Rahmen können kleine und große Firmen gestalten, um diese Effizienzpotenziale zu heben und sich energieeffizienter aufzustellen? An der Stelle kann zunächst zwischen internen und externen Organisationsansätzen unterschieden werden:

#### *Intern:*

- Aufbau von Wissen und einer Verbesserungskultur, u. a. kann die Einreichung später umgesetzter Vorschläge belohnt werden.
- Zertifizierung nach ISO 50001: Die Einführung eines Energiemanagementsystems erfordert die Integration eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses in die Unternehmenskultur. Neben reduzierten Energiekosten kann dies auch zu steuerlichen Vorteilen bzw. staatlichen Zuschüssen führen.

#### *Extern:*

- Nutzung von Fach-Netzwerken und Experten. Sich Consulting ins Haus zu holen ist keine Schande.
- Energie-Contracting. Der Handlungsdruck lässt sich so auf den externen Anbieter, der an der Einsparung mitverdient, verlagern.

Fehlt eine solche Infrastruktur, tun sich die verarbeitenden Unternehmen schwer. Ihr Fokus ist nun mal in den meisten Fällen nicht das Thema *Energie*, so dass oftmals wenig Wissen hierüber besteht.

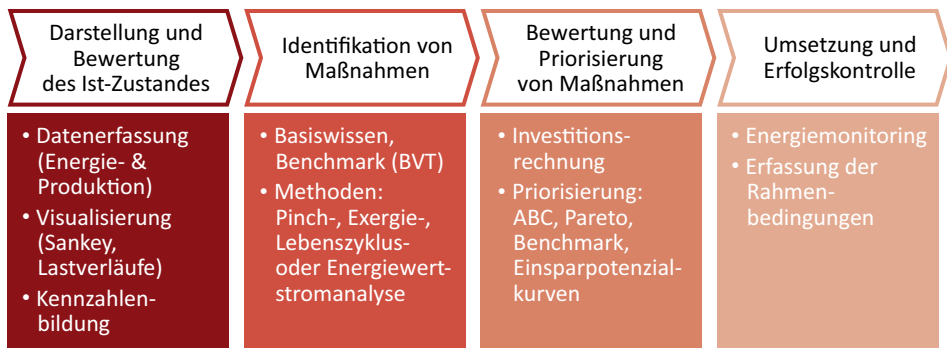
Wenn Sie den Spruch hören „Das haben wir schon immer so gemacht.“, dann sind Sie auf dem richtigen Weg. Aber das ist eine vom Thema Energie unabhängige Feststellung.

Die oben angesprochene Integration eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001 führt letztlich dazu, eine Datenbasis sowie Wissen der Mitarbeiter aufzubauen. In einigen Fällen werden Unternehmen im Anschluss ihre Abläufe und Prozesse neu bewerten und umgestalten.



## Methodische Umsetzung

Ein wichtiger Punkt für die nachhaltige Verbesserung der Energieeffizienz ist deren systemische Bewertung. Die Analyse von Einzelproblemen und -maßnahmen bedarf weniger Aufwand und Zeit. Eine ganzheitliche Begutachtung aller relevanten Punkte vermag jedoch wahre Potenziale und optimale Ergebnisse hervorzubringen und vermeidet Fehldimensionierung und negative Rückkopplungseffekte wie sie eingangs am Beispiel der Zwiebelschale geschildert wurden. Bild 2.1 stellt die methodische Vorgehensweise bei der Maßnahmenentwicklung dar.



**Bild 2.1** Methodische Vorgehensweise bei der Maßnahmenentwicklung, Quelle: in Anlehnung an Hesselbach (2012)

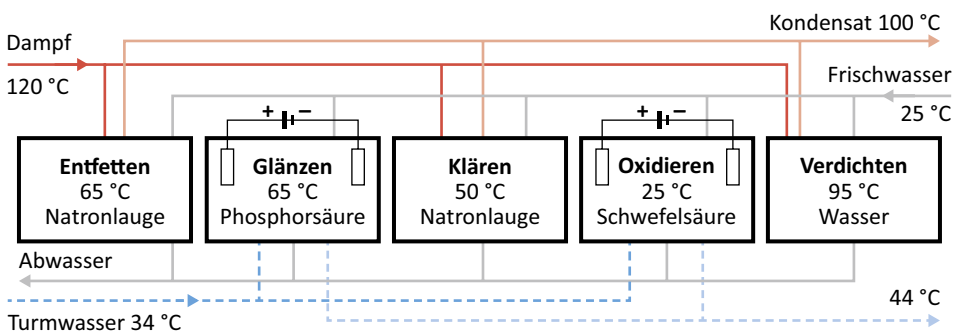
Der erste Schritt auf dem Weg zu mehr Energieeffizienz ist immer die Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes. Dabei helfen Energiemonitoringsysteme. Ohne diese Kenntnis wird nur im Trüben nach Effizienzpotenzialen gefischt. Die Visualisierung mit geeigneten Diagrammen sowie die Kennzahlenbildung helfen bei der Bewertung. Wir gehen hier nicht weiter auf dieses Spezialthema ein, Beispiele zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden finden Sie in Teil III, Kapitel 3. Ein Effizienzpotenzial besteht, wenn die entwickelte Kennzahl vom branchen- oder prozessspezifischen Benchmark abweicht.

Die Identifikation von Maßnahmen kann anhand von Checklisten und Leitfäden für gewisse Querschnittstechnologien erfolgen – wie z.B. Leitfäden der Energieagenturen (dena, 2015). Branchenenergiekonzepte stellen oft die besten verfügbaren Technologien (BVT) vor (z.B. Blesl, 2018). Eine weitere Grundlage bilden Datenbanken mit verlässlichen Zahlen über Effizienzmaßnahmen aus durchgeführten Assessments. Dafür müssen deren Energieeinsparungen und Kosten gemessen und dokumentiert werden. Mithilfe solcher Datenbanken können branchen- oder technologiespezifisch sowohl die technischen, die wirtschaftlichen und auch die praktischen Effizienzsteigerungspotenziale ausgewiesen werden, wie es Ebersold *et al.* (2020) anhand einer US-amerikanischen Datenbank gezeigt haben.

Die Analyse von komplexeren Systemen mit mehreren Energieströmen setzt die Anwendung von ganzheitlichen Methoden wie der Pinch-Analyse<sup>1</sup> voraus. Die identifizierten Maßnahmen sind anschließend wirtschaftlich (und ökologisch) zu bewerten und eine sinnvolle Umsetzungsreihenfolge festzulegen. Berücksichtigen Sie dabei mögliche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Schritten! Nach der Umsetzung sollten die Maßnahmen jedoch nicht sofort in Vergessenheit geraten. Die Wirksamkeit sollte durch ein geeignetes Monitoring überprüft, der Einfluss von veränderlichen Rahmenbedingungen beobachtet und oben erwähnte Datenbanken weiter gefüttert werden. So gelingt kontinuierlich die Abbildung des Stands der Technik sowie die fortdauernde Steigerung der Energieeffizienz.

### Energieeffizienz am Beispiel eines Galvanikbetriebs

Jetzt, nachdem der organisatorische und methodische Rahmen zur Erschließung von Energieeffizienzpotenzialen geschaffen ist, wollen wir uns die systematische Erschließung und Umsetzung von Effizienzmaßnahmen an einem Beispiel aus der Galvanik anschauen. Unter der Galvanik ist die Oberflächenbehandlung von Teilen (z.B. in der Automobilindustrie) durch elektrochemische Metallabscheidung zu verstehen. Galvanische Prozessketten sind durch das Auftreten einer Vielzahl von Prozessbädern in einem engen zeitlichen und räumlichen Kontext gekennzeichnet. Galvanische Verfahren bestehen in der Regel aus drei Behandlungsschritten: Vorbehandlung, Metallabscheidung und Nachbehandlung. Das Ziel der einzelnen Bäder ist die Reinigung und Beschichtung der Werkstücke, um gewissen Anforderungen an Design und Beständigkeit zu entsprechen. Wie Bild 2.2 zeigt, benötigen die verschiedenen Prozessbäder dabei Heiz- und Kühlenergie auf unterschiedlichen Temperaturniveaus.



**Bild 2.2** Auszug aus einem typischen Versorgungsschema eines Eloxalprozesses, Quelle: Schlosser (2021, S. 136)

<sup>1</sup> Die Pinch-Analyse ermöglicht die Bestimmung eines thermodynamisch begründeten Zielwerts in Bezug auf das Wärmerückgewinnungspotenzial und den minimalen Energiebedarf eines Prozesses.

