

Paul Stiglmayr

Netzstabilität durch intelligente
Stromnetze. Das "Vehicle-to-Grid" Konzept

Bachelorarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2022 GRIN Verlag
ISBN: 9783346696069

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/1256807>

Paul Stiglmayr

**Netzstabilität durch intelligente Stromnetze. Das
"Vehicle-to-Grid" Konzept**

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Bachelorarbeit

Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen

Netzstabilität durch intelligente Stromnetze - Analyse des „Vehicle-to-Grid“ Konzeptes im Hinblick auf die Auswirkungen von erneuerbaren Energien und der Ausweitung der Elektromobilität

Paul Stiglmayr

Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen Energietechnik

Start der Bearbeitung: 01.01.2022

„Wir müssen der Wandel sein, den wir in der Welt zu sehen wünschen.“

Mahatma Gandhi

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Bedeutung und Problemstellung	1
1.2 Ziel der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2 Theoretische Rahmenbedingungen.....	4
2.1 Klimaziele	4
2.2 Erneuerbare Energien und dezentrale Erzeuger	5
2.3 Lastmanagement.....	7
3 Elektromobilität	9
3.1 Die Entwicklung der Elektromobilität	9
3.2 Definition.....	12
3.3 Marktanteil und Bedeutung der Elektromobilität in Deutschland.....	14
3.4 Staatliche Förderung der Elektromobilität in Deutschland	16
3.5 Chancen der Elektromobilität.....	19
3.6 Herausforderungen der Elektromobilität.....	22
4 Intelligente Stromnetze	26
4.1 Definition.....	26
4.1.1 Smart.....	26
4.1.2 Smart Metering	27
4.1.3 Smart Grid.....	29
4.1.4 Vehicle-to-Grid.....	30
4.2 Konventionelles Stromnetz	31
4.3 Energieversorgung für Elektrofahrzeuge	33
4.3.1 Lademöglichkeiten.....	33
4.3.2 Bidirektionales Laden	35
4.4 Vorteile und Chancen Smart Grid und Vehicle to Grid	36
4.5 Hemmende Faktoren und Herausforderungen	37
5 Methodik.....	39
5.1 Beschreibung der Untersuchungspersonen	39
5.2 Untersuchungsdesign und Datenerhebung	42
5.3 Datenaufbereitung und Auswertungsvorgehen	42
6 Ergebnisse	44
6.1 Kategorien.....	44

6.2	Kategoriensystem	53
7	Diskussion.....	56
7.1	Interpretation der Ergebnisse.....	56
7.2	Limitation der Arbeit.....	74
8	Fazit & Handlungsempfehlung	75
8.1	Schlussfolgerung	75
8.2	Empfehlungen für die Politik	76
8.3	Empfehlungen für die Unternehmenspraxis.....	77
	Literaturverzeichnis	VI
	Anhang.....	XXVI

Abkürzungsverzeichnis

&	und
AC	Alternating current (Wechselspannung)
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AFV	Alternative fuel vehicle
AG	Aktiengesellschaft
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEV	Battery Electric Vehicle
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BPT	bidirectional power transfer
ca.	circa
DC	Direct current (Gleichspannung)
e.V.	eingetragener Verein
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EnEG	Energieeinspargesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz

EVU	Energieversorgungsunternehmen
ggf.	gegebenenfalls
ICCT	International Council on Clean Transportation
ICE	Internal combustion engines
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
Int.	Interview
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
MsbG	Messstellenbetriebsgesetz
NEP	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität
o. O.	ohne Ort
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
REEV	Range Extended Electric Vehicle
SOC	State of Charge (aktueller Ladezustand)
Stk.	Stück (Stückzahl)
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to home
vEFK	verantwortliche Elektrofachkraft
VGI	Vehicle Grid Integration
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Der Energiehunger der Welt (eigene Darstellung in Anlehnung an Nier, Hedda (2018))	6
Abb. 2: Globale oberflächennahe Durchschnittstemperatur von 1860 bis 2005 (eigene Darstellung in Anlehnung an Centre, Hadley (2005)).....	11
Abb. 3: Fahrzeugabsatz Deutschland (eigene Darstellung in Anlehnung an Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2021)).....	14
Abb. 4: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021 (eigene Darstellung in Anlehnung an Kords, Martin (2021)).....	15
Abb. 5: Strommix Deutschland 2009 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Wikipedia 2010))	20
Abb. 6: Strommix Deutschland 2021 (eigene Darstellung in Anlehnung an Check24 (2022))	21
Abb. 7: Wertschöpfungskette Elektromobilität (Bundesregierung (2009)).....	23
Abb. 8: ENTSO-E Netz (eigene Darstellung in Anlehnung an Müller, Jens (2019)).....	32
Abb. 9: Kategoriensystem: Umsetzbarkeit (eigene Darstellung).....	53
Abb. 10: Kategoriensystem: Psychologischer Aspekt Individuum (eigene Darstellung)	54
Abb. 11: Kategoriensystem: Systemeffektivität (eigene Darstellung).....	55

1 Einleitung

1.1 Bedeutung und Problemstellung

Seit Beginn der Industrialisierung ist eine durch Messungen bestätigte, einhergehende Klimaerwärmung, die durch den Menschen verursacht wurde, festzustellen. Diese hat zum Teil gravierende Auswirkungen auf viele Ökosysteme aber auch auf den Menschen selbst durch den Anstieg des Meeresspiegels, Versteppung von Gegenden sowie andererseits immer häufiger werdenden massiven Regenfällen. Deshalb werden durch die Mitglieder der Weltgemeinschaft (UNO) sowie nationale Bestrebungen, Maßnahmen diskutiert und getroffen, die Ursachen des Klimawandels (z.B. CO₂-Ausstoß) sowie Folgewirkungen (Auftauen der Permafrostböden) zu bekämpfen.

Die Aufgabenstellung ist deshalb vielfältig und langwierig mit Themen, die sofort umgesetzt aber auch mit langfristigen politisch oder sozial schwierig umzusetzenden Lösungsansätzen verbunden. Ein Teilbereich entfällt auf die Dekarbonisierung des Verkehrssektors mithilfe von alternativen Antrieben sowie dem massiven Ausbau erneuerbarer Energien. Dieser geht jedoch mit volatiler Energieproduktion einher, weshalb die Erneuerung und der Ausbau der entsprechenden Infrastruktur zum Speichern von Energie bei Überproduktion sowie zur Abgabe dieser bei Energiemangel gefordert ist.

Deshalb müssen alle technischen, intelligenten umsetzbaren Möglichkeiten diskutiert und im Bedarfsfall umgesetzt werden. Ein Teil betrifft die smarte Netzstruktur, die zur und von der PKW-Ladestation läuft sowie die Nutzung der fahrzeuginternen Batterien als Gesamtbatteriepuffer zur Abfederung von Spitzen. Diese Arbeit beschäftigt sich den Möglichkeiten sowie Herausforderungen dieser Technologie.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit liegt in der Analyse des „Vehicle-to-Grid“ Konzeptes im Hinblick auf die Auswirkungen von erneuerbaren Energien und der Ausweitung der Elektromobilität. Kernthema dabei war, ob sich durch dieses Konzept die Netzstabilität erzeugen lässt. Dies berücksichtigt die Meinung vier befragter brancheninterner Interviewteilnehmer über gesellschaftliche, technische, regulatorische sowie strukturelle Herausforderungen, da es diesbezüglich wenig reichhaltige Untersuchungen gibt und sich über diese Methode Anhaltspunkte gewinnen lassen, die als Grundlage für weitere Forschungen dienen können.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit (Kapitel 2) wird der theoretische Teil der Ausgangslage erklärt, welcher einen Überblick erzeugen soll, auf welcher Grundlage sich die in dieser Arbeit bearbeitete Forschungsfrage stellt. Dabei wird auf die aktuellen in Deutschland geltenden Klimaziele eingegangen sowie eine Verknüpfung zu den erneuerbaren Energien und der für das Stromnetz benötigten Regelleistung erstellt. Anschließend vermittelt Kapitel 3 prägnant die Position der Elektromobilität in Deutschland sowie dessen Grundlagen, da sich diese unmittelbar auf die Forschungsfrage einwirkt. In Kapitel 4 folgt beginnend mit einer klaren Definition der Begriffe „Smart“, „Smart Metering“, „Smart Grid“ sowie „Vehicle-to-Grid“ eine Erläuterung der technischen Grundlagen intelligenter Stromnetze sowie dessen Bestandteile. Ebenso wird auf die Unterschiede zu einem konventionellen Stromnetz eingegangen und der Zusammenhang zwischen der Energieversorgung und der Elektromobilität erstellt. Zuletzt werden in Kapitel 4 die Chancen und Herausforderungen systematisch dargestellt. Kapitel 5 ermöglicht daraufhin einen Überblick über die in der Arbeit befragten Untersuchungspersonen, beschreibt das verwendete Untersuchungsdesign und ermöglicht einen Einblick in das Vorgehen der Datenauswertung. Die erarbeiteten Erkenntnisse werden daraufhin in Kapitel 6 beschrieben sowie das zur Analyse verwendete Kategoriensystem tabellarisch dargestellt. Anschließend werden in Kapitel 7 die aus den Experteninterviews gewonnenen Ergebnisse interpretiert und auf die anfallenden Differenzen und Gemeinsamkeiten der einzelnen Befragten

