

# SCHRIFTENREIHE ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT

*Materialien*

*November 2015*

## **Demand-Side-Management im Strommarkt**

Technologiesteckbrief zur Analyse  
„Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“

Zbigniew A. Styczynski | Dirk Uwe Sauer (Hrsg.)

„Energiesysteme der Zukunft“ ist ein Projekt von:

**Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina**  
**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften**  
**Union der deutschen Akademien der Wissenschaften**

## Impressum

### Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Zbigniew A. Styczynski  
Institut für Elektrische Energiesysteme, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
E-Mail: sty@ovgu.de

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer  
Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen  
Jägerstr. 17/19  
52066 Aachen  
E-Mail: sr@isea.rwth-aachen.de

### Reihenherausgeber

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung)  
Residenz München, Hofgartenstraße 2, 80539 München | [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale) | [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org)

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2, 55131 Mainz | [www.akademienunion.de](http://www.akademienunion.de)

### Koordinierungsstelle

Dr. Ulrich Glotzbach  
Leiter der Koordinierungsstelle Energiesysteme der Zukunft  
Pariser Platz 4a, 10117 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 206 79 57 - 32  
E-Mail: [glotzbach@acatech.de](mailto:glotzbach@acatech.de)

### Koordination / Redaktion

Dr. Berit Erlach, acatech  
Benedikt Lunz, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen  
Dr. Matthias Merzkirch, Karlsruher Institut für Technologie

### Gestaltung und Satz

Annett Eichstaedt, Karlsruhe  
[unicommunication.de](http://unicommunication.de), Berlin

### Das Akademienprojekt

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ erarbeitet Stellungnahmen und Analysen zur Gestaltung der Energiewende. Stellungnahmen enthalten Handlungsoptionen für die Transformation des Energiesystems und werden nach externer Begutachtung vom Kuratorium des Akademienprojekts verabschiedet. Analysen sind Ergebnisberichte von Arbeitsgruppen. Die inhaltliche Verantwortung für Analysen liegt bei den Autoren. Sofern eine Analyse Bewertungen enthält, geben diese die persönliche Meinung der Autoren wieder.



**Leopoldina**  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften



## Inhalt

Inhalt .....	3
Abkürzungen .....	4
Einheiten .....	5
Methodik und Arbeitsweise.....	6
<b>1 Potenzialabschätzung DSM Haushaltsgeräte.....</b>	<b>8</b>
1.1 Erläuterung zur Methodik .....	8
1.2 Technische und ökonomische Daten .....	10
1.2.1 Einzelgeräte nach heutigem Stand .....	11
1.2.2 Zukünftige DSM-Technologien.....	23
1.2.3 Aggregierte Darstellung .....	24
1.3 Interdisziplinäre Beurteilung.....	26
<b>2 Potenzialabschätzung DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen .....</b>	<b>26</b>
2.1 Erläuterung zur Methodik .....	26
2.2 Technische und ökonomische Daten .....	28
2.2.1 Einzelgeräte.....	28
2.2.2 Aggregierte Darstellung .....	37
2.3 Interdisziplinäre Beurteilung.....	37
<b>3 Potenzialabschätzung DSM Industrie.....</b>	<b>38</b>
3.1 Erläuterung zur Methodik .....	38
3.2 Technische und ökonomische Daten .....	38
3.3 Interdisziplinäre Beurteilung.....	39
Literatur.....	41
Über das Akademienprojekt .....	43

## Abkürzungen

<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DSM</b>	Demand-Side Management <sup>1</sup>
<b>DSR</b>	Demand-Side Response <sup>2</sup>
<b>DSI</b>	Demand-Side Integration <sup>3</sup>
<b>GHD</b>	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
<b>GS</b>	Gefrierschrank
<b>KK</b>	Klimakälte (Raum- und Gebäudeklimatisierung)
<b>KS</b>	Kühlschrank
<b>ME</b>	Mechanische Energie (Pumpen, Lüftungen, elektrische Maschinen allgemein, Druckluftanlagen/Kompressoren und ähnliche Geräte)
<b>NZR</b>	Nutzungszeitraum
<b>PK</b>	Prozesskälte (Kühlhäuser, höchster Anteil: Kühlaggregate in Supermärkten)
<b>PW</b>	Prozesswärme (elektrische Warmwasseraufbereitung, Öfen, Bereitstellung elektrischer Prozessenergie)
<b>RH</b>	Raumheizung (elektrische Wärmeenergie für Heizzwecke)
<b>RK</b>	Raumklimatisierung
<b>UP</b>	Umwälzpumpe für Heizungsanlagen
<b>WT</b>	Wäschetrockner
<b>WW</b>	Warmwasseraufbereitung (elektrisch)

<sup>1</sup> DSM umfasst die direkte Beeinflussung des Energieverbrauchs auf der Verbraucherseite. Dabei kann der Energieverbrauch zu einem bestimmten Zeitpunkt erhöht oder reduziert werden. VDE/ETG 2012.

<sup>2</sup> DSR umfasst die Reaktion des Verbrauchers auf ein Anreizsignal, welches meist monetärer Art ist, sprich ein zeitabhängiger Tarif. VDE/ETG 2012.

<sup>3</sup> DSI bezeichnet den übergeordneten Gesamtbegriff und setzt sich aus Demand-Side Management und Demand-Side Response zusammen. VDE/ETG 2012.

## Einheiten

<b>a</b>	Jahr
<b>€</b>	Euro
<b>GW</b>	Gigawatt (1 GW=10 <sup>9</sup> W)
<b>°C</b>	Grad Celsius
<b>h</b>	Stunde
<b>kW</b>	Kilowatt (1 kW=10 <sup>3</sup> W)
<b>m</b>	Meter
<b>m<sup>2</sup></b>	Quadratmeter
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubikmeter
<b>MW</b>	Megawatt (1 MW=10 <sup>6</sup> W)
<b>TW</b>	Terawatt (1 TW=10 <sup>12</sup> W)

## Methodik und Arbeitsweise

Dieser Steckbrief entstand im Rahmen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Flexibilitätskonzepte des Akademienprojektes Energiesysteme der Zukunft (ESYS). Er dokumentiert die Ergebnisse der Fachgruppe Demand-Side-Management Strommarkt.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Flexibilitätskonzepte hat analysiert, wie die Stromversorgung im Jahr 2050 mit einer CO<sub>2</sub>-Einsparung gegenüber 1990 von 80 bis 100 Prozent gestaltet werden könnte. Dabei lag der Fokus darauf, wie die Versorgungssicherheit in der Stromversorgung bei einem wachsenden Anteil volatil einspeisender erneuerbarer Energien sichergestellt werden kann. Für verschiedene Szenarien wurde untersucht, wie die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik sinnvoll durch sogenannte Flexibilitätstechnologien – flexible Stromerzeuger, Demand-Side-Management, Speicher und Netzausbau – ergänzt werden kann. Hierbei war es das Ziel, sämtliche Möglichkeiten zur Bereitstellung von Flexibilität zu erfassen und zu charakterisieren, um deren Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlich ausgeprägten Stromsystemen im Jahr 2050 zu identifizieren.

Um eine valide und aussagekräftige Datenbasis zu erhalten, wurde ein breiter Konsultationsprozess mit Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft durchgeführt. In zehn Fachgruppen wurden die verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von Flexibilität analysiert und einer einheitlichen interdisziplinären Bewertung unterzogen.

Die Fachgruppen bearbeiteten folgende Themenkomplexe:

- Windkraftanlagen
- Photovoltaik
- Bioenergie
- Solarthermische Kraftwerke
- Geothermische Kraftwerke
- Konventionelle Kraftwerke
- Energiespeicher
- Demand-Side-Management im Strommarkt
- Demand-Side-Management im Wärmemarkt
- Stromnetze

Der Stand der Technik und die Entwicklungspotenziale für die Zeithorizonte 2023 und 2050 sowie der Forschungs- und Entwicklungsbedarf wurden soweit wie möglich erfasst. Als Basis für die Modellrechnungen, die für die anschließende Analyse *Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge*<sup>4</sup> durchgeführt wurden, wurden Technologieparameter wie zum Beispiel Kostendaten und Wirkungsgrade geschätzt. Außerdem wurden Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, der Materialverfügbarkeit und relevante Aspekte des Energiewirtschaftsrechts sowie des Bau- und Emissionsschutzrechts zur Umsetzung der verschiedenen Technologien diskutiert und mithilfe einer Ampelsystematik bewertet. Das Bewertungsschema ist in Tabelle 1

---

<sup>4</sup> Elsner et al. 2015.

dargestellt. Die Ergebnisse der interdisziplinären Bewertung wurden als Diskussionsgrundlage verwendet, um die Parametersätze für die Modellrechnungen zu definieren.

	Materialverfügbarkeit	Gesellschaftliche Akzeptanz	Energiewirtschaftsrecht inkl. Regulierung	Bau-, Umwelt- und Immissionsschutzrecht	Technologie
	Verfügbarkeit so hoch, dass Einsatz nicht limitiert ist. Keine Maßnahmen zur Sicherung der Ressourcen erforderlich	Hohe Akzeptanz: Weder lokal noch national sind Einwände zu erwarten	Kein Handlungsbedarf, entwickelt sich im bestehenden Rechtsrahmen gut	Keine Konflikte erkennbar	Die Technologie ist bereits heute weit entwickelt und großtechnisch einsetzbar. Es besteht ausreichend Betriebserfahrung.
	Verfügbarkeit vorhanden, aber Maßnahmen zur langfristigen Sicherung erforderlich (zum Beispiel kontinuierliche Innovationsanstrengungen wie Exploration, Verbesserungen der Akzeptanz, politische Maßnahmen)	Generell hohe Akzeptanz: Geringe Einflussfaktoren sind möglich, die bei der Umsetzung der Technik Beachtung finden sollten.	Probleme durch leichte Anpassung des bestehenden Rechts möglich (Verordnungen)	Probleme durch leichte Anpassung des bestehenden Rechts möglich (Verordnungen)	Die Technologie ist weit entwickelt. Mehrjährige erfolgreiche Betriebserfahrung mit Demonstrationsanlagen unter realistischen Bedingungen
	Unter bestimmten Umständen könnte die Verfügbarkeit kritisch werden, erhebliche Maßnahmen zur Sicherung der Ressourcen erforderlich. Recycling jenseits des Energieoptimums notwendig	Akzeptanz regional/lokal fraglich. Umfangreiche Aufklärung erforderlich. Verantwortliche müssen Akzeptanzprobleme beachten	Umfangreiche Änderungen und neue Gesetze notwendig	Umfangreiche Änderungen und neue Gesetze ohne Absenkung von Standards notwendig	Keine Erfahrung mit großtechnischen Anlagen, Erhebliche F&E-Anstrengungen sind bis zur großtechnischen Umsetzbarkeit erforderlich
	Verfügbarkeit kritisch, so dass Alternativtechnologien in Erwägung gezogen werden müssen, wenn es nicht gelingt, die Verfügbarkeit erheblich zu verbessern	Akzeptanz gering. Um Technik in relevantem Umfang einzusetzen, sollte Bevölkerung in Entscheidungsfindungsprozess eingebunden werden	Umfangreiche Änderungen erforderlich, die möglicherweise nicht umsetzbar sind	Umsetzung der Technologie bei umfassender Überarbeitung des Bau-, Umwelt- oder Immissionsschutzrechts in Europa möglich, Absenkungen von Standards notwendig	Technologie in frühem Entwicklungsstadium. Auch mit größeren F&E-Anstrengungen ist die großtechnische Umsetzbarkeit 2050 ungewiss
	Verfügbarkeit so gering, dass Technologie nicht in relevantem Umfang einsetzbar ist	In Deutschland nicht (mehr) durchsetzbar	Für einen Betrieb der Technologie notwendiger Rechtsrahmen aus heutiger Sicht nicht möglich oder sinnvoll	Für einen Betrieb der Technologie notwendige Veränderungen des Rechtsrahmens aus heutiger Sicht nicht möglich	Großtechnische Umsetzbarkeit bis 2050 unwahrscheinlich

**Tabelle 1: Bewertungsschema für die interdisziplinäre Betrachtung jenseits der technisch-ökonomischen Bewertung in einem Ampelschema mit fünf Abstufungen von grün bis rot<sup>5</sup>**

Die gleichnamigen *Steckbriefe* stellen das Ergebnis der Datenerhebung und Technologiebewertung durch die Fachgruppen von Mai bis November 2014 dar. Im Rahmen einer dreitägigen Klausurtagung vom 02. bis 04. Dezember 2014, an der die Leiter der Fachgruppen teilnahmen, wurden die Ergebnisse der Fachgruppen vorgestellt und diskutiert. Darauf basierend wurde der Satz an Flexibilitätstechnologien, die in den Modellrechnungen berücksichtigt werden, ausgewählt und die Modellierungsannahmen (zum Beispiel Wirkungsgrade, Kosten) wurden festgelegt. Im Sinne der Konsistenz wurde dabei für die Modellrechnungen teilweise von den in den Steckbriefen dargestellten Zahlenwerten abgewichen. Der vollständige Satz an Modellierungsparametern ist im Anhang der Analyse<sup>6</sup> dokumentiert.

