

Swantje Gährs, Alexander Deisböck, Noelle Cremer, Paula Cremerius

# Regionale Flexibilitäten in Haushalten und Supermärkten

Ermittlung von regionalen Flexibilitäten im Rahmen des Projekts  
„WindNODE – Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem  
Nordosten Deutschlands“

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung  
Im Auftrag des Reiner Lemoine Instituts im SINTEG-Projekt WindNODE  
Berlin, März 2020



# Impressum

Herausgeber:  
Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Potsdamer Straße 105  
D-10785 Berlin  
Tel. +49 – 30 – 884 594-0  
Fax +49 – 30 – 882 54 39  
E-Mail: mailbox@ioew.de  
www.ioew.de

Der Bericht und der zugehörige Da-  
tensatz wurde unter der Lizenz  
CC BY 4.0 veröffentlicht  
(vgl. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrund zu Flexibilitätpotenzialen .....</b>	<b>7</b>
2.1	Flexibilitätpotenziale in privaten Haushalten .....	7
2.2	Flexibilitätpotenziale im Gewerbe .....	11
2.3	Technische Lösungen zum Abruf einer Flexibilität .....	14
2.4	Anreizsysteme und Geschäftsmodelle .....	17
2.5	Akzeptanz von Flexibilitäten bei Verbraucherinnen und Verbrauchern .....	20
<b>3</b>	<b>Simulation von Flexibilitäten .....</b>	<b>22</b>
3.1	Simulation der Flexibilität in Haushalten .....	22
3.1.1	Beschreibung der Simulation .....	22
3.1.2	Regionale Einflussfaktoren .....	28
3.1.3	Bewertung von Flexibilitäten in der Simulation .....	31
3.2	Simulation der Flexibilität in Supermärkten .....	34
3.2.1	Beschreibung der Simulation .....	34
3.2.2	Bewertung von Flexibilitäten in der Simulation .....	37
<b>4</b>	<b>Hinweise zur Nutzung der Daten .....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>41</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Verhältnis von theoretischem, technischem, wirtschaftlichem und tatsächlichem Potenzial .....	7
Abb. 2.2:	Theoretisches Potenzial von Lastmanagement in Haushalten auf Basis verschiedener Studien .....	8
Abb. 2.4:	Entwicklung des prognostizierten tatsächlichen Potenzials von Lastmanagement in Haushalten (2015-2035) .....	10
Abb. 2.5:	Einschätzungen des Flexibilitätpotenzials in Gewerben .....	12
Abb. 2.6:	Flexibilitätpotenziale im GHD-Sektor aufgeteilt nach Anwendungen und Branchen.....	13
Abb. 2.7:	Zukünftige Flexibilitätpotenziale im GHD-Sektor aufgeteilt nach Anwendungen.	13
Abb. 2.8:	Technische Lösungsansätze für Lastmanagement im Haushaltssektor .....	14
Abb. 3.1:	Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf das simulierte Lastprofil eines Haushalts .....	23
Abb. 3.2:	Jahresstromverbräuche von privaten Haushalten in verschiedenen Effizienzklassen .....	24
Abb. 3.3:	Verteilung der Stromverbräuche im Haushalt.....	24
Abb. 3.4:	Korrekturfaktoren nach Bewohner/innenzahlen .....	26
Abb. 3.5:	Korrekturfaktoren zur vollen Stunde, Änderungen über 20 Iterationen .....	27
Abb. 3.6:	Verteilung der Haushaltsgrößen in den verschiedenen Landkreisen.....	28
Abb. 3.7:	Simulierte Daten für drei Gemeinden vs. Standardlasten .....	30
Abb. 3.8:	Region Dessau, beispielhafter 3-Tagesverlauf der aggregierten Lastgänge in fünf Gemeinden .....	30
Abb. 3.9:	Beispiel für die Zusammensetzung der Lastenbänder im 3-tägigen Verlauf.....	32
Abb. 3.10:	Flexibilisierungsmöglichkeiten nach Minimalwerten / Maximalwerten der leicht flexibilisieren Lasten am Beispiel einer Gemeinde (in Prozent der Durchschnittstageslast) .....	33
Abb. 3.11:	Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf das simulierte Lastprofil eines Supermarkts.....	34
Abb. 3.12:	Entwicklung des Lebensmitteleinzelhandels nach Betriebsform .....	35
Abb. 3.13:	Verteilung der Stromverbräuche im Supermarkt .....	36
Abb. 3.14:	Simulierte Daten für drei Arten von Supermärkten vs. Standardlastprofile Gewerbe .....	36
Abb. 3.15:	Beispielhafter 3-Tagesverlauf der Lastgänge in drei Arten von Supermärkten....	37
Abb. 3.16:	Beispiel für die Zusammensetzung der Lastenbänder eines kleinen Supermarktes im 3-tägigen Verlauf.....	38
Abb. 3.17:	Flexibilisierungsmöglichkeiten nach Minimalwerten / Maximalwerten der leicht flexibilisieren Lasten (in Prozent der Durchschnittstageslast) für einen Supermarkt mit Kälteverbund .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Verlagerbare Energiemengen für typische Haushaltsanwendungen .....	10
Tab. 2.2:	Potenziale entsprechend verschiedener monetärer Anreizsysteme .....	18
Tab. 2.3:	Rückgang des Höchstzeitenverbrauchs bei verschiedenen Tarifmodellen.....	19
Tab. 3.1:	Variable Größen in Abhängigkeit von der Region .....	28
Tab. 3.2:	Einwohnerzahlen in den Gemeinden der Landkreise Dessau-Roßlau, Anhalt- Bitterfeld und Wittenberg 2017 .....	29
Tab. 3.3:	Unterteilung der Stromlasten im Haushalt in Kategorien zur Flexibilisierbarkeit...	31
Tab. 3.4:	Beschreibung der Lastenbänder zur Darstellung der Flexibilitäten.....	32
Tab. 3.5:	Unterteilung der Stromlasten im Supermarkt in Kategorien zur Flexibilisierbarkeit .....	38

# 1 Zusammenfassung

In der dezentralen Energiewende können Kleinverbraucher ihren Stromverbrauch flexibilisieren, damit sie ihn verstärkt zu Zeiten hohen Angebots nachfragen. Dies ist wichtig, wenn zukünftig verstärkt erneuerbare Anlagen in sogenannten „Regionalkraftwerken“ zusammengeschlossen werden und konventionelle Kraftwerke ersetzen. Ein Beispiel für Flexibilisierung ist etwa zeitlich unkritische Stromnutzungen wie die von Waschmaschinen im Privathaushalt entsprechend des Stromangebots zu timen. Doch kann die Waschmaschine auf der einen Seite nicht mitten im Waschvorgang unterbrochen werden und auf der anderen Seite kann sie nur starten, wenn sie beladen ist. Daher sind diese Potenziale nur unter bestimmten Restriktionen abrufbar. Auch Gewerbebetriebe wie Supermärkte haben die Möglichkeit mit ihrer Flexibilität einen Systembeitrag zu leisten.

Das IÖW hat anhand einer Simulation bewertet, welches Potenzial private Haushalte und Gewerbe in Form von Supermärkten haben, flexibel Strom zu verbrauchen und wie mit den Restriktionen umgegangen werden kann. Die Ergebnisse dienen dazu, dass das Reiner Lemoine Institut dieses Potenzial für die Regionen Anhalt-Bitterfeld, Wittenberg und Dessau-Roßlau in eigene Simulationen zur optimalen Fahrplanbestimmung von Kraftwerken, Speichern und Flexibilitäten einbinden und vergleichen kann. Die Daten der Simulation werden als Jahreslastprofile für die Gemeinden in der Region Anhalt und für drei typische Supermärkte als Anhang zu dieser Publikation veröffentlicht.

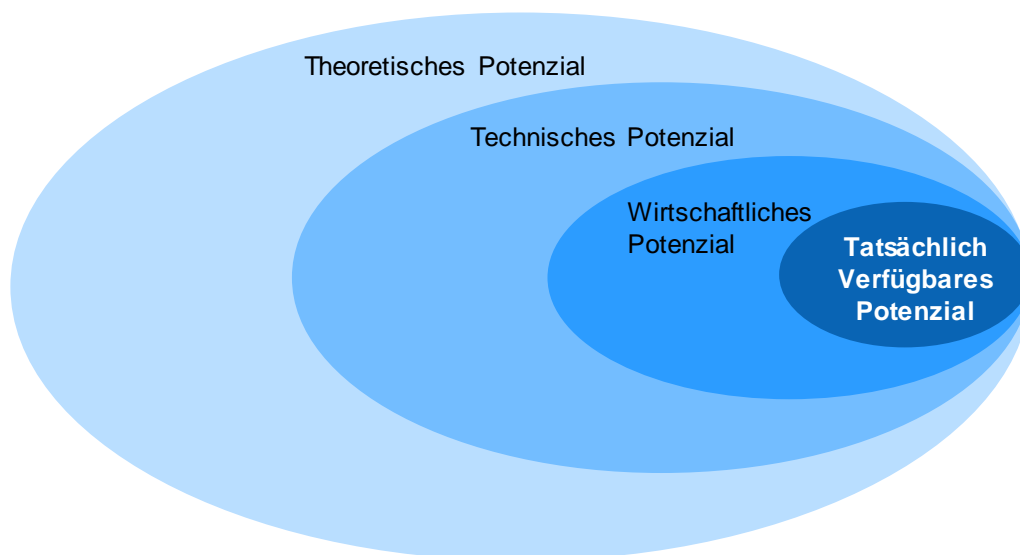
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl in Haushalten als auch in Supermärkten Flexibilitätspotenziale aus technischer Sicht vorhanden sind. Bei den Supermärkten liegen diese vor allem im Bereich der Kühlung und der Klimatisierung, bei Haushalten sind es ebenfalls die Kühlgeräte sowie Stromverbraucher aus dem Bereich der weißen Ware. In bisherigen Untersuchungen zu den tatsächlich abrufbaren Flexibilitäten zeigt sich aber, dass es gute technische Lösungen dafür braucht, da Mitmacheffekte bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern schnell abflauen und die Flexibilitäten langfristig schwieriger zu heben sind.

Der vorliegende Bericht bietet in Kapitel 2 einen Einblick in die technischen Flexibilitätspotenziale, deren Einbindung ins System und die dahinterliegenden Geschäftsmodelle und Anreizsysteme. Zudem wird literaturbasiert der Stand zur Akzeptanz solcher technischen und ökonomischen Flexibilitätslösungen aufgearbeitet. In Kapitel 3 wird für Haushalte und Supermärkte die Vorgehensweise zur Simulation des Verbrauchs und der Bewertung der Flexibilitäten dargestellt.

## 2 Hintergrund zu Flexibilitätspotenzialen

### 2.1 Flexibilitätspotenziale in privaten Haushalten

Durch den Einbezug volatiler erneuerbarer Energien durch Wind- und Photovoltaikanlagen im Zuge der in Deutschland gesetzten Energiewendeziele wird ein lastseitiges Management der fluktuierenden Energie immer wichtiger. In der Industrie wird das Lastmanagement schon länger erfolgreich eingesetzt, doch bei einer Anzahl von ca. 41 Millionen Privathaushalten im Jahr 2016 (Wilke 2018) liegen auch in diesem Sektor beachtliche Potenziale (Agricola 2016). Verschiedene Studien schätzen das Potenzial von Flexibilitäten in Haushalten unterschiedlich ein. Dabei wird in einem ersten Schritt zwischen theoretischem und technischem sowie wirtschaftlichem Potenzial differenziert. Wie in Abb. 2.1 ersichtlich wird, beinhaltet das theoretische Potenzial dabei alle anderen Potenziale als Teilmenge. Das technische Potenzial berücksichtigt dann die jeweils nachstehenden Potenziale usw. Das theoretische Potenzial bezieht sich auf die „physikalisch maximal erschließbare Energiemenge“, während das technische Potenzial dazu den Stand der Technik, die Wirkungsgrade und Standortverfügbarkeiten miteinbezieht. Das wirtschaftliche Potenzial beachtet darüber hinaus die jeweiligen ökonomischen Randbedingungen (Wesselak und Schabbach 2013). Hierbei wird die Wirtschaftlichkeit, d.h. die Gegenüberstellung von Kosten und Ertrag, miteinkalkuliert. So kann es beispielsweise sein, dass in einem Sektor das Lastmanagement technisch möglich ist, dort aber wegen hoher Kosten und geringem erwirtschafteten Ertrag nicht ökonomisch sinnvoll ist und daher nicht eingesetzt wird (EnergieAgentur.NRW 2016).

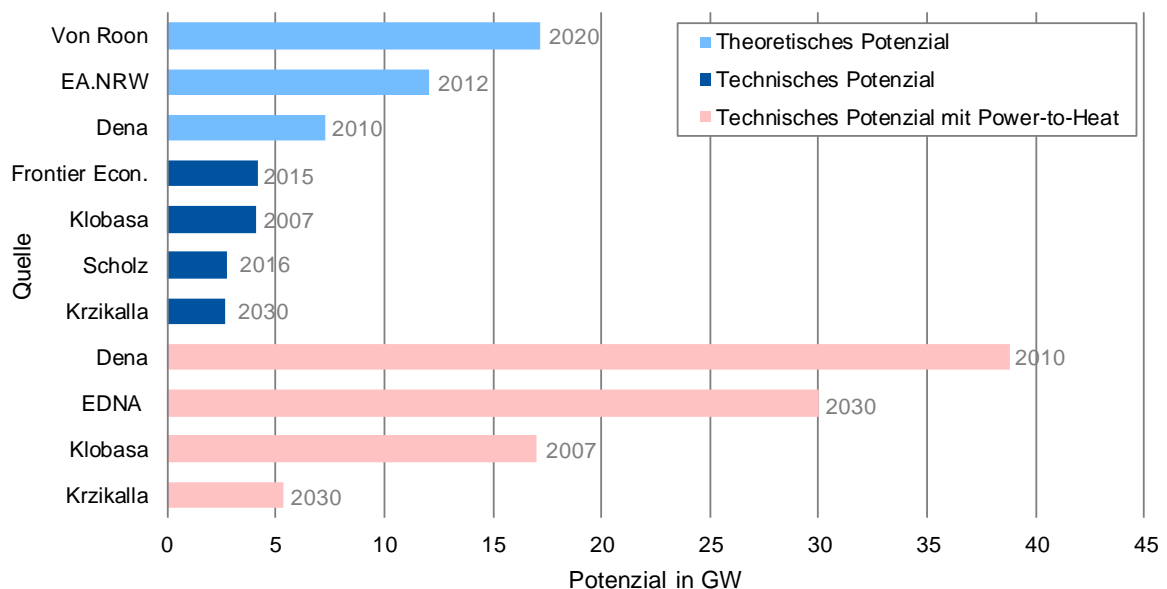


**Abb. 2.1: Verhältnis von theoretischem, technischem, wirtschaftlichem und tatsächlichem Potenzial**

Basierend auf Scholz (2016)

Ein Vergleich der verschiedenen Studien, die sich mit Lastmanagementpotenzialen im Haushaltssektor befassen, ist nicht immer zielführend. Abb. 2.2 zeigt die Bandbreite des theoretischen und technischen Lastmanagementpotenzials von Haushalten auf Basis verschiedener Studien, einmal unter Einbezug von Haushaltsgeräten wie Wasch- und Spülmaschine, Trocknern und Kühlgeräten, einmal unter zusätzlicher Betrachtung von Nachtspeichern und Wärmepumpen mit Angabe

des jeweiligen Bezugsjahres. Es wird deutlich, dass sowohl bei den theoretischen als auch bei den technischen Potenzialen von kurzfristig verschiebbaren Lasten die Bandbreite der Potenzialeinschätzungen der verschiedenen Studien stark schwankt. So liegen die Einschätzungen des theoretischen Potenzials ohne Power-to-Heat bei 7,3 und 17,2 GW, beim technischen Potenzial bei 2,7 bis 4,1 GW. Das Potential von Power-to-Heat schwankt je nach Quelle zwischen 30 und 38,8 GW beim theoretischen und 2,65 und 17 GW beim technischen Potenzial.



**Abb. 2.2: Theoretisches Potenzial von Lastmanagement in Haushalten auf Basis verschiedener Studien**

Quellen: Frontier Economics (2014), von Roon (2010a), EnergieAgentur.NRW (2016), EDNA (2017), Klobasa (2007), Scholz (2016), Krzikalla (2013)

Diese zum Teil sehr starken Unterschiede können auf eine Vielzahl von Gründen zurückgeführt werden. Oft werden unterschiedliche Bezugsjahre für Einschätzungen und Prognosen genutzt. Außerdem werden bei den Power-to-Heat-Verfahren nicht immer die gleichen Technologien berücksichtigt, manche Studien schauen nur auf Wärmepumpen (Krzikalla et al. 2013), andere beziehen auch Nachtspeicherheizungen mit ein (dena 2010; Klobasa 2007). Auch geht nicht aus allen Studien hervor, welche Haushaltsgeräte mit in die Analyse miteinbezogen worden sind und wie deren Verbreitung in der Zukunft eingeschätzt wurde (z.B. bei Nachtspeicherheizungen). Auch die Methodik unterscheidet sich stark. So stützen sich manche Studien auf eine Literaturanalyse vorheriger Studien, die dann durch eigene Überlegungen oder einen spezifischen (regionalen) Fokus ergänzt wurden (Krzikalla et al. 2013; EnergieAgentur.NRW 2016). Andere Studien geben keine detaillierte Beschreibung ihrer Methode an (Elsner et al. 2015; EDNA 2017). Wieder andere ziehen ihre Angabe aus Simulationen (Scholz 2016) oder folgen einer eigenen Berechnung basierend auf dem gesamten Strombedarf Deutschlands und rechnen über mehrere (von Studie zu Studie unterschiedliche) Schritte auf das Lastmanagementpotenzial einzelner Geräte(-gruppen) herunter (Klobasa 2007; dena 2010; von Roon et al. 2010b). Eine genaue Beschreibung der Methodik ist jeweils den Quellen zu entnehmen. Klobasa (2007) geht auf diese Unsicherheiten bei der Berechnung des Lastmanagementpotenzials ein und bestimmt mit den Angaben für den Strombedarf, der Annahme des Lastverlaufs und der Schätzung des Lastmanagementfaktors die drei Parameter, die die Abschätzungsgenauigkeit stark beeinflussen und einen Teil der Unterschiede zwischen den Studien erklären.



In seiner Dissertation nennt Steurer (2017) zudem drei weitere Aspekte, die die Unterschiede zwischen den Potenzialstudien erklären. Erstens führt er die verschiedenen Ergebnisse auf die jeweiligen Potenzialsegmentierungen zurück, d.h. welche Technologien und Anwendungen jeweils in welchem Umfang und Detail untersucht wurden. Zweitens nennt er die Unterschiede bei der Parametererfassung, da sich viele Studien nur auf einzelne Parameter (wie beispielsweise schaltbare Leistung) fokussieren und andere Charakteristika (der Autor nennt hier z.B. die mögliche Schaltdauer) außer Acht gelassen werden. Als letztes spricht er die Datenqualität an. Hierbei geht es vor allem um fehlende Transparenz, Konsistenz und systematische Quantifizierung der Unsicherheiten, sowie die nur kleine Anzahl an Erkenntnissen, die aus tatsächlichen Feldversuchen gewonnen wurde.