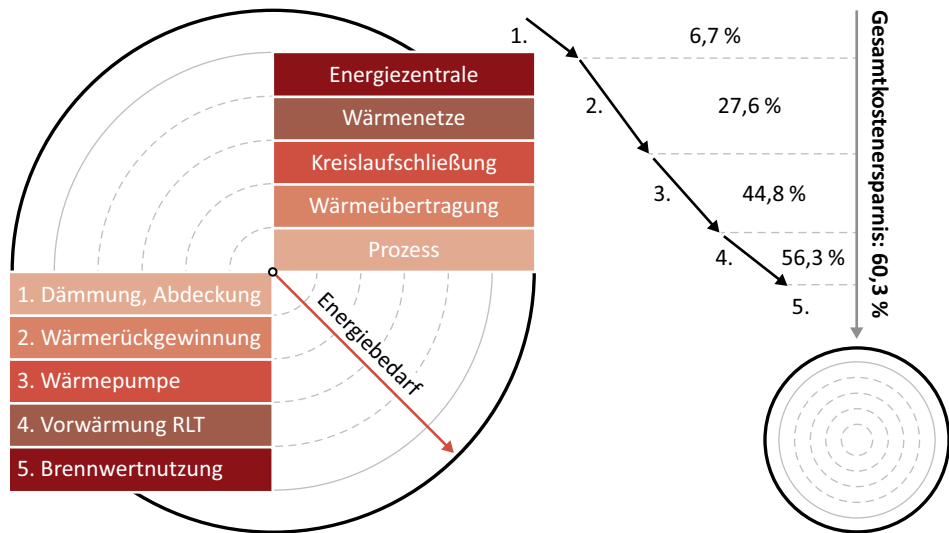
Typischerweise wird im Bestand Dampf als Energieträgermedium verwendet, was sowohl das Erfassen des Energiebedarfs der einzelnen Bäder als auch die Integration von Wärmerückgewinnung und WP erschwert.

Aufgrund der Vielzahl an Bädern bietet sich die Erfassung der einzelnen Energieströme in einem Energiemonitoringsystem an. Da das Messen von Dampf teuer ist, wird in der Regel zu Abrechnungszwecken lediglich das verbrauchte Erdgas aufgezeichnet. Der Verbrauch an elektrischem (Gleich-) Strom in einem elektrolytischen Bad lässt sich dagegen problemlos messtechnisch erfassen. Da der elektrische Strom letztlich in Wärme umgewandelt wird, die Temperatur im Becken aber nicht über einen bestimmten Grenzwert steigen darf, ist diese Wärme aus dem Becken durch Kühlung abzuführen. Dabei korreliert die abgeführte Wärmeleistung mit der eingetragenen elektrischen Leistung. Fehlende Messwerte lassen sich durch Energiebilanzierung (also rechnerisch) um die einzelnen Bäder und durch punktuelle, temporäre Messungen – z. B. durch Ultraschallmessgeräte – ergänzen.

Im nächsten Schritt sind geeignete Kennzahlen zu bilden. Im Fall der Galvanik hängt der Energiebedarf dabei besonders von der zu behandelnden Oberfläche ab, welche folglich zur Kennzahlenbildung herangezogen werden kann. Werden Abweichungen zu Ergebnissen aus Branchenleitfäden identifiziert, sind zunächst die Effizienzpotenziale auf Prozessebene zu prüfen. Dazu gehört die Evaluierung von Elektrolyten, die niedrigere Prozesstemperaturen zulassen. Weiterhin sollten neben der Wärmedämmung die Elektrolytoberflächen zur Reduktion von Abwärmeverlusten und Abluftmengen abgedeckt werden. Auch die Verwendung energieeffizienter Gleichrichter kann Stromwärmeverluste verringern (LfU, 2003).

Nach der Umsetzung der Effizienzmaßnahmen am Prozess ist die Effizienz erneut und diesmal in Bezug auf die Querschnittstechnologien zu bewerten. Vielen ist wahrscheinlich direkt der Gedanke gekommen, die Abwärmemengen im Sinne der Kreislaufschließung in den Prozess zurückzuführen. Dies sollte sicherlich auch angestrebt werden. Aufgrund einer Vielzahl an thermischen Strömen sowie der Anwesenheit von Dampfwärmeübertragern, ist die Identifikation und Integration von Wärmerückgewinnungsmaßnahmen jedoch nicht trivial. Eine Pinch-Analyse kann Abhilfe leisten. Sie ordnet alle thermischen Ströme nach Leistung und Temperatur und gibt als Zielwert das maximale Wärmerückgewinnungspotenzial aus. Im vorliegenden Beispiel konnte mit dieser Methode 95 % des ausgewiesenen Potenzials erschlossen werden. Die Reduzierung des Heiz- und Kühlaufwands betrug 24 %, respektive 34 %. Überschüssige Wärme in Form des verbleibenden Kühlbedarfs lässt sich durch eine WP zur Deckung von weiteren 32 % des Heizbedarfs direkt im Prozess nutzen. Das verbleibende Abwärmepotenzial konnte im Sinne der Zwiebel-schale zur Vorwärmung der Raumheizungsluft während der Heizperiode verwendet werden. Der für die Wärmerückgewinnung und WP notwendige Energieträgerwechsel von Dampf auf Heißwasser verringert Abwärmeverluste, setzt jedoch den kostenintensiven Umbau der Wärmeübertrager von Dampf auf Heißwasser voraus.

Erst im nun folgenden Schritt konzentrieren wir uns auf die Effizienz der Kältemaschine und des Heizkessels zur Deckung der noch verbleibenden Bedarfe. Wie Sie am Beispiel sehen, haben die Effizienzmaßnahmen am Prozess und die Kreislaufschließung dafür gesorgt, dass sich die Bedarfe an die betriebliche Energieversorgung reduziert haben und nun kleinere Anlagen in Frage kommen. Das verdeutlicht, dass die Reihenfolge der Maßnahmen entscheidend ist und es anderenfalls zu einer deutlichen Überdimensionierung der Bereitstellungsanlagen gekommen wäre. Die Energiekosteneinsparungen<sup>2</sup>, die sich durch die Maßnahmen auf den einzelnen Ebenen der Zwiebelschale ergeben, sind in Bild 2.3 dargestellt.



**Bild 2.3** Gesamtkostenreduktion für Prozessheiz- und -kühl- sowie Raumheizenergie, Quelle: Schlosser (2021)

## ■ 2.2 Wo kommt Energieeffizienz in der Industrie an ihre Grenzen?

Laut einer Studie des Umweltbundesamtes UBA sind fossile Brennstoffe für den Großteil der Treibhausgasemissionen in der Industrie verantwortlich (UBA, 2019, S. 33). Diese Brennstoffe nutzen die Firmen primär zur Bereitstellung von Prozesswärme, also thermischer Energie mit 100 °C bis über 1500 °C. Um die Klimaziele zu erreichen, sollten die in diesem Kapitel beschriebenen Effizienzpotenziale bis

<sup>2</sup> Strompreis = 0,16 €/kWh; Erdgaspreis = 0,033 €/kWh; Wirkungsgrad Dampfkessel = 0,83; Jahresarbeitszahl Kühlturm = 17,4

zu einem technisch-ökonomischen Grenzwert ausgeschöpft werden. Der Grenzwert ist durch (produktions-)technische Restriktionen und wirtschaftliche Rahmenbedingungen beschrieben. Allein mit diesen Bemühungen sind die gesteckten Klimaziele jedoch nicht zu erreichen. Daher sollten diese Prozesse bis 2050 möglichst auf strombasierte Verfahren (Power to heat) umgestellt werden. In einigen Prozessen ist keine direkte Nutzung elektrischer Energie möglich. Dort sollte auf regenerative Brennstoffe gewechselt werden, die aus Power-to-Liquid (PtL-) oder Power-to-Gas (PtG-)Prozessen stammen (vgl. UBA, 2019, S.33). Insbesondere in den energieintensiven Branchen ist dies der Fall. Einige Beispiele dazu sind nachfolgend geschildert. Die entsprechenden Sektorenkopplungskonzepte sind im Detail in Teil IV beschrieben.

In der *Stahlindustrie* wandeln zunächst meist koksbasierte Hochöfen Eisenerz in Rohstahl um, was sehr hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen nach sich zieht. Ein Wechsel auf gasbasierte Direktreduktionsanlagen mit anschließendem Schmelzvorgang im Elektrolichtbogenofen ist möglich. Hier kann Wasserstoff als Energieträger zum Einsatz kommen. Jedoch werden die Firmen realistisch gesehen das Ende der Nutzungsdauer der jeweiligen Anlagen abwarten. Da diese 20 Jahre betragen können, entsteht somit ein weiteres Hemmnis für die zeitnahe Umsetzung von Effizienzsteigerungen. Um das Endprodukt Stahl zu erhalten, werden der Rohstahl und beigemischter Schrott mithilfe der Elektrostahlerzeugung in Lichtbogenöfen verarbeitet. Bei diesem zweiten Schritt verwenden die Firmen daher bereits Strom, so dass hier neben der Erhöhung des Schrottanteils wenig Veränderungsbedarf besteht (UBA, 2019, S. 34). Für die *Nichteisen-Metallindustrie* wird in der UBA-Studie angenommen, dass die energieseitigen Emissionen von Treibhausgasen sich auf null reduzieren – obwohl die Produktionsmenge steigen soll. Dies liegt an verschiedenen Gründen und Maßnahmen: Verwendung von Brennstoffen (PtG) oder Strom, die mittels grünen Stroms erzeugt wurden, mehr Energieeffizienz sowie mittels eines größeren Anteils der Sekundärerzeugung (von 56 % auf 90 %) (UBA, 2019, S.34).

## ■ 2.3 Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen

Teil III, Kapitel 1 zeigt eine Vielzahl an Möglichkeiten, unseren Alltag und unser Wirtschaften deutlich energieeffizienter zu gestalten, auf. Dies betrifft Querschnittstechnologien – wie z. B. Beleuchtung, Druckluft und Wärmebereitstellung – sowohl in Haushalten als auch in Fabriken. Für beide Zielgruppen bestimmt gemäß Zwiebelschalenmodell die Anwendung die Anforderungen an die Energiebereitstellung.