Die Steckbriefe stellen eine von Expertinnen und Experten erstellte Datensammlung für Technologien im Energiesystem dar. Diese richtet sich unter anderem an Energiesystem-Modellierer, denen sie als Grundlage für die Darstellung verschiedener Technologien im Modell dienen kann. Außerdem stellen

<sup>5</sup> Auch bei hoher Materialverfügbarkeit (dunkelgrün, hellgrün) ist das Recycling von Metallen sinnvoll, da es energetisch günstiger ist als die Primärgewinnung, außer wenn die Metalle in höchst komplexen Materialien mit anderen Metallen vermischt sind. Bei schlechterer Verfügbarkeit (gelb, orange) ist Recycling auch bei niedrigen Konzentrationen und komplexer Vermischung sinnvoll (vgl. Wellmer/Herzig 2016).

<sup>6</sup> Elsner et al. 2015.

sie dem Fachpublikum Hintergrundinformationen zur Herleitung der Parameter für die in der Ad-hoc-Gruppe durchgeführten Modellrechnungen zur Verfügung, um diese nachvollziehbar zu machen.<sup>7</sup>

## 1 Potenzialabschätzung DSM Haushaltsgeräte

### 1.1 Erläuterung zur Methodik

#### **Wahl der Technologien**

Die Technologiewahl orientiert sich an den üblichen elektrischen Geräten, die im Haushalt verwendet werden. Ausgeschlossen sind Verbraucher mit vergleichsweise geringer Leistung, Geräte, deren Leistung nicht verschoben werden kann (Power On Demand), und Geräte, deren typisches Lastprofil nicht unmittelbar für Demand-Side Management (DSM) geeignet ist, darunter auch Waschmaschinen und Geschirrspüler. Bei letzteren wird die Maximalleistung nicht direkt zu Beginn des Einschaltprozesses abgerufen.

Es wurden folgenden Geräte betrachtet:

- KS – Kühlschrank
- GS – Gefrierschrank
- WT – Wäschetrockner
- RK – Raumklimatisierung
- UP – Umwälzpumpe für Heizungsanlagen
- WW – Warmwasseraufbereitung (elektrisch)

#### **Ermittlung der durchschnittlichen Leistungen**

Mit Bezug auf die individuellen Lastprofile der verschiedenen Geräte konnten die DSM-Kennwerte für jede Technologie gebildet werden. Je nach Technologie wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

- KS/GS: Durchdringung, durchschnittliche Anschlussleistung, typisches Lastprofil
- WT: Durchdringung, Jahresenergiemenge, typisches Lastprofil
- RK: Jahresenergiemenge, Volllaststunden beziehungsweise typisches Lastprofil
- UP: Jahresenergiemenge, Volllaststunden beziehungsweise typisches Lastprofil
- WW: Durchschnittliche Leistung je Haushalt, Jahresenergiemenge

#### **Berechnung des realisierbaren DSM-Potenzials**

Zunächst wurden die durchschnittlichen Leistungen mit dem theoretischen DSM-Potenzial (positiv) gleichgesetzt. Die Differenz zwischen gesamter installierter Leistung und durchschnittlichem Verbrauch wurde als negatives theoretisches DSM-Potenzial deklariert. Diese Potenziale wurden im

---

<sup>7</sup> Damit möchte die Arbeitsgruppe die verwendete Datengrundlage transparent machen – im Sinne der im Projekt ESYS definierten Anforderungen an Energiesystemmodelle für die wissenschaftliche Politikberatung (vgl. Leopoldina/acatech/Akademienunion 2015).



nächsten Schritt mit zwei Faktoren (jeweils zwischen 0 und 1) multipliziert, deren Wahl im folgenden Abschnitt begründet wird.

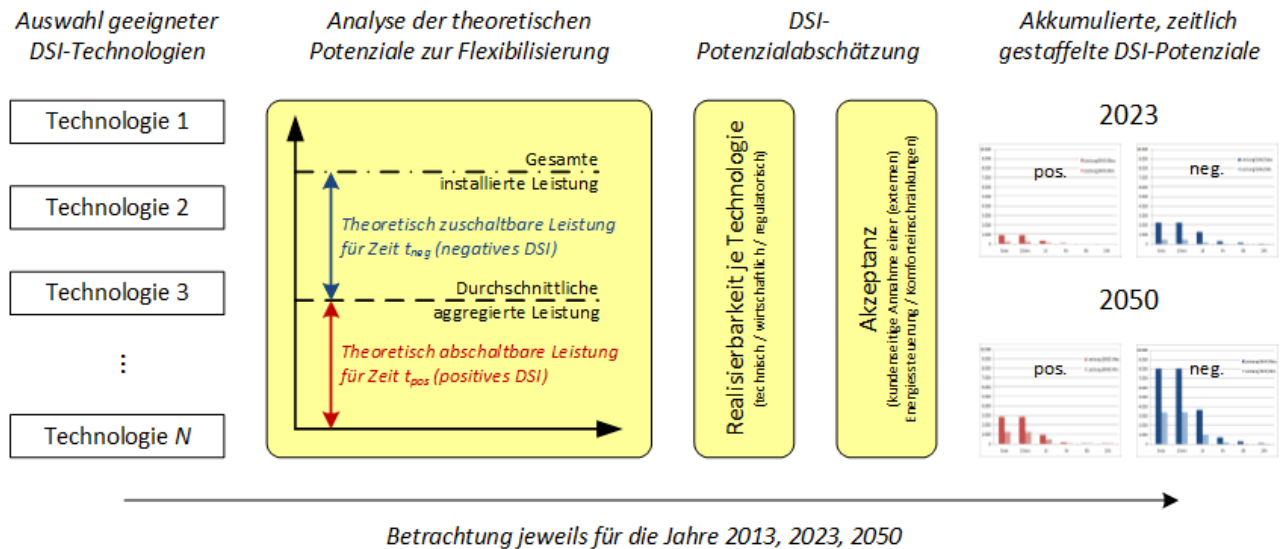


Abbildung 1: Darstellung des methodischen Vorgehens<sup>8</sup>

**Wahl der Realisierbarkeitsfaktoren**

Der Realisierbarkeitsfaktor berücksichtigt praktische (darunter auch wirtschaftliche) Einschränkungen bei der Implementierung. Beispielsweise sind nicht alle Anlagen einer Technologie für DSM geeignet. Diesbezüglich wird ebenfalls die erwartete Durchdringung mit DSM-fähigen Technologien in 2023 und 2050 mit einbezogen. Es wurde pauschal angenommen, dass die Realisierbarkeit im Jahre 2023 bei 10 bis 20 Prozent aller Anlagen gegeben ist. Dieser Wert erhöht sich bis 2050 auf 40 bis 60 Prozent. Eine Ausnahme bildet die Warmwasseraufbereitung. Da es hier weitere Einschränkungen in der technischen Nutzung gibt (zum Beispiel ist nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Warmwasseraufbereitungsanlagen realistisch DSM-geeignet), wurde der Wert hier mit 5 bis 10 Prozent für 2023 beziehungsweise 10 bis 20 Prozent für 2050 angesetzt.

**Wahl der Akzeptanzfaktoren**

Die Akzeptanzfaktoren beschreiben das kundenseitige Einverständnis mit einer externen Steuerung ihrer jeweiligen Haushaltsgeräte. Da es hier aufgrund vielfältiger Einflüsse (von genereller Skepsis gegenüber Zugriffen auf haushaltsbezogene Daten bis hin zu Geschäftsmodellen und damit verbunden dem Einbezug und der aktiven Mitwirkung der Kunden) nicht möglich ist, das Verhalten der Akteure verlässlich einzuschätzen, wurden pauschale Annahmen zur kundenseitigen Akzeptanz getroffen. Es wurde angenommen, dass im Jahre 2023 nur zwischen 50 und 70 Prozent der Haushalte DSM überhaupt zulassen. Für 2050 wurde eine Steigerung auf 80 Prozent angesetzt. Der Akzeptanzfaktor steht in direkter Korrelation mit dem Realisierbarkeitsfaktor, da insbesondere wirtschaftliche Einflüsse das Kundenverhalten stark mitbestimmen.

<sup>8</sup> Thomas Aundrup, eigene Darstellung.

**Zuordnung der diskreten Bereitstellungszeiträume (5 min/15 min/1 h/4 h/8 h/24 h)**

Die Bereitstellungszeiträume für die DSM-Potenziale, das heißt die jeweiligen Verschiebezeiten, wurden ausgehend von den praktischen Möglichkeiten technologiebezogen analysiert und festgelegt. Als wichtigstes Kriterium wurde das typische Lastprofil des entsprechenden Gerätes hinzugezogen. Es ist zu erwähnen, dass mit dem Ziel einer ganzheitlichen Analyse der DSM-Potenziale verschiedener Technologien die Berücksichtigung des typischen Nutzungszeitraums (NZR) bei diesen Berechnungen nicht stattfindet. Es wird also angenommen, dass alle Technologien zu jedem Zeitpunkt für positive/negative DSM-Leistung entsprechend den Berechnungen verfügbar sind. Die zugeordneten Verschiebedauern wurden anschließend individuell (nach praktischer Plausibilität und Realisierbarkeit) unter Beibehaltung der verschiebbaren Energiemenge auch für längere Verschiebezeiten hochgerechnet (zum Beispiel 4 MW für 1 h entsprechen 1 MW für 4 h).

**Kostenbetrachtungen**

Bis zum Jahr 2050 wird mit der Installation einer zentralen Steuerungsbox im Haushalt gerechnet. Diese ist in der Lage, alle anderen Geräte über definierte Standardschnittstellen entsprechend externer Vorgaben (DSM-Anforderungen) zu steuern. Die Investitionskosten dieser werden deshalb mit circa 50 Euro pro Haushalt angesetzt. Bei einer durchschnittlichen Anschlussleistung von 2 kW je Haushalt ergeben sich 25 €/kW. Die fixen Betriebskosten werden mit 15 €/(kW a) veranschlagt.

**Effizienzbetrachtungen**

Die eingesetzten DSM-Mechanismen werden pauschal mit einem Wirkungsgrad von 90 Prozent angenommen. Dieser beinhaltet jegliche Verluste aufgrund von Verschiebungs- und Verringerungsaktivitäten beim Lastprofil.

## 1.2 Technische und ökonomische Daten

Bei der Abschätzung des technischen Potenzials für DSM ist zu beachten, dass noch keine Erfahrung mit Steuerung vieler Einzelgeräte in Haushalten in großem Umfang vorhanden ist. Auch mit der Steuerung von Elektrofahrzeug- und PV-Batterien liegen noch keine umfangreichen Erfahrungen vor. Die Potenzialschätzungen sind daher mit einer relativ hohen Unsicherheit behaftet.

Ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung von DSM im Haushaltssektor sind die ökonomischen Anreize. Die dargestellten Potenziale für die Jahre 2023 und 2050 sind unter der Prämisse einer günstigen Entwicklung von wirtschaftlichen, regulatorischen und technischen Bedingungen ermittelt worden, die den kleinen und dezentralen Leistungs- und Energiewerten (im Vergleich zu gewerblichen und industriellen Anwendungen) sehr positiv angerechnet werden.