Auch wenn die Bandbreite der Studien sehr groß und mit einigen Unsicherheiten behaftet ist, lässt sich wie in

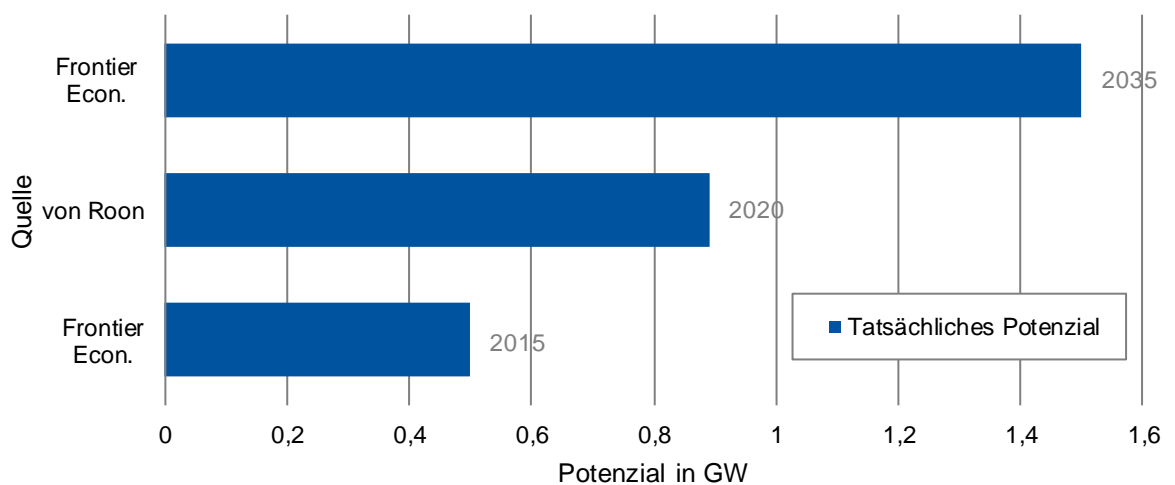
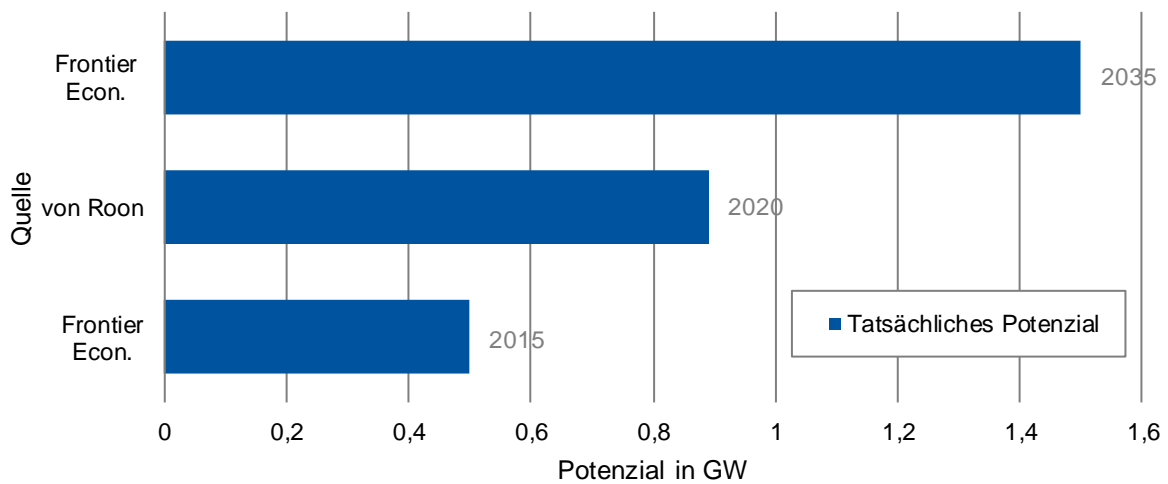


Abb. 2.3 zu sehen festhalten, dass in Prognosen bis zum Jahr 2035 ein stetiger Anstieg des Flexibilitätspotenzials angenommen wird. So geht die Studie von von Roon et al. (2010a) von einem tatsächlichen Potenzial von Lastmanagement bei Haushaltsanwendungen von etwa 0,9 GW aus, während Frontier Economics (2014) eine Verdreifachung des tatsächlichen Potenzials von 0,5 GW in 2015 bis 1,5 GW in 2030 prognostiziert.



**Abb. 2.3: Entwicklung des prognostizierten tatsächlichen Potenzials von Lastmanagement in Haushalten (2015-2035)**

Auf Basis der Studien der FfE (von Roon et al. 2010a) und Frontier Economics (2014)

Hinzu kommt, dass der Unterschied zwischen minimalem und maximalem Lastverschiebungsergebnis von Haushalt zu Haushalt sehr groß sein kann. Nacht- oder tagaktive Haushalte mit einer unterschiedlichen Anzahl an DSM-Geräten haben ein stark voneinander abweichendes Verschiebepotenzial, so dass sich beispielsweise in Kombination mit einer PV-Anlage die maximale Steigerung des Autarkiegrades in einer Bandbreite von 0,4 – 6,6 % bewegt (Scholz 2016). Ungeachtet dessen und der Variabilität der einzelnen Studien, lässt sich allgemein ein relevantes Lastmanagementpotenzial bei privaten Haushalten feststellen, welches durch die Inkorporation von Elektromobilität, PV-Speichern oder Nachtspeicherheizungen noch vergrößert werden kann.

**Tab. 2.1: Verlagerbare Energiemengen für typische Haushaltsanwendungen**

Quelle: Aktualisierte Tabelle nach Klobasa et al. (2007)

Anwendung	Spezifischer Verbrauch	Marktdurchdringung <sup>1)</sup>	Gebrauchshäufigkeit <sup>2) 3) 4)</sup>	Spitzenleistung <sup>5)</sup>	Verbrauch pro Gebrauchsvorgang <sup>6)</sup>	Verschiebepotenzial je HH
	[kWh/a]	[%]		[kW]	[kWh]	[kWh/Monat]
Waschmaschine	162	95	15,0 Vorgänge / Monat	2	0,9	12,8
Wäschetrockner	325,92	42	9,7 Vorgänge / Monat	3	2,8	11,5
Geschirrspüler	224,64	72	3,6 Vorgänge / Woche	2,3	1,2	12,4
Kühlschrank	350,4	100	8 h / Tag	0,12		29,2
Gefrierschrank	438	48	8 h / Tag	0,15		17,6

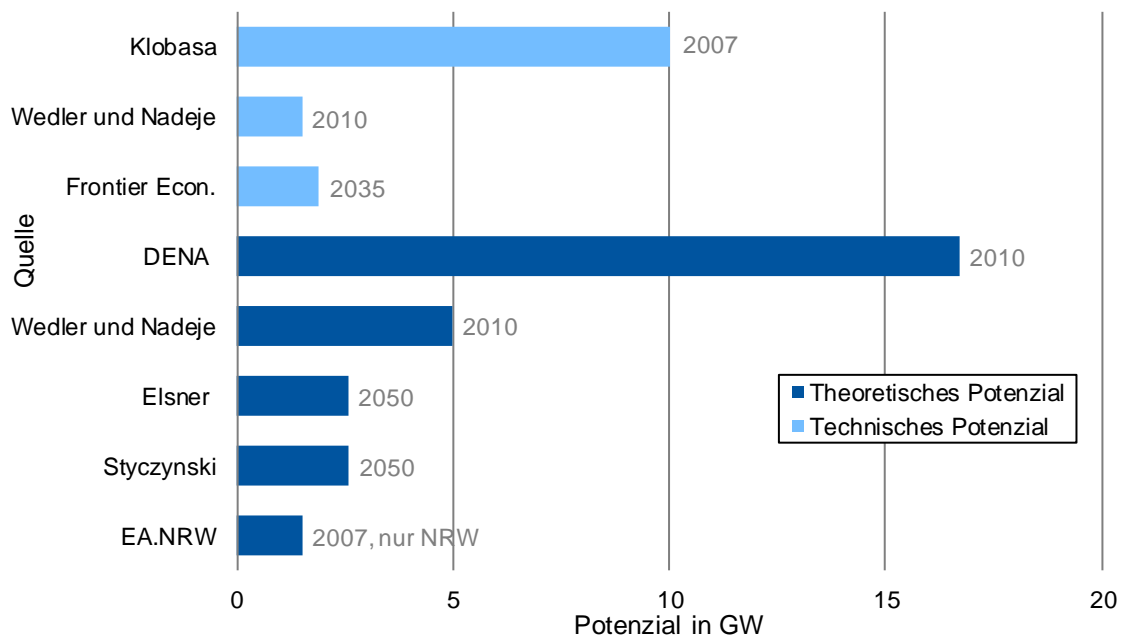
Quellen: <sup>1)</sup>Statistisches Bundesamt (2018), <sup>2)</sup>Schlomann et al. (2004), <sup>3)</sup>Frondel et al. (2015), <sup>4)</sup>IKW (2016), <sup>5)</sup>123energie Blog (2018), <sup>6)</sup>Morawitz (2009)

In Tab. 2.1 sind die technischen Potenziale der verschiebbaren Lasten für unterschiedliche typische Anwendungen im Haushalt in Anlehnung an Klobasa et al. (2007) abgebildet. Insgesamt ergeben sich damit im Durchschnitt bei Haushalten verschiebbare Lasten von ca. 1.000 kWh/a. Bei einem jährlichen Stromverbrauch von 3.500 kWh/a entspricht das maximale Verschiebepotenzial damit rund 30 % des Stromverbrauchs.

## 2.2 Flexibilitätspotenziale im Gewerbe

Auch im Gewerbe, Handel- und Dienstleistungsbereich (GHD) sehen viele Autorinnen und Autoren wie auch im Haushaltsbereich einige Potenziale für Flexibilität und Lastverschiebung. Ebenfalls analog zum Haushaltsbereich gibt es hier verschiedene Einschätzungen des Flexibilitätspotenzials, die eine beachtliche Bandbreite aufweisen (vgl. Abb. 2.4). Diese hohen Unsicherheiten können teilweise auf die schon im vorherigen Abschnitt hingewiesenen Gründe zurückgeführt werden und liegen auch an den von unterschiedlichen Studien betrachteten Sektoren und Prozessen (Jansen et al. 2015).

So werden die theoretischen Potenziale im GHD Bereich zwischen ca. 1,5 GW auf Landesebene im Jahr 2007 (EnergieAgentur.NRW 2016) bis zu über 16 GW auf Bundesebene im Jahr 2010 (dena 2010) betitelt, bei den technischen Potenzialen liegen die Einschätzungen zwischen 1,5 GW für das Jahr 2010 (Wedler und Nadeje 2013) bis zu 10,3 GW für das Jahr 2007 (Klobasa 2007). Das größte Potenzial liegt dabei in den Bereichen Prozesskälte, Klimatisierung, Kühlanwendungen, Belüftungen und Heizsysteme und dort vor allem in den Sektoren der Lebensmittelindustrie, des Handels, der büroähnlichen Betriebe, Krankenhäuser und dem Beherbergungs- und Gaststättengewerbe (Klobasa 2007; dena 2010; Frontier Economics 2014; Steuerer 2017). Obwohl somit etliche Bereiche für ein Lastmanagement in Frage kommen, sind dies nach Schätzungen der dena (2010) trotzdem nur 29 % des Stromverbrauchs des gesamten Sektors. Die EnergieAgentur.NRW (2016) gibt an, dass im Gewerbesektor die Lasterhöhungspotenziale überwiegend der Kategorie „weit einsetzbar“ zugeordnet werden können, die Lastreduktionspotenziale sehen die Autorinnen und Autoren als eher beschränkt. Unter der Kategorie „weit einsetzbar“ verstehen die Autorinnen und Autoren, dass zwei der drei Kriterien (a) Verfügbarkeit deutlich über 3.000 h/a, (b) maximale Abruflauer größer als 2 h und (c) maximale Verschiebedauer größer 6 Auch andere Quellen schätzen die Lasterhöhungspotenziale deutlich größer ein (vgl. Scholz et al. 2014) und kommen überdies zu dem Schluss, dass das technische Potenzial durch fehlende ökonomische Anreize nicht ausgeschöpft wird (EnergieAgentur.NRW 2016; Elsner et al. 2015).

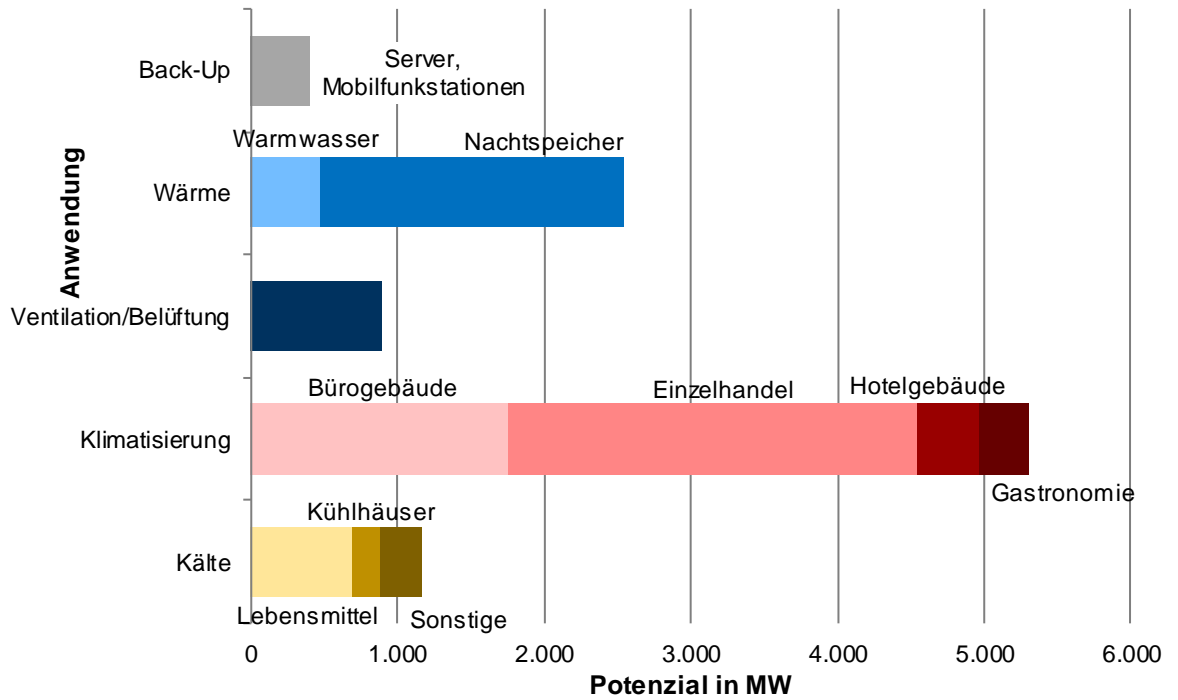


**Abb. 2.4: Einschätzungen des Flexibilitätspotenzials in Gewerben**

Quellen: dena (2010), Elsner et al. (2015), Klobasa (2007) und EnergieAgentur.NRW (2016), Styczynski und Sauer (2015), Wedler und Nadeje (2013)

Klobasa (2007) liefert eine sehr detaillierte Analyse des Flexibilitätspotenzials im GHD Sektor und schlüsselt seine Berechnungen nach Anwendungen (Kälte, Klimatisierung etc.) und Sektoren auf (vgl. Abb. 2.5). An seinen Berechnungen lässt sich erkennen, dass vor allem in den Bereichen Klimatisierung in Bürogebäuden und im Einzelhandel, sowie durch Nachtspeicherheizungen Flexibilität geschaffen werden kann.

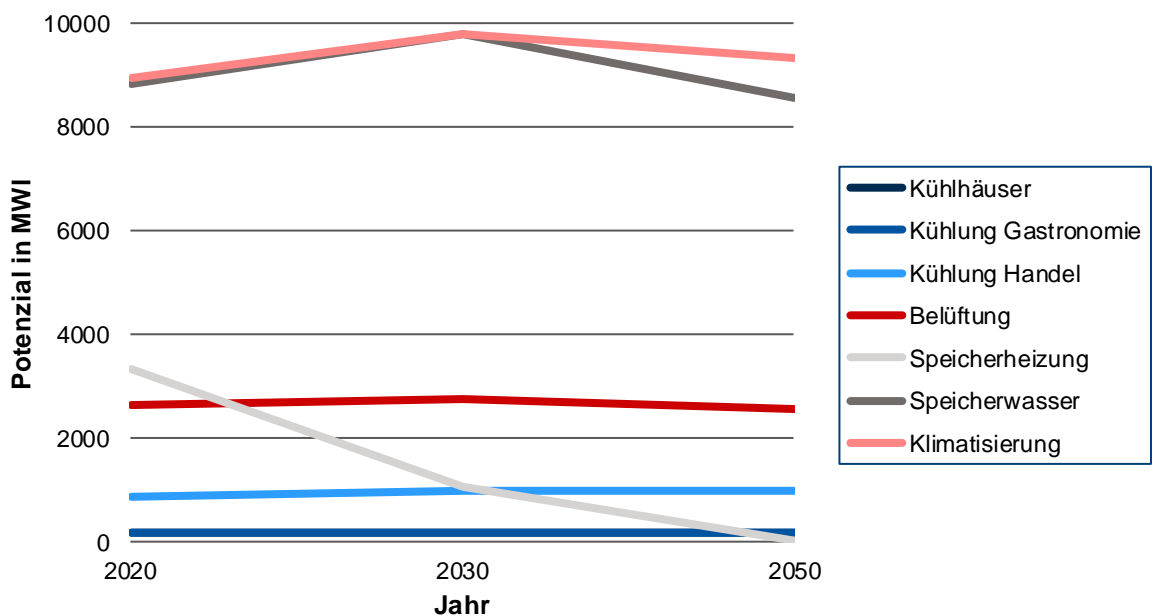
Scholz et al. (2014) haben europaweit die Potenziale für Lasterhöhung und -reduktion in verschiedenen Anwendungsbereichen für die Jahre 2020, 2030 und 2050 berechnet. Aus diesen Berechnungen geht hervor, dass die Gesamtpotenziale für Kühlung im Handel und in Kühlhäusern mit den Jahren ansteigen, es aber in den Bereichen Kühlung, Gastronomie, Belüftung, Klimatisierung und Speicherwasser zu einem vorläufigen Höhepunkt um 2030 kommt und die Werte bis 2050 wieder abfallen. Als Grund dafür nennen die Autorinnen und Autoren „Effizienzsteigerungen und den Technologieersatz im Bereich der elektrischen Raumwärmeerzeugung“ (Scholz et al. 2014, S. 129). Für die Speicherheizung reduziert sich das anfänglich hohe Potenzial von über 3 GW bis 2050 auf 0 GW.



**Abb. 2.5: Flexibilitätspotenziale im GHD-Sektor aufgeteilt nach Anwendungen und Branchen**

Quelle: basierend auf Klobasa (2007)

Für diese Studie erfolgt eine Konzentration auf die Flexibilitäten im Lebensmitteleinzelhandel (LEH). Diese weisen über Klimatisierung und Kälte zum einen relevante Flexibilitätspotenziale auf und zum anderen sind die ca. 38 Tausend Lebensmitteleinzelhändler (bulwiengesa 2017) sowohl in urbanen als auch in ländlichen Räumen zu finden, so dass sich diese Flexibilität bundesweit einsetzen lässt.