Von der Anwendung beginnend begleiten wir Sie mit einer Vielzahl an Tipps auf einem systematischen Weg zur effizienteren Energiebereitstellung.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere Effizienznetzwerke helfen, um den Austausch über Fördermöglichkeiten und Maßnahmen zu steigern. Beratung zu Effizienz und Fördermechanismen kann im Klimaschutz- und Energiemanagement der Kommune verankert werden und erste Ansprechpartner bieten.

Es ist offensichtlich, dass sich für unsere Beispielstädte andere Schwerpunkte ergeben als für das Beispieldorf. Abhängig von der ganz konkreten Unternehmensstruktur, wird in Metropolis sowie Medio Town ein gewisses Energiesparpotenzial in Industrie, Handel und Gewerbe vorhanden sein. Eine energetische Nutzung von industriellen Abwärmeströmen ist dringend zu prüfen und möglichst umzusetzen. Jedoch bedarf es dazu auch einer planerischen Weitsicht. Jeder Meter Abstand zwischen Abwärmequelle und -senke – dies könnten auch kommunale Liegenschaften oder Haushalte sein – ist negativ für die Wirtschaftlichkeit. In Villago stellt sich diese Frage weniger. Dies liegt zum einen an der geringen Dichte an verarbeitenden Unternehmen und zum anderen an den Möglichkeiten zur Wärmenutzung.

Dagegen können alle Regionen die privaten Haushalte unterstützen. Die Bevölkerung sollte Zugang zu günstiger Energieberatung vor Ort erhalten. Die hessische Landesregierung will beispielsweise mithilfe einer eigenen Landesenergieagentur entgegenwirken und ermöglichen, dass mit Wärmebildkameras Missstände in der Hausdämmung aufgezeigt werden (Efficiencia, 2019, S. 10 ff.). Bei Mietswohnungen zeigt sich jedoch das sogenannte Mieter-Vermieter-Dilemma. Die Energiekosten im Gebäude reicht der Vermieter in der Regel an den Mieter weiter<sup>3</sup>. Die investive Verantwortung liegt beim Vermieter, der jedoch keinen unmittelbaren Kostendruck verspürt. Ähnlich ist es in der Industrie. Dort ist beispielsweise eine Weitergabe des Kostendrucks an den Contracting-Anbieter möglich.

Es wäre zu wünschen, dass energieeffizientes Handeln und Einkaufen bereits in der Schulbildung Platz findet. Mit den oben erklärten Systematiken ließen sich viele Probleme im Energiebereich einfach lösen und Geld sparen. Außerdem würde es strukturiertes Vorgehen fördern, was in vielen Lebensbereichen weiterhilft. Eine Voraussetzung für diese schulischen Angebote ist aber zunächst, überhaupt Expertenwissen vor Ort zu haben. Laut einer Studie von Roland Berger wird der Markt für Energieeffizienz-Dienstleistungen bis 2025 rund 50 Millionen Euro betragen. Das Wachstum dieser Branche liegt bei 8 % in Europa und 7 % in Deutschland (Roland Berger, 2019). Was liegt also näher als selbst Energieeffizienz-Dienstleister vor Ort anzusiedeln? Kurze Wege und Vertrauen aufgrund der Verankerung in der Region sind ein gutes Fundament für Aufträge.

Denken Sie immer daran: Es gibt keine Klimaneutralität ohne Energieeffizienz.

<sup>3</sup> Ob die aktuelle Bundesregierung bzgl. der geplanten CO<sub>2</sub>-Bepreisung einen Kompromiss für die Aufteilung der Kosten findet, stand bei Redaktionsschluss noch nicht fest.

### Checkliste

- Sorgen Sie für ausreichend Info-Material und Zugang zu Fachleuten für das Thema Energieeffizienz für die Bevölkerung und Unternehmen.
- Es gibt mittlerweile genügend und sehr erfolgreiche Energieeffizienz-Netzwerke zu diesem Thema. Machen Sie mit bzw. animieren Sie ihre ansässigen Unternehmen dazu.
- Monitoren Sie ihre Energiebedarfe und relevanten Temperaturen, Drücke etc.
- Seien Sie Vorbild und setzen Sie die Effizienzmaßnahmen in Querschnittstechnologien in öffentlichen Liegenschaften um. Und kommunizieren Sie dies inkl. der Ergebnisse im Anschluss.
- Prüfen Sie Energie-Contracting.
- Integrieren Sie die Energiekosten über den Lebenszyklus in Ihre Kaufentscheidungen. Oftmals betragen diese bei ineffizienten Technologien ein Vielfaches der Investitionskosten.

## ■ 2.4 Literaturverzeichnis

- Blesl, M.; Kessler, A. (2018). Energieeffizienz in der Industrie. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- CDP (2020). Science Based Targets. Driving ambitions corporate climate action. London: Carbon Disclosure Project. Abgerufen am 26.04.2021, von <https://sciencebasedtargets.org/companies-taking-action/>.
- dena (2015). Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen. Energiekosten senken. Wettbewerbsvorteile sichern. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- dena (2018). Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- Ebersold, F.; Reineke, P.; Meschede, H.; Hesselbach, J. (2020). Keine Klimaneutralität ohne Energieeffizienz. BWK, Band 72, Düsseldorf: VDI Fachmedien.
- Efficiencia (2019). Interview mit dem hessischen Staatsminister für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. Ausgabe 25, Berlin: Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e. V. (DENEFF).
- Goy, S. (2016). Stand-by-Betrieb von Maschinen und Anlagen – Entwicklung eines Stand-by-Managers zur energieeffizienten Produktionssteuerung. Kassel: Kassel University Press.
- Hesselbach J. (2012). Energie- und klimaeffiziente Produktion: Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- LfU (2003). Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Abgerufen am 18.01.2021, von [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop\\_app000007?SID=211419681&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:%27lfu\\_klima\\_00020%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=211419681&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_klima_00020%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)).
- Roland Berger (2019). Energy Efficiency Services in Europe. Abgerufen am 14.11.2020, von <https://www.rolandberger.com/de/Media/Energieeffizienz-Markt-f%C3%BCr-Dienstleistungen-in-Europa-w%C3%A4chst-bis-2025-auf-ca-2.html>.

# 3

## Mehr Wasserstoff und grüne Brennstoffe einsetzen

Eugenio Scionti, Matteo Genovese,  
Christoph Pellingner, Petronilla Fragiaco

### ■ 3.1 Motivation

Katherina Reiche

Um das Ziel der Klimaneutralität in Deutschland und Europa zu erreichen, sind Energieträger wie Wasserstoff notwendig. Für diese Erkenntnis reicht schon ein Blick nach Duisburg oder Salzgitter, wo Stahlwerke stehen, die jährlich immer noch Millionen Tonnen Kohle verbrauchen. Und in Ludwigshafen benötigt allein das Chemiewerk der BASF so viel Energie wie das Land Dänemark.

Diese Energie muss zukünftig CO<sub>2</sub>-neutral sein. Doch nicht nur in Duisburg, Salzgitter oder Ludwigshafen zeigt sich, warum Wasserstoff für den Klimaschutz so entscheidend ist. Überall dort, wo erneuerbarer Strom technisch keine Alternative zu fossilen Energieträgern darstellt, kann Wasserstoff eingesetzt werden. Das betrifft jede Region und jede Kommune in Deutschland. Wasserstoff werden wir nicht nur in der Schwerindustrie, sondern auch in anderen Bereichen brauchen, wenn wir das gemeinsame Ziel einer Klimaneutralität bis 2050 erreichen wollen.

Für dieses Ziel müssen jetzt die Weichen gestellt werden – und zwar für die gesamte Volkswirtschaft, einschließlich des Gebäude- und Verkehrssektors. Folgende Fragen sind dabei aus meiner Sicht für kommunale Akteure relevant: Gibt es Industrie- oder Gewerbebetriebe in Ihrer Region, die große Mengen an Wärme benötigen? Das können zum Beispiel Brauereien, Molkereien und Holzverarbeiter sein. Gibt es in Ihrer Region Logistikunternehmen? Befindet sich ein Hafen oder Flughafen in Ihrer Nähe? Dann ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass Sie früher oder später Wasserstoffabnehmer in Ihrer Region haben. Denn auch viele kleine Betriebe müssen ihren Teil beitragen, um die Klimaziele zu erreichen. Lkw werden auf langen Strecken mit Wasserstoff fahren, ebenso Schiffe und auch Züge auf nicht elektrifizierten Strecken. Sogar Gebäude werden CO<sub>2</sub>-neutral mit Brennstoffzellen beheizt.

Die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff sind längst nicht mehr nur Themen von Forschungsinstituten und Chemiewerken. Wasserstoff wird längst nicht mehr



nur in den politischen Kreisen von EU, Bund und Ländern diskutiert. In den kommenden Jahren wird Wasserstoff in den Regionen eingesetzt werden, ganz pragmatisch vor der eigenen Haustür und in vielen unterschiedlichen Arbeitsfeldern. Entsprechend müssen Städte und Regionen heute beginnen, ein Leitbild zu entwickeln, wie die Wasserstoffversorgung der Zukunft aussehen soll. So kann Wertschöpfung langfristig in den Regionen erhalten bleiben. Dies bietet gerade auch ländlichen Gebieten mit viel grüner Energie neue Möglichkeiten.