### 1.2.1 Einzelgeräte nach heutigem Stand

Zeit	Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv)		Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ)	
	Leistung in MW		Leistung in MW	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
5 min	222	916	424	2.256
15 min	222	916	424	2.256
1 h	91	328	168	1.283
4 h	18	59	33	296
8 h	6	16	10	120
24 h	2	5	3	40

Tabelle 2: Durchschnittliche DSM-Potenziale von Haushaltsgeräten für 2023

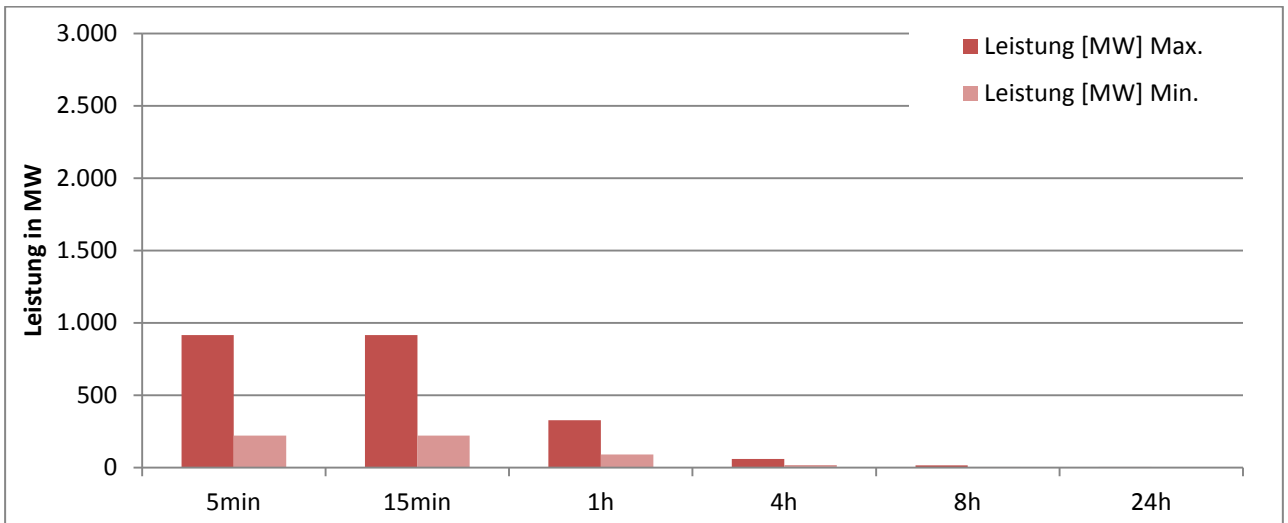


Abbildung 2: Durchschnittliches positives DSM-Potenzial von Haushaltsgeräten für 2023

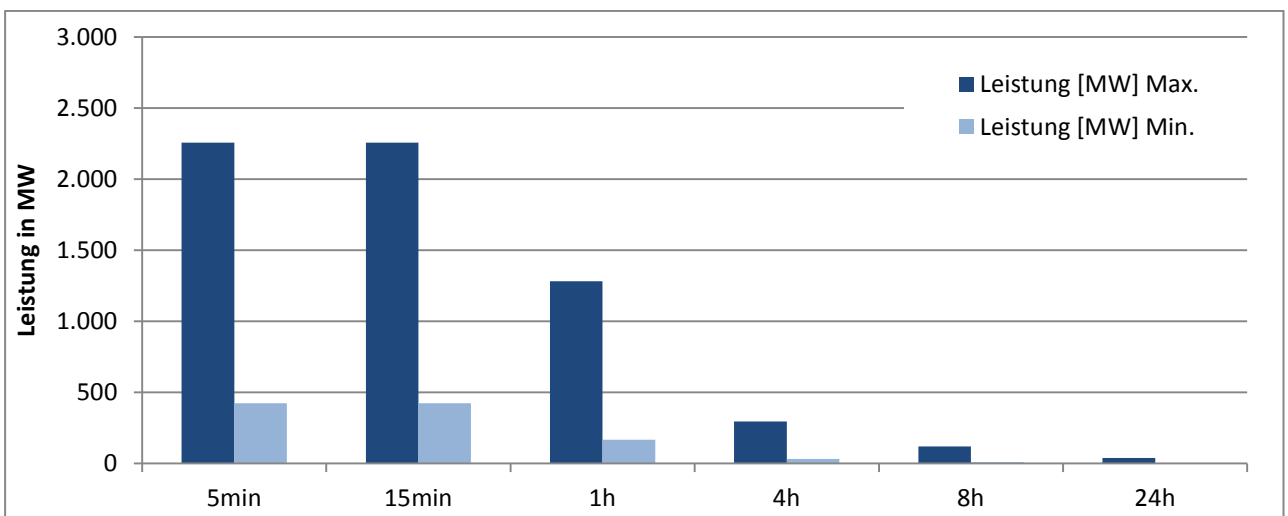


Abbildung 3: Durchschnittliches negatives DSM-Potenzial von Haushaltsgeräten für 2023

Zeit	Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv)		Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ)	
	Leistung in MW		Leistung in MW	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
5 min	1.277	2.849	3.338	7.995
15 min	1.277	2.849	3.338	7.995
1 h	432	938	1.033	3.643
4 h	76	145	148	697
8 h	19	38	33	274
24 h	6	13	11	91

Tabelle 3: Durchschnittliche DSM-Potenziale von Haushaltsgeräten für 2050

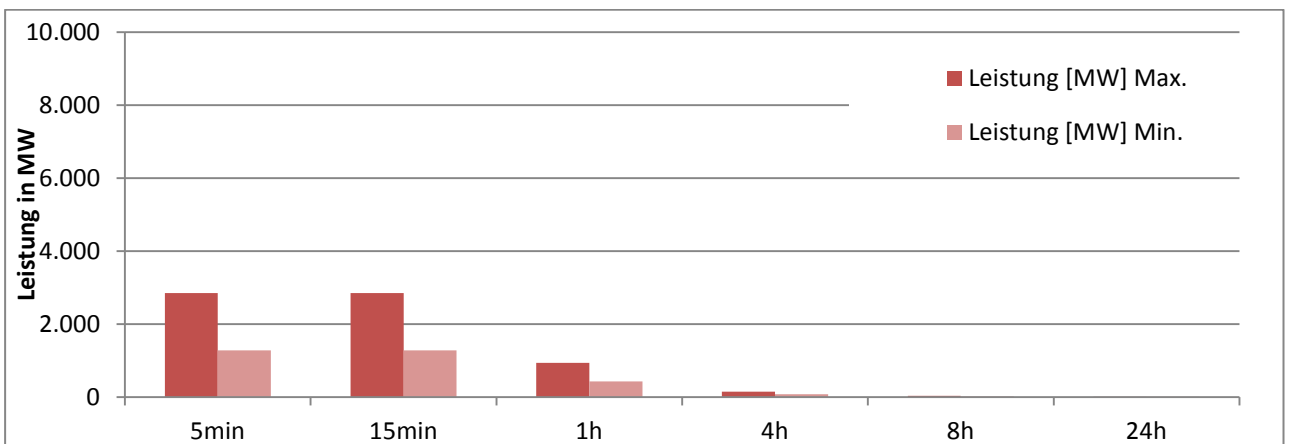


Abbildung 4: Durchschnittliches positives DSM-Potenzial von Haushaltsgeräten für 2050

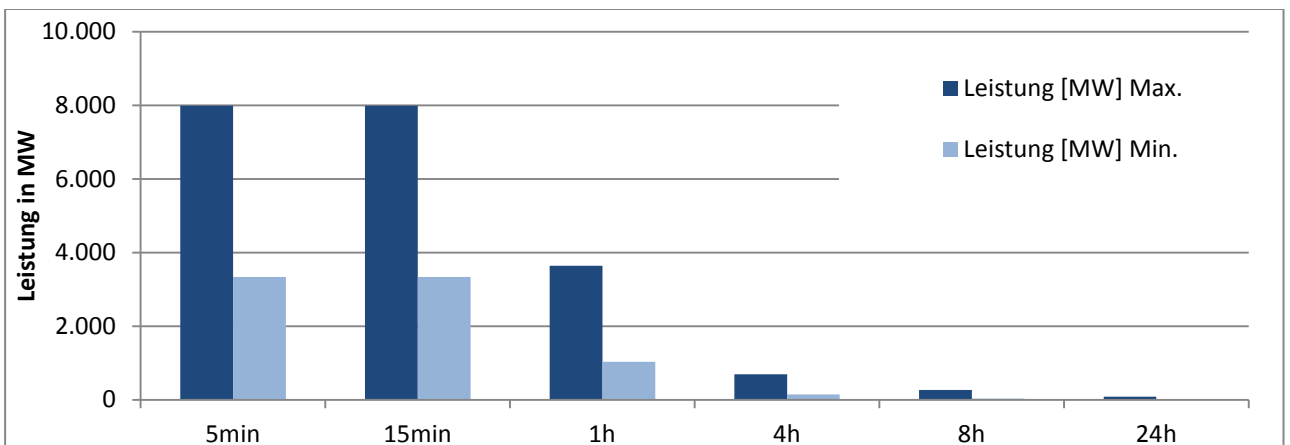


Abbildung 5: Durchschnittliches negatives DSM-Potenzial von Haushaltsgeräten für 2050

Kühlschrank	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung und Nutzung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland <sup>9</sup>	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
Nutzungszeitraum	kontinuierlich					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Maximale Leistung je Einheit in kW <sup>10</sup>	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Volllaststunden pro Jahr in h	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920
Verschiebbare Zeit in h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	4.000	9.600	4.100	4.920	4.100	4.920
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	1.333	3.200	1.367	1.640	1.367	1.640
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	1.333	3.200	1.367	1.640	1.367	1.640
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	2.667	6.400	2.733	3.280	2.733	3.280
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	68	230	437	787
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	137	459	875	1.574
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung)	0	0	17	57	109	197

<sup>9</sup> Statistische Ämter des Bundes und des Landes 2011.

<sup>10</sup> Stromverbrauchinfo 2015-1.

Kühlschrank	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
in MW h						
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	34	115	219	394
Häufigkeit je Tag in 1/d	12	24	12	24	12	24
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Maximale positive Leistung in MW		1.500				
Maximale negative Leistung in MW		4.240				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		554				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		1.368				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 4: Potenzialabschätzung für Kühlschrank<sup>12</sup>

Gefrierschrank	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung und Nutzung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
Nutzungszeitraum	kontinuierlich		kontinuierlich		kontinuierlich	
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Maximale Leistung je	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10

<sup>11</sup> Stamminger 2008; VDE/ETG 2012.

<sup>12</sup> DENA 2010; Stamminger 2008; Stromverbrauchinfo 2015-2; VDE/ETG 2012.

Gefrierschrank	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Einheit in kW						
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Volllaststunden pro Jahr in h	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920
Verschiebbare Zeit in h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	1.600	4.000	1.640	4.100	1.640	2.050
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	533	1.333	547	1.367	547	683
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	533	1.333	547	1.367	547	683
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	1.067	2.667	1.093	2.733	1.093	1.367
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	27	191	175	328
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	55	383	350	656
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	0	0	7	48	44	82
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	14	96	87	164
Häufigkeit je Tag in 1/d	12	24	12	24	12	24
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Maximale positive Leistung in MW		1.500				
Maximale negative Leistung in MW		3.500				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (posi-		571				

Gefrierschrank	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
tiv) in MW						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		530				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 5: Potenzialabschätzung für Gefrierschrank<sup>13</sup>

Wäschetrockner	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung und Nutzung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Nutzungszeitraum	kontinuierlich/08:00 bis 22:00 Uhr				kontinuierlich	
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Maximale Leistung je Einheit in kW	2,00	2,50	1,00	1,50	0,50	1,00
Durchschnittliche Energiemenge je Prozess in kW h	2,2	2,5	1,2	1,5	1,0	1,2
Durchschnittliche Anzahl Prozesse im Jahr	102	116	102	116	102	116
Durchschnittliche Energiemenge pro Jahr in kW h	224	285	125	174	102	139
Volllaststunden pro Jahr in h	112	114	125	116	204	139
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Maximal verschiebba-	1,00	4,00 <sup>14</sup>	1,00	4,00 <sup>14</sup>	1,00	4,00 <sup>14</sup>

<sup>13</sup> DENA 2010; Stamminger 2008; Stromverbrauchinfo 2015-2; VDE/ETG 2012.