eingegangen. Im letzten Kapitel (Kapitel 8) werden dann die Ergebnisse der Untersuchung zusammenfassend formuliert sowie Handlungsempfehlungen des Autors gegenüber der Politik sowie der Unternehmenspraxis ausgesprochen.

2 Theoretische Rahmenbedingungen

2.1 Klimaziele

Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) zeichnet den Weg für die Erreichung der Klimaneutralität Deutschlands vor. Dies wurde zuletzt am 24.06.2021 im deutschen Bundestag beschlossen und neueste Vorgaben verbindlich verschärft.¹ „[...] (Dies, d. Verf.) verpflichtet den Staat, aktiv vorzubeugen, so dass es in Zukunft nicht zu unverhältnismäßigen Einschränkungen der Freiheitsgrundrechte der heute jüngeren Menschen kommt.“²

Die Novellierung des Gesetzes verschärft dabei die deutschen Treibhausgasminderungsziele, welche eine Reduzierung von 55% auf 65% gegenüber 1990 angehoben wurden. Weiterhin wurde festgelegt, dass bis 2040 die Treibhausgase um 88% gegenüber 1990 gemindert werden und bis 2045 die Treibhausgasneutralität verbindlich erreicht werden muss. Zusätzlich wurden die Vorgaben, die einzelnen Sektoren betreffend (Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfall), verschärft und erstmalig eine Verwendung von Senken (die natürliche Bindung von CO₂ durch Moore und Wälder) als verbindliches Ziel genannt.³

Dies alles dient dem Erreichen der 1,5°C Grenze, die im Pariser Klimaabkommen, welches am 12. Dezember 2015 in Paris von 196 Staaten unterzeichnet wurde, um den Klimawandel zu bremsen und dessen Auswirkungen so stark wie möglich zu reduzieren. Ausschlaggebend ist das gemeinsame Ziel, die globale Erderwärmung unter 2°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu halten. Als Zielwert wird hier die 1,5°C Grenze genommen.⁴ Ebenfalls verpflichten sich alle teilnehmenden Staaten eine strengere Zielsetzung in fünf Jahres Etappen festzulegen und diese inklusive der Erreichung öffentlich mitzuteilen. Weiterhin wird eine Unterstützung der Entwicklungsländer verpflichtend sowie eine Zusammenarbeit zur Reduzierung und Vermeidung von durch das Klima verursachten Schäden in Form von Frühwarnsystemen und Notfallversorgungen als Grundvoraussetzung festgelegt. Städte und Regionen werden ebenso berufen, Ihre Anstrengungen zu verstärken und

¹ Vgl. Die Bundesregierung (2021).

² Die Bundesregierung (2021).

³ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021a).

