Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Netze

Bericht vom 10 Oktober 2019

Studie «Potential Demand Side Management in der Schweiz»

Quelle:shutterstock.com /:Poungsaed-Studio

Energie. Weiter denken

Datum: 10 Oktober 2019
Ort: Bern

Auftraggeberin:
Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:
B E T Suisse AG
Junkerbifangstrasse 2, CH-4800 Zofingen
www.bet-suisse.ch

Autor/in:
Dr. André Vossebein, B E T Suisse AG, andre.vossebein@bet-suisse.ch
Dr. Stefan Muster, B E T Suisse AG, stefan.muster@bet-suisse.ch
Ueli Betschart, B E T Suisse AG, ueli.betschart@bet-suisse.ch
Beat Kölliker, B E T Suisse AG, beat.koelliker@bet-suisse.ch

BFE-Bereichsleitung: Mohamed Benahmed
BFE-Programmleitung: Astrid Sontag
BFE-Vertragsnummer: SI/200293-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3
Abbildungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 8
Abkürzungsverzeichnis 9
1 Management Summary 10
2 Résumé en Français 14
3 Definition DSM, Auftrag und Ziel der Studie 18
4 Methodisches Vorgehen 20
5 Potentialbegriffe 21
5.1 Theoretisches Potential 21
5.1.1 Definition 21
5.1.2 Quantifizierung 22
5.2 Technisches Potential 24
5.2.1 Definition 24
5.2.2 Quantifizierung 26
5.3 Soziotechnisches Potential 29
5.4 Wirtschaftliches Potential 34
6 Skizzierung Anwendungszwecke des DSM-Potentials 36
6.1 Überblick 36
6.2 Regelenergiemarkt 38
6.3 Redispatching 38
6.4 Netzentgeltminimierung 39
6.5 Integration der Produktion aus Erneuerbaren Energiequellen 39
7 Qualitative Bewertung der Sektoren 41
7.1 Strukturierung der volkswirtschaftlichen Bereiche 41
7.2 Überblick 42
7.3 Haushalte 43
7.4 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 46
7.5 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe 49
7.6 Verkehr 52
8 Ergebnisse der Quantifizierung des theoretischen, technischen und soziotechnischen Potentials 54
8.1 Gesamtbetrachtung Sektoren 54
8.2 Haushalte 56
8.2.1 Gesamtbetrachtung Potentiale 56

8.2.2 Theoretisches Potential ... 57
8.2.3 Technisches Potential ... 58
8.2.4 Soziotechnisches Potential ... 60
8.3 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen ... 61
8.3.1 Gesamtbetrachtung Potentiale ... 61
8.3.2 Theoretisches Potential ... 62
8.3.3 Technisches Potential ... 63
8.3.4 Soziotechnisches Potential ... 64
8.4 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe ... 65
8.4.1 Gesamtbetrachtung Potentiale ... 65
8.4.2 Theoretisches Potential ... 66
8.4.3 Technisches Potential ... 67
8.4.4 Soziotechnisches Potential ... 68
8.5 Verkehr ... 69
8.5.1 Gesamtbetrachtung Potentiale ... 69
8.6 Ableitung des technischen und soziotechnischen Potentials für die Grossregionen ... 70
8.6.1 Haushalte ... 71
8.6.2 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen ... 72
8.6.3 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe ... 74
8.6.4 Verkehr ... 76
9 Erschliessungsaufwand als Faktor für wirtschaftliches Potential ... 78
9.1 Definition des Erschliessungsaufwands ... 78
9.2 Exemplarisches Kostenschätzung IKT ... 79
9.3 Einfluss von Smart Metering auf den Erschliessungsaufwand ... 81
10 Internationaler Vergleich ... 83
10.1 Deutschland ... 83
10.2 USA ... 88
10.3 Grossbritannien ... 88
10.4 Niederlande ... 90
10.5 Italien ... 90
11 Identifikation von Hemmnissen und Lösungsvorschlägen ... 91
11.1 Soziotechnische Hemmnisse ... 91
11.1.1 Wissens- und Informationsstand ... 91
11.1.2 Energiewirtschaftliche Regularien ... 92
11.2 Ökonomische Hindernisse ... 93
11.3 Technische Hemmnisse ... 93