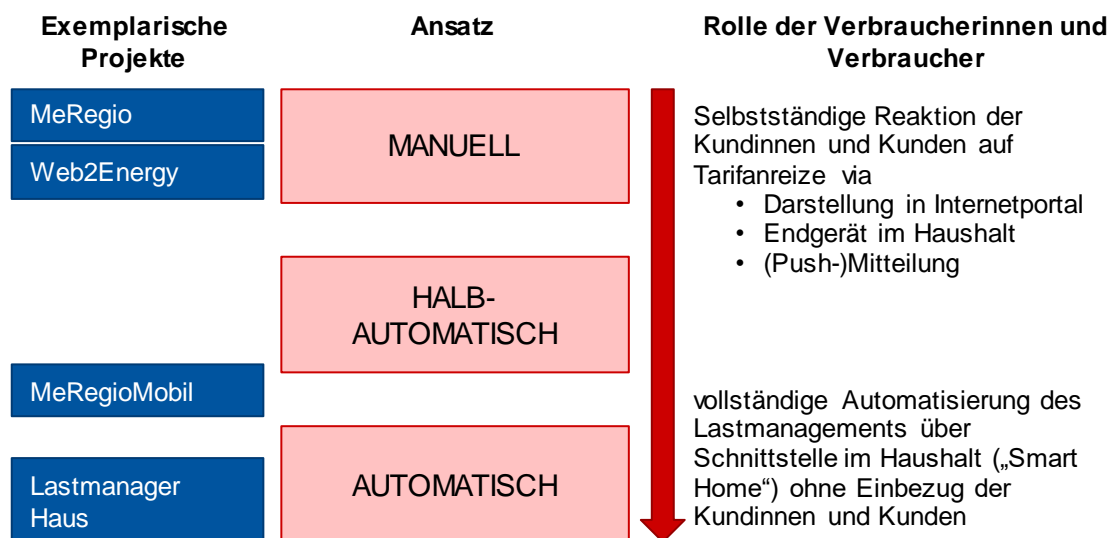


**Abb. 2.6: Zukünftige Flexibilitätspotenziale im GHD-Sektor aufgeteilt nach Anwendungen**

Quellen: basierend auf Scholz et al. (2014)

## 2.3 Technische Lösungen zum Abruf einer Flexibilität

Wie im vorigen Abschnitt dargelegt, hat Flexibilisierung durch Lastmanagement im Haushaltssektor noch viel nicht ausgeschöpftes Potenzial. Zur Erschließung dieses Potenzials gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten, die sich auf einer Spanne zwischen manuellen über halbautomatischen bis zu automatischen Ansätzen bewegen. So können Kundinnen und Kunden in manuellen Modellen selbst entscheiden, ob sie auf einen (ökonomischen) Anreiz zum Stromverbrauch zu bestimmten Zeiten reagieren wollen oder nicht. Durch die Verwendung eines variablen Stromtarifs und die Anzeige der aktuellen und folgenden Preisstufen durch Internetportale, im Haus verbaute Displays oder (Push-)Mitteilungen auf dem Smartphone der aktuellen Tarifstufe können Kundinnen und Kunden dazu animiert werden, ihren Stromverbrauch entsprechend anzupassen. Diese Ansätze setzen dabei aber voraus, dass sich die Verbraucherinnen und Verbraucher zum Gelingen eines großflächigen Lastmanagements intensiv mit ihrer Stromnutzung auseinandersetzen und gewillt sind, ihren Alltag entsprechend umzustrukturieren. Bei halbautomatischen Lösungen wird diese Auseinandersetzung der Kundinnen und Kunden reduziert, so dass nur bestimmte Einstellungen durch die Nutzerinnen und Nutzer vorgegeben werden, die eigentliche zeitliche Taktung des Stromverbrauchs aber automatisch geregelt wird. So kann beispielsweise ein Zeitraum für das Durchlaufen eines Geräts angegeben werden, der tatsächliche Zeitpunkt innerhalb dieser Zeitspanne wird dann aber nicht mehr von den Kundinnen und Kunden beeinflusst. Bei vollautomatischen Lösungskonzepten fällt auch diese Eingabe durch die Verbraucherinnen und Verbraucher weg, hier steuert ein zentrales System die verschiedenen Geräte im Haushalt selbstständig an, eine Eingabe von außen ist nicht vorgesehen.



**Abb. 2.7: Technische Lösungsansätze für Lastmanagement im Haushaltssektor**

In diesem Zusammenhang fällt oftmals der Begriff „Smart Home“, in denen die Haushaltsgeräte und ggf. auch Energieerzeugungsanlagen wie Photovoltaik oder eine Ladestation für ein Elektroauto miteinander vernetzt sind und über einen intelligenten Zähler einerseits tatsächliche Lastengänge abbilden und andererseits automatisiert zur Lastverschiebung koordiniert werden können. Im Folgenden werden einige exemplarische Projekte vorgestellt, die zu manuellen Lösungsansätzen (MeRegio, Web2Energy) und (halb-)automatischen Varianten (Organic Smart Home, Lastmanager Haus) geforscht haben.

Die Umsetzung von Lastmanagement in privaten Haushalten, häufig unter dem Gesichtspunkt der variablen Stromtarife, wurde im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte erprobt. Im Projekt MeRegio der EnBW Energie Baden-Württemberg AG, das zwischen 2009 und 2012 durchgeführt wurde, sollten Erfahrungen mit einer flexibleren Ausprägung des Tarifmodells gemacht und einfache Produkte für den Massenmarkt entwickelt werden (Frey 2007; EnBW 2018). Idee des Projekts war es, unter Beachtung neuester Zählertechnologien und Informations- und Kommunikationstechnik der Verbraucherin und dem Verbraucher einen zeitvariablen Tarif für Strom durch ein Display an der Steckdose zugänglich zu machen. Auf dem Endgerät sollte der Tarif der aktuellen Stunde (farblich durch ein Ampelsystem dargestellt) und eine Preisintervallvorschau für den laufenden und kommenden Tag angezeigt werden. Hierdurch hatten die Kundinnen und Kunden die Möglichkeit, ihren Gebrauch von Haushaltsgeräten wie der Spül- oder Waschmaschine manuell an einen besonders günstigen Strompreis zu knüpfen.

Der MeRegio-Feldtest wurde ab November 2009 über drei Jahre mit ca. 1.000 Testkunden durchgeführt (Hillemacher et al. 2013; Hillemacher 2014). Über das Display informiert hatten die Testkundinnen und -kunden die Möglichkeit, manuell auf diesen Impuls zu reagieren. Im Laufe des Versuchs zeigte sich, dass das Verbrauchsverhalten durchaus auch über einen längeren Zeitraum hinweg durch Preissignale beeinflusst werden konnte. Es wurden zum Teil deutliche Lastverschiebungen bis zu 13,3 % innerhalb eines Monats gemessen (Ahner et al. 2011). Unabhängig von den Preissignalen wurde ein grundsätzlicher Minderverbrauch beobachtet, der der gesteigerten Beschäftigung mit dem eigenen Verbrauch zugeschrieben wurde.

In dem 2011 gestarteten EU-Förderprojekt „Web2Energy“ (Ahner et al. 2011) wurde ebenfalls versucht, mittels eines autarken Bonussystems (um regulatorische und eichrechtliche Hemmnisse zu umgehen) in Form eines Ampelsystem mit der Vergabe von Bonuspunkten und der Übersicht des variablen Tarifs in einem Onlineportal herauszufinden, wie Stromkundinnen und -kunden auf variable Preissignale reagieren. In einem Pilotversuch mit 200 Teilnehmenden über ein halbes Jahr in Darmstadt zeigte sich, dass einige Kundinnen und Kunden über den gesamten Versuchszeitraum sehr aktiv die Ampelphasen beachteten, aber nur etwa 50 % der Kundinnen und Kunden überhaupt aktiv an dem Versuch teilnahmen. Das Interesse flachte nach den ersten Wochen zunehmend und merklich ab. Es wurde eine generelle Energieeinsparung von etwa 2 % beobachtet und eine Reduktion der Spitzenleistung von etwa 8 %. Die Energieeinsparung war über den gesamten Zeitraum konstant, die mittlere Spitzenlastverschiebung halbierte sich aber im Verlauf der sechs Monate des Versuchs. Eine generelle Bereitschaft zur Lastverschiebung wurde hier zwar deutlich, aber es wurde auch klar, dass die Bereitschaft zur manuellen Steuerung der Lasten bei der Mehrheit der Teilnehmenden nicht gegeben war und mit der Zeit nachließ (Buchholz et al. 2012).

Die Forschungsprojekte MeRegio und Web2Energy zeigen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher grundsätzlich mit einer Verhaltensänderung auf variable Tarife und unterschiedliche Preissignale reagieren. Sie stellt mit der Idee der „Stromampel“ und einer (farblichen) Anzeige der aktuellen Tarifstufen an einem Display oder online ebenso eine erste manuelle Lösungsmöglichkeit zum Umgang mit variablen Tarifen vor. Wie in Kapitel 2.5 jedoch noch gezeigt wird und auch im Web2Energy Projekt deutlich wurde (Buchholz et al. 2012), stehen Aufwand und Ersparnis bei vielen Verbraucherinnen und Verbrauchern aber noch in keinem ausgewogenen Verhältnis zueinander, ein aktives Reagieren auf Preissignale ist bei einigen Kundinnen und Kunden nur in geringem Maß vorhanden (Sattler et al. 2011). So gaben in einer Umfrage knapp 70 % der Befragten an, einen statischen Tarif einem dynamischen vorzuziehen (Dütschke et al. 2012). In einer anderen Befragung gaben jeweils etwas mehr als ein Drittel der Befragten an, dass ihnen bei einem variablen Stromtarif besonders wichtig wäre, dass dadurch kein zu starker Eingriff in den Alltag stattfindet

und man nicht zu viel Zeit investieren muss (Verbraucherzentrale Bundesverband 2015). In bisherigen Feldversuchen (s. Hillemacher 2014) suggeriert eine mögliche Selbstselektion energieinteressierter Teilnehmender darüber hinaus vermutlich ein höheres Maß an Eigeninitiative, als bei der breiten Bevölkerung tatsächlich vorhanden ist. Dazu kommt, dass die Kundinnen und Kunden den Gesamtzustand ihres Hauses und ihrer Geräte nicht zu jedem Zeitpunkt voll überblicken und die richtige Entscheidung treffen können (Allerding 2014). Daraus schlussfolgern viele Autoren (vgl. Sattler et al. 2011; Allerding 2014; EnergieAgentur.NRW 2016), dass Lastmanagement in Haushalten im großen Stil nur durchgesetzt werden kann, wenn es mit einem hohen Maß an Automatisierung einhergeht. So sind nicht nur dauerhafte Anreize, Informationen und Erfolgserfahrungen nötig (Agricola 2016), um Lastverschiebepotenziale im Haushaltsbereich zu erschließen, sondern es bedarf darüber hinaus eines hohen Verbreitungsgrades von Smart Metern, automatisierten Endgeräten und Smart Home Anwendungen, einer kommunikativen Anbindung an Smart Grids und der Verfügbarkeit variabler Tarife (EnergieAgentur.NRW 2016; Liebe und Wissner 2015; Jansen et al. 2015).

In seiner Dissertation stellt Florian Allerding (2014) sein Konzept des vollautomatisierten Energiemanagementsystems „Organic Smart Home“ im Rahmen des KIT-Forschungsprojekts MeRegioMobil vor. Hierbei handelt es sich um ein System, das sich in gewisser Weise nach der Eingabe eines gewünschten Zustands selbst organisiert. Das System agiert so automatisch und die Interaktion mit dem Verbraucher beschränkt sich auf ein Minimum. Einzelne Bereiche sind aber halbautomatisch gestaltet, da einzelne Geräte eine vorherige Freigabe der Nutzerinnen und Nutzer voraussetzen. So können die Nutzerinnen und Nutzer über eine Schnittstelle beispielsweise den zeitlichen Freiheitsgrad eingeben, d.h. bestimmen, bis wann ein Gerät (z.B. die Waschmaschine) spätestens gelaufen sein soll. Zwischen dem Zeitpunkt der Beladung und dem angegebenen spätmöglichen Zeitpunkt wird dann automatisch innerhalb des Systems nach dem passendsten Zeitpunkt gesucht und die Maschine daran abgestimmt angeschaltet. Geräte mit einer zeitabhängigen Komponente, die vor dem Gebrauch vorbereitet werden müssen, wie Waschmaschinen, Trockner oder Spülmaschinen können so für das Energiemanagement durch die Interaktion freigegeben werden. Andere Geräte, die zeitunabhängig eingeschaltet sind, wie z.B. der Kühlschrank, stehen dagegen durchlaufend für das System bereit. Ein erster Test dieses Konzepts wurde im Energy Smart Home Lab auf dem Campus des KIT in Karlsruhe durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigten, dass eine Verschiebung der Last in die Zeiträume des niedrigeren Stromtarifs, vermehrt in die Abendstunden, stattgefunden haben. Verglichen mit Wochen ohne die Optimierung durch das Energiemanagementsystem wurden solche Verschiebungen weniger bzw. nicht in der gleichen Stabilität beobachtet.

Zum Thema „Smart Building“ und intelligentes Lastmanagement wird auch am Ökozentrum in Langenbruck geforscht (Sattler et al. 2011). In diesem Forschungsprojekt werden über den „Lastmanager Haus“ Verbraucher (Solarboiler mit Elektroheizstab, Waschmaschine, Elektroauto-Ladestation und Gefrierschrank) automatisch zu- und abgeschaltet. Die Autoren heben hervor, dass bei diesem dezentralen Ansatz mit lokalem Lastmanagement und Optimierungsalgorithmen gleich mit dem Ausbau begonnen werden kann. Außerdem gibt es viele weitere Ansätze zu autonomen Systemen im Energiemanagement, die sich dem Thema zum Teil von der technischen Seite aus nähern (Allerding 2014). Darunter fallen das dezentrale Lastmanagement mit intelligenten Haushaltskomponenten (Kamper 2010), EEBUS, eine Integrationsplattform zur Ermöglichung der Kommunikation zwischen einzelnen Haushaltskomponenten (Kellendonk Elektronik GmbH 2018), das Bidirektionale Energiemanagement Interface (BEMI) zur Optimierung des internen Hauslastgangs (Nestle 2008) und die drei-Ebenen-Architektur für das Energiemanagement innerhalb des Haushalts nach Ha et al. (2009).



Die dargestellten technischen Lösungen wurden bisher nur innerhalb von Forschungsprojekten erprobt und noch nicht unter realen Umständen umgesetzt. Krzikalla et al. (2013) stellen einige Umsetzungshemmnisse vor, die diesen Umstand erklären. So fehlen derzeit noch Anreize zur Lastverlagerung, es werden für Privatkunden keine entsprechenden variablen Tarife angeboten und Abrechnungsmodelle fehlen. Ebenso fehlt eine flächendeckende Ausstattung mit Smart Metern, die vor allem bezogen auf Kosten und Datensicherheit weiter diskutiert wird. Auch bei Haushaltsgeräten gibt es bislang keine Anreize für die Anschaffung oder Aufrüstung von DSM-geeigneten Anwendungen. Die Autoren schlagen demnach vor, politische Entscheidungen für einen Einsatz von intelligenten Zählern und einer Aufrüstung intelligenter Haushaltsgeräte zu treffen und lastvariable Haushaltsstromtarife einzuführen, um Flexibilität im Haushaltssektor möglich zu machen.

Zu Gewerben wurden bisher keine weitreichenden Feldtests vorgenommen, es gibt kaum Versuche bei Gewerben mit Standardlastprofil (EnergieAgentur.NRW 2016). Es kann aber davon ausgegangen werden, dass auch im GHD-Bereich nur eine so weit wie möglich automatisierte Form des Lastmanagements, das auf die betrieblichen Möglichkeiten und Grenzen eingestellt ist, Erfolg haben kann. Die EnergieAgentur.NRW (2016) führt aus, dass sich die Potenziale nur gebündelt durch Aggregatoren und über einen hohen Standardisierungsgrad heben lassen, wobei die Querschnittstechnologien Kühlen, Warmwasserbereitstellung und Heizen im Fokus stehen sollten. Auch bei den Gewerben fehlen die Ausstattung mit Smart Metern und die regulatorischen Voraussetzungen, die eine stundengenaue Bilanzierung und Abrechnung möglich machen.

## 2.4 Anreizsysteme und Geschäftsmodelle

Nach Aussage des Bundeswirtschaftsministeriums (2016) sollte für einen fairen technologieutralen Wettbewerb ein entsprechendes System aus Umlagen, Entgelten und Steuern geschaffen werden. Regulierung und Anreize sollten dabei dem Motto „So stark über verzerrungsfreie Preissignale wie möglich, so viel über weitere Maßnahmen wie nötig“ (BMW 2016, S. 8) folgen. Bezüglich möglicher Anreizsysteme wurde bisher vor allem der variable Endkundertarif thematisiert, der auch den Feldversuchen von Hillemacher (2014; 2013) und der EnBW (Frey 2007) zugrunde lag. Grundidee ist hierbei, variable Kundentarife basierend auf Jahreszeit, Wochentag, Angaben für den kommenden Tag (Day-Ahead) oder Echtzeit anzubieten. Kundinnen und Kunden hätten so die Möglichkeit, durch die zeitliche Verlagerung ihrer Stromnutzung zu einem Zeitpunkt mit günstigerem Tarif Geld zu sparen.

Aber marktbasierter variable Endkundertarife sind nicht die einzigen denkbaren monetären Anreizsysteme. Liebe und Wissner (2015) nennen insgesamt noch drei weitere mögliche Anreize. So schlagen sie erstens flexible Netzentgelte vor, die sich nach der Spannungssituation im Netz richten und bei Spitzenlastzeiten hohe und zu Schwachlastzeiten niedrige Netzentgelte für den Netzbezug veranschlagen. Jansen et al. (2015) sehen hier mittelfristig eine Notwendigkeit zur Anpassung an ein Netz mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien. Aufgrund der Komplexität der Gestaltung der Netzentgelte sind hier verschiedene Um- und Ausgestaltungsmöglichkeiten denkbar und sollten wissenschaftlich diskutiert werden. Auch EDNA (2017) schlagen in diesem Kontext die Möglichkeit einer Vergütung von netzdienlicher Verbrauchersteuerung vor. Zweitens werden Flexibilitätsprämien für den Endverbraucher diskutiert, sollte dieser Flexibilität in Form von Lastverlagerung bereitstellen. Hierbei könnte sich die Höhe der Prämie nach der zur Verfügung gestellten Leistung in einem festgelegten Zeitraum richten. Ebenso wäre drittens eine Flexibilisierung weiterer Preisbestandteile wie z.B. der EEG-Umlage denkbar. Solch eine „dynamische“ EEG-Umlage wird auch wieder von Jansen et al. (2015) thematisiert. Sie schätzen, dass ein inflexibler Verbrauch bei gleichzeitiger Dynamisierung der EEG-Umlage zu Mehrkosten zwischen 7 und 13 % führen könnte.

**Tab. 2.2: Potenziale entsprechend verschiedener monetärer Anreizsysteme**

Quelle: Liebe und Wissner (2015)

	Gesamtpotenzial für 370.000 Zählpunkte (derzeitiges Potenzial)	Gesamtpotenzial für 4,8 Mio. Zählpunkte (mittelfristiges Potenzial)	Höhe der Prämie
Abschätzung der ökonomisch erschließbaren Potenziale bei einer Einführung variabler Endkundertarife, orientiert am Börsenpreis			
Positiv	2,4 MWh	30,8 MWh	
Negativ	4,7 MWh	60,7 MWh	
Abschätzung der ökonomisch erschließbaren Potenziale bei einer Flexibilisierung der EEG-Umlage			
Positiv	3,6 MWh	46,6 MWh	
Negativ	8,7 MWh	112,6 MWh	
Abschätzung der ökonomisch erschließbaren Potenziale bei einer Flexibilitätsprämie			
Positiv	4,2 MWh	54,2 MWh	0,05 €/kWh
	8,2 MWh	106,3 MWh	0,10 €/kWh
Negativ	22,9 MWh	297,4 MWh	0,05 €/kWh
	40,6 MWh	526,6 MWh	0,10 €/kWh
Durchschnittliches Lastverlagerungspotenzial bei Einführung aller Maßnahmen			
Positiv		0,13 GW	0,05 €/kWh
		0,18 GW	0,10 €/kWh
Negativ		0,5 GW	0,05 €/kWh
		0,7 GW	0,10 €/kWh

Liebe und Wissner (2015) betonen, dass sich die verschiedenen monetären Anreizsysteme aber durchaus widersprechen und gegenseitig aufheben könnten. Die Anreize müssen daher, ggf. über einen unabhängigen Dritten in der Rolle des Aggregators, aufeinander abgestimmt werden. Als realisierbares Modell sehen die Autoren momentan eine gemeinsame Einführung von variablen Endkundertarifen und einer flexiblen EEG-Umlage, die zusammen einen Anteil von ca. 46 % am Strompreis haben. Aufgrund ihrer Komplexität und vieler ungeklärter Fragen wurde ein flexibles Netzentgelt hier nicht miteinbezogen. Bevor solch ein Modell eingeführt werden kann, müssen jedoch erst Hemmnisse im aktuellen Regulierungsrahmen abgebaut werden. Es fehlt vor allem die Verabschiedung der Messsystemverordnung (obwohl ein erster Schritt mit dem Inkrafttreten des Messstellenbetriebsgesetzes gemacht wurde (Bundesnetzagentur 2018)), die gesetzliche Verankerung von flexiblen Netzentgelten und die Integration von Flexibilitätsprämien in das System. Ohne eine Anpassung der gesetzlichen Grundlagen ist ein flächendeckender variabler Tarif und die Flexibilisierung von Entgelten derzeit nur theoretisch denkbar (Liebe und Wissner 2015).

In Tab. 2.2 werden die ökonomisch erschließbaren Potenziale von variablen Endkundertarifen, einer dynamischen EEG-Umlage und der Flexibilitätsprämie dargestellt. Aufbauend auf der Annahme eines Verbrauchs von 6.000 kWh/Jahr und dem Vorhandensein eines intelligenten Messsystems und auf der Basis von Angaben zur Preiselastizität der Nachfrage aus empirischen Studien, eines Standardlastprofils und der EPEX-Spotpreise des Jahres 2013 wurde das Lastverschiebungspotenzial der Endkundinnen und -kunden an einzelnen Stunden des Tages überschlägig berechnet (Liebe und Wissner 2015).