⁴ Vgl. United Nations (2015).

den Fokus auf Klimaschutzmaßnahmen zu legen.⁵ Das bisherige geltende UN-Klimaprotokoll (Kyoto-Protokoll), welches im Jahr 1997 beschlossen wurde und dem Klimaschutz diente bis es 2020 auslief, wurde 2021 vom Pariser Klimaabkommen abgelöst.⁶

2.2 Erneuerbare Energien und dezentrale Erzeuger

Die Begriffe erneuerbare, regenerative oder auch alternative Energien, welche synonym verwendet werden können, sind eine Form der Energie aus Gewinnungsverfahren, die zur Gewinnung keine Rohstoffe verbrauchen, da sie durch natürliche Vorgänge ständig erneuert werden oder durch eine Verbrennung des Rohstoffes nur so wenig Kohlendioxid freigesetzt wird, wie sie naturbedingt für das Wachstum aufgenommen haben.⁷ Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen sind sie praktisch unerschöpflich oder regenerieren sich sehr schnell.⁸ Dies betrifft unter anderem Solar- und Windenergie, Wasserkraft, Bioenergie, Erdwärme und Energie aus den Gezeiten. Für eine nachhaltige Energiepolitik und die Energiewende sind sie unumgänglich.⁹ Da „der Energiehunger der Welt [...] rasant (wächst, d. Verf.) [...]“¹⁰, muss weiterhin massiv am Ausbau der erneuerbaren Energien gearbeitet werden. Hauptursache ist das schnelle Wachstum in den Entwicklungsländern, welche für ein Drittel des zusätzlichen Energiebedarfs verantwortlich sind. Darunter sind vor allem die Länder China und Indien die größten Treiber¹¹, wobei China bereits jetzt der größte Investor für erneuerbare Energien mit einer Fördersumme von 400 Milliarden Euro ist. Die Strategie Chinas weicht dabei nicht sehr stark von den deutschen Ansätzen ab, welche Anreize für den Ausbau umweltfreundlicher Stromerzeuger setzen.¹² Der weltweite Anstieg benötigter Primärenergieträger in Mrd. Tonnen Öläquivalent (siehe Abb. 1) zeigt, dass sich der Energiebedarf von 2000 bis 2040 verdoppeln wird. Weiterhin sind erneuerbare Energien die am stärksten wachsende Energiequelle.¹³

⁵ Vgl. Europäische Kommission (o. J.).

⁶ Vgl. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg (2021).

⁷ Vgl. Schönlein, Jürgen (1997-2007).

⁸ Vgl. Quaschnig, Volker (2021).

⁹ Vgl. Detzler, Sara Katharina (2017), S. 31.

¹⁰ Bethge, Philip (2007), S. 109.

¹¹ Vgl. Nier, Hedda (2018).

¹² Vgl. Mayer-Kuckuk, Finn (2022).

¹³ Vgl. Nier, Hedda (2018).