11.4 Rechtliche Hindernisse ... 94
11.4.1 Beschränkte Wahlfreiheit bei Tarifen ... 94
11.4.2 Angemessenheit der Tarife ... 95
11.4.3 Berechnungsvorschriften für Tarife ... 95
11.4.4 Marktdesign ... 96
11.4.5 Versorgungssicherheit ... 96
11.4.6 Nutzungsrechte für Flexibilität ... 97
11.4.7 Weitere Bestimmungen ... 97
11.5 Zusammenfassung ... 98
12 Schlussfolgerungen ... 100
Literaturverzeichnis ... 102
Anhang 1: Fragebogen EVU-Onlineumfrage ... 104
Anhang 2: Auswertung EVU-Umfrage ... 108
Anhang 3: Interviewleitfaden Verbände ... 113
Anhang 4: Interviewleitfaden Unternehmen ... 114
Anhang 5: Zusammenfassung der Verbands- und Unternehmensumfrage ... 116
Anhang 6: Berechnungen des exemplarischen Erschliessungsaufwands ... 121
Anhang 7: Exkurs Notstromaggregate ... 123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung des Prozesses der Zementherstellung 22
Abbildung 2: Normierter Tagesenergiebedarf (Lastprofil) Haushaltsgeräte 25
Abbildung 3: Zeitlich verfügbare Flexibilitätsquellen nach Sektoren. 27
Abbildung 4: Hochgerechnete Summenkennlinien Papierindustrien nach Nutzungsformen 30
Abbildung 5: Maximale positive und negative Regelleistung von Kühlschränken 31
Abbildung 6: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien 32
Abbildung 7: Einflussparameter auf DSM-Potentiale abhängig vom Anwendungszweck 36
Abbildung 8: Minimales und maximales DSM-Potential alle Sektoren 56
Abbildung 9: Überblick DSM-Potentiale Haushalte 57
Abbildung 10: Theoretisches Potential Haushalte 58
Abbildung 11: Vergleichmässigtes technisches Potential Haushalte 59
Abbildung 12: Soziotechnisches Potential Haushalte 60
Abbildung 13: Minimale und maximale DSM-Potentiale Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 61
Abbildung 14: Minimales und maximales theoretisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 62
Abbildung 15: Vergleichmässigtes Technisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 63
Abbildung 16: Soziotechnisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 64
Abbildung 17: Minimales und maximales DSM-Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe 66
Abbildung 18: Theoretisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe 67
Abbildung 19: Vergleichmässigtes Technisches Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe 67
Abbildung 20: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe [in MW] 69
Abbildung 21: Überblick DSM-Potentiale Verkehr 70
Abbildung 22: Technisches Potential Haushalte pro Grossregion 71
Abbildung 23: Soziotechnisches Potential Haushalte nach Grossregionen (Zuschalten) 72
Abbildung 24: Soziotechnisches Potential Haushalte nach Grossregionen (Abschalten) 72
Abbildung 25: Technisches Potential (minimal und maximal) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion 73
Abbildung 26: Soziotechnisches Potential (Abschalten) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion 73
Abbildung 27: Soziotechnisches Potential (Zuschalten) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion 74
Abbildung 28: Technisches Potential (minimal und maximal) Industrie und verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion 75
Abbildung 29: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion ..75

Abbildung 30: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion ..76
Abbildung 31: Technisches Potential Elektromobilität pro Grossregion.....76
Abbildung 32: Soziotechnisches Potential 77
Abbildung 33: Erschliessungsaufwand (total) 80
Abbildung 34: Steuerungs-Infrastruktur.....81
Abbildung 35: Soziotechnisches DSM-Potential industrieller Produktionsprozesse.....84
Abbildung 36: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien 85
Abbildung 37: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien in Industrie und GHD 86
Abbildung 38: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien in Haushalten 87
Abbildung 39: Vor- und Nachteile von Arbeits- und Leistungspreiskomponenten. 96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere Auslastung nach Typzeiträumen bei Lüftungsanlagen in Industrie und GHD ...28

Tabelle 2: Spannbreite zwischen installierter Leistung und soziotechnischem Potential 33

Tabelle 3: Übersicht genereller, aktueller Anforderungen der Anwendungszwecke 37

Tabelle 4: Übersicht DSM-fähige Prozesse nach EWI.....41

Tabelle 5: Überblick der Sektoren für eine qualitative Einschätzung.....42

Tabelle 6: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Haushalte 44

Tabelle 7: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Landwirtschaft und Gartenbau 46

Tabelle 8: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Dienstleistungen.48