In einer Übersicht, basierend auf 15 unterschiedlichen internationalen Studien und zusammengestellt von Faruqui und Sergici (2010), wurde deutlich, dass je nach Tarif ein Rückgang des Höchstzeitenverbrauchs festgestellt werden konnte (s. Tab. 2.3). Erstens wurden *Time of Use* Tarife betrachtet, die sich an der zeitlichen Struktur der Nachfrage basierend auf historischen Lastkurven orientieren und meist langfristig festgelegt sind, d.h. über mehrere Monate oder ein Jahr gültig sind. Es handelt sich dabei somit um flexible Tarife, die jedoch planbar und im Voraus bekannt sind. Tage werden in unterschiedliche Zeitblöcke unterteilt, in denen dann konstante Strompreise gelten (Dütschke et al. 2012). Bei diesen Tarifen wurde ein Rückgang des Höchstzeitenverbrauchs von 3-6 % beobachtet. Zweitens wurden die sogenannten *Critical Peak Pricing* Tarife untersucht, bei denen die Zeitpunkte der vorher bekannten einzelnen Preisstufen erst kurzfristig, beispielsweise 24 Stunden vorher, bekannt gegeben werden. Darüber hinaus kann ein Peak-Preis festgelegt werden, der über dem durchschnittlichen Strompreis liegt und zu Zeiten kritischer Spitzenlasten (jedoch maximal in 1 % der Jahresstunden) angewendet werden kann (Dütschke et al. 2012). Bei dieser Tarifvariante, ging der Verbrauch zu den Peaks um 13-20 % zurück. In Verbindung mit smarten Technologien wird eine mögliche Peak-Reduktion von bis zu 44 % beobachtet. Löschel und Werthschulte (2017) merken zu diesen Ergebnissen aber an, dass die untersuchten Studien teilweise sehr schwer zu vergleichen sind und dass Effekte teilweise durch extreme Tarifspreizungen zustande gekommen sein könnten. Auch wurde in anderen Studien ein genereller Nachfragerückgang verzeichnet, der teilweise nicht auf die Tarife zurückgeführt werden konnte, sondern sich aus dem einfachen Lerneffekt der Darstellung von Echtzeit-Informationen zum Elektrizitätsverbrauch ergab (Löschel und Werthschulte 2017).

**Tab. 2.3: Rückgang des Höchstzeitenverbrauchs bei verschiedenen Tarifmodellen**

Quelle: Faruqui und Sergici (2010)

Tarif	Mittelwert	95 %-Konfidenzintervalle
Time Of Use	4 %	3 – 6 %
Time Of Use mit smarterer Technologie	26 %	21 – 30 %
Critical Peak Pricing	17 %	13 – 20 %
Critical Peak Pricing mit smarterer Technologie	36 %	27 – 44 %

Auch im GHD-Bereich werden verschiedene Anreizsysteme und Geschäftsmodelle diskutiert. Einige dieser Vorschläge sind denen im Haushaltssektor sehr ähnlich, so werden beispielsweise monetäre Anreizsysteme wie (variable) Mehrstufentarife oder dynamische Netzentgelte auch für Gewerbe in Betracht gezogen. Darüber hinaus werden im gewerblichen Sektor zusätzliche monetäre Anreize in Form von Zuschüssen, Kompensationen oder Kooperationen (beispielsweise Hilfe bei der Errichtung einer PV-Anlage) überlegt. Anders als bei privaten Haushalten können bei Gewerben auch die öffentliche Wahrnehmung und das „Image“ eine Rolle spielen. Um Kunden zu binden

oder dazuzugewinnen, könnte es zielführend sein, ein „grünes Image“ zu pflegen und sich z.B. als ein der Energiewende besonders verpflichteter Betrieb zertifizieren zu lassen (Wedler und Nadeje 2013). Hier wäre sicherlich auch eine Kombination aus verschiedenen monetären bzw. öffentlichkeitswirksamen Anreizen denkbar.

Doch auch bei den Gewerben sind wie bei den Haushalten noch einige rechtliche und regulatorische Hindernisse im Weg, die die Einbindung einer hohen Anzahl dezentraler Anlagen im Energiesystem behindern. Auch bei den Gewerben bräuchte es neben der bereits erwähnten flächendeckenden Standardisierung von (intelligenten) Messgeräten eine tatsächliche Implementierung von dynamischen Tarifen, flexiblen Lieferverträgen, anderweitigen Zuschüssen oder der Zertifizierung von Flexibilität im Betrieb. Zusätzlich stellt sich im gewerblichen Kontext das Problem, dass es durch das Lastmanagement durch Ein- und Ausschalten von technischen Prozessen zu einem Eingriff in den betrieblichen Ablauf kommt, der ggf. nicht in den Betriebsgenehmigungen erfasst ist. Auch hier müssten neue regulatorische Mechanismen geschaffen werden, um Flexibilitäten zu ermöglichen (Styczynski und Sauer 2015; Steurer 2017).

## 2.5 Akzeptanz von Flexibilitäten bei Verbraucherinnen und Verbrauchern

Wie in Kapitel 2.4 bereits dargelegt, wurde in verschiedenen Studien gezeigt, dass variable Stromtarife zu einer Verschiebung der Lasten auf Haushaltsebene führen können. In weiteren Untersuchungen wurde darüber hinaus versucht zu verstehen, inwieweit Kundinnen und Kunden bereit sind, diese auch in ihren Alltag zu integrieren. Eine Forsa-Umfrage aus dem Jahr 2015 (Verbraucherzentrale Bundesverband 2015) zur Akzeptanz von variablen Stromtarifen wurde in einer qualitativen Vorstufe mit zwei Gruppendiskussionen mit jeweils acht bis zehn Teilnehmenden durchgeführt. Darauf folgend wurde eine quantitative Umfrage mit etwa 1.000 Befragten abgeschlossen. Diese Untersuchung zeigt, dass Kundinnen und Kunden durchaus Chancen in den Bereichen Kostenersparnis, Transparenz, Strombewusstsein und Individualität sehen. Als Zugangsmotive werden außerdem Planbarkeit, Ökologie, Vereinfachung, Innovation und Belohnung genannt. Verbraucher schätzten das Einsparpotential auf 10-20 % und nannten 10 % Einsparung als das absolute Minimum, bei dem sie eine Lastverschiebung in ihrem Haushalt in Betracht ziehen würden. Allgemein konnte sich aber eine klare Mehrheit von ca. 2/3 in einem Beispielszenario vorstellen, variable Tarife zu nutzen.

Die gleiche Umfrage zeigt jedoch auch, dass gegenüber variablen Stromtarifen noch einige Vorbehalte existieren. Kritikpunkte beinhalteten unter anderem die Einschränkung des bisherigen Stromverbraucherverhaltens, eine steigende Komplexität und mögliche Kosten durch Investitionen in neue Geräte und die angezweifelte Praktikabilität im Alltag. Hier sahen viele Befragte auch die Zugangsbarrieren. Stress, Unfreiheit und Intransparenz wurden hier als Schlüsselbegriffe genannt. Viele Befragte sahen für sich variable Tarife nur in Verbindung mit einer Kostendeckelung als akzeptabel, stimmten also einer monetären Belohnung zu, lehnten eine Bestrafung bei „falschem Verhalten“ durch höhere Preise jedoch ab. Die Mehrheit (69 %) fühlte sich nicht gut über variable Tarife informiert und wünschte sich mehr Informationen zu möglichen Kosten, Vorteilen und Einsparpotentialen. Insgesamt glaubte nur knapp ein Drittel, von variablen Tarifen persönlich profitieren zu können.

Diese Vorbehalte können auch in einer 2012 durchgeführten Conjoint-Analyse mit 160 Befragten wiedergefunden werden (Dütschke et al. 2012). Es zeigte sich, dass Stromkunden einen statischen

Tarif bevorzugen und die Nutzung mit steigendem Grad der Dynamik des Tarifs abnimmt. Ebenso wurde eine geringe Schwankungsbreite des Preises von 15 bis 25 ct/kWh gegenüber hohen Schwankungen von 10 bis 35 ct/kWh vorgezogen. Die Autoren der Studie schlussfolgern hieraus, dass Konsumentinnen und Konsumenten in diesem Kontext Wert auf Einfachheit legen und ihr Verhalten im Alltag so wenig wie möglich anpassen wollen. Wie in Kapitel 0 bereits thematisiert, sehen Dütschke et al. (2012) analog zum bereits Besprochenen eine flächendeckende Einführung variabler Tarife nur in Kombination mit einem halb- oder vollautomatischen Lastmanagement als realistisch.

Im gewerblichen Bereich wird weniger die Akzeptanz von Privatpersonen als die von Betrieben betrachtet. Da in diesem Kontext persönliche Belange wie Veränderungen des bisherigen Nutzungsverhaltens oder steigende Komplexität eine geringere Rolle spielen und außerdem der Schutz der Privatsphäre und eine transparente Datennutzung in Anbetracht wirtschaftlicher Erwägungen in den Hintergrund rücken, ist die Akzeptanz bei Betrieben generell höher einzuschätzen. Zwar sind datenschutzrechtliche Belange auch für Unternehmen relevant, diese können aber anders als bei Privathaushalten durch zentrale administrative Stellen wirksamer garantiert werden (Styczynski und Sauer 2015). Bei einer Untersuchung in und um Salzburg mit 21 Betrieben zeigte sich eine hohe Bereitschaft zur Lastverschiebung, wenn dabei auf bereits vorhandenen (Kommunikations-)Systemen aufgebaut wurde, es keine Verhinderungen der Kernprozesse der Betriebs oder einen erhöhten Personalaufwand gab und ein klarer (monetärer oder öffentlichkeitswirksamer) Nutzen für die Betriebe erkennbar war (Wedler und Nadeje 2013).

## 3 Simulation von Flexibilitäten

Im Rahmen dieser Untersuchungen soll das Potenzial, welches für die Flexibilität besteht, auf Ebene von Haushalten und Supermärkten untersucht werden. Die Simulationen konzentrieren sich auf das technische Potenzial. Das theoretische Potenzial ist somit höher, es werden jedoch technische Rahmenbedingungen zur Verfügbarkeit der Flexibilität mitberücksichtigt.

In den folgenden Kapiteln werden die Vorgehensweisen zur Simulation der Flexibilitäten in Haushalten und Gewerbe am Beispiel eines Supermarktes sowie die dafür verwendeten Daten genauer beschrieben.

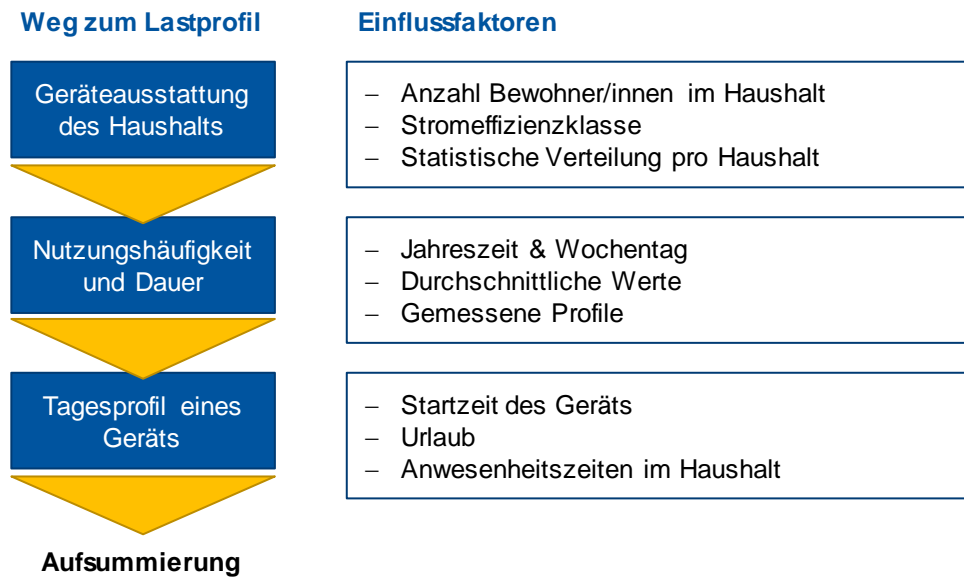
### 3.1 Simulation der Flexibilität in Haushalten

Zur Simulation der Flexibilitäten in Haushalten wird das IÖW-Energie-Prosumer-Modell (EProM) eingesetzt, welches in Matlab/Simulink implementiert ist. Das IÖW-Energie-Prosumer-Modell ist ein Simulationsmodell, das die Energiebilanz eines Haushalts inkl. aller Energieerzeugungsanlagen und -verbraucher über einen Zeitraum von einem Jahr simuliert. Das Modell wird im Rahmen dieses Kapitels genauer beschrieben. Zur Anwendung im Projekt WindNODE wurde das Modell für die Untersuchungsregionen in Anhalt auf die regionalen Gegebenheiten angepasst. Zudem wurden die Haushalte entsprechend den Gemeinden aggregiert. Das Ergebnis der Simulationen und Berechnungen bietet eine zeitlich hochaufgelöste Bilanz zur möglichen Nutzung von Flexibilitäten in Haushalten.

#### 3.1.1 Beschreibung der Simulation

Der für diese Simulation verwendete Teil des EProM-Modells stellt in einen Haushalt alle stromseitigen Verbraucher dar. Es werden dafür bis zu 29 unterschiedliche Stromverbraucher (z.B. Kühlgeräte, Küchengeräte oder Entertainment) minutengenau simuliert. Die Simulation erfolgt durch einen Bottom-Up-Ansatz, d.h. es werden zunächst alle Verbraucher unabhängig voneinander simuliert. Das Gesamtlastprofil setzt sich aus der Summe aller Verbraucherprofile zusammen. Ziel der Simulation ist dabei möglichst typische, aber real existierende Haushalte abzubilden. Das bedeutet, dass im Ergebnis für einen einzelnen Haushalt keine geglätteten Lastprofile entstehen. Zudem wird jeder Tag unabhängig voneinander simuliert, so dass Regelmäßigkeiten im Lastprofil nur durch die Geräteausstattungen und deren typischen Lastverläufe sowie die Lebensweise des Haushalts entstehen.

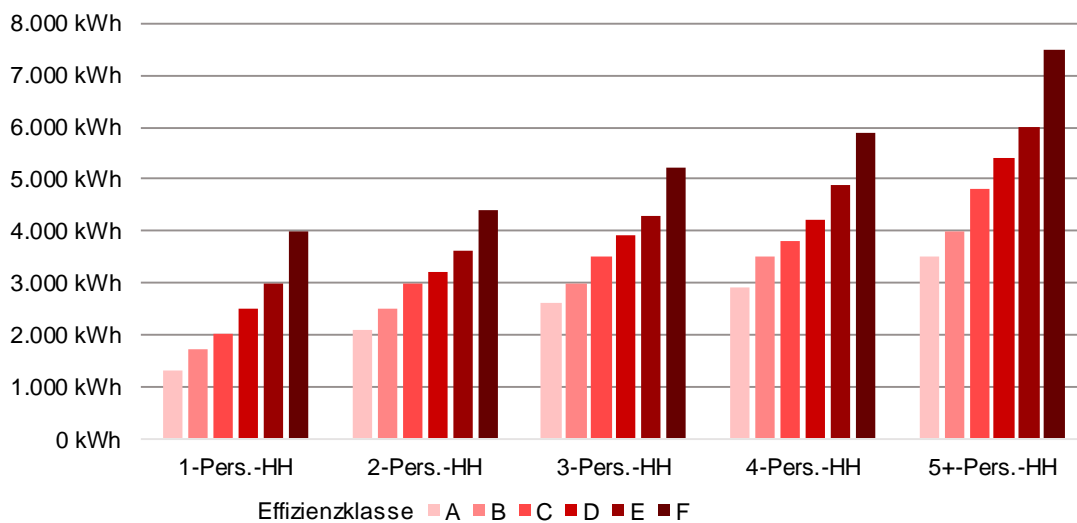
Die Haupteinflussfaktoren, die auf die Simulation des Lastprofils Einfluss nehmen, sind die Anzahl der Bewohner/innen im Haushalt, die Stromeffizienzklasse und die statistische Geräteausstattung. In Abb. 3.1 ist der Weg zum Lastprofil und die Einflussfaktoren auf jeder Ebene grob dargestellt. Dabei übersetzt sich das Ziel nach einem typischen aber realistischen Haushalt in einem Mix aus statistischen Einflussfaktoren (bspw. Stromeffizienzklasse, Geräteausstattung oder Nutzungszeiten) und Inputparametern (Anzahl der Bewohner/innen im Haushalt und deren Anwesenheitszeiten).



**Abb. 3.1: Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf das simulierte Lastprofil eines Haushalts**

Das Modell berücksichtigt saisonale Nutzungsunterschiede die in Sommer, Winter und Übergangszeit eingeteilt sind. Des Weiteren wird je nach Haushaltsgröße eine unterschiedliche Ausstattung und Nutzungsintensität der Geräte simuliert. Beide Parameter sind in erster Linie von der Bewohner/innenanzahl des Haushalts abhängig, wobei sich die Geräteausstattung auf statistische Daten stützt (Statistisches Bundesamt 2018). Je größer der Haushalt ist, desto mehr Geräte sind vorhanden und die Geräte werden intensiver genutzt. Neben der Haushaltsgröße spielen der Wochentag und die Jahreszeit für die Nutzungsintensität eine Rolle.

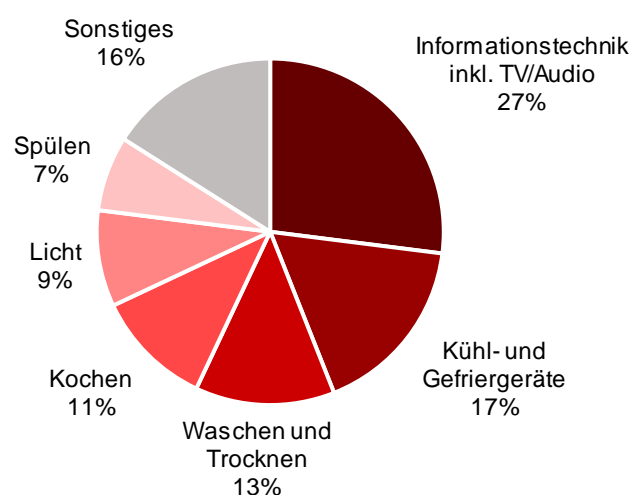
Um mit dem Modelhaushalt einen durchschnittlichen Haushalt der gewählten Bewohner/innenanzahl und Stromeffizienzklasse der Haushaltsausstattung abzubilden, wurden die aktuellen Durchschnittsstromverbräuche (bezogen auf Bewohner/innenanzahl und Effizienzklasse) dem Stromspiegel 2017 entnommen (BMUB 2017). Der Stromspiegel unterteilt den Stromverbrauch der Haushalte in Deutschland je nach Bewohnerzahl in 7 Klassen (A-G) (vgl. Abb. 3.2), wobei die Klasse G nach oben im Verbrauch offen ist und nicht dargestellt ist. Jede der Klassen entspricht 14,3 % der Haushalte in der jeweiligen Haushaltsgröße. Die Werte in Klasse D entsprechen damit dem durchschnittlichen Haushalt in Deutschland.



**Abb. 3.2: Jahresstromverbräuche von privaten Haushalten in verschiedenen Effizienzklassen**

Entnommen aus dem Stromspeigel 2017 für Ein- und Zweifamilienhaushalte ohne elektrische Warmwasserbereitung (BMUB 2017)

Die Auswahl der einzelnen Verbrauchsgeräte beruht auf der Liste der 100 größten Stromverbraucher in Privathaushalten, welche vom Öko-Institut im Forschungsprojekt PROSA-Umweltzeichen / Top 100 erstellt wurde (PROSA 2013). Bei den einzelnen modellierten Geräten wird zwischen einem konstanten und einem dynamischen Lastverlauf unterschieden. Für Geräte mit einem dynamischen Lastverlauf wie beispielsweise Waschmaschine oder Geschirrspüler werden gemessene Lastprofile der TU Darmstadt (basierend auf Reinhardt et al. 2012) oder eigene Messungen verwendet. Bei den konstanten Verbrauchern wurden Standby- und Betriebsverbrauch nach marktüblichen Leistungen festgelegt.