Die Infrastruktur für unsere dekarbonisierte Welt von morgen müssen wir schon heute mitdenken. Dabei geht es nicht nur um die energieintensiven Industrien. In Deutschland sind lediglich 600 Industriekunden direkt an die großen Gastransportleitungen angebunden. Die überwiegende Mehrheit der 1,6 Millionen industriellen und gewerblichen Gas- und potenziellen Wasserstoff-Verbraucher wird über die lokalen Verteilnetze versorgt. Ihr Vorteil ist, dass sie ohne großen technischen Aufwand für den Wasserstofftransport geeignet sind.

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft schafft Chancen und Gelegenheiten, die mit dem Aufbau des Internets und der Einführung des Smartphones vergleichbar sind. Dort haben wir in Deutschland die Entwicklung zwei Mal verschlafen. Ein drittes Mal darf uns das nicht passieren. Wir müssen zu den Gewinnern der nächsten technologischen Revolution zählen!

## ■ 3.2 Einleitung

Wir möchten zunächst eine kurze Erläuterung der Terminologie geben und die Definitionen einführen, die mit den Themen „Wasserstoff“ und „grüne Brennstoffe“ (teilweise im Text als „GreenFuels“ bezeichnet) im Zusammenhang stehen. Anschließend sprechen wir über den aktuellen Stand und die Zukunftsperspektiven. Dabei werden auch politische Bemühungen erwähnt, die darauf ausgerichtet sind, diesen ausgesprochen bedeutsamen Aspekt der Energiewende voranzutreiben. Im Anschluss daran finden Sie in Abschnitt 3.4 Informationen zur Wertschöpfungskette des Wasserstoffs. Hier erfahren Sie mehr über die Mittel, mit denen Deutschland seinen Bedarf an Wasserstoff und grünen Brennstoffen decken möchte. In Abschnitt 3.5 geht es um die Bedeutung der Übertragungs-, Speicher- und Verteilinfrastruktur und die damit verknüpfte Entwicklung. Anschließend stellen wir die wichtigsten Anwendungsgebiete vor, in denen der Wasserstoff eine grundlegende Rolle spielen kann, wenn man die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren möchte. In Abschnitt 3.5 beginnen wir mit den energieintensiven Sektoren, da deren Akteure vermutlich kurz- und mittelfristig zu denjenigen gehören werden, die die Neuerungen zuerst aufgreifen. Später gehen wir auf die Verwendung von Wasserstoff und grünen Brennstoffen im Energiesektor ein, insbesondere im Stromsektor und

im Gebäudebereich. Zum Schluss werfen wir einen Blick auf Einsatzbereiche in der Landwirtschaft. Da Wasserstoff und grüne Brennstoffe auch im Mobilitätssektor eine grundlegende Rolle spielen und zur CO<sub>2</sub>-Reduktion verschiedener Segmente beitragen werden, haben wir uns dazu entschlossen, diesem Aspekt mehr Raum zu geben und ihn separat mit größerer Detailfülle in Teil IV, Kapitel 4 zu beleuchten.

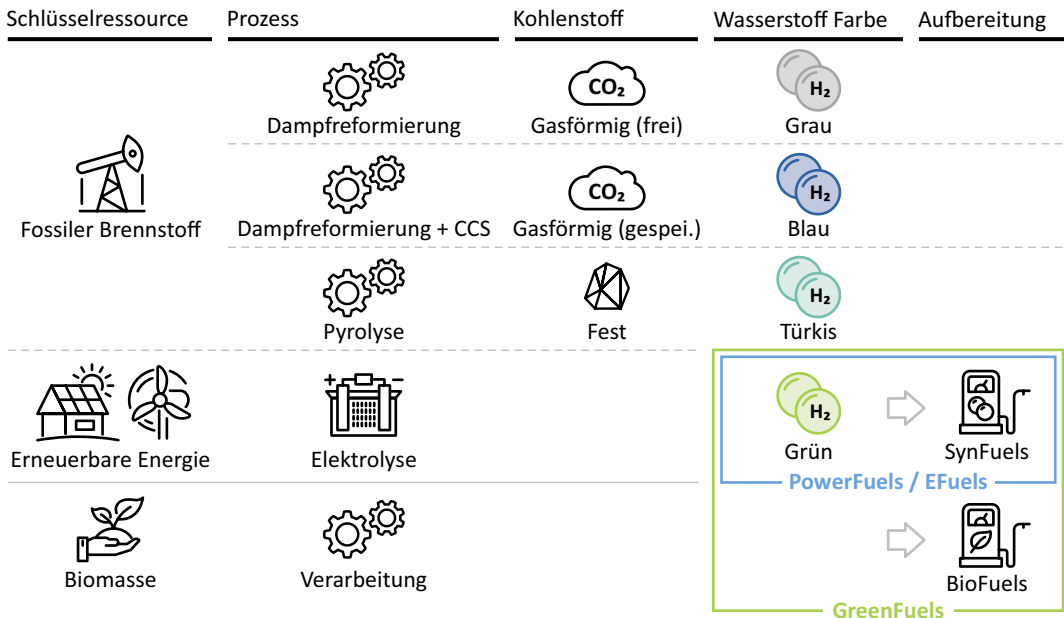
## ■ 3.3 Gegenwärtiger Stand und Perspektiven

In einer Welt entkarbonisierter, intelligenter Städte und ländlicher Räume müssen wir uns die wichtige Rolle ansehen, die Wasserstoff (chemische Formel: H<sub>2</sub>) und grüne Brennstoffe bei der CO<sub>2</sub>-Reduktion spielen. Der enorme Nutzen dieser Energieträger kann schlicht gar nicht unterschätzt werden – nicht nur aus umwelttechnischer Sicht, sondern auch aus gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Perspektive. Denn in seinem Gefolge werden sich unzählige neue Möglichkeiten eröffnen, zu denen auch die Schaffung von Arbeitsplätzen und ein frischer Wind für das wirtschaftliche Wachstum gehören. Tatsächlich ist die Idee, Wasserstoff als Treibstoff für eine CO<sub>2</sub>-reduzierte Wirtschaft einzusetzen, keineswegs neu: Seit den 1970er-Jahren, in denen das Konzept der „Wasserstoffwirtschaft“ geprägt wurde (Bockris, 1977), hat es diesbezüglich mehrere Begeisterungswellen gegeben. Die Realität aber hat den hohen Erwartungen, die die Befürworter des Wasserstoffs an diese Technologie und ihre Umsetzung geknüpft haben, nicht immer entsprechen können. Dennoch ist all der Enthusiasmus nicht vergeblich gewesen: Von den ersten Schüben der Illusion und Desillusion ausgehend, in denen Wasserstoff als ultimative Lösung galt, um dem Klimawandel zu begegnen und alle fossilen Brennstoffe mit ihrem Kohlendioxidausstoß zu ersetzen, hat die Technologie stetig Fortschritte machen können. So bildet sie heute letztendlich die Basis, auf die wir aufbauen können, und präsentiert sich als Schlüsselfaktor für den Weg zu einer gelungenen Energiewende.

### **Was ist der Unterschied zwischen Wasserstoff und grünen Brennstoffen?**

Wenn eine neue Technologie entwickelt und von starkem, öffentlichen Enthusiasmus begleitet wird, werden im Normalfall neue Schlagworte kreiert. Manchmal zieht das eine irreführende Auslegung nach sich und bedingt ein eher abstraktes Verständnis der zugrunde liegenden Innovation. Sehen wir uns deshalb nun einmal die Definitionen an, die im Kontext von Wasserstoff und grünen Brennstoffen verwendet werden. Werfen wir dazu einen Blick auf Bild 3.1. Hier sehen Sie, dass die Terminologie für Wasserstoff nach Farben aufgegliedert ist. Die jeweiligen Farben verraten uns, welche Hauptressource und welches Verfahren hinter unserem

H<sub>2</sub> steckt und wie gegebenenfalls mit dem dabei entstehenden Kohlendioxid umgegangen wird.



**Bild 3.1** Herleitung der Terminologie der Wasserstofffarben und grünen Brennstoffe

Grüner Wasserstoff ist der Wasserstoff, der mithilfe erneuerbarer Energien per Elektrolyse gewonnen wird und keinerlei CO<sub>2</sub>-Emissionen bedingt. Grauer Wasserstoff bezieht sich auf sämtliche Wasserstoff-Produktionsmethoden, die Kohlenwasserstoffe als Ressource nutzen und bei denen im Zuge des Prozesses CO<sub>2</sub>-Emissionen generiert werden. Wird das CO<sub>2</sub> aufgefangen, bevor es in die Atmosphäre gelangt, wird der so erzeugte Wasserstoff als *blau* bezeichnet. Den Prozess des Auffangens und Speicherns von Kohlendioxid nennt man *Carbon Capture and Storage (CCS)*.

Wenn Sie nun grünen Wasserstoff nehmen und ihn mit CO<sub>2</sub> mischen, das aus der Atmosphäre aufgefangen wurde, erhalten Sie synthetische Brennstoffe (auch „SynFuels“ genannt). Die Gesamtheit aus grünem Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen wird auch als PowerFuels oder E-Fuels bezeichnet. Außerdem gibt es noch Bio-Brennstoffe („BioFuels“), bei denen es sich um Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gas aus Biomasse handelt (wie beispielsweise Nutzpflanzen, Forstabfällen, Abfällen, Holz, etc.). Sie alle sind eine Untergruppe dessen, was wir hier als grüne Brennstoffe definieren. Sehen Sie sich bitte Bild 3.1 an, um sich mit den verschiedenen Begriffen vertraut zu machen, denn wir werden sie in diesem Teil des Buchs immer wieder verwenden.