Wäschetrockner	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
re Zeit in h						
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	32.000	40.000	16.400	30.750	10.250	20.500
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	703	1.532	403	698	239	326
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0 <sup>15</sup>	0	0 <sup>15</sup>	0	0 <sup>15</sup>
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	703	1.532	403	698	239	326
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	0	0	0	0
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	20	98	76	156
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	0	0	0	0	0	0
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	20	391	76	625
Häufigkeit je Tag in 1/d	0	1	0	1	0	1
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 6: Potenzialabschätzung für Wäschetrockner<sup>16</sup><sup>14</sup> VDE/ETG 2012; wenige Stunden.<sup>15</sup> Keine Unterbrechung des Prozesses durch DSM.

Raumklimatisierung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5
Nutzungszeitraum	Sommer/(Frühjahr, Herbst)					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Daten zur Technologie</b>						
Durchschnittliche Leistung je Einheit in kW	1,70	1,80	1,70	1,80	1,70	1,80
Durchschnittliche Energiemenge im Jahr in kW h	900	850	900	850	900	850
Volllaststunden pro Jahr in h	450	500	450	500	450	500
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,21	0,23	0,21	0,23	0,21	0,23
Verschiebbare Zeit in h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	3.400	7.200	13.940	14.760	27.880	36.900
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	699	1.644	2.864	3.370	5.729	8.425
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	699	1.644	2.864	3.370	5.729	8.425
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	2.701	5.556	11.076	11.390	22.151	28.475
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	143	472	1.833	4.044
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	554	1.595	7.088	13.668

<sup>16</sup> Stamminger 2008; VDE/ETG 2012.

Raumklimatisierung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	0	0	36	118	458	1.011
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	138	399	1.772	3.417
Häufigkeit je Tag in 1/d	1	1	1	1	1	1
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 7: Potenzialabschätzung für Raumklimatisierung<sup>17</sup>

Umwälzpumpe	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung und Nutzung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	0,6	0,6 <sup>18</sup>	0,6	0,6	0,6	0,6
Nutzungszeitraum	Winter/(Frühjahr, Herbst)					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
<b>Daten zur Technologie</b>						
Maximale Leistung je Einheit in kW	0,10	0,10	0,05	0,10	0,01	0,05
Durchschnittliche Energiemenge pro Jahr in kW h	290	540	60	150	30	150 <sup>19</sup>
Volllaststunden pro Jahr in h	2.900	5.400	6.000	6.000	6.000	6.000
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,47	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Verschiebbare Zeit in h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

<sup>17</sup> Stamminger 2008; Stötzer 2012; VDE/ETG 2012.

<sup>18</sup> Circa 25 Millionen Umwälzpumpen in Deutschland 2010, siehe [www.die-stromsparinitiative.de](http://www.die-stromsparinitiative.de).

<sup>19</sup> Abschätzung auf Basis der Effizienzverbesserung (maximal Leistung je Einheit).

Umwälzpumpe	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	2.500	2.500	1.281	2.563	256	1.281
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	1.182	2.250	1.281	2.563	256	1.281
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	1.182	2.250	1.281	2.563	256	1.281
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	0	0	0	0
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	64	359	82	615
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	0	0	0	0
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	0	0	16	90	21	154
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	0	0	0	0
Häufigkeit je Tag in 1/d	1	1	1	1	1	1
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Maximale positive Leistung in MW		2.316				
Maximale negative Leistung in MW		0				
Durchschnittlich verfügbare positive Leistung in MW		-				
Durchschnittlich verfügbare negative Leistung in MW		0				

Umwälzpumpe	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 8: Potenzialabschätzung für Umwälzpumpe<sup>20</sup>

Warmwasser-aufbereitung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Durchdringung und Nutzung</b>						
Anzahl Haushalte in Deutschland	40.000.000	40.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000	41.000.000
Durchschnittliche Anzahl je Haushalt	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nutzungszeitraum	kontinuierlich/22:00 bis 06:00 Uhr <sup>21</sup>					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,3	0,3 <sup>22</sup>	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Daten zur Technologie</b>						
Maximale Leistung je Einheit in kW	2,00	6,00	2,00	6,00	2,00	6,00
Durchschnittliche Energiemenge je Tag in kW h	5,8	5,8 <sup>23</sup>	5,8	5,8	5,8	5,8
Durchschnittliche Energiemenge pro Jahr in kW h	2.117	2.117	2.117	2.117	2.117	2.117
Volllaststunden pro Jahr in h	1.059	353	1.059	353	1.059	353
Volllastnutzungsfaktor im NZR	0,36	0,12	0,36	0,12	0,36	0,12
Verschiebbare Zeit in h	1,00	24,00	1,00	24,00	1,00	24,00

<sup>20</sup> DENA 2010; Stamminger 2008.

<sup>21</sup> Mehr als 95 Prozent WW heizen nur nachts nach Stamminger 2008.

<sup>22</sup> Hauptheizperiode von 22.00 bis 06.00 Uhr.

<sup>23</sup> Durchschnittliche Kapazität des Wasserspeichers 100 l / HH mit 0,058 kW h/l für 50° Erhitzung.

Warmwasser- aufbereitung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	15.200	45.600	15.580	46.740	15.580	46.740
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	5.510	5.510	5.648	5.648	5.648	5.648
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	5.510	5.510	5.648	5.648	5.648	5.648
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	9.690	40.090	9.932	41.092	9.932	41.092
Realisierbarkeitsfaktor	0,00	0,00	0,05	0,10	0,10	0,20
Akzeptanzfaktor	0,50	0,70	0,50	0,70	0,80	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	141	395	452	904
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	248	2.876	795	6.575
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	0	0	47	3.163	151	7.229
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	0	0	166	46.023	530	105.196
Häufigkeit je Tag in 1/d	1	1	1	1	1	1
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		669				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		2.024				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW			30,00 <sup>11</sup>	130,00 <sup>11</sup>		
Jährliche fixe Kosten in €/kW a			2,00 <sup>11</sup>	9,00 <sup>11</sup>		

Warmwasser-aufbereitung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Variable Kosten in €/MW h			0,00	0,00		

Tabelle 9: Potenzialabschätzung für Warmwasseraufbereitung<sup>24</sup>

### 1.2.2 Zukünftige DSM-Technologien

Um zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen, wurden zusätzlich PV-Speichersysteme und Elektrofahrzeuge betrachtet. Für die Potenziale hat die Fachgruppe eigene Abschätzungen für das Jahr 2050 vorgenommen. Diese sind in den folgenden Tabellen dargestellt:

PV-Speichersysteme	2050
<b>Durchdringung und Nutzung</b>	
Anzahl Haushalte in Häusern mit ein oder zwei Wohneinheiten in Deutschland	18.200.000
Durchschnittliche Anzahl je Haus	0,8
<b>Daten zur Technologie</b>	
Maximale Leistung je Einheit in kW	5,0
Maximal nutzbare Energie je Einheit in kW h (von 10 kW h Bruttokapazität)	5,0
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>	
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	72.800
Maximal nutzbare Energie aller Anlagen in MW h	72.800
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>	
Technisches DSM-Potenzial (positiv) in MW	72.800
Technisches DSM-Potenzial (negativ) in MW	72.800
Realisierbarkeitsfaktor	1
Akzeptanzfaktor	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) in MW	58.200
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) in MW	58.200
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	58.200
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	58.200
<b>Ökonomische Betrachtung</b>	
Investitionskosten pro Haushalt	50 <sup>25</sup>
Jährliche fixe Kosten in €/kW a	15 <sup>26</sup>
Variable Kosten in €/MW h	0

Tabelle 10: Potenzialabschätzungen für PV-Speichersysteme

<sup>24</sup> DENA 2010; Stamminger 2008; Stötzer 2012; VDE/ETG 2012.

<sup>25</sup> Diese Investition fällt unabhängig von der Anzahl der steuerbaren Geräte nur einmal pro Haushalt an.

<sup>26</sup> Die Fixkosten fallen unabhängig von der Anzahl der steuerbaren Geräte nur einmal pro Haushalt an.

Elektrofahrzeugbatterien	2050
<b>Durchdringung und Nutzung</b>	
Anzahl Haushalte	41.000.000
Anteil Haushalte mit Elektrofahrzeug	0,7
Anzahl Elektrofahrzeuge	28.700.000
<b>Daten zur Technologie</b>	
Maximale Leistung je Einheit in kW	3,7
Maximal nutzbare Energie je Einheit in kW h (20 % Zyklentiefe bei 30 kW h Batteriekapazität)	6,0
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>	
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	106.200.000
Maximal nutzbare Energie aller Anlagen in MW h	172.200.000
<b>Potenzialabschätzung – Eigene Berechnungen</b>	
Netzverfügbarkeit	0,71 <sup>27</sup>
Technisches DSM-Potenzial (positiv) in MW	75.400
Technisches DSM-Potenzial (negativ) in MW	75.400
Realisierbarkeitsfaktor	1
Akzeptanzfaktor	0,80
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) in MW	60.300
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) in MW	60.300
Positiv verschiebbare Energie (Abschaltung) in MW h	97.800
Negativ verschiebbare Energie (Zuschaltung) in MW h	97.800
<b>Ökonomische Betrachtung</b>	
Investitionskosten pro Haushalt	50 <sup>28</sup>
Jährliche fixe Kosten in €/kW a	15 <sup>29</sup>
Variable Kosten in €/MW h	0

Tabelle 11: Potenzialabschätzungen für Elektrofahrzeugbatterien

### 1.2.3 Aggregierte Darstellung

Zur Berücksichtigung im Berechnungsmodell werden alle DSM-Potenziale für die verschiedenen Verschiebungen der jeweiligen Dauer  $n$  im Bereich Haushalte auf eine zweistündige Bereitstellungsdauer umgerechnet.

$$P_{2h} = \frac{P_n \cdot n}{2h}$$

Es ergibt sich damit das in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellte aggregierte Leistungs- sowie Energiepotenzial für das Jahr 2050.

<sup>27</sup> 56 Prozent der Fahrzeuge immer zu Hause, ein Drittel der Fahrzeuge „unterwegs“ an Steckdose, vgl. Magnor et al. 2014.

<sup>28</sup> Diese Investition fällt unabhängig von der Anzahl der steuerbaren Geräte nur einmal pro Haushalt an.

<sup>29</sup> Die Fixkosten fallen unabhängig von der Anzahl der steuerbaren Geräte nur einmal pro Haushalt an.



Da im Niederspannungsnetz, an dem die oben beschriebenen Geräte angeschlossen sind, nur eine begrenzte Leistung für jeden Haushalt zur Verfügung steht, wurden die aggregierten Potenziale entsprechend dieser Begrenzung eingeschränkt. Bei einer Gleichzeitigkeit der Leistungsanforderung aller 41 Millionen Haushalte stehen circa 2 kW Anschlussleistung pro Haushalt<sup>30</sup> zur Verfügung. Daraus ergibt sich mit einem Akzeptanzfaktor von 0,8 eine maximal abrufbare Leistung von 65 GW. Entsprechend der Festlegung einer zweistündigen Bereitstellung<sup>31</sup> wird die verschiebbare Energiemenge somit auf 130 GW h festgelegt. Als Kosten werden die haushaltsbezogenen Werte aus Tabelle 9 und Tabelle 10 verwendet.