**Abb. 3.3: Verteilung der Stromverbräuche im Haushalt**

Nach Stromspeigel 2017 (BMUB 2017) und EnergieAgentur.NRW (2015)



Der jährliche Verbrauch der einzelnen Geräte ist dabei passend zu den durchschnittlichen Verbräuchen in einzelnen Bereichen wie Kochen, Büro, Waschen, etc. aufgewandte Energiebetrag gewählt. Quelle zu diesen Durchschnittswerten waren Auswertungen der EnergieAgentur.NRW (2015). Die Aufteilung ist in Abb. 3.3 dargestellt. Im Modell werden diese jährlichen Verbrauchswerte Bottom-Up in einer Kombination aus Nutzungshäufigkeit und -dauer der Geräte und den damit verbundenen Verbräuchen ermittelt.

Nach der grundsätzlichen Festlegung von Ausstattung des Haushalts und Verbrauch der einzelnen Geräte basierend auf Bewohner/innenanzahl und Stromeffizienzklasse, werden im Verlauf der Simulation Nutzungshäufigkeiten der einzelnen Geräte ermittelt, sowie tägliche Nutzungsdauern und Startzeiten der Geräte festgelegt. Die Startzeiten und Nutzungsdauern der Geräte unterliegen dabei meist einer Zufallsverteilung und sind teilweise abhängig von der Anwesenheitszeit der Bewohner/innen. Die Nutzungsdauer ist entweder durch die Programmauswahl der Geräte festgelegt (Waschmaschine, Wäschetrockner, Spülmaschine) oder wird individuell abhängig von einer Zufallsverteilung sowie der Bewohner/innenanzahl bestimmt.

Der Kühlschrank sowie die Tiefkühltruhe besitzen in dieser Hinsicht in der Simulation eine Sonderstellung. Sie verfügen über ein variables Lastprofil, das den ganzen Tag durchläuft. Die Lastspitzen dieser Geräte fallen sehr ähnlich aus, lediglich bei häufigem Öffnen der Tür muss stärker gekühlt werden. Da dem Modell ein gemessenes Lastprofil zu Grunde liegt, ist dieser Effekt bereits berücksichtigt und wird lediglich mit einer Varianz versehen. Auch die Beleuchtung spielt eine Sonderrolle. Ihr Verbrauch hängt neben der Anwesenheitszeit der Bewohner/innen im Wesentlichen von der Helligkeit im Freien ab. Dazu wird im Modell für jeden Tag der Zeitpunkt des Sonnenauf- und -untergangs berechnet. In Abhängigkeit davon wird das Licht im Modell aus- bzw. angeschaltet. Die Startzeiten und Nutzungsdauern der Geräte werden jeweils am Beginn eines Tages neu gesetzt. Hinzu kommt für Geräte mit festen Nutzungsprofil eine zufällige Wahl des Programms (bspw. Waschmaschine, Mikrowelle oder Kochfelder). Im Tagesverlauf bleiben diese gewählten Daten konstant. Eine Ausnahme bilden die Verbraucher mit einem dauerhaften Betrieb (bspw. WLAN, Festnetz und Kühlgeräte).

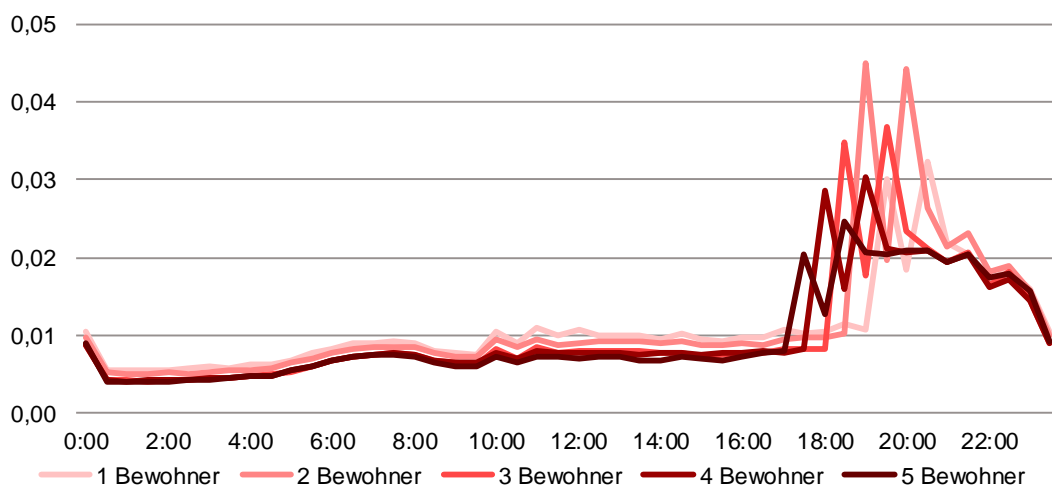
Um die Startzeiten der nicht festgelegten Geräte zu bestimmen, orientiert sich das Modell in einem Top-Down-Vorgehen an typischen H0-Standardlastprofilen *SLP* (BDEW 2014). Diese unterscheiden sich nach Sommer, Übergangszeit, Winter und Wochentag, Samstag und Sonntag. Es stehen also neun verschiedene Profile in stundenweiser Auflösung zur Verfügung. Das Ziel sich im Mittel den Standardlastprofilen anzunähern, ist damit begründet, dass in der Aggregation einer Vielzahl an Lastprofilen einzelner Haushalte eine typische Netzauslastung erreicht werden soll. Gleichzeitig behält jedes einzelne Lastprofil eines Haushalts seine charakteristischen und nachvollziehbaren Spitzen. Für die weiteren Betrachtungen, wird das *SLP* in halbstündliche Abschnitte interpoliert.

Die Abwesenheit in einem Haushalt wird aus einer durchschnittlichen mittleren Abwesenheitszeit und einer gewählten Varianz (2 h) mit einer Normalverteilung bestimmt, um Gleichzeitigkeiten abzumildern. Der Mittelpunkt der Abwesenheitszeit wurde dabei auf 16:30 h gesetzt, da sich dort auch das Minimum der Last im *SLP* findet und die Abwesenheit der Bewohner/innen dies widerspiegelt. Je nach Zahl der Bewohner/innen wird von einer durchschnittlichen Abwesenheit aller Bewohner/innen von sieben bis drei Stunden ausgegangen.

Für die Bestimmung der Startzeiten der Verbraucher, wird aus dem Standardlastprofil zunächst eine Verteilungsfunktion erstellt, nach der sich die Startzeiten richten. Da nicht alle Startzeiten der Verbraucher durch die Verteilungsfunktion berechnet werden, werden während typischer Gebrauchszeiten bestimmter Verbraucher (z.B. Licht oder Kühlschränke) deren Verbräuche aus der

Verteilungsfunktion vorab herausgerechnet. Dazu wird vom gewählten Profil ein sogenannter *Korrekturfaktor* ( $KF_{b,e}$ ) abgezogen, der für jede Bewohner/innenzahl  $b$  und jede Effizienzklasse  $e$  vorab berechnet wurde.

Zur Berechnung des Korrekturfaktors einer Region wurden iterativ 1, 2, 3, 4 und 5+-Personen-Haushalte mit Effizienzklasse B bis Effizienzklasse F simuliert und die durchschnittlichen Verbraucherprofile im Tagesverlauf berechnet. Der Korrekturfaktor im Verlauf des Tages ist dann der Anteil der Verbraucher, die über die Verteilungsfunktion gesteuert werden, an der Gesamtlast. In Abb. 3.4 ist der Korrekturfaktor im Verlaufe des Tages für verschiedene Bewohner/innenzahlen abgebildet. Der Korrekturfaktor ist in den Abendstunden am größten, da hier in den meisten Fällen die Bewohner/innen anwesend sind und damit eine Vielzahl an variablen Geräten genutzt wird.



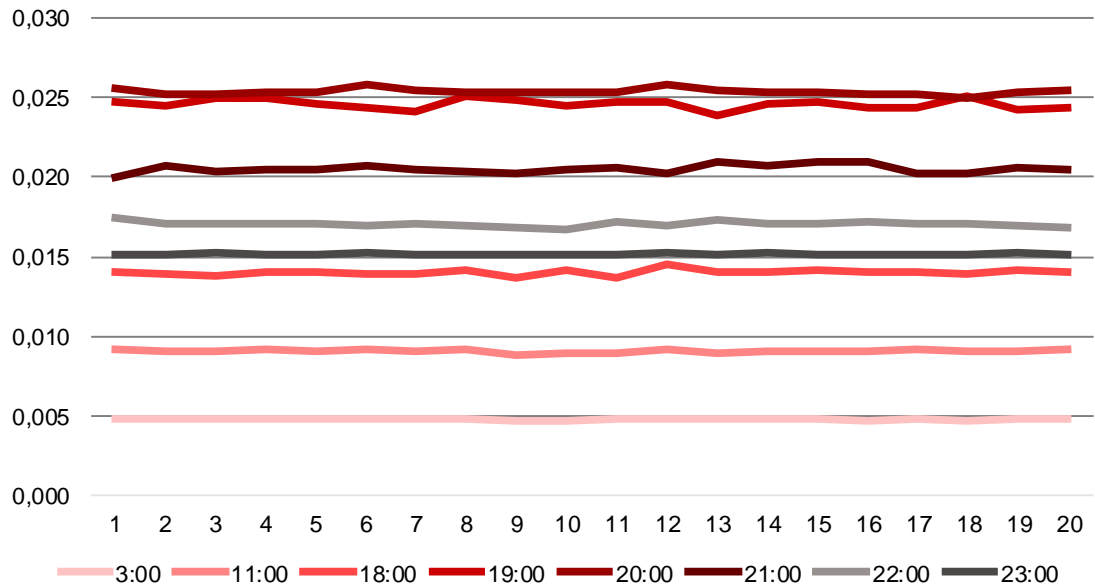
**Abb. 3.4: Korrekturfaktoren nach Bewohner/innenzahlen**

Die verschobenen Kurven am Nachmittag ergeben sich durch die Rückkehrzeiten der Bewohner/innen (bei 5 Bewohner/innen ist z.B. relativ früh am Nachmittag wieder jemand zuhause, es wird gekocht etc.)

Um sicherzustellen, dass die Anwendung des Korrekturfaktors auf eine Verteilungsfunktion konvergiert, wurde der Korrekturfaktor für jede Bewohner/innenzahl und jede Effizienzklasse in mehreren Iterationen ermittelt. Hierbei wurde in der ersten Iteration jeweils mit Korrekturfaktor null gestartet. Mit der um den Korrekturfaktor verbesserten Verteilungsfunktion wurden die Berechnungen dann erneut durchgeführt, um einen neuen Korrekturfaktor zu erhalten. Über 20 Iterationen hat sich, wie in Abb. 3.5 zu sehen, herausgestellt, dass der Korrekturfaktor keine Sprünge macht und um einen Wert konvergiert.

Im Ergebnis gibt es dann ein neues, um den Korrekturfaktor korrigiertes und normiertes Lastprofil  $\widetilde{SLP}_{b,e}$ , welches die in der Aggregation mehrerer Lastprofile anzustrebende Verteilung angibt und für jede Bewohner/innenzahl  $b$  und jede Effizienzklasse  $e$  berechnet wird. Natürlich handelt es sich insgesamt um ein Jahresprofil. Da das Vorgehen für jede Jahreszeit und jeden Wochentag identisch ist, wird dies hier nicht weiter aufgeführt.

$$\widetilde{SLP}_{b,e}(i) = \frac{(SLP(i) - KF_{b,e}(i))}{\sum_j SLP(j) - KF_{b,e}(j)}, \quad i = 0 \dots 23,5$$



**Abb. 3.5: Korrekturfaktoren zur vollen Stunde, Änderungen über 20 Iterationen**

Wie in der Grafik zu sehen ändert sich der Korrekturfaktor nach der 2. Iteration nicht mehr in eine Eindeutige Richtung und schwankt nur noch, für die Berechnung sind daher nur wenige Iterationen nötig

Für die Simulation bzw. die Verteilungsfunktion müssen auch die Abwesenheitszeiten der Bewohner/innen berücksichtigt werden, da einige Verbraucher (bspw. Waschmaschine, Staubsauger, etc.) während dieser Zeit nicht gestartet werden. Um das im Durchschnitt auszugleichen, wird das je nach Wochentag und Saison ausgewählte korrigierte Standardlastprofil  $\widetilde{SLP}_{b,e}$  durch die Anwesenheitswahrscheinlichkeit  $P_{b,e}(i)$  geteilt. Ist also bspw. zu Stunde  $i$  nur mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{1}{2}$  jemand anwesend wird das Profil  $\widetilde{SLP}_{b,e}$  in diesem Zeitraum mit zwei multipliziert. So wird sichergestellt, dass bei einer nur halb so großen Wahrscheinlichkeit in der Anwesenheit ein Gerät mit doppelter Wahrscheinlichkeit gestartet wird, um in der Aggregation auf die Gesamtwahrscheinlichkeit zu kommen. Das Profil  $\widetilde{SLP}_{b,e}$  wird somit nochmal modifiziert zu einem anvisierten Lastprofil  $ALP_{b,e}$ :

$$ALP_{b,e}(i) = \frac{\widetilde{SLP}_{b,e}(i)}{P_{b,e}(i)}, \quad i = 0 \dots 23,5$$

Das anvisierte Lastprofil  $ALP_{b,e}$  wird für jede Region neu bestimmt, da sich durch die Region auch das Verhältnis der einzelnen Haushalte ändert (vgl. Kapitel 3.1.2). In jeder Simulation wird nun aus dem anvisierten Lastprofil eine kumulative Verteilungsfunktion  $F$  ermittelt, die aus dem anvisierten Lastprofil  $ALP_{b,e}$  mit zugehöriger Bewohner/innenzahl  $b$  und Effizienzklasse  $e$  durch Ausklammern der Abwesenheitszeiten  $\chi_A$  berechnet wird.

$$F(k) = \sum_{j=1}^k \tilde{p}(j) \cdot \chi_A(j), \quad k = 0 \dots 23,5$$

wobei

$$\chi_A(j) = \begin{cases} 1, & \text{Bewohner/innen des Haushalts sind zur Zeit } j \text{ zuhause} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

und  $\widetilde{ALP}_{b,e}$  das normierte anvisierte Lastprofil ist:

$$\widetilde{ALP}_{b,e}(i) = \frac{ALP_{b,e}(i)}{\sum_j ALP_{b,e}(j)}, \quad i = 0 \dots 23,5$$

Die Startzeiten der entsprechenden Verbraucher werden dann täglich anhand von der Verteilungsfunktion  $F$  bestimmt.

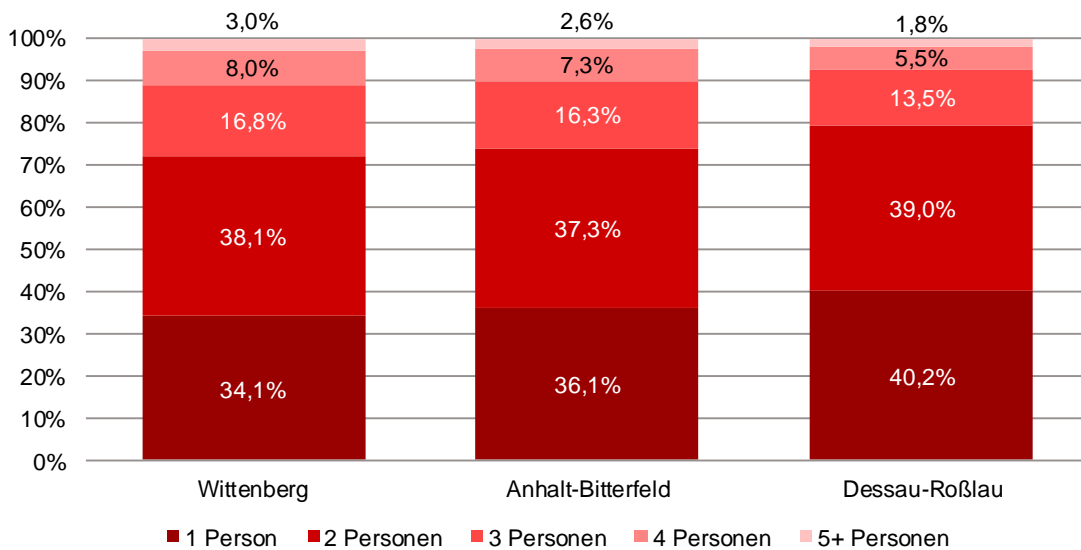
### 3.1.2 Regionale Einflussfaktoren

Soweit möglich wurden im Rahmen des Projekts die Eingangsdaten auf spezifische regionale Gegebenheiten angepasst. In Tab. 3.1 sind alle variablen Eingangsgrößen, die auf regionaler Ebene angepasst wurden, dargestellt. Im Wesentlichen betrifft dies die Zahl der Bewohner/innen, die Größe der Wohnung und den Urlaub.

**Tab. 3.1: Variable Größen in Abhängigkeit von der Region**

<b>Bewohner/in-nenzahl</b>	Die Anzahl der Bewohner/innen im Haushalt wird mithilfe einer gleichverteilten Zufallsvariable entsprechend der statistischen Bewohner/innenzahl der entsprechenden Region gewählt (Zensus 2011)
<b>Wohnungs-größe</b>	Die Größe der Wohnung ergibt sich genauso aus den statistischen Daten der Wohnfläche bezüglich der gewählten Bewohner/innenzahl (Zensus 2011)
<b>Urlaub</b>	Die Urlaube werden mithilfe einer normalverteilten Zufallsfunktion festgelegt, die sich um die Ferienzeiten im jeweiligen Bundesland verteilen.

Dabei ist der größte Einflussfaktor für die Daten die Haushaltsgröße bzw. die durchschnittlichen Bewohner/innen pro Haushalt. In Abb. 3.6 sind die im Zensus 2011 ermittelten Daten hierzu aufgeführt. Es zeigt sich, dass in sehr ländlich geprägten Gebieten (z.B. Landkreis Wittenberg) tendenziell eine höhere Anzahl von Bewohner/innen pro Haushalt anzunehmen ist.



**Abb. 3.6: Verteilung der Haushaltsgrößen in den verschiedenen Landkreisen**

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Zensus 2011

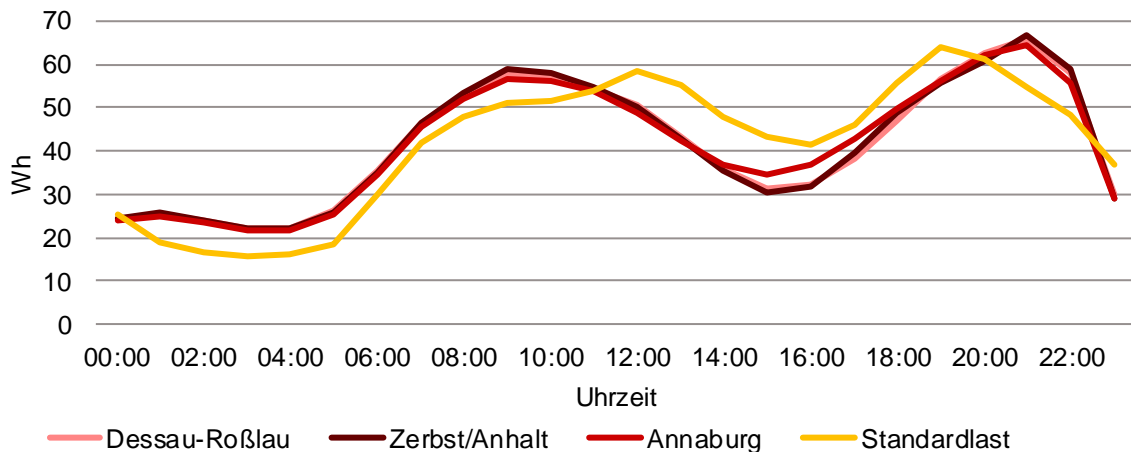
Zur Simulation einer Gemeinde werden 1.000 Haushalte (und damit mehr als 1.000 Bewohner/innen) simuliert. Dabei entspricht die Verteilung von 1-5 Personen-Haushalten der statistischen Verteilung im Landkreis. Die Personenanzahl aller 1.000 Haushalte wird dann mit den Gesamteinwohnern im Landkreis gleichgesetzt und die Lastprofile der Haushalte dann entsprechend der Einwohner/innen der Gemeinden prozentual verteilt.