Was Sie in Bezug auf grünen Wasserstoff im Kopf behalten sollten, ist Folgendes: Der Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED 2) zufolge ist es absolut zentral, dass zwischen der Produktionseinheit der grünen Elektrizität und der Produktion von erneuerbarem, nicht auf biologischen Ressourcen basierendem Brennstoff eine zeitliche und geografische Korrelation gegeben ist. Darüber hinaus sollte es ein ergänzendes Element geben, was bedeutet, dass der Brennstoffhersteller zum Einsatz oder der Finanzierung der erneuerbaren Energien beiträgt (EU, 2018).

### **Wie schaffen wir die Wende hin zu grünem Wasserstoff und grünen Brennstoffen?**

Nun, da wir uns die Definitionen vor Augen geführt haben, wissen wir, dass der grüne Wasserstoff (und damit grüne Brennstoffe) tatsächlich das ist, auf das wir uns konzentrieren sollten, denn es ist langfristig gesehen die einzige nachhaltige Option, die wir haben. Das Problem ist nur: Grüner Wasserstoff ist im Moment wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig und große Produktionsanlagen können nicht über Nacht errichtet werden (Hydrogen Europe, 2020; IRENA, 2019).

Deshalb muss ein schrittweiser Wandel stattfinden, bei dem die Produktion des grauen Wasserstoffs immer stärker durch den CO<sub>2</sub>-neutralen blauen Wasserstoff ersetzt wird. Dies ebnet den Weg hin zu einer kostengünstigen Produktion von grünem Wasserstoff. Hier könnten Sie nun fragen: Warum warten wir nicht einfach, bis genügend grüner Wasserstoff zur Verfügung steht? Tatsache ist: Wir können nicht warten. Industrielle Prozesse beispielsweise müssen aufgrund der langen Investitionszyklen jetzt angepasst werden. Gleiches gilt für den Einsatz klimafreundlicher Technologien zur Beheizung von Gebäuden. Wenn die Investitionen in CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserstoff nicht so bald wie möglich erfolgen, werden die Entkarbonisierungsziele für die Sektoren, bei denen die Eindämmung ohnehin am schwierigsten ist, völlig unerreichbar sein. Denn die Entscheidungen, die heute getroffen werden, haben Auswirkungen auf die Bedingungen von morgen, und die Technologien, die wir jetzt umsetzen, bleiben in den nächsten Jahrzehnten unverändert bestehen – bis es für einen Austausch zu spät ist.

Glücklicherweise beginnen wir nicht bei Null. Es gibt schon heute einen Markt für Wasserstoff. In Deutschland setzen die petrochemische und die chemische Industrie jährlich ca. 55 TWh (BMWi, 2020) grauen – in erster Linie aus Gas gewonnenen – Wasserstoff ein, der als Rohstoff genutzt wird. Das bedeutet, dass wir uns bereits auf eine solide Basis stützen können, was die Infrastruktur, die Technologie und den Markt betrifft. Der springende Punkt aber ist, dass das wahre Potenzial des Wasserstoffs im Hinblick auf seinen Beitrag zur Energiewende derzeit dadurch beschränkt wird, dass er in kritischen Sektoren, wie der Stromerzeugung, Gebäuden und der Mobilität, nahezu nicht existent ist. Und selbst wenn er in diesen Sektoren heute schon zum Einsatz käme – einschließlich jener Bereiche, in denen

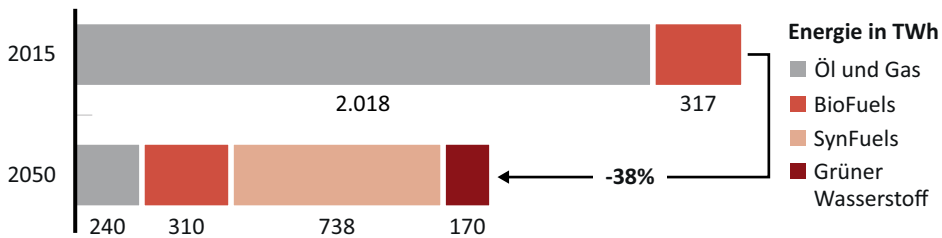
das tatsächlich schon der Fall ist, wie etwa den energieintensiven Sektoren –, wäre er keine saubere Alternative zu den derzeit verwendeten fossilen Brennstoffen. Denn die Produktion von grauem Wasserstoff ist selbst von eben jenen umweltschädlichen Quellen abhängig, die wir eliminieren möchten. Genau deshalb benötigen wir eine Übergangphase, in der wir uns die Option offenhalten, zeitweise auf fossile Quellen zurückzugreifen, die entstehenden CO<sub>2</sub>-Nebenprodukte aber auffangen, bevor sie in die Atmosphäre entweichen. Produzieren wir etwa mithilfe von CCS blauen Wasserstoff, kann das CO<sub>2</sub> in großen unterirdischen Kavernen gelagert oder für spezielle Einsatzfälle verwendet werden, in denen es daran gehindert wird, der Umwelt Schaden zuzufügen. Darüber hinaus können wir CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserstoff ins Gasnetz einspeisen und schon jetzt damit beginnen, ihn in den oben genannten kritischen Sektoren einzusetzen, um ihre Emissionen schrittweise zu senken. Aber denken Sie immer daran: Langfristig besteht das Ziel darin, grünen Wasserstoff zu nutzen.

### **Wie sieht der Verbrauch an grünen Brennstoffen heute und in der Zukunft aus?**

In den letzten zehn Jahren sind von verschiedenen Forschungsinstituten und -organisationen Studien durchgeführt und Szenarien entworfen worden, und das Thema ist auch heute noch Gegenstand laufender Untersuchungen. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt: Ein Szenario ist keine Vorhersage, sondern nur ein Entwurf für eine mögliche Zukunft. Die Grundlage ist dabei immer unser heutiges Wissen. Und das kann sich im Laufe der Zeit verändern. Dennoch gibt uns dieses Verfahren eine Richtung vor, an der wir uns orientieren können.

Beispiele für derartige Studien sind das Werk „Dynamische und intersektorale Maßnahmenbewertung zur kosteneffizienten Dekarbonisierung des Energiesystems“ (FfE, 2019) oder die dena-Studie „Integrierte Energiewende“ (dena, 2018). Um die Sache zu vereinfachen, werden wir uns auf das „Technologiemix-Szenario 95“ (kurz: TM95) dieser zuletzt genannten Studie konzentrieren. Hier wird versucht, uns den Weg in eine Welt zu zeigen, in der Deutschland seine CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Wert des Jahres 1990 um 95 % reduziert hat.

Sehen Sie sich einmal Bild 3.2 an, um ein Gefühl für die Nutzung von Öl, Gas und grünen Brennstoffen im Jahr 2015 und die Nutzung dieser Brennstoffe im Jahr 2050 des TM95-Szenarios zu bekommen. 2015 wurden in Deutschland insgesamt 2335 TWh Öl, Gas und Biomasse verwendet. Davon entfielen 13,6 % auf biologische Brennstoffe. Der Anteil anderer grüner Brennstoffe lag bei 0! Dem TM95-Szenario zufolge soll die gesamte Verwendung von Brennstoffen im Jahr 2050 auf 1458 TWh gesunken sein, was im Vergleich zu dem Niveau des Jahres 2015 ein Rückgang um 38 % wäre. Der Anteil der grünen Brennstoffe beträgt diesmal allerdings 83,5 % und liegt damit viermal höher als der Ausgangswert des Jahres 2015. Und die Brennstoffe sind erheblich vielfältiger aufgestellt – tatsächlich machen biologische Brennstoffe nur ein Viertel der Gesamtmenge an grünen Brennstoffen aus.



**Bild 3.2** Einsatz von Öl, Gas und grünen Brennstoffen im Jahr 2015 und im Jahr 2050 gemäß TM95-Szenario von dena (2018)

Sie sehen also, warum der grüne Wasserstoff das Herzstück des Wandels ist. Es gibt zwei Hauptgründe, grünen Wasserstoff als etwas ganz Besonderes zu betrachten: Er ist erstens der wichtigste Baustein für die Produktion aller anderen sogenannten E-Fuels (und demnach aller grünen Brennstoffe, mit Ausnahme von biologischen Brennstoffen), wie Sie Bild 3.1 entnehmen konnten. Und zweitens kommt er bevorzugt in den spannendsten Bereichen innovativer Anwendungen zum Einsatz, da die anderen grünen Brennstoffe in erster Linie in relativ bekannten Gebieten Verwendung finden. Auf den letzten Punkt kommen wir noch weiter unten zu sprechen. Aus diesen Gründen werden wir unseren Fokus hier vorrangig auf grünen Wasserstoff richten und zu den anderen grünen Brennstoffen nur Hinweise geben.

Die gute Nachricht ist: Die Produktion von grünem Wasserstoff aus sauberen Quellen, die keine CO<sub>2</sub>-Emissionen bedingen, ist nicht nur möglich, sondern auch eindeutig erwünscht. Aktuelle Trends und politische Maßnahmen weisen darauf hin, dass die Zeit gekommen ist, den Anteil von CO<sub>2</sub>-neutralem Wasserstoff auszubauen und damit endlich den Weg für eine integrierte und breite Nutzung zu ebnen, die uns ins Jahr 2050 führt.