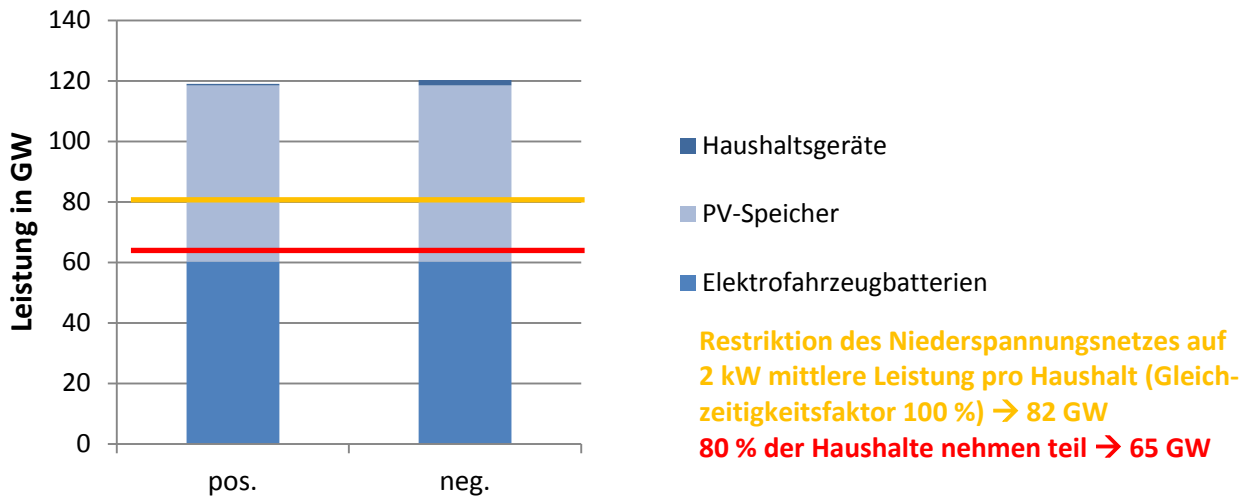


Abbildung 6: Leistungspotenzial bei zweistündiger Verschiebung im Bereich Haushalte. Zusätzlich dargestellt ist die Leistungsrestriktion, die sich aus begrenzten Kapazitäten im Niederspannungsnetz ergibt.

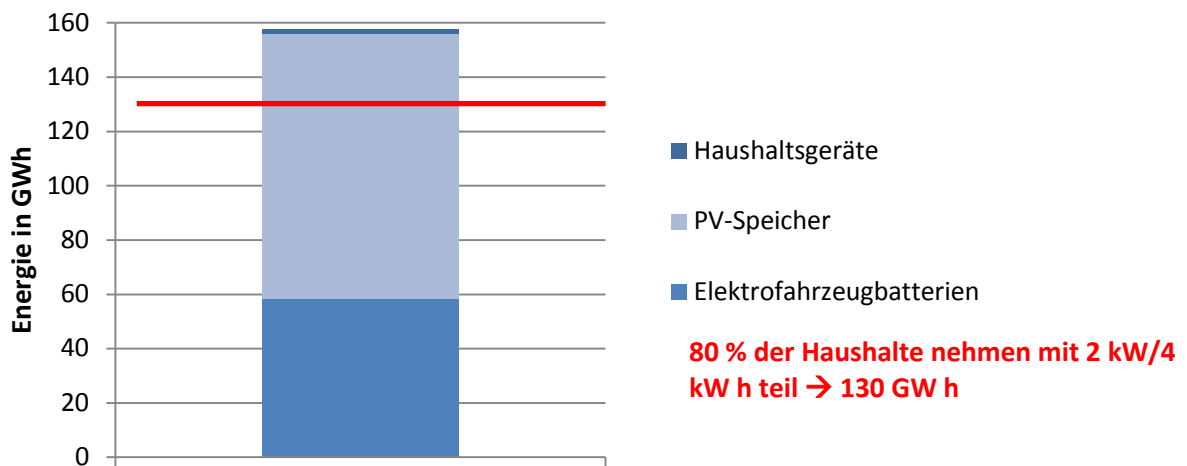


Abbildung 7: Verschiebbare Energie im Bereich Haushalte. Zusätzlich dargestellt ist die Restriktion, die sich aus begrenzten Kapazitäten im Niederspannungsnetz ergibt.

<sup>30</sup> Annahme nach Angaben von Verteilnetzbetreibern unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeit und Lastprofilverschiebung.

<sup>31</sup> Die DSM-Einheiten können im Modell auch für beliebig andere Verschiebedauern eingesetzt werden. Hierbei wird dann die für die jeweilige Verschiebedauer mögliche Leistung neu berechnet.

### 1.3 Interdisziplinäre Beurteilung

#### Ampelbewertung

	■	■	■	■	■
Materialverfügbarkeit		X			
Gesellschaftliche Akzeptanz			X		
Energiewirtschaftsrecht inklusive Regulierung			X		
Bau-, Umwelt- und Immissionschutzrecht	X				
Technologie			X		

Tabelle 12: Ampelbewertung DSM Haushalt

#### Rechtliche Hindernisse

Für die Nutzung vieler dezentraler DSM-Potenziale in den Haushalten muss eine geeignete rechtliche Grundlage geschaffen werden. Diesbezüglich gilt es natürlich, rechtliche Fragen zum Steuerungszugriff durch externe Mechanismen sowie die geeignete Erfassung und Messung (eichrechtliche Aspekte) innerhalb regulatorischer Rahmenbedingungen zu klären.

#### Gesellschaftliche Akzeptanz

Passive und aktive Akzeptanz sind von Rahmenbedingungen (Datensicherheit, Geschäftsmodell) abhängig. Die Entwicklung ist derzeit kaum einschätzbar. Nach heutigem Stand ist von einer eher geringen Akzeptanz auszugehen, die sich unter Berücksichtigung von akzeptanzförderlichen Maßnahmen in Zukunft verbessern soll. In diesem Zusammenhang soll insbesondere die Ausgestaltung der Data Security die gesellschaftliche Akzeptanz stark verbessern. Für das Jahr 2050 wird von einer durch verschiedene Maßnahmen erhöhten Akzeptanz von circa 80 Prozent ausgegangen.

## 2 Potenzialabschätzung DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

### 2.1 Erläuterung zur Methodik

#### Wahl der Technologien

Im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) ist eine technologiespezifische Analyse aufgrund der hohen Vielfalt nicht zweckmäßig. Es wurde daher beschlossen, typische Technologien zu untersuchen, die einzelnen GHD-Zweigen zugeordnet werden können<sup>32</sup>:

DSI-fähiger GHD-Typ	Mechanische Energie	Prozesswärme	Prozesskälte	Klimakälte	Elektrische Raumheizung
Büroähnliche Betriebe		X	X	X	X
Handel			X	X	X
Gastgewerbe			X	X	X

<sup>32</sup> Stötzer 2012.

DSI-fähiger GHD-Typ	Mechanische Energie	Prozesswärme	Prozesskälte	Klimakälte	Elektrische Raumheizung
Landwirtschaft	X	X		X	X
Gartenbau	X	X		X	X
Bäder	X	X		X	X
Wäschereien	X	X		X	X
Herstellungsbetriebe	X			X	X

**Tabelle 13: Zuordnung der Technologien zu einzelnen GHD-Zweigen**

Die gewählten Technologien werden im Folgenden aufgezählt und kurz erläutert:

- KK – Klimakälte (Raum- und Gebäudeklimatisierung)
- ME – Mechanische Energie (Pumpen, Lüftungen, elektrische Maschinen allgemein, Druckluftanlagen/Kompressoren und ähnliche Geräte)
- PK – Prozesskälte (Kühlhäuser, höchster Anteil: Kühlaggregate in Supermärkten)
- PW – Prozesswärme (elektrische Warmwasseraufbereitung, Öfen, Bereitstellung elektrischer Prozessenergie)
- RH – Raumheizung (elektrische Wärmeenergie für Heizzwecke)

#### **Ermittlung der durchschnittlichen Leistungen**

Die durchschnittlichen Leistungen aller Technologien wurden auf Basis der Jahresenergieverbräuche aus den Jahren 2007 bis 2010 ermittelt.<sup>33</sup> Dazu wurden jedem Prozess eine typische Nutzungsdauer, eine Volllaststundenzahl und ein Nutzungszeitraum gemäß bekannten Lastprofilen oder Verbrauchsdaten zugeordnet. Auf dieser Basis konnte dann die maximal installierte Leistung sowie die durchschnittliche Leistung im NZR (beispielsweise arbeitet eine Klimaanlage nur im Sommer) der jeweiligen Technologien berechnet werden.

#### **Berechnung des realisierbaren DSM-Potenzials**

Der durchschnittliche Verbrauch wurde zunächst mit dem technischen positiven DSM-Potenzial gleichgesetzt. Das negative DSM-Potenzial entspricht zunächst der übrig bleibenden Leistung, das heißt der installierten Gesamtleistung abzüglich des durchschnittlichen Bezugs. Unter der Annahme, dass akzeptanzrechtliche Einschränkungen im GHD-Sektor nur geringfügig wirken, wurde die danach berechnete realisierbare DSM-Leistung (positiv und negativ) mit einem zugeordneten Realisierbarkeitsfaktor multipliziert (Akzeptanzfaktor = 1).

#### **Wahl der Realisierbarkeitsfaktoren**

Die potenzielle Durchdringung von DSM-fähigen Anlagen bis zum Jahr 2023 ist allgemein als eher gering einzuschätzen. Aus diesem Grund wurde für die Bereiche Klimakälte, Prozesskälte und Raumheizung für positives und negatives Potenzial ein Faktor von 10 bis 20 Prozent angesetzt. Für 2050 wurde der Wert mit 40 bis 60 Prozent angenommen. Bei den Technologien Mechanische Energie und Prozesswärme ist immer eine unmittelbare Anwendbarkeit verknüpft. Aus diesem Grund sind die Realisierbarkeitsfaktoren für das negative Potenzial auf 0 Prozent gesetzt (keine „willkürliche“ Zuschaltung der Leistungen). Die Realisierbarkeitsfaktoren für abschaltbare Leistung (positives Potenzi-

<sup>33</sup> Nach Schlomann 2009.

al) sind im Vergleich zu den anderen Technologien moderater angenommen. Aufgrund von weniger Anteil, der für DSM zur Verfügung steht, wurden die Faktoren für 2023 mit 5 bis 10 Prozent und für 2050 mit 10 bis 20 Prozent angenommen.

**Zuordnung der diskreten Bereitstellungszeiträume (5 min/15 min/1 h/4 h/8 h/24 h)**

Bei der ganzheitlichen Analyse der DSM-Potenziale sind zunächst die Nutzungszeiträume wieder rausgerechnet worden, da es hier ansonsten zu keiner „pauschalen“ Einschätzung kommen kann. Dies führt dazu, dass beispielsweise angenommen wird, dass Klimaanlage das ganze Jahr über betrieben werden und damit jederzeit für DSM zur Verfügung stehen. Aufgrund der Technologievielfalt kompensiert sich dieser Effekt jedoch (beispielsweise Heizungen im Sommer). Anschließend wurden den verschiedenen Technologien typische Verschiebedauern zugeordnet. Diese Verschiebedauern wurden individuell (nach praktischer Plausibilität und Realisierbarkeit) unter Beibehaltung der verschiebbaren Energiemenge auch für längere Verschiebezeiten hochgerechnet (zum Beispiel 4 MW für 1 h entsprechen 1 MW für 4 h). Entsprechend den Erwartungen zeigt sich eine abfallende Charakteristik sowohl positiver als auch negativer DSM-Leistung.

**Kostenbetrachtungen**

Die durchschnittlich angebotenen Leistungen im GHD-Bereich übertreffen allgemein die durchschnittliche Leistung im Haushalt. Aus diesem Grund kann eine Verminderung der durchschnittlichen Betriebskosten je Kilowatt angenommen werden. Für 2050 werden deshalb 25 €/kW als Investitions- und 10 €/(kW a) an fixen Betriebskosten im GHD-Sektor angesetzt.

**Effizienzbetrachtungen**

Die eingesetzten DSM-Mechanismen werden pauschal mit einem Wirkungsgrad von 90 Prozent angenommen. Dieser beinhaltet jegliche Verluste aufgrund von Verschiebungs- und Verringerungsaktivitäten beim Lastprofil.