**Tab. 3.2: Einwohnerzahlen in den Gemeinden der Landkreise Dessau-Roßlau, Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg 2017**

Quelle: Fortschreibung der Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011 für das Jahr 2017, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Deutschland

<b>Gemeinde</b>	<b>Landkreis</b>	<b>Einwohner/innen</b>	
Dessau-Roßlau	Dessau-Roßlau	82.111	
Aken (Elbe)	Anhalt-Bitterfeld	7.687	
Bitterfeld-Wolfen		39.103	
Köthen (Anhalt)		26.157	
Muldestausee		11.611	
Osternienburger Land		8.652	
Raguhn-Jeßnitz		9.083	
Sandersdorf-Brehna		14.468	
Südliches Anhalt		13.490	
Zerbst/Anhalt		21.702	
Zörbig		9.311	
Annaburg		Wittenberg	6.771
Bad Schmiedeberg			8.361
Coswig (Anhalt)	11.986		
Gräfenhainichen	11.821		
Jessen (Elster)	14.174		
Kemberg	9.799		
Oranienbaum-Wörlitz	8.384		
Wittenberg	46.272		
Zahna-Elster	9.247		

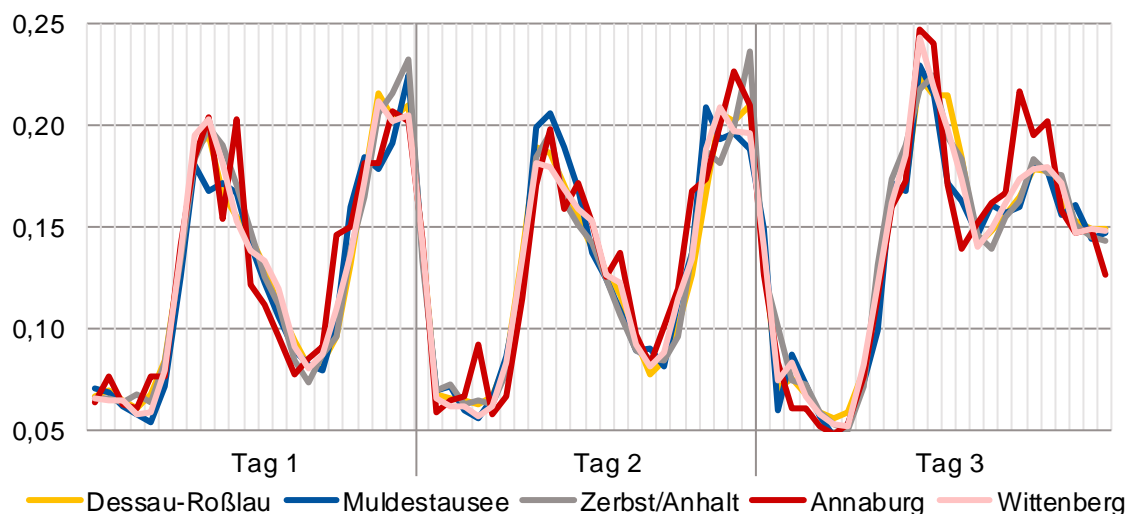
Mit der in Kapitel 3.1.1 erläuterten Vorgehensweise zur Erstellung der Lastprofile, wird dann in Summe ein normiertes Lastprofil erstellt, das der Gemeinde entspricht und an das Standardlastprofil (SLP) angelehnt ist. In Abb. 3.7 ist der Vergleich zwischen dem mittleren Standardlastprofil und dem mittleren Lastverlauf in drei exemplarischen Gemeinden dargestellt.



**Abb. 3.7: Simulierte Daten für drei Gemeinden vs. Standardlasten**

Jahresstromverbrauch normiert auf 1.000 kWh im Jahr, Quelle Standardlastprofil: BDEW (2014)

Dabei stellt Abb. 3.7 nur den gemittelten Verlauf dar. Innerhalb der Knotenpunkte sind trotzdem noch Unterschiede in der Verteilung der Last zu erkennen, auch bei einem normierten Profil. So sind hier neben jahreszeitlichen Änderungen auch im Tagesverlauf bspw. unterschiedliche Spitzen in unterschiedlichen Gemeinden zu erkennen. In Abb. 3.8 ist dies im Verlauf von drei Tagen für fünf unterschiedliche Gemeinden in der Region Dessau dargestellt.



**Abb. 3.8: Region Dessau, beispielhafter 3-Tagesverlauf der aggregierten Lastgänge in fünf Gemeinden**

Eigene Darstellung

### 3.1.3 Bewertung von Flexibilitäten in der Simulation

Bei der Aufbereitung der Simulationsergebnisse für das Projekt WindNODE ging es insbesondere auch um die Möglichkeit Lasten zu flexibilisieren. Also inwiefern es möglich ist einzelne Stromverbräuche, zum Beispiel den Stromverbrauch einer Waschmaschine, an einem für die Gesamtlast im Stromnetz günstigen Zeitpunkt abzurufen. Hierzu wird angenommen, dass Geräte wie Waschmaschine, Spülmaschine und Trockner mit einer smarten Bedienungsfunktion ausgestattet sind. Ist die Nutzung im Laufe des Tages (zwischen 8 und 22 Uhr) gewünscht, muss das Gerät hierbei am Morgen befüllt werden, der genaue Zeitpunkt der Nutzung wird dann je nach Stromverfügbarkeit im Netz selbstständig gewählt. Bei der Nutzung von Kühlschrank und Gefriertruhe ist eine Unterbrechung der Kühlung von bis zu drei Stunden möglich, wobei die Geräte in diesem Fall jeweils zu einer anderen Zeit verstärkt (mit doppelter Leistung) betrieben werden. Beide Möglichkeiten der Lastenverschiebung gelten als *leicht flexibilisierbare Lasten*, da für die Anwender keine großen Einschränkungen in der Nutzung zu bemerken sind. Daneben wird angenommen, dass die Bewohner/innen ihre Nutzung von Geräten wie Haartrockner, Bügeleisen und Staubsauger möglicherweise der aktuellen Netzauslastung anpassen können. Allerdings ist dies mit einer größeren Einschränkung für die Bewohner/innen verbunden, weshalb diese Lasten der Kategorie *schwer flexibilisierbare Lasten* zugeordnet. In Tab. 3.3 werden die verschiedenen Kategorien dargestellt, in die die Lasten eingeteilt sind.

**Tab. 3.3: Unterteilung der Stromlasten im Haushalt in Kategorien zur Flexibilisierbarkeit**  
Eigene Annahmen

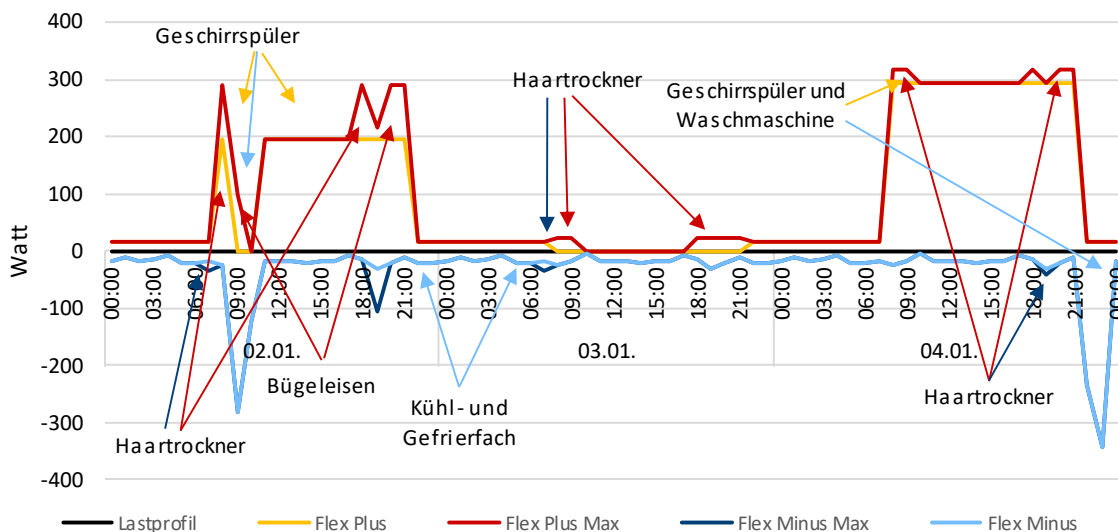
<b>Leicht flexibilisierbare Lasten</b> <i>ca. 30 % der Lasten</i>	<b>schwer flexibilisierbare Lasten</b> <i>ca. 5 % der Lasten</i>	<b>Nicht flexible Lasten</b> <i>ca. 65 % der Lasten</i>
Zwischen 8 und 22 Uhr: Waschmaschine, Spülmaschine, Trockner Zwischen 22 und 8 Uhr: Kühlschrank/Gefriertruhe kann abgeschaltet oder verstärkt betrieben werden (real ist eine Unterbrechung der Kühlung von ca. 3 Stunden möglich)	Zwischen 8 und 22 Uhr, bei Anwesenheit der Bewohner/innen: Haartrockner, Bügeleisen, Staubsauger	Alle übrigen Lasten wie Home Entertainment, Rechner, Küchengeräte, Pumpen oder Licht

Aus diesen verschiedenen Lastenkategorien und dem Ergebnis der Simulation ergeben sich dann die fünf verschiedenen Lastenbänder, d.h. Lastprofile, die verschiedene Arten der Flexibilität darstellen. In Tab. 3.4 sind die verschiedenen Lastenbänder und ihre Bezeichnung erläutert.

**Tab. 3.4: Beschreibung der Lastenbänder zur Darstellung der Flexibilitäten**

Bezeichnung des Lastenbandes	Abkürzung	Beschreibung
Durchschnittslast	<i>Lastprofil</i>	Lasten wie in Simulation / Durchschnitt der Simulationen.
Stromverbrauch Grundlast	<i>Flex Minus Max</i>	Enthält nur die nicht flexiblen Lasten, bzw. das Lastprofil mit Abzug der maximal nach unten flexibilisierbaren Lasten
Grundlast + schwer flexibilisierbare Lasten	<i>Flex Minus</i>	Enthält die nicht flexiblen und die schwer flexibilisierbaren Lasten bzw. das Lastprofil abzüglich der leicht nach unten flexibilisierbaren Lasten
Durchschnittslast + leicht flexibilisierbare Mehrlast	<i>Flex Plus</i>	Enthält die Lastengänge aus der Simulation plus mögliche Mehrlast durch die leicht flexibilisierbaren Lasten
Durchschnittslast + maximal flexibilisierbare Mehrlast	<i>Flex Plus Max</i>	Enthält die Lastengänge aus der Simulation plus mögliche Mehrlast durch die leicht und schwer flexibilisierbaren Lasten

Zur besseren Darstellung, zeigt Abb. 3.9 einen 3-tägigen Ausschnitt aus der Simulation eines Haushalts und die fünf verschiedenen Lastenbänder. Dabei wurde das durchschnittliche Lastprofil (grau) auf null normiert um die Abweichung der flexibilisierten Lastenbänder von der simulierten durchschnittlichen Kurve darzustellen.



**Abb. 3.9: Beispiel für die Zusammensetzung der Lastenbänder im 3-tägigen Verlauf**

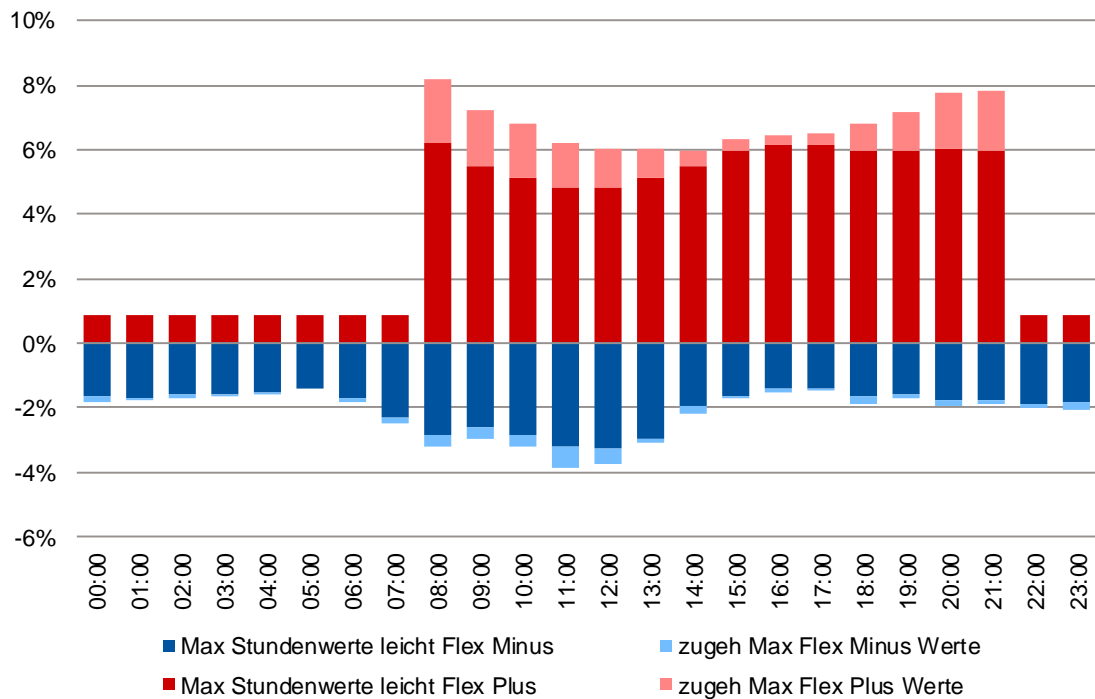
Eigene Darstellung

Im Beispiel läuft der Geschirrspüler am ersten Tag zwischen acht und elf Uhr. Da eine Flexibilisierung bedeutet, dass die Last in dieser Zeit abgeschaltet werden kann, weicht die hellblaue Kurve



(Flex Minus) in diesem Zeitraum nach unten ab. Zudem besteht bei einer Flexibilisierung die Möglichkeit, dass der Geschirrspüler tagsüber zu einem anderen Zeitpunkt läuft. Dies findet sich im Ausschlag nach oben bei Flex Plus (gelbe Kurve) und Flex Plus Max (rote Kurve) zu den Zeiten in der die Last nicht schon im ursprünglichen Lastprofil enthalten ist. Die Grafik verdeutlicht auch, dass an Tagen an denen keine großen Verbraucher genutzt werden (vgl. Tag 2) auch kaum Potenziale für Flexibilität enthalten sind.

In Abb. 3.10 ist die jeweils minimal und maximal flexibilisierbare Last im Tagesverlauf dargestellt. Der Anteil der aktuellen Last die leicht flexibilisierbar wäre, liegt in der Simulation bei durchschnittlich 33,6 % (bezogen auf die Last der jeweiligen Stunde). Betrachtet man auch die schwer flexibilisierbaren Lasten kommt man insgesamt auf 36,7 %. Diese Werte sind als absolutes Maximum anzusehen und ergeben sich auch nur in der Verbindung mehrerer Haushalte zum Beispiel in einer Gemeinde.



**Abb. 3.10: Flexibilisierungsmöglichkeiten nach Minimalwerten / Maximalwerten der leicht flexibilisierbaren Lasten am Beispiel einer Gemeinde (in Prozent der Durchschnittstageslast)**  
Eigene Berechnungen

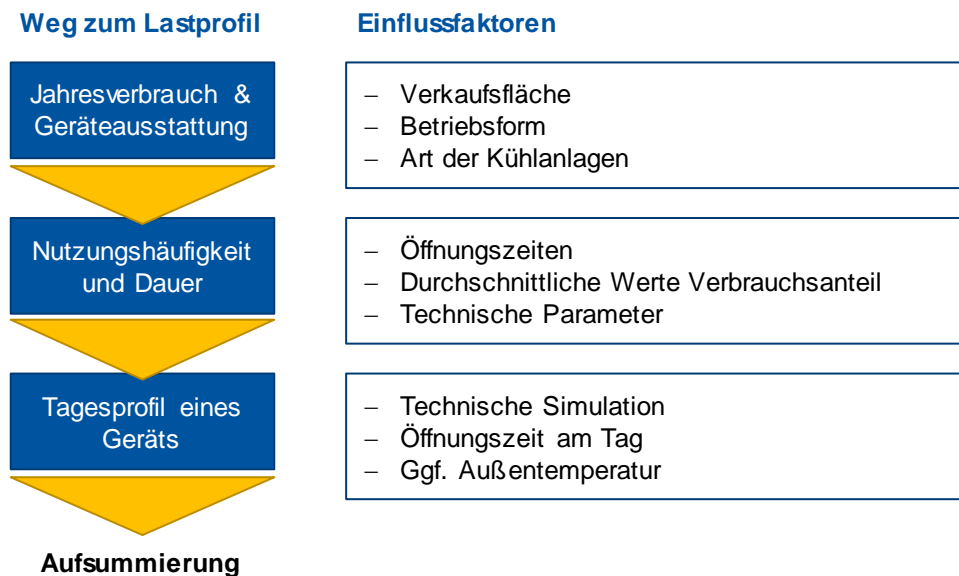
## 3.2 Simulation der Flexibilität in Supermärkten

Zur Simulation der Flexibilitäten in Supermärkten wird das ebenfalls ein Matlab/Simulink eingesetzt, dass in seinem Aufbau an das IÖW-Energie-Prosumer-Modell angelegt ist. Es bildet die Energiebilanz eines Supermarkts inkl. aller Stromverbraucher über einen Zeitraum von einem Jahr ab. Das Modell wird im Rahmen dieses Kapitels genauer beschrieben. Das Ergebnis der Simulationen und Berechnungen bietet eine zeitlich hochaufgelöste Bilanz zur möglichen Nutzung von Flexibilitäten in Supermärkten.

### 3.2.1 Beschreibung der Simulation

Bei der Simulation der Flexibilität eines Gewerbebetriebes wurde ein Supermarkt in variabler Größe gewählt. Supermärkte sind auch in der ländlichen Region verfügbar und bilden so einen typischen Gewerbebezweig ab, der in allen Stromnetzen vorhanden ist und Flexibilität bieten kann. Grundsätzlich ist die Vorgehensweise bei der Simulation vergleichbar mit dem Haushaltsfall. Auf die Besonderheiten wird im Nachfolgenden jedoch eingegangen.

Analog zu der Simulation der Haushalte, wird zunächst der Jahresstromverbrauch und die Ausstattung des Supermarkts anhand verschiedener Parameter bestimmt (vgl. Abb. 3.11). Eine Veröffentlichung des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung geht nach einer Untersuchung bestehender Handelsgeschäfte im Food-Bereich von einem Verbrauch von einem Stromverbrauch von 375 kWh/m<sup>2</sup> Betriebsfläche aus (Karopka et al. 2009), wobei sich im Schnitt eine Die Verkaufsfläche aus der Betriebsfläche durch den Faktor 0,82 ergibt.

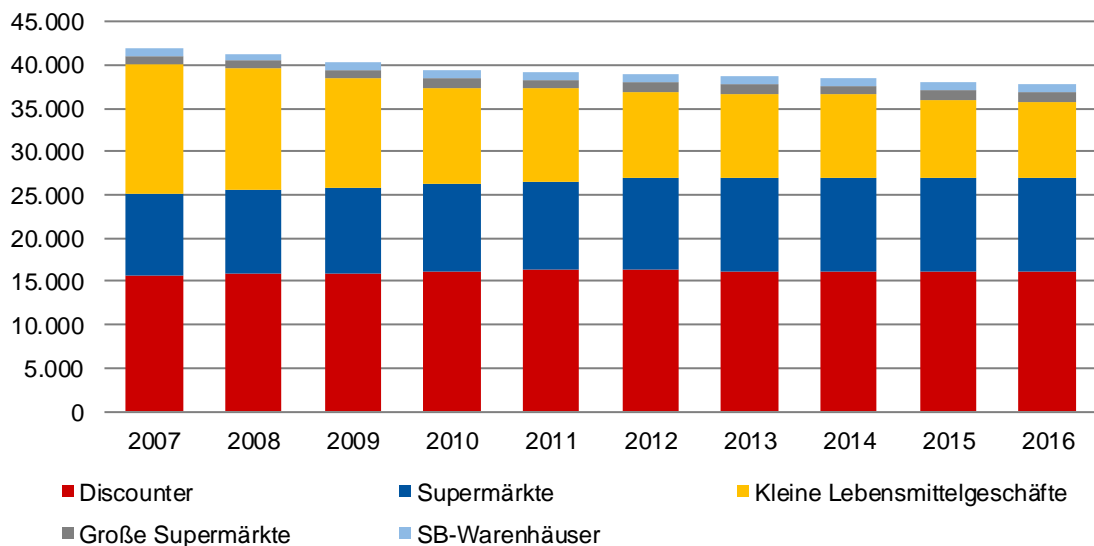


**Abb. 3.11: Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf das simulierte Lastprofil eines Supermarkts**

Neben der Größe der Verkaufsfläche ist auch die Betriebsform entscheidend, d.h. ob es sich um einen Discounter, ein kleines Lebensmittelgeschäft (<400 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche), einen Supermarkt (400-1.200 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche) einen großen Supermarkt (> 1.200 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche) oder ein SB-Warenhaus handelt. In Deutschland waren im Jahr 2016 Discounter als größte Gruppe vertreten (mit 43 %), Supermärkte (29 %) und kleine Lebensmittelgeschäfte (23 %) bildeten den Großteil der

weiteren Lebensmittelhändler (bulwiengesa 2017). Anzumerken ist, dass der Anteil der kleinen Lebensmittelgeschäfte zwischen 2007 und 2016 um 12 % gefallen ist und diese zunehmend an Bedeutung verlieren (vgl. Abb. 3.12). Die durchschnittliche Verkaufsfläche lagen im Jahr 2016 um die 780 m<sup>2</sup> bei Discountern, 980 m<sup>2</sup> bei Supermärkten und 300 m<sup>2</sup> bei kleinen Lebensmittelgeschäften (bulwiengesa 2017).