### Welche politischen Initiativen gibt es in Deutschland?

Neben einigen kleineren Initiativen auf der Ebene der Bundesländer ist kürzlich die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) (BMWi, 2020) ratifiziert worden. Sie gibt einen Rahmen vor und definiert 38 Maßnahmen, die die Wende hin zu grünem Wasserstoff fördern sollen. Hinter diesen Maßnahmen stehen mehr als 21 Milliarden Euro, und sie sind nicht nur auf grünen Wasserstoff, sondern auch auf grüne Brennstoffe ausgerichtet. Ursprünglich sollten hierfür etwas mehr als zwölf Milliarden Euro ausgegeben werden. Aber die extremen Umstände, die durch die Covid-19-Krise ans Tageslicht gebracht wurden, haben noch einmal neun Milliarden Euro mehr freigesetzt. Von diesen sollen sieben Milliarden Euro in den Ausbau des Marktes und zwei Milliarden Euro in internationale Partnerschaften fließen. Sehen Sie sich bitte Bild 3.3 an, um einen Eindruck davon zu bekommen, wofür die ursprünglich geplanten zwölf Milliarden Euro ausgegeben werden sollten.

messungen von im Auto montierten Sensoren als zusätzliche, granulare und lokalisierte Quelle für Wetterinformationen nutzen.

Um Abweichungen zwischen den Prognosen und der tatsächlichen erneuerbaren Energieerzeugung auszugleichen und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, sind die Netzbetreiber gezwungen, zeitnahe und kostspielige Eingriffe vorzunehmen. So müssen z. B. zusätzliche Hilfsstromerzeuger hoch- oder heruntergefahren werden. Je präziser die Prognosedaten sind, desto geringer sind die Kosten, die durch nachfolgende Netzausgleichsmaßnahmen entstehen, und desto geringer sind die Netzgebühren, die in den Energierechnungen der Endverbraucher enthalten sind.

Großflächige, kostengünstige und nicht-intrusive IoT-Geräte können Licht ins Dunkel bringen und bisher unverbundene Anlagen und Bereiche online zugänglich machen. So würden beispielsweise mit IoT ausgestattete Transformatoren in den Niederspannungsnetzen eine noch nie dagewesene Transparenz über die Kapazität und Flexibilität des Stromnetzes ermöglichen. Diese zahlreichen Anlagen – etwa 450 000 allein in Deutschland – sind geografisch verteilt und typischerweise nicht mit Sensorik ausgestattet. Spezielle Verbundensensoren könnten Einblicke über die Echtzeitbelastung der Transformatoren geben. Und ähnlich wie im zuvor beschriebenen Projekt Vision könnten Helligkeits-, Feuchtigkeits-, Temperatur- und Drucksensoren, die in Mehrzweck-IoT-Boards montiert sind (E.ON, 2020a), hyperlokale Näherungswerte für die Wetterbedingungen liefern. Dies würde die Standard-Wetterinformationen erweitern und die Schätzungen der Einspeisung aus lokalen erneuerbaren Erzeugungsanlagen verbessern. Schließlich bieten – ergänzt durch AI-gestützte Prognosen von Last und erneuerbarer Erzeugung an jedem Standort – Echtzeit-Zustandsmessungen von Niederspannungstransformatoren eine datenbasierte Unterstützung für die Optimierung des Energieeinsatzes, die zeitnahe Abdeckung von Lastspitzen durch das Laden von E-Fahrzeugen sowie die Möglichkeit, effiziente Demand-Side-Response-Mechanismen zu aktivieren und auszulösen.

## ■ 4.3 Daten von und zu IoT-Geräten für steuerbare Fernlenkung

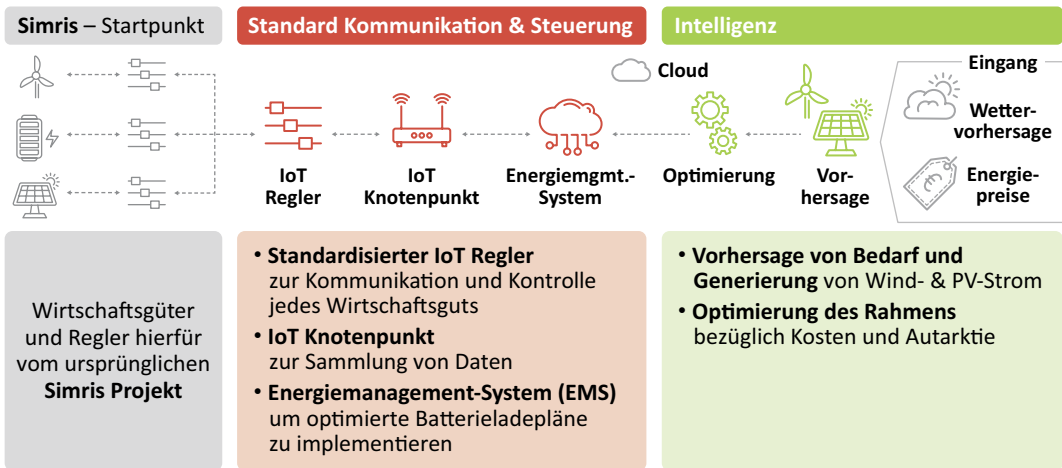
Bisher haben wir Situationen beschrieben, in denen Daten überwiegend von den IoT-Geräten zu einer zentralen Plattform fließen, die sie verarbeitet und analysiert. Was geschieht aber, wenn wir einen bidirektionalen Informationsaustausch von und zu den Geräten ermöglichen?

Die Möglichkeit einer bidirektionalen Kommunikation mit IoT-Geräten und einer Fernsteuerung und -kontrolle der zugrunde liegenden Anlagen eröffnet völlig neue Möglichkeiten der Systemoptimierung.

Standardisierte IoT-Datenerfassung und IoT-Steuerungsimplementierungen innerhalb von Haushalten, lokalen Erneuerbaren, Speichereinrichtungen und Ladeinfrastruktur für E-Mobilität eröffnen die Möglichkeit, lokale Energiesysteme optimal zu betreiben. Die von E.ON im Dorf Simris (Simris, 2020) im Südwesten Schwedens entwickelten und pilotierten standardisierten IoT-Steuerungen in Kombination mit Prognose- und Optimierungsalgorithmen ermöglichen,

- den Eigenverbrauch des Dorfes zu steigern,
- die Widerstandsfähigkeit gegenüber möglichen Stromausfällen zu erhöhen und die Möglichkeit zu schaffen, unabhängig vom Stromnetz zu arbeiten,
- den energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Gemeinde zu reduzieren und
- die gesamten Stromkosten zu senken.

Die in Bild 4.3 dargestellte Lösung ermöglicht es, die lokalen Erzeugungs- und Speichereinrichtungen maximal auszunutzen und entsprechend den Energiemarktsignalen und Energietarifen den Energieaustausch der Gemeinschaft mit dem Stromnetz zu optimieren.



**Bild 4.3** Schematische Darstellung der Simris-Lösung, die durch standardisierte IoT-Technologie ermöglicht wird, Quelle: basierend auf Simris (2020)

In diesem Fall werden Daten von verschiedenen Anlagen, den Haushalten, der Windturbine, dem Solarpark und der stationären Batterie sowie Wetter- und Energiepreisprognosen in einem ganzheitlichen und flexiblen Intelligenzmodul zusammengeführt, das die besten Lade- und Entladezeitpläne für die Energiespeicher-

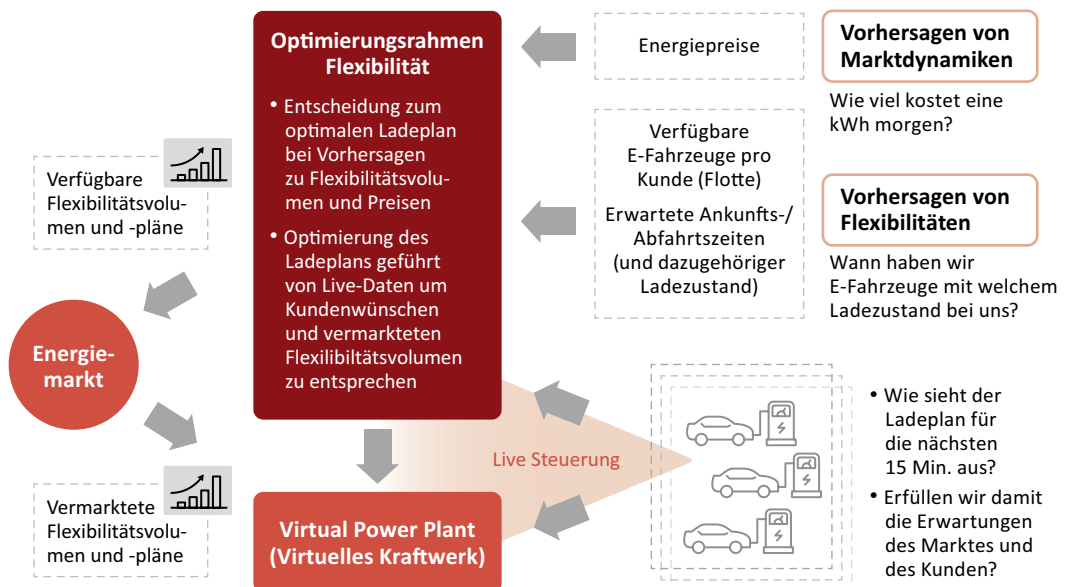


anlage bestimmt. Die Anwendung ist modular sowie erweiterbar aufgebaut. Sie kann in mehreren Gemeinden und zur Bildung von Energiepools zum Einsatz kommen, in denen punktuelle Energieüberschüsse unter verschiedenen lokalen Energiesystemen geteilt und ausgeglichen oder auf den Energiemärkten vermarktet werden können.