2.2 Technische und ökonomische Daten

2.2.1 Einzelgeräte

2023 Gesamt	KK		ME		PK		PW		RH	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) in MW	91	274	140	295	86	183	49	103	158	384
Verschiebbare Zeit (diskretisiert) in h	0,25	0,25	5 min	0,25	5 min	0,25	5 min	1	0,25	0,25
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) in MW	309	726	0	0	43	91	0	0	921	2.241
Verschiebbare Zeit (diskretisiert) in h	0,25	0,25	5 min	5 min	5 min	0,25	5 min	1	0,25	0,25

Tabelle 14: Realisierbares DSM-Potenzial von DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2023

Zeit	Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv)		Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ)	
	Leistung in MW		Leistung in MW	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
5 min	376	841	580	1.394
15 min	193	644	552	1.394
1 h	48	161	138	348
4 h	6	18	29	70
8 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Tabelle 15: Durchschnittliches DSM-Potenzial von DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2023

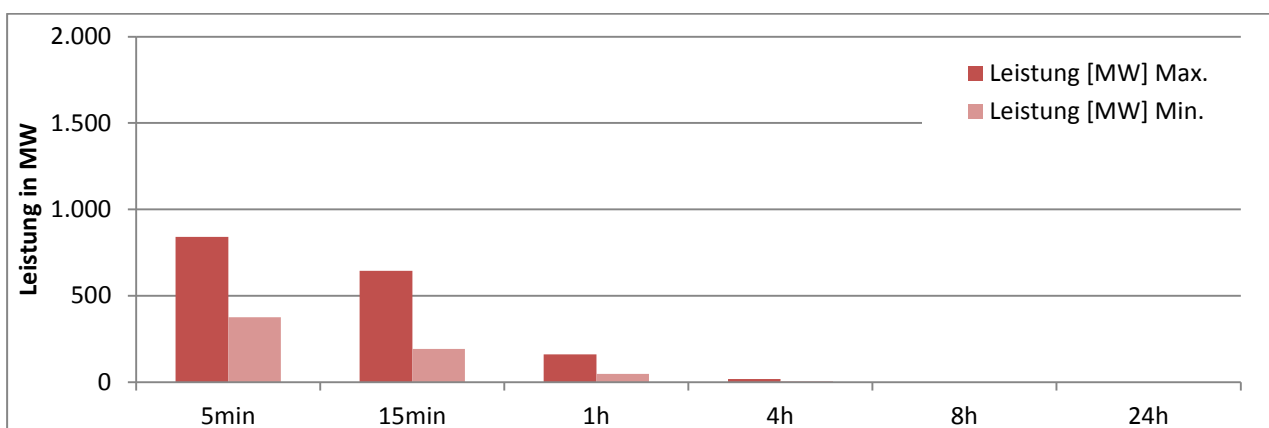


Abbildung 8: Durchschnittliches positives DSM-Potenzial von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2023

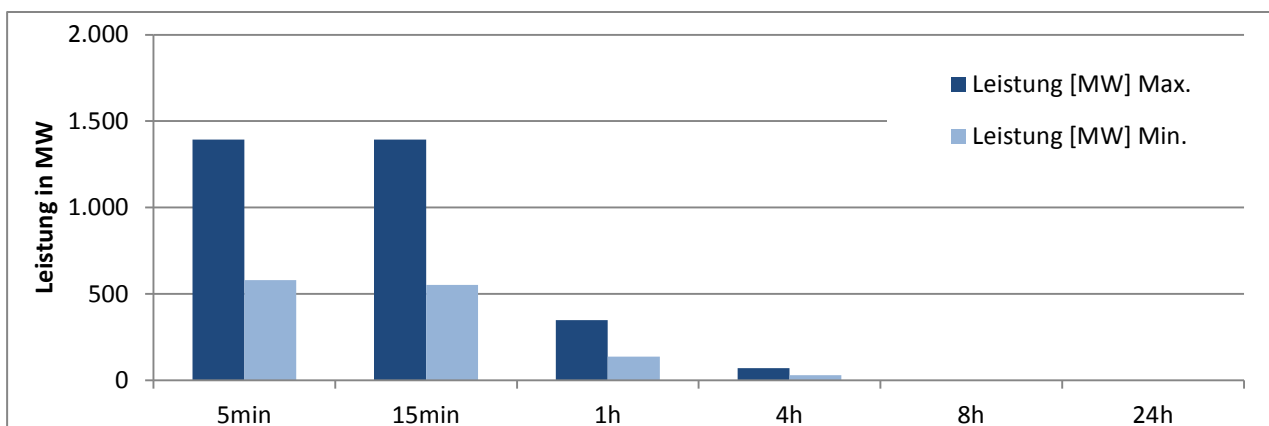


Abbildung 9: Durchschnittliches negatives DSM-Potenzial von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2023

2050 Gesamt	KK		ME		PK		PW		RH	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) in MW	621	1.041	257	569	342	548	98	205	630	1.151
Verschiebbare Zeit (diskretisiert) in h	0,25	0,25	5 min	0,25	5 min	0,25	5 min	1	0,25	0,25
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) in MW	1.539	2.199	0	0	171	274	0	0	3.682	6.724
Verschiebbare Zeit (diskretisiert) in h	0,25	0,25	5 min	5 min	5 min	0,25	5 min	1	0,25	0,25

Tabelle 16: Realisierbares DSM-Potenzial von DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2050

Zeit	Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv)		Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ)	
	Leistung in MW		Leistung in MW	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
5 min	1.168	2.158	2.397	4.186
15 min	703	1.779	2.283	4.186
1 h	176	445	571	1.046
4 h	22	49	115	210
8 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Tabelle 17: Durchschnittliches DSM-Potenzial von DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2050

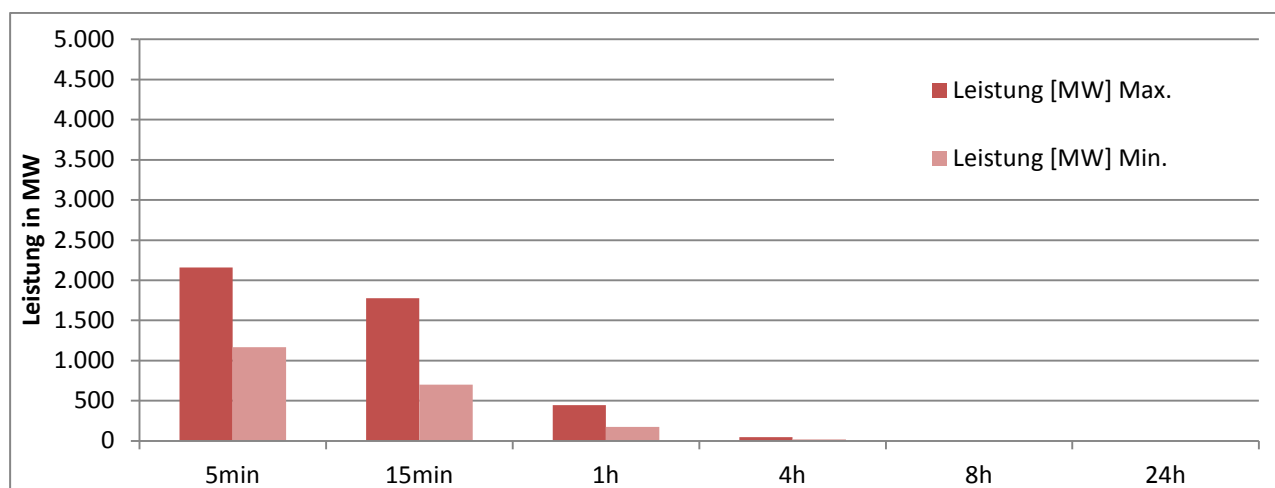


Abbildung 10: Durchschnittliches positives DSM-Potenzial von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2050

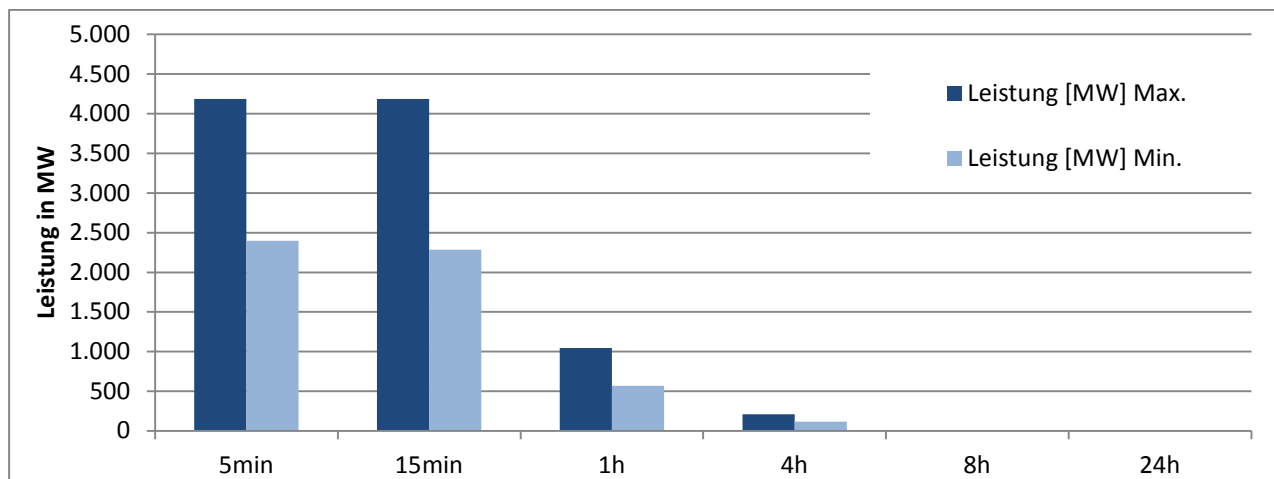


Abbildung 11: Durchschnittliches negatives DSM-Potenzial von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für 2050

Klimakälte	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Energieverbrauch</b>						
Energieverbrauch 2007–2010 in TW h	1,70	1,90	2,00	3,00 <sup>34</sup>	3,40	3,80 <sup>35</sup>
Nutzungszeitraum	Sommer/(Frühjahr, Herbst)					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,25	0,25 <sup>36</sup>	0,25	0,25 <sup>36</sup>	0,25	0,25
<b>Daten zur Technologie</b>						
Volllaststunden pro Jahr in h	421	421	421	421	421	421
Verschiebbare Zeit in h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Installierte Gesamtleistung in MW	2.700	2.700	4.000	5.000 <sup>37</sup>	5.400	5.400
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	776	868	913	1.370	1.553	1.735
<b>Potenzialabschätzung</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	776	868	913	1.370	1.553	1.735
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	1.924	1.832	3.087	3.630	3.847	3.665
Realisierbarkeitsfaktor (positives DSM-Potenzial)	0,00	0,00 <sup>38</sup>	0,10	0,20	0,40	0,60

<sup>34</sup> Verdopplung des Energieverbrauchs bis 2030.

<sup>35</sup> Konstantes Niveau ab 2030 angenommen.

<sup>36</sup> Laut DENA 2010 „nur an den heißesten Tagen im Sommer“.

<sup>37</sup> Verdopplung der installierten Leistung bis 2030.

<sup>38</sup> Klobasa 2007: 75 Prozent der Leistung können maximal abgeschaltet werden.

Klimakälte	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Realisierbarkeitsfaktor (negatives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	91	274	621	1.041
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	309	726	1.539	2.199
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		436				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		2.330				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW					25,00	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a					10,00	
Variable Kosten in €/MW h					0,00	

Tabelle 18: Potenzialabschätzung für Klimakälte<sup>39</sup>

Mechanische Energie	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Energieverbrauch</b>						
Energieverbrauch 2007–2010 in TW h	25,60	26,30	24,54	25,84 <sup>40</sup>	22,50	24,94 <sup>41</sup>
Nutzungszeitraum	kontinuierlich					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Volllaststunden pro Jahr in h	1.130	1.130	1.130	1.130	1.130	1.130
Verschiebbare Zeit in h	0,08	0,25	0,08	0,25	0,08	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	22.655	23.274	21.715	22.867	19.912	22.067
Durchschnittsleistung aller Anlagen im NZR in MW	2.922	3.002	2.801	2.950	2.569	2.847

<sup>39</sup> Dena 2010; Klobasa 2007; Schomann 2011.