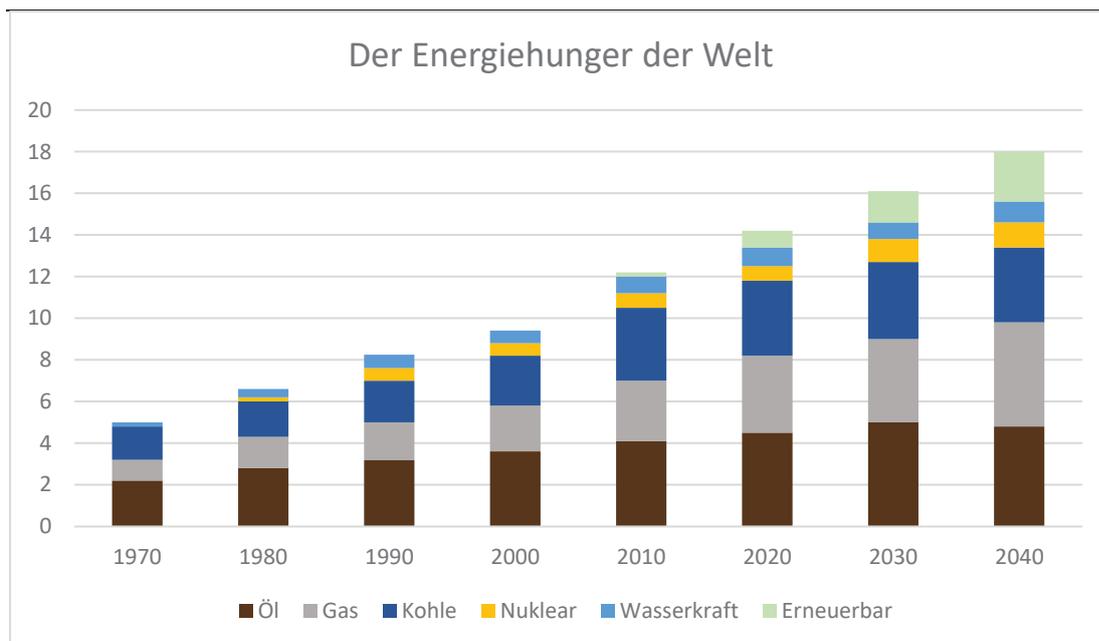


Abb. 1: Der Energiehunger der Welt (eigene Darstellung in Anlehnung an Nier, Hedda (2018))

Dies hat zur Folge, dass es zunehmend zu einer dezentralen Stromerzeugung kommt, die über Mittel- oder Kleinkraftwerke in der näheren Umgebung der Verbraucher erzeugt wird. Hier kommen vor allem kleine bis mittelgroße Solar- oder Windparks in Einsatz (z.B. als Photovoltaikanlage auf den Gebäudedächern).¹⁴ Ein Zusammenschluss kleinerer Stromerzeuger und Verbraucher, die nicht an das öffentliche Netz angeschlossen sind, können so in Form eines Inselnetzes den Eigenbedarf über eine dezentrale Erzeugung decken.¹⁵ Ebenso kann durch einen Anschluss an das öffentliche Netz, wie es in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt ist, der erzeugte Strom eingespeist werden und eine Einspeisevergütung erwirtschaften.¹⁶ Dieser dezentral erzeugte Strom wird im Gegensatz zur zentralen Stromerzeugung in das Mittel- und Niederspannungsnetz eingespeist,¹⁷ und dort auf 6 bis 30kV (Mittelspannung) oder auf 230/400V (Niederspannung) transformiert.¹⁸ Dabei wird in zwei Kategorien unterschieden, die steuerbaren sowie die nicht steuerbaren Erzeuger. Unter steuerbaren Erzeugern versteht man Kraftwerke, dessen Regelleistung steuerbar ist und dementsprechend planbar (z.B. Biogasanlagen und Blockheizkraftwerke). Im Gegensatz dazu sind nicht steuerbare Kraftwerke (z.B. Photovoltaik und Windkraftanlagen) dargebotsabhängig,

¹⁴ Vgl. Detzler, Sara Katharina (2017), S. 31.

¹⁵ Vgl. Schwab, Adolf J. (2017).

¹⁶ Vgl. Umwelt Bundesamt (2021).

¹⁷ Vgl. Detzler, Sara Katharina (2017), S. 32.

¹⁸ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2012).

da sie externen Wetterbedingungen wie Sonnenstunden und Windgeschwindigkeit unterliegen. Die Stromproduktion durch Windkraftanlagen wird durch die Windgeschwindigkeit ebenso beeinflusst wie die Strahlungsdauer sowie der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlen auf die Effektivität von Photovoltaikplatten ihren Einfluss nehmen. Änderungen des Wetters können somit innerhalb kurzer Zeit starke Auswirkungen auf die Stromproduktion nehmen.¹⁹ Diese Faktoren sind nicht durch den Menschen beeinflussbar, weshalb sie nur beschränkt zu sicher verfügbaren Kapazitäten gezählt werden können.²⁰ Ihre Verfügbarkeit kann jedoch über Vorhersagemodelle eine gewisse Zeit im Voraus berechnet werden.²¹ Ein starker Ausbau erneuerbarer Energien, wie es die Bundesrepublik Deutschland sich als Ziel genommen hat (80% regenerative Energien bis 2050),²² kann zu Instabilitäten im Netz führen. Ein gekonnter Einsatz von flexiblen Lasten kann dafür verwendet werden, das Netz auch unter diesen Anteilen erneuerbarer Energien stabil zu halten.