Je nach Betriebsform und Verkaufsfläche muss von einer anderen Geräteausstattung ausgegangen werden. Grundsätzlich kann von einer durchschnittlichen Geräteanzahl von 0,017 Geräten in der Pluskühlung pro m<sup>2</sup> Verkaufsfläche und 0,007 Geräten in der Minuskühlung ausgegangen werden (Schloman et al. 2015). Allerdings ist dieser Anteil im Detail abhängig von der Betriebsform und beim Anteil der Minuskühlung an der gesamten Kühlleistung lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Bei Discounter liegt der Anteil der Pluskühlung an der Gesamtkühlung bei ca. 13 %, bei Supermärkten schwankt er je nach Größe zwischen 30 und 60 % (Steinmaßl 2013).

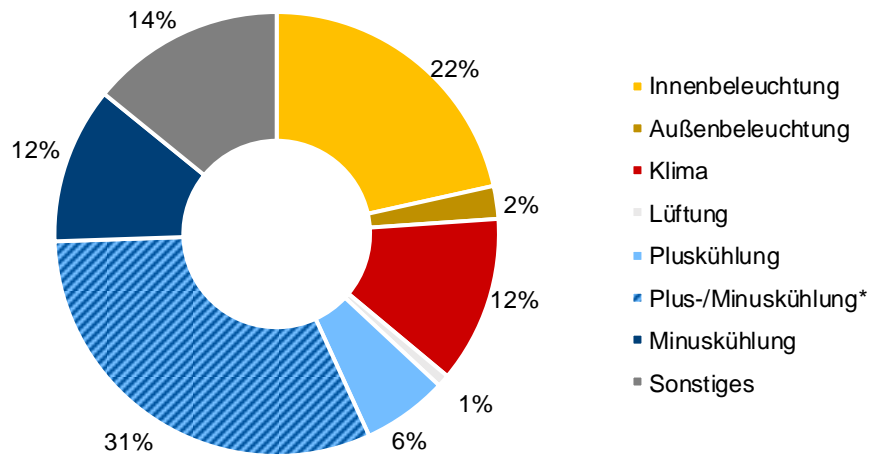


**Abb. 3.12: Entwicklung des Lebensmitteleinzelhandels nach Betriebsform**

Quelle: Eigene Darstellung nach (bulwiengesa 2017)

Um die Verbräuche der einzelnen Geräte auf Basis der Geräteausstattung festzulegen, wird die Verteilung des Stromverbrauchs in Supermärkten herangezogen, wie in Abb. 3.13 dargestellt. Die Heizung wird bei den Verbräuchen nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass der Wärmebedarf nicht strombasiert gedeckt wird. Der Block Sonstiges, der mit 14 % angegeben ist, beinhaltet neben den Kassensystemen und kleineren Verbrauchern auch die Backöfen zum Aufbacken von Tiefkühlware, wie es in Supermärkten mittlerweile Standard ist. Besteht ein Kälteverbund bei der Plus- und Minuskühlung, so wird davon ausgegangen, dass dieser deutlich effizienter ist und sich der elektrische Aufwand insgesamt halbiert.

Die Öffnungszeiten für die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Simulationen wurden einheitlich festgelegt auf 8-20 Uhr von Montag bis Freitag, 9-18 Uhr am Samstag und durchgängig geschlossen am Sonntag. Die Öffnungszeiten wurden auf Basis von Untersuchungen von Schloman et al. (2015) gewählt, wonach die Einzelhändler im Lebensmittelbereich im Schnitt eine Öffnungsdauer von ca. 11,38 Stunden zwischen Montag bis Freitag aufweisen, 8,32 Stunden am Samstag und zu 86 % am Sonntag geschlossen haben.

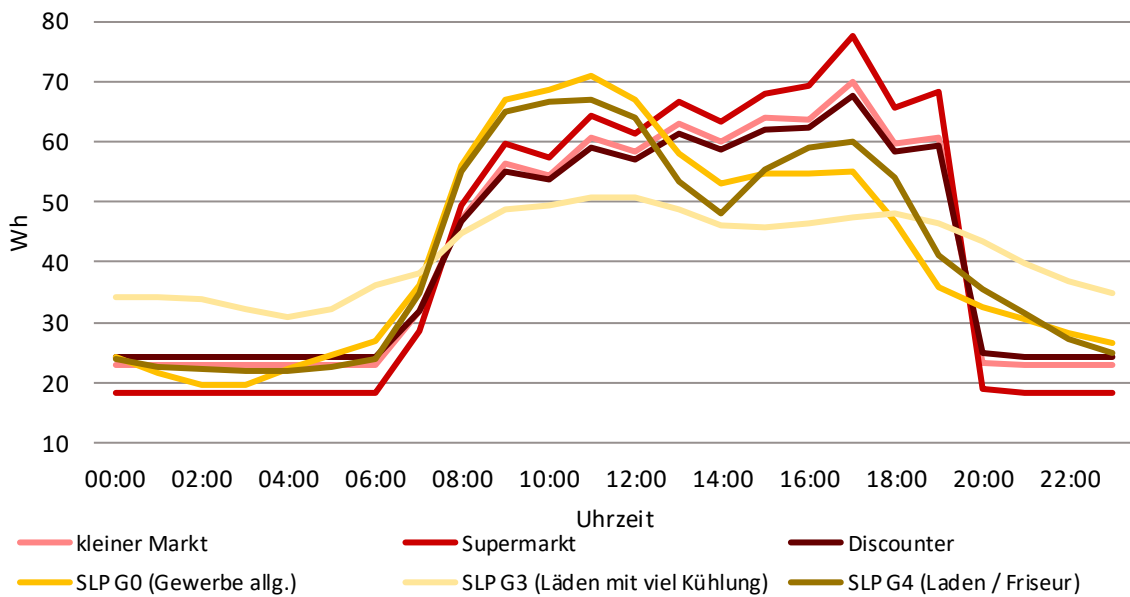


**Abb. 3.13: Verteilung der Stromverbräuche im Supermarkt**

\* Anteil der Plus-/Minuskühlung abhängig von der Größe und Betriebsform

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Atzberger et al. 2015; Öhlinger et al. 2012; Steinmaßl 2013)

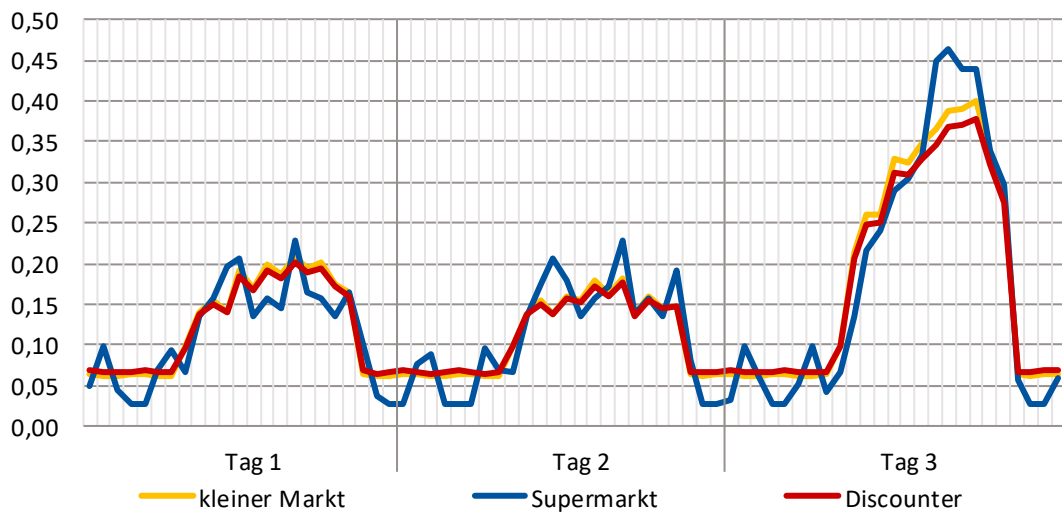
Die Ergebnisse wurden für drei unterschiedliche Typen von Lebensmitteleinzelhändlern ausgewertet: Einen kleinen Supermarkt mit 400 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche einer kleinen Backeinheit und steckerfertigen Kühlgeräten, einem größeren Supermarkt mit 1.490 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche, Backeinheiten und einem Kälteverbund bei den Kühlgeräten und einem Discounter mit einer Verkaufsfläche von 860 m<sup>2</sup>, Backeinheiten und steckerfertigen Kühlgeräten. Die Größen wurden an bestehenden Supermarktketten orientiert und nicht an den durchschnittlichen Flächen der verschiedenen Betriebsformen, um ein breiteres Spektrum abzubilden. In Abb. 3.14 sind die über ein Jahr gemittelten Lastprofile im Jahresverlauf mit Standardlastprofilen verglichen.



**Abb. 3.14: Simulierte Daten für drei Arten von Supermärkten vs. Standardlastprofile Gewerbe**

Jahresstromverbrauch normiert auf 1.000 kWh im Jahr, Quelle Standlastprofil: BDEW (2014)

Da es kein spezifisches Standardlastprofil für Gewerbe gibt, wurden die Profile G0, welches das Mittel des gesamten Gewerbes wiedergibt, das Profil G3, zutreffend für Läden mit viel Kühlung, und das Profil G4 für Läden und Friseure aufgeführt. Da die Messungen zu den Standardlastprofilen aus den Jahren 1986/87 stammen, sind hier noch recht deutlich Schließzeiten in der Mittagszeit und ein Abflachen der Last ab 18 Uhr zu sehen. Die simulierten Profile hingegen sind nicht so stark geglättet und fallen erst ab 20 Uhr ab. Insgesamt sind die simulierten Profile aber insbesondere zu G0 und G4 vergleichbar. Die Profile des kleinen Marktes und des Discounters weisen recht ähnliche Profile auf, da die größten Unterschiede hier in der Verteilung zwischen Plus- und Minuskühlung liegen (vgl. auch Abb. 3.15). Bei der effizienteren Kühlung im Falle eines Kälteverbunds verschieben sich die Lasten prozentual etwas mehr auf die Öffnungszeiten des Marktes.



**Abb. 3.15: Beispielhafter 3-Tagesverlauf der Lastgänge in drei Arten von Supermärkten**  
Eigene Darstellung

Die Darstellung der Tagesverläufe der Lastgänge in Abb. 3.15 zeigt zum einen die längeren und dadurch im stündlichen Verlauf deutlicheren Kühlzyklen im Kälteverbund. Zum anderen wird am dritten Tag in allen Fällen der Stromverbrauch von der Klimatisierung dominiert. Die grundsätzlichen Unterschiede im Lastverlauf zwischen den Betriebsformen ergeben sich vor allem durch die Geräteausstattung und die Art der Kältebereitstellung.

### 3.2.2 Bewertung von Flexibilitäten in der Simulation

Um die Flexibilitäten zu bewerten, wurden analog zum Fall der Haushalte die verschiedenen Lasten bzgl. ihrer Möglichkeiten zur zeitlichen Verschiebung bewertet und in verschiedene Kategorien zur Flexibilisierbarkeit unterteilt. In Tab. 3.5 sind die drei Kategorien und die dort verordneten Lasten beschrieben.

Für die Flexibilisierung der Verbraucher wurde einige Annahmen getroffen. Zunächst ist davon auszugehen, dass im Bereich der Beleuchtung und der Kassensysteme und EDV keine Flexibilisierung möglich ist. Die Verschiebung der Backvorgänge ist zeitlich etwas verschiebbar, jedoch wird das Potenzial hier als schwierig erreichbar eingeschätzt, da dazu aktives Handeln der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter notwendig ist und die Incentivierung höher sein muss. Zur Flexibilisierbarkeit von Lüftung, Klimatisierung und Kühlung lassen sich Werte bei Klobasa (2007). Dort wird für die Lüftung eine zu 50 % flexible Last im Zeitraum einer Stunde angegeben, für die Klimatisierung

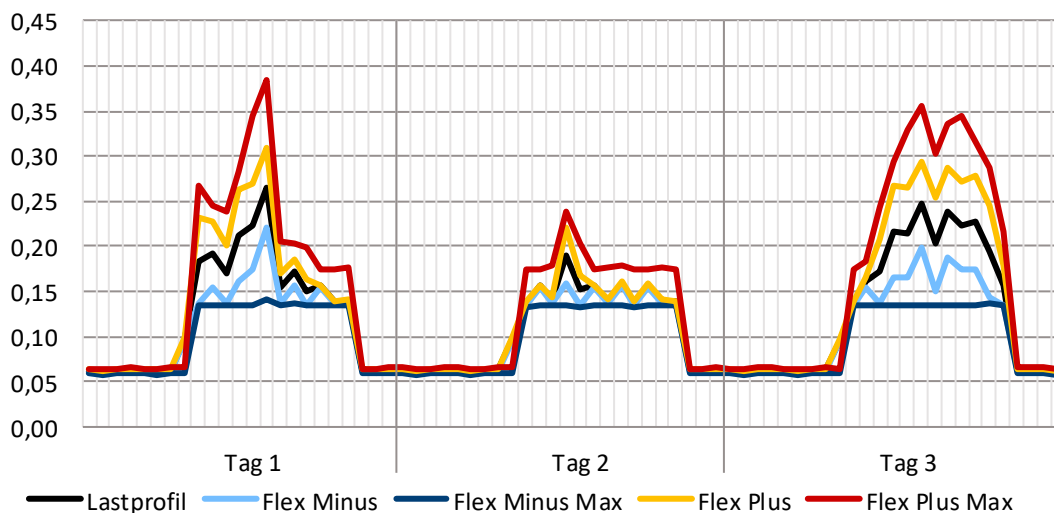
75 % in einer Stunde und für die Kühlung 63 % in einer Stunde. Diese Werte wurden als Ausgangswerte gewählt, jedoch baut die Simulation auf einer zu erreichenden Tagessumme aus und gibt nicht die Flexibilität pro Zeitschritt an. Damit reduzieren sich die in der Literatur genannten stündlichen Werte in denen sich das Lastprofil bewegen kann, um nicht einen ungewollten kumulierten Leistungsabfall bspw. in der Kühlung zu ermöglichen.

**Tab. 3.5: Unterteilung der Stromlasten im Supermarkt in Kategorien zur Flexibilisierbarkeit**

Eigene Annahmen

<b>Leicht flexibilisierbare Lasten</b> ca. 19 % der Lasten	<b>schwer flexibilisierbare Lasten</b> ca. 29 % der Lasten	<b>Nicht flexible Lasten</b> ca. 52 % der Lasten
Während der Öffnungszeiten: anteilig die Lüftung  Zeitlich unabhängig: anteilige Klimatisierung und Kühlung	Während der Öffnungszeiten: Backöfen und die Lüftung  Zeitlich unabhängig: Klimatisierung und Kühlung vollständig ausgeschöpft	Alle übrigen Lasten wie Beleuchtung (innen und außen) oder das Kassensystem, sowie Mindestlasten von Kühlung, Lüftung und Klimatisierung

Im Fall der Lüftung wurde die prozentuale Lastverschiebung daher auf einen Zeitraum von 12 Stunden im Falle der leichten Flexibilisierung und 6 Stunden im Fall der schweren Flexibilisierung aufgeteilt. Im Fall der Kühlung wurde in der leichten Flexibilisierung nur zur Hälfte und in der schweren Flexibilisierung zu 75 % ausgenutzt. Gleichzeitig wurden hier die technischen Grenzen als maximale und minimale Nebenbedingungen beibehalten indem die vorgesehenen Temperaturgrenzen um 2-4 °C nach oben und unten verschoben wurden. Bei der Klimatisierung wurde direkt eine Erhöhung oder Verringerung von 2 °C (leichte Flexibilisierung) bzw. 4 °C (schwere Flexibilisierung) von der ursprünglichen Innentemperatur simuliert und die Differenz als Flexibilität ausgewiesen. Dadurch liegt die Flexibilität unter den von Klobasa (2007) stündlichen Flexibilität von 75 %. Im Tagesverlauf kann so aber ein realistischer Wert erzielt werden.

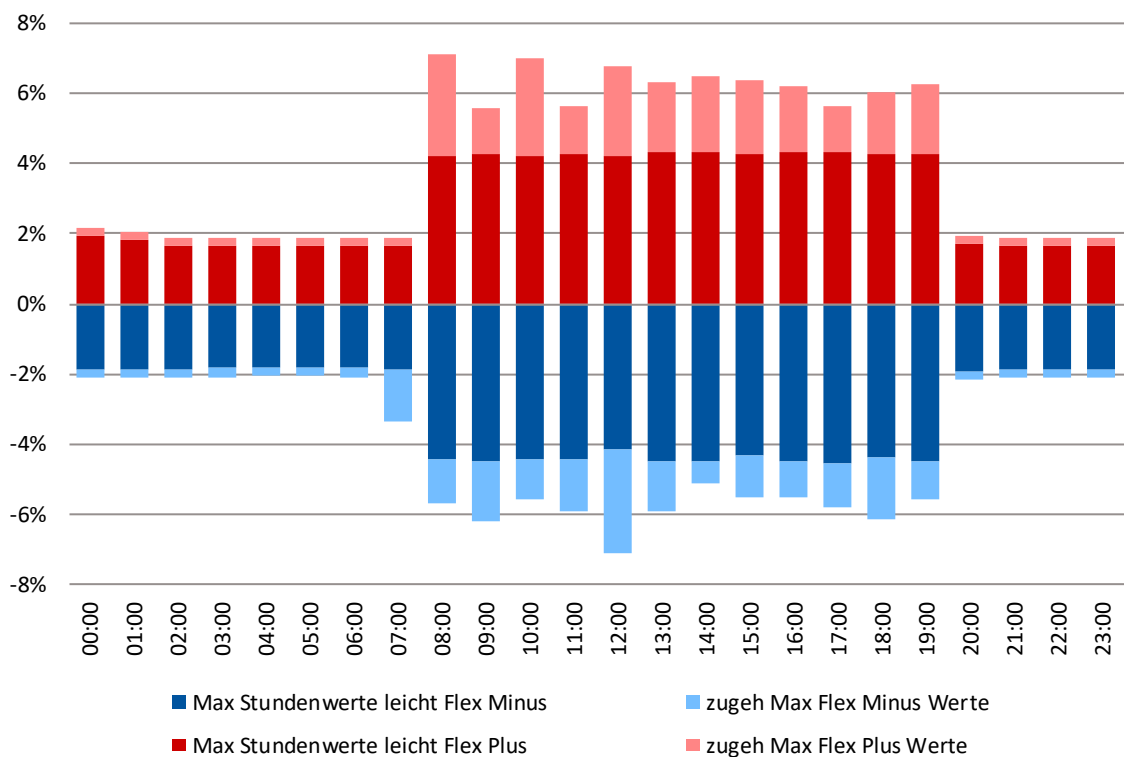


**Abb. 3.16: Beispiel für die Zusammensetzung der Lastenbänder eines kleinen Supermarktes im 3-tägigen Verlauf**

Eigene Darstellung

In Abb. 3.16 sind die aus der Simulation resultierenden Lastenbänder an drei Tagen am Beispiel eines kleinen Supermarkts dargestellt. Am dritten Tag ist hier aufgrund der Witterung eine hohe Leistung der Klimaanlage vorhanden, die sich im Fall von leichter Flexibilisierung um 2 °C und bei maximaler Flexibilisierung um 4 °C variieren lässt, und dadurch ein recht hohes Potenzial schafft. Am zweiten Tag ist kaum Klimatisierung vorhanden und es ergeben sich nur geringe Verschiebepotenziale durch die Kühlung oder die Verschiebung von Backvorgängen.