<sup>40</sup> Realistisches Einsparpotenzial von 3,5 bis 8,3 Prozent bis 2020 gegenüber 1997 → 2007–2010 circa Hälfte angenommen, vgl. DENA 2010.

<sup>41</sup> Gleiche Einsparung von 2023 bis 2050 erwartet.



Mechanische Energie	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Potenzialabschätzung</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	2.922	3.002	2.801	2.950	2.569	2.847
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	19.732	20.272	18.914	19.917	17.344	19.220
Realisierbarkeitsfaktor (positives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,05	0,10 <sup>42</sup>	0,10	0,20 <sup>42</sup>
Realisierbarkeitsfaktor (negatives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,00	0,00 <sup>43</sup>	0,00	0,00 <sup>43</sup>
Akzeptanzfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	140	295	257	569
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	0	0	0	0
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		476				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		1.372				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW					25,00	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a					10,00	
Variable Kosten in €/MW h					0,00	

Tabelle 19: Potenzialabschätzung für mechanische Energie<sup>44</sup>

Prozesskälte	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minima	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Energieverbrauch</b>						
Energieverbrauch 2007–2010 in TW h	7,50	8,00	7,50	8,00 <sup>45</sup>	7,50	8,00
Nutzungszeitraum	kontinuierlich					
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Nutzungsdauer am Tag in h	16	16	16	16	16	16

<sup>42</sup> Nur geringer Teil nutzbar; beschränkt sich hauptsächlich auf größere Lüftungsanlagen, Pumpen oder Ähnliches.

<sup>43</sup> Keine willkürliche Zuschaltung mechanischer Leistung angenommen.

<sup>44</sup> DENA 2010; Klobasa 2007; Schlomann 2011.

<sup>45</sup> Ausbau und Effizienzverbesserung kompensieren sich.

Prozesskälte	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minima	Maximal	Minimal	Maximal
Volllaststunden pro Jahr in h	5.840	5.840	5.840	5.840	5.840	5.840
Verschiebbare Zeit in h	0,08	0,25	0,08	0,25	0,08	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	1.284	1.370	1.284	1.370	1.284	1.370
Durchschnittsleistung aller Anlagen im Nutzungszeitraum in MW	856	913	856	913	856	913
<b>Potenzialabschätzung</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	856	913	856	913	856	913
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	428	457	428	457	428	457
Realisierbarkeitsfaktor (positives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Realisierbarkeitsfaktor (negatives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	86	183	342	548
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	43	91	171	274
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Maximale positive Leistung in MW		1.200				
Maximale negative Leistung in MW		2.800				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		656				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		367				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW					25,00	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a					10,00	
Variable Kosten in €/MW h					0,00	

 Tabelle 20: Potenzialabschätzung für Prozesskälte<sup>46</sup>
<sup>46</sup> DENA 2010; Schlomann 2011; Stamminger 2008.

Prozesswärme	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Energieverbrauch</b>						
Energieverbrauch 2007–2010 in TW h	8,60	9,00 <sup>47</sup>	8,60	9,00	8,60	9,00
<b>Nutzungszeitraum</b>						
<i>kontinuierlich</i>						
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Daten zur Technologie</b>						
Nutzungsdauer am Tag in h	8	8	8	8	8	8
Volllaststunden pro Jahr in h	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920	2.920
Verschiebbare Zeit in h	~0	~0	0,08	1,00 <sup>48</sup>	0,08	1,00 <sup>48</sup>
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	2.945	3.082	2.945	3.082	2.945	3.082
Durchschnittsleistung aller Anlagen im Nutzungszeitraum in MW	982	1.027	982	1.027	982	1.027
<b>Potenzialabschätzung</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	982	1.027	982	1.027	982	1.027
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	1.963	2.055	1.963	2.055	1.963	2.055
Realisierbarkeitsfaktor (positives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,05	0,10 <sup>49</sup>	0,10	0,20 <sup>49</sup>
Realisierbarkeitsfaktor (negatives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,00	0,00 <sup>50</sup>	0,00	0,00 <sup>50</sup>
Akzeptanzfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	49	103	98	205
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	0	0	0	0
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		107				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		730				

<sup>47</sup> Laut DENA 2010 in 2003 32,5 TW h für Prozesswärme in GHD, davon 40 Prozent für Warmwasser.

<sup>48</sup> Verschiebung um 5 min bis maximal 1 h bei Warmwasser angenommen.

<sup>49</sup> Annahme, dass nur Prozesswärme für Warmwasser (Anteil circa 40 Prozent) praktisch möglich ist und bis 2023 davon maximal 50 Prozent technisch erschlossen sind.

<sup>50</sup> Keine willkürliche Zuschaltung angenommen (Prozess).

Prozesswärme	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW						25,00
Jährliche fixe Kosten in €/kW a						10,00
Variable Kosten in €/MW h						0,00

Tabelle 21: Potenzialabschätzung für Prozesswärme<sup>51</sup>

Raumheizung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Energieverbrauch</b>						
Energieverbrauch 2007–2010 in TW h	6,90	8,40	6,90	8,40	6,90	8,40
<b>Nutzungszeitraum</b>						
<i>Winter/(Frühjahr/Herbst)</i>						
Faktor zur Berücksichtigung des NZR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Daten zur Technologie</b>						
Nutzungsdauer am Tag in h	4	4	4	4	4	4
Volllaststunden pro Jahr in h	640	640	640	640	640	640
Verschiebbare Zeit in h	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Gesamtheitliche Betrachtung</b>						
Maximale Leistung aller Anlagen in MW	10.781	13.125	10.781	13.125	10.781	13.125
Durchschnittsleistung aller Anlagen im Nutzungszeitraum in MW	1.575	1.918	1.575	1.918	1.575	1.918
<b>Potenzialabschätzung</b>						
Technisches DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	1.575	1.918	1.575	1.918	1.575	1.918
Technisches DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	9.206	11.207	9.206	11.207	9.206	11.207
Realisierbarkeitsfaktor (positives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Realisierbarkeitsfaktor (negatives DSM-Potenzial)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60
Akzeptanzfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Realisierbares DSM-Potenzial (positiv) im NZR in MW	0	0	158	384	630	1.151
Realisierbares DSM-Potenzial (negativ) im NZR in MW	0	0	921	2.241	3.682	6.724

<sup>51</sup> DENA 2010; Schlomann 2011.

Raumheizung	2013		2023		2050	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
<b>Potenzialabschätzung – Informationen aus Studien</b>						
Durchschnittliches DSM-Potenzial (positiv) in MW		747				
Durchschnittliches DSM-Potenzial (negativ) in MW		9.475				
<b>Ökonomische Betrachtung</b>						
Investitionskosten in €/kW					25,00	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a					10,00	
Variable Kosten in €/MW h					0,00	

Tabelle 22: Potenzialabschätzung für Raumheizung<sup>52</sup>

### Technische Potenziale

Es sind noch keine Erfahrungen mit Steuerung vieler Einzelprozesse in Betrieben in großem Umfang vorhanden.

#### 2.2.2 Aggregierte Darstellung

Zur Berücksichtigung im Berechnungsmodell werden alle DSM-Potenziale für die verschiedenen Verschiebungen der jeweiligen Dauer  $n$  im Bereich GHD auf eine einstündige Bereitstellungsdauer umgerechnet.

$$P_{1h} = \frac{P_n \cdot n}{1h}$$

Damit ergibt sich ein zusammengefasstes Potenzial des GHD-Sektors im Jahr 2050 von 1,9 GW negativ, 0,7 GW positiv und einer verschiebbaren Energiemenge von 0,7 GW h.

### 2.3 Interdisziplinäre Beurteilung

#### Ampelbewertung

Materialverfügbarkeit		X		
Gesellschaftliche Akzeptanz	X			
Energiewirtschaftsrecht inklusive Regulierung			X	
Bau-, Umwelt- und Immissionschutzrecht		X		
Technologie			X	

Tabelle 23: Ampelbewertung DSM Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

<sup>52</sup> DENA 2010; Klobasa; Schlomann 2011.

### Rechtliche Hindernisse

Bezüglich der rechtlichen Hindernisse sind insbesondere die regulatorischen Gegebenheiten bei der Einbindung der hohen Anzahl dezentraler Anlagen in das Energiesystem zu betrachten. Darüber hinaus stellen sich eichrechtliche Fragen bei der Standardisierung von Messgeräten.

Innerhalb des betrieblichen Ablaufs kann es zum Ein- beziehungsweise Ausschalten von technischen Prozessen kommen, die nicht im Rahmen der Betriebsgenehmigung erfasst sind. Dafür müssen entsprechende Mechanismen geschaffen werden.

### Gesellschaftliche Akzeptanz

Hier ist gesellschaftliche Akzeptanz im Sinne der Akzeptanz durch die Betriebe relevant. Diese ist höher einzuschätzen als in Privathaushalten, da nicht der Schutz der Privatsphäre und Datensicherheit, sondern wirtschaftliche Erwägungen im Vordergrund stehen. Zwar werden auch durch Unternehmen datenschutzrechtliche Anforderungen gestellt, diese können jedoch durch zentrale administrative Organe stärker gewährleistet werden. Individuelle Bedenken einzelner Personen wiegen dabei weniger stark als in Privathaushalten.

## 3 Potenzialabschätzung DSM Industrie

### 3.1 Erläuterung zur Methodik

Die Abschätzung der DSM-Potenziale in der Industrie wurde basierend auf einer umfangreichen Untersuchung der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft vorgenommen.<sup>53</sup> Die Datenerhebung im Sektor Industrie ist komplizierter als im Haushalts- und GHD-Sektor, da für viele Prozesse keine öffentlichen Daten zugänglich sind und weiterhin das Flexibilisierungspotenzial vieler Stromabnehmer noch nicht quantifiziert wurde. Außerdem ergeben sich im Hinblick auf das Jahr 2050 auch Möglichkeiten der Elektrifizierung von Prozessen, die heute noch mit anderen Energieträgern betrieben werden. Insgesamt sind die im Folgenden dargestellten Potenziale als konservative Abschätzung der heute bereits realisierbaren Möglichkeiten zu sehen.

### 3.2 Technische und ökonomische Daten

Energieintensive Industrie	2050
<b>Potenzialabschätzung</b>	
Realisierbares DSM-Potenzial in MW	3.000
Maximale Abschaltdauer	2 h
<b>Ökonomische Betrachtung</b>	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a <sup>54</sup>	30

Tabelle 24: Technische und ökonomische Daten energieintensiver Industrie

<sup>53</sup> Buber et al. 2013

<sup>54</sup> Orientiert an der Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten, AbLaV 2013.

Industrielle Querschnittstechnologien	2050
<b>Potenzialabschätzung</b>	
Realisierbares DSM-Potenzial in MW im Normalbetrieb	1.400
Maximale Abschaltdauer	1 h
Realisierbares DSM-Potenzial in MW im Niedrigbetrieb (Sonntagnachmittag)	800
Maximale Abschaltdauer	1 h
<b>Ökonomische Betrachtung</b>	
Jährliche fixe Kosten in €/kW a <sup>54</sup>	30

Tabelle 25: Technische und ökonomische Daten industrieller Querschnittstechnologien

**Technisches Potenzial**

Die starke Abhängigkeit der Abläufe innerhalb von Industrienanwendungen lässt eine umfangreiche Abschätzung des DSM-Potenzials nicht zu. Zum einen fehlt es an Erfahrung bei der Steuerung vieler Industrieprozesse und zum anderen führen branchenspezifische Entwicklungen und Prozessoptimierungen zu nicht überschaubaren Einschränkungen bezüglich Flexibilisierbarkeit. Solange die finanziellen Anreize nicht ausreichend gegeben sind, wird keine Anpassung der technischen Prozesse an das elektrische Energiesystem erwartet.