Angesichts des erwarteten Wachstums der Elektromobilität können Lösungen wie Simris auf batterieelektrische Fahrzeugflotten ausgedehnt und angepasst werden, um die Flexibilität mittels Vehicle-to-Grid zu nutzen (E.ON, 2020b; E.ON, 2021) – siehe Teil IV, Kapitel 4 für weitere Informationen. Diese Art von Anwendungen – in Verbindung mit zeitlichen Variablen zur Charakterisierung der Nutzungsmuster – stützt sich auf

- Echtzeitdaten der Ladeinfrastruktur und der Batterie (Ladezustand),
- auf – im Falle von kommerziellen oder privaten E-Fahrzeugflotten – die typischen Plug-in-Zeiten (Ankunft und Abfahrt),
- die gewünschten Ladepegel sowie
- die standortspezifischen Lastprofile und Netzkapazitätsbeschränkungen.

Für E-Fahrzeugflotten könnten nicht nur dynamische Lastmanagement-Algorithmen eingesetzt werden, um die verfügbare Energie optimal auf die verschiedenen Autos zu verteilen, sondern auch für diejenigen E-Autos, die in der Lage sind, Energie bidirektional mit dem Netz auszutauschen – siehe Bild 4.4.



**Bild 4.4** Darstellung des Arbeitsablaufs zur Optimierung der Fahrzeug-Netz-Flexibilität, der durch die Kombination von Energiemarkt-, Netzinformatoren und E-Fahrzeugdaten ermöglicht wird

Im Bereich Heizung und Kühlung schließlich können IoT-Technologien innovative Lösungen zur Minimierung von thermischen Verlusten und zur Nutzung des Ausgleichspotenzials in nahe gelegenen Gebäuden ermöglichen. Innerhalb gewisser Grenzen kann die Kombination von thermischer Gebäudeträgheit und Wärmepumpen ähnlich wie Batterien in der Elektromobilität fungieren: zur Speicherung punktueller Energieüberschüsse sowie zum Abfedern von Bedarfsspitzen.

## ■ 4.4 Fazit und Handlungsoptionen für smarte Kommunen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass IoT-Technologien eine schnelle Objekt-zu-Objekt-Kommunikation ermöglichen, die es erlaubt, fortschrittliche analytische und digitale Lösungen im Kern zukünftiger Smart Cities und Smart Rural Areas zu nutzen. In den nächsten Jahren werden IoT-Geräte die Verbindungen zur realen Welt über verschiedene Sensoren zunehmend intensivieren und so eine reichhaltige Quelle für kontextbezogene Daten und Erkenntnisse schaffen, die auch bisher getrennte Domänen miteinander verbinden (BCG, 2019). Eine korrekte und rechtzeitige Planung der Digitalisierung ist unabdingbar, um Datenabdeckung, -sicherheit und -eigentum an den wichtigen Infrastrukturen von Städten, Bezirken, Dörfern und Wohngebieten zu gewährleisten.

Die Möglichkeit einer bidirektionalen Kommunikation mit IoT-Geräten und einer Fernsteuerung und -kontrolle der zugrunde liegenden Anlagen eröffnet völlig neue Möglichkeiten der Systemoptimierung. Der Schlüssel zur Entfaltung des vollen Potenzials unserer drei Beispielorte liegt in der Möglichkeit, verschiedene IoT-Daten und -Quellen zusammenzuführen, zu verschmelzen und zu kombinieren, um gemeinsam verwertbare Erkenntnisse zu gewinnen. Hochwertige Echtzeitdaten und intelligente Machine-Learning-Algorithmen werden die Sektoren Mobilität, Strom, Wärme und Kälte digital miteinander verknüpfen und so ungeahnte Synergien und Optimierungspotenziale erschließen. Sie bieten damit die Chance, Energie effizienter und nachhaltiger zu nutzen und damit Kosten, Verluste und Verschwendung zu reduzieren.

### Checkliste

- Überprüfen Sie, ob Sie ausreichende Informationen von der kritischen Infrastruktur Ihrer Kommune erhalten oder ob Sie in Sensorik investieren sollten.
- Überprüfen Sie IoT-Systeme und bewerten Sie das Potenzial für den Einsatz weiterer IoT-Geräte.
- Prüfen Sie IoT-Dateneigentümerschaften und bringen Sie die Interessenvertreter an einen Tisch, um die synergetische und gemeinsame Nutzung von Daten zu verstehen.
- Sensibilisieren Sie die Bürgerinnen und Bürger für die Vorteile der IoT-Technologie und die positiven Auswirkungen der gemeinsamen Nutzung ihrer Daten.
- Denken Sie über IoT-Daten außerhalb ihrer spezifischen Domänen nach. Eröffnen Sie die Möglichkeit, Daten außerhalb ihrer ursprünglichen Anwendung/Plattformen zu besitzen und zu nutzen.

## ■ 4.5 Literaturverzeichnis

- BigBelly (2020). Needham: BigBelly LLC. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://bigbelly.com/>
- E.ON (2020a). E.ON erfindet digitale IOT-Lösung für grüne und gesunde Arbeitsplätze in der Industrie. Essen: E.ON SE. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://www.eon.com/en/ueber-uns/presse/press-releases/2020/2020-07-15-eon-invents-digital-iot-solution.html>.
- E.ON (2020b). E.ON und Volkswagen machen das Schnellladen möglich. Essen: E.ON SE. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://www.eon.com/en/innovation/innovation-frontline/innovation-news/eon-and-vw-to-make-fast-charging-possible.html>.
- E.ON (2021). Der Antrieb für ein klimaschonendes Netz. Essen: E.ON SE. Abgerufen am 25.01.2021, von <https://www.eonenergy.com/content/dam/eon-energy-com/Files/vehicle-to-grid/The%20Drive%20Towards%20A%20Low-Carbon%20Grid%20Whitepaper.pdf>.
- Gartner (2019). Gartner Says 5.8 Billion Enterprise and Automotive IoT Endpoints Will Be in Use in 2020. Pressemitteilung. Stanford: Gartner Inc. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-29-gartner-says-5-8-billion-enterprise-and-automotive-iot>.
- GCG (2019). Beyond Predictive Maintenance, die Kunst des Möglichen mit IoT. BCG and Microsoft 2019. Abgerufen am 28.12.2020, von [https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Orchestrating-the-Value-in-IoT-Platform-Based-Business-Models-Jun-2020-n\\_tcm9-252129.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Orchestrating-the-Value-in-IoT-Platform-Based-Business-Models-Jun-2020-n_tcm9-252129.pdf).
- Simris (2020). Die Zukunft ist lokal Malmö: E.ON. Abgerufen am 25.01.2021, von [https://www.eon.se/en\\_US/om-e-on/local-energy-systems/the-future-is-local](https://www.eon.se/en_US/om-e-on/local-energy-systems/the-future-is-local).
- TenneT (2017). Mobile sensing. Arnheim: TenneT Holding B. V. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://www.tennet.eu/our-key-tasks/innovations/mobile-sensing/>.
- VW (2017). Wissen, woher der Wind weht. Wolfsburg: Volkswagen AG. Abgerufen am 28.12.2020, von <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2017/07/knowning-which-way-the-wind-blows.html>.

# Register

## A

Abfallentsorgung  
– intelligente 311  
Abfallentsorgungssystem 294  
Abfallsammlung 312  
Abwärmenutzung 113  
Akzeptanz 46  
Anleihe 335  
API-Konzept 318  
Artificial General Intelligence 297  
Automatisierung 308  
autonome Zellen 74

## B

Bankdarlehen 335  
Batterie 165  
batterieelektrische Fahrzeuge 45  
Batteriespeicher 167  
Batteriesystem 164  
Beheizungsstruktur 240  
Beleuchtung 110  
BEV 213  
Big Data 295  
Bildererkennung 309  
Bio-Brennstoffe 180  
Biomasse 43  
Biomassekessel 91  
Bio-Methan 199  
Bio-Öl-Kessel 91  
blauer Wasserstoff 181  
Blockchain 262, 277  
Blockheizkraftwerk 240

## BMS 304

Brennstoffzelle 195, 216  
Brennstoffzellenfahrzeug 45  
Brennstoffzellen-Hybridantrieb 217  
Building-Management-System 303  
Bürgerbeteiligungsmodell 348

## C

Carbon Capture and Storage 180  
Carsharing 210  
CO<sub>2</sub>-Ausstoß 259  
CO<sub>2</sub>-Emissionen 206  
CO<sub>2</sub>-Reduktion 179  
Computer-Vision-Algorithmus 304  
Connected Urban Twins 343  
Crowdfunding 338  
Crowdsourcing 339  
cyber-physisches Produktionssystem  
302

## D

Dämmung 137  
Darlehensfinanzierung 349  
Datenmanagement 278  
Datenmarkt 318  
Datenqualität 298  
Datenquellen 286  
Datenschutz 299  
Deep Learning 300, 311  
Defossilisierung 153  
Dekarbonisierung 9, 153, 196