In Abb. 3.17 ist die jeweils minimal und maximal flexibilisierbare Last im Tagesverlauf dargestellt. Der Anteil der aktuellen Last die leicht flexibilisierbar wäre, liegt bei durchschnittlich 13,4 % (bezogen auf die Last der jeweiligen Stunde). Betrachtet man auch die schwer flexibilisierbaren Lasten kommt man insgesamt auf 20,9 %. Die über den Tageslauf verteilten Flexibilitäten ergeben sich dabei hauptsächlich durch die Kühlung. Während der Öffnungszeiten sind auch die Lüftung und Klimatisierung flexibilisierbar, allerdings nicht über das ganze Jahr in gleichem Maße.



**Abb. 3.17: Flexibilisierungsmöglichkeiten nach Minimalwerten / Maximalwerten der leicht flexibilisierbaren Lasten (in Prozent der Durchschnittstageslast) für einen Supermarkt mit Kälteverbund**

Eigene Berechnungen

Insgesamt weisen Supermärkte prozentual begrenzte Flexibilitäten aus, welche sich aber bspw. durch den Einsatz von Speichern in der Kühlung noch deutlich erhöhen lassen. Hier liegen auch die großen Potenziale, da fast 50 % des Stromverbrauchs im Supermarkt auf das Kühlsegment fallen. Ohne Speicher sind die Flexibilitäten jedoch stark begrenzt, da die Temperaturen gehalten werden müssen, um die Kühlkette der Lebensmittel nicht zu gefährden.

## 4 Hinweise zur Nutzung der Daten

- Der Datensatz der Haushalte umfasst alle Gemeinden der Landkreise Wittenberg, Anhalt-Bitterfeld und der Stadt Dessau-Roßlau. Er ist ausschließlich für diese gültig und nur eingeschränkt übertragbar.
- Die Zuordnung der Daten zu Gemeinden erfolgt über den amtlichen Gemeindeschlüssel der „BKG - Verwaltungsgebiete 1:250.000 – Gemeinden“. Nachzuschlagen bspw. hier: [https://openenergy-platform.org/dataedit/view/boundaries/bkg\\_vg250\\_6\\_gem](https://openenergy-platform.org/dataedit/view/boundaries/bkg_vg250_6_gem)
- Die Daten sind aggregiert und sind ausschließlich für das gegebene Aggregationslevel gültig. Aufgrund von Gleichzeitigkeitseffekten können sie bspw. nicht auf einzelne Haushalte desaggregiert werden.
- Die Lastprofile wurden auf Basis von Daten für das Jahr 2017 erstellt, lassen sich aber aufgrund der normierten Bereitstellung auf 1.000 kWh / Jahr auch auf andere Jahre übertragen.
- Die Unterschiede in den Gemeinden ergeben sich vorrangig durch die statistischen Annahmen zur Verteilung der Haushaltsgrößen. Die Gemeinden setzen sich daher aus unterschiedlichen aggregierten Haushalten zusammen.
- Die Daten setzen sich für jede Gemeinde (Haushalte) bzw. jeden Supermarkt aus fünf jährlichen Zeitreihen zusammen mit einer stündlichen Auflösung.
- Die fünf Zeitreihen sind: Eine Zeitreihe bei unverändertem Verbrauch des Haushalts / Supermarkts (Lastprofil), je eine Zeitreihe der Abweichungen nach oben und unten bei leicht zu flexibilisierenden Verbrauchern (Flex Plus / Flex Minus) und je eine Zeitreihe für die Abweichungen bei schwer zu flexibilisierenden Verbrauchern (Flex Plus Max, Flex Minus Max).
- Das tatsächlich abgerufene Verbrauchsprofil sollte ohne Flexibilisierung dem angegebenen Lastprofil entsprechen. Mit Flexibilisierung kann es sich je nach Grad der Flexibilisierung zwischen den Werten Flex Plus und Flex Minus bzw. Flex Plus Max und Flex Minus Max bewegen. Voraussetzung ist jedoch, dass der Tagesverbrauch in Summe dem Verbrauch des ursprünglichen Lastprofils entspricht, da es sich lediglich um eine Verschiebung der Lasten innerhalb des Tages handelt.
- Das Lastprofil ist in allen Fällen auf 1.000 kWh pro Jahr normiert. Die Werte der anderen Zeitreihen liegen entsprechend darunter oder darüber und müssen im Fall einer Anpassung ebenfalls skaliert werden.



## 5 Literaturverzeichnis

- 123energie Blog (2018): Stromverbrauchsrechner: Diese Geräte sind Energiefresser. *123energie Blog*. 25. Mai. Website: <http://blog.123energie.de/rechner-herd-und-fon-und-die-mathematik-des-stromverbrauchs/> (Zugriff: 26. November 2018).
- Agricola, Annegret-Cl. (2016): Smart Grid Nutzer –Treiber für die Energiewende. 29. Juni, Berlin. [https://www.innosmart-projekt.de/data/innosmart/user\\_upload/Veranstaltungen/Agricola\\_-\\_Smart\\_Grid\\_Nutzer\\_-Treiber\\_f%C3%BCr\\_die\\_Energiewende.pdf](https://www.innosmart-projekt.de/data/innosmart/user_upload/Veranstaltungen/Agricola_-_Smart_Grid_Nutzer_-Treiber_f%C3%BCr_die_Energiewende.pdf).
- Ahner, Michaela, Bernhard Fenn, Ole Hopp und Christian Jungbluth (2011): Kommunikation und Anreizsystem für Stromkunden bei Web2Energy. In: *Internationaler ETG-Kongress 2011*. Veranstaltung: Internationaler ETG-Kongress 2011, 8. November, Würzburg.
- Allerding, Florian (2014): *Organic Smart Home - Energiemanagement für Intelligente Gebäude*. Karlsruhe, Baden: KIT Scientific Publishing.
- Andreas Morawietz (2009): energie-bewusstsein.de - Infos über Energiesparen, Energieeffizienz und alternative Energiequellen. Wir fördern Bewusstsein! 23. Februar. Website: [http://www.energie-bewusstsein.de/index.php?page=thema\\_energie&p2=geraete\\_leistungen](http://www.energie-bewusstsein.de/index.php?page=thema_energie&p2=geraete_leistungen) (Zugriff: 26. November 2018).
- Atzberger, Marco, Benjamin Chini, Simone Sauerwein und Lena Stähler (2015): Energieeffizienz im Einzelhandel. Analyse des Gebäudebestands und seiner energetischen Situation. Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur (dena). Berlin: EHI Retail Institute. [https://effizienzgebäude.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9133\\_\\_Energieeffizienz\\_im\\_Einzelhandel.\\_Analyse\\_des\\_Gebäudebestands\\_und\\_seiner.pdf](https://effizienzgebäude.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9133__Energieeffizienz_im_Einzelhandel._Analyse_des_Gebäudebestands_und_seiner.pdf) (Zugriff: 15. Oktober 2019).
- BDEW [Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V.] (2014): Standardlastprofile Strom. 10. August. Website: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Standartlastprofile](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Standartlastprofile).
- BMUB [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit] (2017): Stromspiegel für Deutschland 2017. [http://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel\\_2017\\_web.pdf](http://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel_2017_web.pdf).
- BMWi (2016): Sektorkopplung & Flexibilisierung - Zusammenfassung. 21. November, Berlin. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/plattform-strommarkt-zusammenfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/plattform-strommarkt-zusammenfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Buchholz, Bernd Michael, Volker Bühner, Udo Berninger, Bernhard Fenn und Zbigniew Antoni Styczynski (2012): Intelligenter Lastmanagement - Erfahrungen aus der Praxis. In: *VDE KONGRESS 2012 Smart Grid | VDE, 2012 (Cover) Teilen und Drucken VDE VDE KONGRESS 2012 Smart Grid Intelligente Energieversorgung der Zukunft, Kongressbeiträge*. Veranstaltung: VDE KONGRESS 2012 Smart Grid, 5. November, Stuttgart.
- bulwiengesa (2017): Lebensmitteleinzelhandel in Deutschland - Marktstrukturdaten 2016. Marktstudie. München. [https://www.tlg.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen-de/pdf/2017\\_06\\_23\\_Marktstudie\\_Lebensmitteleinzelhandel\\_in\\_Deutschland\\_-\\_Marktstrukturdaten\\_2016\\_DE.pdf](https://www.tlg.de/fileadmin/user_upload/Publikationen-de/pdf/2017_06_23_Marktstudie_Lebensmitteleinzelhandel_in_Deutschland_-_Marktstrukturdaten_2016_DE.pdf) (Zugriff: 12. Dezember 2019).
- Bundesnetzagentur (2018): Mo-der-ne Mess-ein-ri-chen-gen / In-tel-li-gen-te Mess-sys-te-me. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/NetzanschlussUndMessung/SmartMetering/SmartMeter\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/NetzanschlussUndMessung/SmartMetering/SmartMeter_node.html).
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2010): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick 2025. Berlin.
- Dütschke, Elisabeth, Michael Unterländer und Martin Wietschel (2012): Variable Stromtarife aus Kundensicht - Akzeptanzstudie auf Basis einer Conjoint-Analyse. Working Paper Sustainability and Innovation. Karlsruhe.
- EDNA (2017): Flexibilitätsoptionen - die Transformation des Strommarktes stemmen. EDNA-Factsheet. Lörrach: Bundesverband Energiemarkt & Kommunikation.
- Elsner, Peter, Berit Erlach und Manfred Fishedick (2015): *Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Technologien - Szenarien - Systemzusammenhänge*. Hg. v. Peter Elsner, Manfred Fishedick, und Dirk Uwe Sauer. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München: acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
- EnBW [Energie Baden-Württemberg AG] (2018): Pilotprojekt MeRegio – das Netz der Zukunft. 2. November. <https://www.enbw.com/privatkunden/energie-und-zukunft/forschungsprojekte/energiemanagement/meregio.html>.

- EnergieAgentur.NRW (2015): Erhebung „Wo im Haushalt bleibt der Strom?“. Stromverbrauchsanteile verschiedener Anwendungsbereiche in Ein- bis Fünf-Personen-Haushalten – 2015 und 2011 im Vergleich. [https://energiertools.ea-nrw.de/\\_data-base/\\_data/datainfopool/erhebung\\_wo\\_bleibt\\_der\\_strom.pdf](https://energiertools.ea-nrw.de/_data-base/_data/datainfopool/erhebung_wo_bleibt_der_strom.pdf).
- EnergieAgentur.NRW (2016): Lastmanagement in Nordrhein-Westfalen: Potenziale, Hemmnisse, Handlungsoptionen. Aachen.
- Faruqui, Ahmad und Sanem Sergici (2010): Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments. *Journal of Regulatory Economics* 38, Nr. 2 (Oktober): 193–255.
- Frey, Hellmuth (2007): Strompreissignal an der Steckdose – effiziente Laststeuerung durch variable Tarife. 26. November, Wien.
- Frondel, Manuel, Nolan Ritter und Stephan Sommer (2015): *Diskussionspapier: Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine ökonomische Analyse*. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201607146546>.
- Frontier Economics (2014): Strommarkt in Deutschland - Gewährleistet das derzeitige Marktdesign Versorgungssicherheit? Köln.
- Ha, Long Duy, Stéphane Ploix, Eric Zamai und Mireille Jacomino (2009): Metaheuristics for the home load management system (22. Mai). [https://www.researchgate.net/profile/Long\\_Ha/publication/229014475\\_Metaheuristics\\_for\\_the\\_home\\_load\\_management\\_system/links/09e41507ea48d01278000000/Metaheuristics-for-the-home-load-management-system.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Long_Ha/publication/229014475_Metaheuristics_for_the_home_load_management_system/links/09e41507ea48d01278000000/Metaheuristics-for-the-home-load-management-system.pdf).
- Hillemacher, Lutz (2014): Lastmanagement mittels dynamischer Strompreissignale bei Haushaltskunden. Dissertation, Viersen: Karlsruhe Institute of Technology, 4. Dezember.
- Hillemacher, Lutz, Christopher Nolden, Valentin Bertsch und Wolf Fichtner (2013): Lastverlagerungspotenziale durch variable Stromtarife – Ergebnisse eines Feldtests. In: *IEWT 2013*. Veranstaltung: 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 13. Februar, Wien.
- IKW [Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V.] (2016): Zahlen zum Waschen in Deutschland 2014. November. [https://www.ikw.org/fileadmin/ikw/Haushaltspflege/Informationsserie/WM/dateien/pdf/3\\_5.pdf](https://www.ikw.org/fileadmin/ikw/Haushaltspflege/Informationsserie/WM/dateien/pdf/3_5.pdf).
- Jansen, Malte, Christoph Richts, Norman Gerhardt, Thorsten Lenck und Marie-Louise Heddrich, Hrsg. (2015): *Strommarkt-Flexibilisierung: Hemmnisse und Lösungskonzepte*. Bochum: Ponte Press.
- Kamper, Andreas (2010): *Dezentrales Lastmanagement zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen im Stromnetz*. Karlsruhe: KIT Scientific Publ.
- Karopka, Lars, Andreas Klöffel, Ingo Therburg, Roland Kopetzky, Tim Weber, Sabine Kunkel, Horst-Peter Schettler-Köhler und Andrea Vilz (2009): Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. BBSR-Online-Publikation 09/2009. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL\\_ON092009.pdf;jsessionid=8184941B938FED22F7D0C4E1BAE5FB25.live11291?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON092009.pdf;jsessionid=8184941B938FED22F7D0C4E1BAE5FB25.live11291?__blob=publicationFile&v=2).
- Kellendonk Elektronik GmbH (2018): EEBUS macht das smart Home zum Klimaschützer. 30. Oktober. <https://www.eebus.org/vision/smart-home/>.
- Klobasa, Marian (2007): Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Karlsruhe: Universität Karlsruhe.
- Krzikalla, Norbert (2013): Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien – Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energien. Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH (BET).
- Krzikalla, Norbert, Siggie Achner und Stefan Brühl (2013): Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien. Studie. Aachen: Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH (BET).
- Liebe, Andrea und Matthias Wissner (2015): Der flexible Verbraucher – Potenziale zur Lastverlagerung im Haushaltsbereich. Bad Honnef: WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH.
- Löschel, Andreas und Madeline Werthschulte (2017): Smart Energy zur Flexibilisierung und Senkung des Energieverbrauchs – Handlungsoptionen und offene Fragen. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 67, Nr. 8: 19–23.
- Nestle, David (2008): *Energiemanagement in der Niederspannungsversorgung mittels dezentraler Entscheidung: Konzept, Algorithmen, Kommunikation und Simulation*. Erneuerbare Energien und Energieeffizienz 7. Kassel: Kassel Univ. Press.
- Öhlinger, Christine, Gerhard Dell, Christiane Egger, Bettina Auinger und Roland Brandstätter (2012): Effiziente Energienutzung in Betrieben. Infomappe. Linz: O.Ö. Energiesparverband.
- PROSA [Product Sustainability Assessment] (2013): PROSA Umweltzeichen / Top 100. 2. April. Website: <http://www.prosa.org/index.php?id=413>.

- Reinhardt, Andreas, Paul Baumann, Daniel Burgstrahler, Matthias Hollick, Hristo Chonov, Marc Werner und Ralf Steinmetz (2012): On the Accuracy of Appliance Identification Based on Distributed Load Metering Data. In: *Proceedings of the 2nd IFIP Conference on Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT)*. <https://www.tracebase.org/>.
- von Roon, Serafin, Thomas Gobmaier und Malte Huck (2010a): Demand Side Management in Haushalten. Analyse des praktischen Potenzials zur Bereitstellung von Reserveleistung bis 2020. Beitrag im Tagungsband des 11. Symposiums Energieinnovation. Graz: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. [https://www.ffe.de/download/Veroeffentlichungen/2010\\_vRoon\\_Gobmaier\\_Huck\\_Graz.pdf](https://www.ffe.de/download/Veroeffentlichungen/2010_vRoon_Gobmaier_Huck_Graz.pdf).
- von Roon, Serafin, Thomas Gobmaier und Malte Huck (2010b): Demand Side Management in Haushalten. Methoden zur Potenzialanalyse und Kostenabschätzung. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
- Sattler, Michael, Tobias Strittmatter und Andreas Weber (2011): Lokales Lastmanagement für den Haushalt. Elektrische Verbraucher intelligent schalten. *Bulletin VSE/AES (Electrosuisse und Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen)* 102, Nr. 12s: 32–35.
- Schlomann, Barbara, Edelgard Gruber, Wolfgang Eichhammer, Nicola Kling, Jochen Diekmann, Hans-Joachim Ziesing, Heilwig Rieke, Franz Wittke, Till Herzog, Mario Barbosa, et al. (2004): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Karlsruhe Berlin, Nürnberg, Leipzig, München: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), GfK Panel Services Consumer Research GmbH, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München (TUM).
- Schlomann, Barbara, Katharina Wohlfarth, Heinrich Kleeberger, Lukas Hardi, Bernd Geiger, Antje Pich, Edelgard Gruber, Andreas Gerspacher, Edith Holländer und Annette Roser (2015): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013. Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Anschlussauftrag des Forschungsvorhabens 53/09. Karlsruhe, München, Nürnberg: Fraunhofer ISI, TU München, GfK Retail and Technology, IREES GmbH. [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2015/Schlussbericht-GHD\\_2006-2013\\_Februar2015.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2015/Schlussbericht-GHD_2006-2013_Februar2015.pdf) (Zugriff: 1. März 2019).
- Scholz, Ronny (2016): Vergleich des Einflusses von Lastmanagement-Maßnahmen und Batteriespeichersystemen auf die photovoltaische Eigenversorgung von Wohngebäuden. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 28. April.
- Scholz, Yvonne, Hans Christian Gils, Thomas Pregger, Dominik Heide, Felix Cebulla, Karl-Kiên Cao, Denis Hess und Frieder Borggrefe (2014): Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiepseicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung. Stuttgart: DLR.
- Statistisches Bundesamt (2018): Ausstattung privater Haushalte mit elektrischen Haushalts- und sonstigen Geräten - Deutschland. [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabellen/Haushaltsgeraete\\_D.html](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabellen/Haushaltsgeraete_D.html).
- Steinmaßl, Jürgen (2013): Steckerfertige Kühlmöbel im LEH. Bestand - Strombedarf - Einsparpotenziale. Basisstudie. Taching am See / Garching an der Alz: Dr. Steinmaßl Managementberatung. [https://steinmaszl.com/studie-1/download-file?path=steinmaszl\\_studie\\_na.pdf](https://steinmaszl.com/studie-1/download-file?path=steinmaszl_studie_na.pdf) (Zugriff: 15. Oktober 2019).
- Steurer, Martin (2017): Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Styczynski, Zbigniew A. und Dirk Uwe Sauer (2015): Demand-Side-Management im Strommarkt. Technologiesteckbrief zur Analyse „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“. Berlin.
- Verbraucherzentrale Bundesverband (2015): Akzeptanz von variablen Stromtarifen. Ergebnisse einer qualitativen Vorstufe und einer bevölkerungs-repräsentativen Umfrage.
- Wedler, Michael und Kurt Nadeje (2013): Lastverschiebungspotenziale in kleinen und mittleren Unternehmen und Erfolgsfaktoren zur Hebung der Potenziale. Juli, Graz. [https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/Events/Eninnov2014/files/pr/PR\\_Wedler.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/pr/PR_Wedler.pdf).
- Wesselak, Viktor und Thomas Schabbach (2013): *Regenerative Energietechnik*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Wilke, Sibylle (2018): Bevölkerungsentwicklung und Struktur privater Haushalte. Text. *Umweltbundesamt*. 19. Juli. Website: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/strukturdaten-privater-haushalte/bevoelkerungsentwicklung-struktur-privater> (Zugriff: 26. Oktober 2018).

**GESCHÄFTSSTELLE BERLIN**

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

**BÜRO HEIDELBERG**

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

Fax: + 49 – 6221 – 270 60

[mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)