**Aggregierte Darstellung**

Zur Berücksichtigung im Berechnungsmodell werden die DSM-Potenziale für die verschiedenen Verschiebungen der jeweiligen Dauer *n* im Bereich Industrie auf eine zweistündige Bereitstellungsdauer umgerechnet, siehe Gleichung in Abschnitt 1.2.3. Berücksichtigt werden hierbei die Potenziale, die zu jeder Zeit (also auch im Niedrigbetrieb) zur Verfügung stehen. Damit ergibt sich ein Potenzial von 3,4 GW abschaltbarer Leistung (positive Regelleistung) und 6,8 GW h verschiebbarer Energie. Unter der Annahme, dass eine durch Abschaltung verminderte Produktion innerhalb eines Tages wieder nachgeholt wird, ergibt sich eine zuschaltbare Leistung (negative Regelleistung) von 0,3 GW (6,8 GW h/24 h).

3.3 Interdisziplinäre Beurteilung

**Ampelbewertung**

Materialverfügbarkeit		X		
Gesellschaftliche Akzeptanz		X		
Energiewirtschaftsrecht inklusive Regulierung		X		
Bau-, Umwelt- und Immissionsschutzrecht		X		
Technologie		X		

Tabelle 26: Ampelbewertung DSM Industrie

**Rechtliche Hindernisse**

Es ist zu erwarten, dass sich bei der Einbindung von industriellen Prozessen in das elektrische Energiesystem (aufgrund der wirtschaftlichen Ausrichtung von industriellen Abläufen) besondere juristi-

sche Bedingungen ergeben. Diesbezüglich ist bei einer akkumulierten, höheren Leistung im Vergleich zu dezentral organisierten, kleineren Leistungen von weniger administrativem und juristischem Aufwand auszugehen. Die Einbindung größerer Anlagen ist demnach als einfacher einzuschätzen.

Eventuell müssten analog zum GHD-Sektor Prozesse zu Zeiten laufen, die nicht von der Betriebsgenehmigung umfasst sind.

### **Gesellschaftliche Akzeptanz**

Die gesellschaftliche Akzeptanz ist im industriellen Sektor nachrangig zu bewerten. Bei vorhandenen monetären Anreizen zur Nutzung von Demand-Side-Management mit dem Zweck der netzstützenden Wirkung sind hier eher die prozessgebundenen Zusammenhänge sowie die grundsätzliche Bereitschaft der Unternehmen/Industriebetriebe ausschlaggebend.



## Literatur

Alle Daten ohne weitere Quellenangaben basieren auf Erfahrungswerten der Mitwirkenden der Fachgruppe. Eigene Berechnung und eigene Abschätzung der Autoren. Die Urheber räumen ein Nutzungsrecht für die Verwendung der Abbildungen in diesem Technologiesteckbrief im Rahmen der Online-Publikation ein.

### **AbLaV 2013**

Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten. Berlin, Bundesregierung 2013.

### **Buber et al. 2013**

Buber, T./Gruber, A./Klobasa, M./von Roon, S.: „Lastmanagement für Systemdienstleistungen und zur Reduktion der Spitzenlast“. In: *Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung*, DIW Berlin, 82, 2013, S. 89–106.

### **DENA 2010**

Deutsche Energie-Agentur: *dena-Netzstudie II – Integration erneuerbarer Energien in die Stromversorgung im Zeitraum 2015–2020 mit Ausblick auf 2025*, Studie, 2010.

### **Elsner et al. 2015**

Elsner, P./Fischedick, M./Sauer, D. (Hrsg.): *Analyse: Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2015.

### **Klobasa 2007**

Klobasa, M.: *Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten*, Dissertation, Zürich: ETH Zürich 2007.

### **Leopoldina/acatech/Akademienunion 2015**

Leopoldina/acatech/Akademienunion (Hrsg.): *Stellungnahme: Mit Energieszenarien gut beraten. Anforderungen an wissenschaftliche Politikberatung* (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), 2015.

### **Magnor et al. 2014**

Magnor, D./Lunz, B./Sauer, D. U.: „Chapter 22 – ‚Double Use‘ of Storage Systems“. In: Moseley, P. T./Garche, J. (Hrsg.): *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*, Amsterdam: Elsevier 2015, S. 453–463.

### **Schlomann 2011**

Schlomann, B.: *Energieverbrauch des Sektors GHD in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010*, 2011.  
URL: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/GHD-Erhebung\\_Bericht\\_Energieverbrauch\\_2006-2010.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/GHD-Erhebung_Bericht_Energieverbrauch_2006-2010.pdf) [Stand: 23.04.2015].

**Stamminger 2008**

Stamminger, R.: *Synergy Potential of Smart Domestic Appliances in Renewable Energy Systems*, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Universität Bonn 2008.

**Statistische Ämter des Bundes und des Landes 2011**

Statistische Ämter des Bundes und des Landes: *Demografischer Wandel in Deutschland. Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern*, Heft 1, 2011. URL: [http://www.statistikportal.de/statistik-portal/demografischer\\_wandel\\_heft1.pdf](http://www.statistikportal.de/statistik-portal/demografischer_wandel_heft1.pdf) [Stand: 14.08.2015].

**Stötzer 2012**

Stötzer, M.: *Demand Side Integration in elektrischen Verteilnetzen – Potenzialanalyse und Bewertung*, Dissertation, Magdeburg : Otto-von-Guericke-Universität 2012.

**Stromverbrauchinfo 2015-1**

Stromverbrauchinfo: *Stromverbrauch von Kühlschränken*, 2015. URL: <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromverbrauch-kuehlschraenke.php> [Stand: 14.08.2015].

**Stromverbrauchinfo 2015-2**

Stromverbrauchinfo: *Stromverbrauch von Gefrierschränken und Gefriertruhen*, 2015. URL: <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromverbrauch-gefrierschraenke.php> [Stand: 14.08.2015].

**VDE/ETG 2012**

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik/Energietechnische Gesellschaft (ETG): *Demand Side Integration – Lastverschiebungspotenziale in Deutschland*, Studie, 2012.

**Wellmer/Herzig 2016**

Wellmer, F.-W./Herzig, P. (Hrsg.): *Rohstoffe für die Energiesysteme der Zukunft* (Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2016 i. E.

## Über das Akademienprojekt

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für eine faktenbasierte Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Acht Arbeitsgruppen bündeln fachliche Kompetenzen und identifizieren relevante Problemstellungen. Interdisziplinär zusammengesetzte Ad-hoc-Gruppen erarbeiten Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energiewende.

### Die Ad-hoc-Gruppe „Flexibilitätskonzepte“

Die Ad-hoc-Gruppe „Flexibilitätskonzepte“ hat sich mit der Frage beschäftigt, wie die Versorgungssicherheit in der Stromversorgung bei einem wachsenden Anteil volatil einspeisender erneuerbarer Energien sichergestellt werden kann. Sie hat untersucht, wie die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik sinnvoll durch flexible Stromerzeuger, Demand-Side-Management, Speicher und Netzausbau ergänzt werden kann. Als Zeithorizont wurde das Jahr 2050 betrachtet. Neben dem Technologiebedarf und den Kosten wurden auch die gesellschaftlichen Implikationen sowie der Ressourcenbedarf unterschiedlicher Gestaltungsoptionen für das Energiesystem beleuchtet.

Zur Ad-hoc-Gruppe gehören elf Fachgruppen mit Experten aus Wissenschaft und Industrie. Die Ergebnisse wurden in drei Formaten aufbereitet.

Die **Technologiesteckbriefe** dokumentieren Details zu den einzelnen Technologien und stellen den Stand der Technik ausführlich dar, zeigen Entwicklungspotenziale auf und beschreiben den Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Anhand einer interdisziplinären Matrix wurden alle Technologien im Hinblick auf Ressourcenverfügbarkeit, gesellschaftliche Akzeptanz, technischen Reifegrad und relevante Aspekte des Energiewirtschaftsrechts sowie des Bau- und Emissionsschutzrechts bewertet. Die Steckbriefe richten sich in erster Linie an Energiesystem-Modellierer, denen hiermit eine aktuelle, von Experten erstellte Datenbasis zur Verfügung gestellt wird.

Weitere Formate von der Ad-hoc-Gruppe „Flexibilitätskonzepte“:

- Die **Analyse** „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge“ dokumentiert die Methodik und die Ergebnisse der Ad-hoc-Gruppe in umfassender Form und setzt diese in Bezug zu energiepolitischen Fragen.
- Die **Stellungnahme** „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien“ stellt die Synthese der Ergebnisse in kompakter, allgemein verständlicher Form dar und zeigt Handlungsoptionen zur Gestaltung der zukünftigen Stromversorgung auf.

## Mitwirkende der Ad-hoc-Gruppe

In der Ad-hoc-Gruppe arbeiteten rund 100 Experten aus Wissenschaft und Industrie mit. Neben Naturwissenschaftlern und Ingenieuren waren auch Wirtschaftswissenschaftler, Psychologen, Politik- und Sozialwissenschaftler vertreten.

### Leitung

Prof. Dr. Peter Elsner	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer	RWTH Aachen

## Mitwirkende der Fachgruppe DSM Strom

### Fachgruppenmitglieder

Prof. Dr. Zbigniew A. Styczynski (Leitung)	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer (Leitung)	RWTH Aachen
Thomas Aundrup	Westnetz GmbH
Prof. Dr. Jutta Hanson	Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr. Reinhard Madlener	RWTH Aachen
Dr. Georg Markowz	Evonik Industries AG
Frau Prof. Dr. Ellen Matthias Marc Richter	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Prof. Dr. Krzysztof Rudion	Universität Stuttgart
Steffen Schlegel	Technische Universität Ilmenau
Dr. Martin Stötzer	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt
Prof. Dr. Dirk Westermann	Technische Universität Ilmenau

### Wissenschaftliche Referenten

Dr. Berit Erlach	acatech
Benedikt Lunz	RWTH Aachen
Dr. Matthias Merzkirch	Karlsruher Institut für Technologie

## Institutionen und Gremien des Akademienprojekts

### Beteiligte Institutionen

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Federführung)
Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

### Steuerkreis

Der Steuerkreis koordiniert die Arbeit in acht interdisziplinären, thematischen Arbeitsgruppen.

Prof. Dr. Robert Schlögl (Vorsitzender)	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
--	---

Prof. Dr. Peter Elsner	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
Prof. Dr. Armin Grunwald	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Peter Herzig	Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Prof. Dr. Ortwin Renn	Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
Prof. Dr. Ferdi Schüth	Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
em. Prof. Dr. Rüdiger Wolfrum	Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, Heidelberg
Prof. Dr. Eberhard Umbach	acatech Präsidium

### Kuratorium

Das Kuratorium verantwortet die strategische Ausrichtung der Projektarbeit.

Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Vorsitzender)	acatech Präsident
Prof. Dr. Jörg Hacker	Präsident Leopoldina
Prof. Dr. Dr. Hanns Hatt	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (seit September 2015), Präsident Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste
Prof. Dr. Günter Stock	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (bis August 2015), Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (bis September 2015)
Prof. Dr. Bärbel Friedrich	Vizepräsidentin Leopoldina
Prof. Dr. Jürgen Gausemeier	Mitglied acatech Präsidium
Prof. Dr. Andreas Löschel	Universität Münster, Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring- Prozess „Energie der Zukunft“
Prof. Dr. Klaus Töpfer	Ehemaliger Exekutivdirektor Institute for Advanced Sustainability Studies
Dr. Georg Schütte (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Bildung und Forschung
Rainer Baake (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Dr. Ingrid Wüning Tschol (Gast)	Bereichsdirektorin „Gesundheit und Wissenschaft“ Robert-Bosch-Stiftung

### Projektkoordination

Dr. Ulrich Glotzbach	Leiter der Koordinierungsstelle, acatech
----------------------	--

## Rahmendaten

### Projektlaufzeit

04/2013 bis 02/2016

### Finanzierung

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen EDZ 2013) und der Robert-Bosch-Stiftung gefördert.