Deutscher Wasserstoff-Plan 216  
 digitale Technologien 143  
 Digitalisierung 9 f., 254 f., 269, 281  
 Digitalisierung des Fernwärmenetzes 94  
 Drehstromübertragung 67  
 Druckluft 118  
 DSO 2.0 71

## E

Effizienznetzwerke 130  
 Effizienzpotenzial 110  
 Effizienzprinzipien 108  
 E-Fuels 180, 188  
 Eigenkapitalfinanzierung 337  
 Eisen- und Stahlsektor 193  
 elektrisches Feld 66  
 Elektrofahrzeug 210, 259  
 – Energiebedarf 214  
 Elektrolyseur 186  
 elektromechanischer Antrieb 119  
 Elektromobilität 208, 243, 289  
 E-Mobilität 208  
 Endenergie 18  
 Endenergiebedarf 106  
 Energieagentur 125  
 Energieanlage 256  
 Energiebereitstellung 159  
 Energieeffizienz 105, 107  
 – Vorschriften in Gebäuden 147  
 Energieflexibilität 171 f.  
 Energiemix 88  
 Energiemonitoringsystem 125  
 Energienachfrage 227  
 Energiespeicherung 159  
 Energiesystem  
 – vernetztes 284  
 Energiesysteme  
 – intelligente 306  
 Energieträgerwechsel 235  
 Energieverbrauch 135 f.  
 Energiewende  
 – regionale 173  
 EnWG § 14a 72  
 E.ON Energieatlas 313

erneuerbare Energieerzeugung 8  
 erneuerbare Energien 37  
 Erzeugungsanlagen 65  
 EU-Förderungsmöglichkeit 344

## F

Fahrzeug-Netz-Flexibilität 289  
 Fernwärme 87  
 Festoxidbrennstoffzellen 199  
 Finanzierung 327  
 Flexibilisierung 233  
 Flexibilisierung in Haushalten 239  
 Flexibilitätsoption 73  
 Flexumer 70, 172, 246  
 Flower.Power-Konzept 160  
 Förderdatenbank 343  
 Förderung 328  
 Förderungsprogramm 342  
 Fremdfinanzierung 335

## G

Galvanikbetrieb 126  
 Gasinfrastruktur 190  
 Gebäude  
 – Energieeffizienz 133  
 – intelligente 303  
 Gebäudehülle 136  
 Gebäudesektor 258  
 Geothermie 43, 91  
 Gesichtserkennung 312  
 Gesundheitsversorgung  
 – intelligente 313  
 grauer Wasserstoff 180  
 Großwärmepumpe 91  
 Grüne Anleihe 336  
 grüne Brennstoffe 179, 188  
 grüner Wasserstoff 157, 180

## H

Handelsplattform 275  
 Haushaltsbereich 113  
 Heizung, Lüftung und Klimatechnik 303

HLK 303

HLK-System 138

Horizon Europe 342, 344

Hybrid-Elektrofahrzeug 211

Hybridfinanzierung 340

## I

industrieller Prozesswärmebedarf 113

Intelligence Assets 317

intelligente Fertigung 301

intelligente Gebäude 242

Interessenvertreter 331

Internet der Dinge 283

Internet of Things 262

IoT. *Siehe* Internet der Dinge

IoT-Geräte 285

IoT-Sensor 295

IoT-Steuerungen 288

## J

Joint Venture 346

## K

Kälteanlagen 117

Kälteanwendung 233

Kalte Netze 90

KI 293

KI-Anwendung 315

Klimaneutralität 344

Klimawandel 7

Kommunalanleihe 335

Konnektivität 262

Konsistenz

– von Daten 298

Konzessionsvergabe 76

Kraft-Wärme-Kopplung 235

Kreislaufwirtschaft 311

Künstliche Intelligenz 11, 293, 296

Kunststoffverarbeitung 237

KWK-Anlage 235

## L

Ladeinfrastruktur 305

Ladepunkte 218, 221

Ladevorgang 218

Lagerhaltung 308

Landwirtschaft

– intelligente 309

– Wasserstoffeinsatz 198

Längsregler 71

Lastkurve 73

Lastmanagement 227

Lastverschiebung 229

Lernen

– überwachtes und unüberwachtes 300

Lieferkette 308

Li-Ion-Batterie 164

Linking Grid 32

Logistik

– intelligente 307

Lokalisierung 12

Lüftungssysteme 234

## M

maschinelles Lernen 297

Medio Town

– Beispielstadt 17

Metropolis

– Beispielstadt 17

Mezzaninfinanzierung 341

Micro Grid 74

Mieterstrom 54

Mikromobilität 205

ML 302

Mobilität 10, 205

– intelligente 304

Mobilitätssektor 45

Mobility-as-Service 259

## N

Nachhaltigkeit 313

Nachhaltigkeitsindex 313

Nachtspeicheröfen 243

Nationale Wasserstoffstrategie 183  
 Netzbetreiber 68  
 Netzbetriebsmittel 70  
 Netzebene 162  
 Netzengpass 68  
 Netzfrequenz 69  
 Netzwerkeffekt 267, 271  
 Normalized Difference Vegetation Index  
 310  
 Nutzenergie 18  
 NWS 183

## O

öffentlich-private Partnerschaft 347  
 Ökosystem 317  
 Open-Data-Initiative 318

## P

Partnerschaftsmodell 346  
 PESTLE-Analyse 26  
 PHEV 213  
 Photovoltaik 41  
 Pinch-Analyse 127  
 Plug-in hybrid 211  
 Polizei  
 – intelligente 312  
 Portfoliopriorisierung 29  
 PowerFuels 180  
 Power-to-Gas 157  
 Power-to-Heat 44  
 Power-to-Liquid 157  
 PPP 347  
 Predictive Failure Prediction 302  
 Primärenergie 18  
 Produktionsunternehmen 237  
 Prosumer 268, 275

## Q

Quartierauslegung 74  
 Querschnittstechnologien 109

## R

Raumbelüftung 141  
 Raumheizung 139  
 Raumkühlung 140  
 raumlufttechnische Anlage (RLT) 111  
 Rechenzentrum 278  
 Regelleistung 69  
 Rekommunalisierung 76  
 Residuallast 219  
 Roadmapping 19  
 – strategisches 25

## S

Schichtmodell 316  
 SCP 328  
 Sektorenkopplung 73, 89, 155, 233, 245  
 Sekundärenergie 18  
 Selbstversorgung 12  
 Serviceentwicklung 317  
 Smart City 3, 15  
 Smart-City-Projekte 328  
 Smart Grid 65  
 Smart Logistics 307  
 Smart Manufacturing 301  
 Smart Meter 70  
 Smart Meter Gateway 71  
 Smart Rural Area 15  
 Smart Services 319  
 Solarthermie 44  
 Sozialer Wirkungskredit 337  
 Speichertechnologien 9  
 Spitzenlastreduktion 227  
 Städte  
 – intelligente 344  
 Stahlindustrie 129  
 Stakeholder-Management 26  
 Straßenverkehr 206  
 strategische Planung 22  
 Stromerzeugung 8, 194  
 Strom-Gas-Kopplung 156  
 Stromgestehungskosten 260  
 Stromhandelsplattform 268, 273  
 Strom-Kälte-Kopplung 155

Strommix 244  
Strompreis 39  
Strom-Produkt-Kopplung 156  
Strom-Verkehr-Kopplung 156  
Stromversorgung 196  
Strom-Wärme-Kopplung 155  
Strom-Wasser-Kopplung 156  
Supply-Chain 307  
SWOT-Analyse 28  
SynFuels 180  
synthetische Brennstoffe 180

## T

Technologiebereitschaft 318  
Teilhabe 47  
thermische Netze 81  
thermische Speicher 165, 167  
Tiefengeothermie 94  
TOWS-Matrix 29  
Transformatoren 66  
Tube Trailer 191

## U

Übertragungsnetz 66  
Unternehmensanleihe 335  
Urbanisierung 12

## V

Vehicle-to-Business 220  
Vehicle-to-Grid 11, 157, 209, 220  
Vehicle-to-Home 220  
Vehicle-to-Household 244  
Verbraucher 65  
Verbrauchsdaten 257  
Verkäuferfinanzierung 340  
Verkehrsmanagement  
– intelligentes 305

Verkehrssektor 157, 206  
Verteilnetz 66  
Villago  
– Beispielstadt 17  
Vollständigkeit  
– von Daten 298

## W

Wärmebereitstellung 113  
Wärmedurchgangskoeffizient 136  
Wärmeleitplanung 98  
Wärmenetze 85  
Wärmepumpe 44, 94, 242  
Wärmesektor 44  
Wärmewende 83, 98  
Warmwasserbereitung 140  
Wasserkraft 43  
Wassersektor 238  
Wasserstoff  
– Sicherheit 192  
Wasserstoff als Speichermedium  
195  
Wasserstoffeinsatz 157  
Wasserstoffelektrolyse 157  
Wasserstoff-Gas-Netz 197  
Wasserstoff-Herstellung 186  
Wasserstoff im Gebäudesektor  
196  
Wasserstoffproduktion 188  
Wasserstofftransport 190  
Wasserstoffwirtschaft 179  
Wendepunkte  
– Energiesektor 259  
Windkraft 42

## Z

Zukunftsszenarien 25  
Zwiebelschalenmodell 107f.