2.3 Lastmanagement

In der Energiewirtschaft bezieht sich der Begriff „Last“ oft auf den Stromverbrauch. Der Begriff Lastmanagement bedeutet deshalb so viel wie eine aktive Steuerung des Stromverbrauchs,²³ und erreichte in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung, da der rasante Ausbau erneuerbarer Energien das bisher an Großkraftwerke angepasste Energiemanagement grundlegend umkrempelt. Hauptgrund dafür sind die schwankende Einspeisung nicht steuerbarer Energiequellen (siehe 2.2 Erneuerbare Energien und dezentrale Erzeuger), die zum Ausgleich zunehmend mehr Regelenergie benötigen.²⁴ Als „flexible Lasten, wie sie z.B. Elektrofahrzeuge darstellen, (versteht man Lasten, welche, d. Verf.) [...] ihren Lastgang an das sich ändernde Angebot elektrischer Energie im zugehörigen Netzabschnitt anpassen (können, d. Verf.).“²⁵

Da im Stromnetz stets ein Gleichgewicht herrschen muss, um eine Stabilität zu ermöglichen, wird diese Regelenergie genutzt, um Verbrauchsänderungen sowie Erzeugungsschwankungen kompensieren zu können. Die Herausforderungen der

¹⁹ Vgl. Detzler, Sara Katharina (2017), S. 32.

²⁰ Vgl. Erdmann, Georg & Zweifel, Peter (2020).

²¹ Vgl. Detzler, Sara Katharina (2017), S. 32.

²² Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2016).

²³ Vgl. Next Kraftwerke GmbH (o. J.).

²⁴ Vgl. Geitmann, Sven (2005), S. 36-37.

²⁵ Detzler, Sara Katharina (2017), S. 32.

Laständerung stecken ebenso auf der Verbraucherseite sowie durch die fluktuierende Einspeisung in das Stromnetz auf der Erzeugerseite.²⁶

Um diese Regelleistung gewährleisten zu können, wird eine entsprechende Pufferleistung in Großkraftwerken sowie ein Kraftwerkspark unterhalten. Die meiste Zeit befinden sich die Kraftwerke jedoch im unbenutzten Zustand und sind somit im Vergleich zu Großkraftwerken nicht sehr wirtschaftlich. Alternativ könnte das Lastmanagement zum Ausgleich verwendet werden.²⁷ Zusätzlich zur Regelernergie werden weitere Maßnahmen unter dem Begriff Lastmanagement eingeleitet, welche den Energiebedarf ändern. Dies betrifft auch die Planung und Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen sowie den preisgesteuerten Verbrauch.²⁸

Heute findet das Spitzenlastmanagement eine breite Anwendung in der Industrie. Die Einflussnahme durch eine permanente Überwachung und Reduktion der Lasten wirken sich direkt auf Netznutzungsentgelte und Strombezugskosten aus. Ebenso kann eine Erhöhung der Lasten in Erzeugungshöhen durch Hoch- und Nachtтарифsysteme erfolgen. Diesbezüglich können zusätzliche Speicherkapazitäten wie z.B. Elektrofahrzeuge zum Kompensieren verwendet werden.²⁹ Das Lastmanagement ist nur eine Option aus Vielen, um die Herausforderungen der Energiewende in den Griff zu bekommen. Dabei gibt es unterschiedliche Potenziale in verschiedenen Sektoren, darunter in der Industrie, dem Gewerbe, Handel, Dienstleistung, privater Haushalt sowie dem Verkehr. Dies kann durch eine Steuerung von Klimatisierungen, Rechenzentren, Photovoltaikanlagen oder auch Elektrofahrzeugen erfolgen sowie vieler weiterer Alternativen.³⁰

²⁶ Vgl. Schubert, Karsten (2008), S. 8.

²⁷ Vgl. Kirby, Brendan & Hirst, Eric (1999).

²⁸ Vgl. Palensky, Peter & Dietrich, Dietmar (2011), S. 381-388.

²⁹ Vgl. Khripko, Diana (2017), S. 16.

³⁰ Vgl. Buber, Tim et al. (2013), S. 103.