Tabelle 9: Übersicht Stromverbräuche in GWh.....49

Tabelle 10: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe 50

Tabelle 11: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Verkehr.....52

Tabelle 12: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Haushalte 59

Tabelle 13: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen 63

Tabelle 14: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Industrie und Verarbeitendes Gewerbe 68

Tabelle 15: Zusammenfassung Hemmnisse 98

Abkürzungsverzeichnis

Art.	Artikel
B E T	Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH bzw. B E T Suisse AG
DSI	Demand Side Integration
DSM	Demand Side Management
GHP	Gute Herstellungspraxis
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
PRL	Primärregelleistung
RTO	Regional Transmission System Operator
SaT	Samstags tagsüber
SFN	Sonn- und feiertags sowie nachts
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SRL	Sekundärregelleistung
TRL	Tertiärregelleistung
TSO	Transmission System Operator
VBH	Vollastbenutzungsstunden
VNB	Verteilnetzbetreiber
WTT	Werktags tagsüber

1 Management Summary

Unter Demand-Side-Management (DSM) werden Massnahmen zur Beeinflussung des Stromverbrauchs von Endkunden verstanden, welche durch Dritte herbeigeführt werden, um ein energiewirtschaftliches System zu optimieren. Dieses kann z. B. durch Senkung oder Verschiebung des Verbrauchs erfolgen. DSM ist seit den 70er Jahren bekannt und wird schon heute in der Schweiz praktiziert, etwa bei der Steuerung von Haushaltsgeräten durch Rundsteuersignale. Die heutigen Potentiale für Demand-Side-Management in der Schweiz sind in ihrer absoluten Höhe nicht bekannt, ebenso wenig die Eignung verschiedener Flexibilitätsquellen für definierte Anwendungszwecke wie zum Beispiel die Bereitstellung von Regelenergie. Auch sind die Hemmnisse zur Nutzung von DSM und Ansatzpunkte zu deren Beseitigung nicht hinreichend klar. Das Bundesamt für Energie hat die BET Suisse AG (BET) daher beauftragt, diese Fragestellungen zu bearbeiten.

BET hat die Potentiale entlang der Stufen theoretisches Potential, technisches Potential, soziotechnisches Potential und wirtschaftliches Potential zunächst qualitativ untersucht. Während das theoretische Potential auf die grundsätzliche Eignung von Stromverbrauchern bzw. Stromverbräuchern für DSM abzielt, beinhaltet das technische Potential zum Beispiel Restriktionen, die durch Produktionsanlagen gegeben sind. Das soziotechnische Potential stellt die Akzeptanz in den Vordergrund, das wirtschaftliche Potential die Frage, ob der mit der DSM-Nutzung einhergehende Aufwand einem angemessenen Ertrag gegenübersteht.

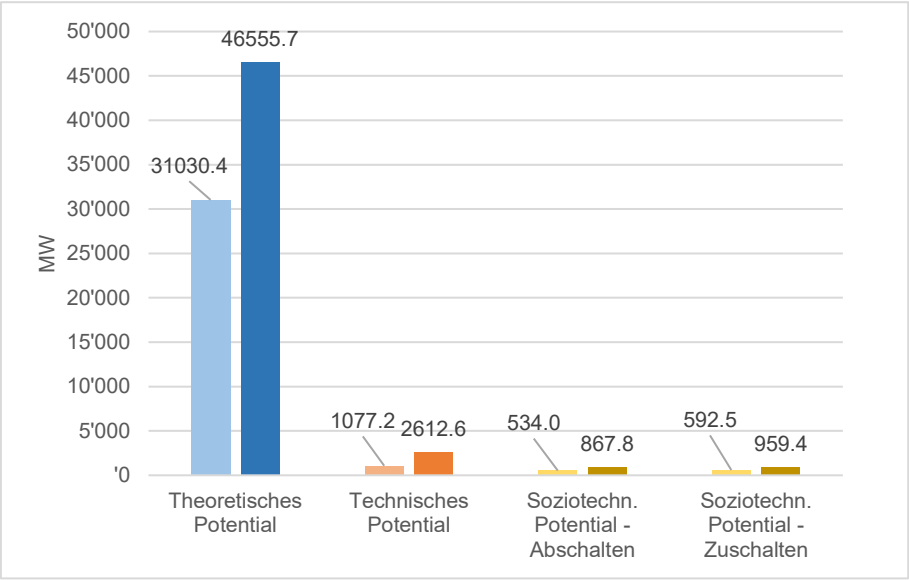
Anschliessend hat BET die Eignung der Potentiale für die vom Auftraggeber genannten Anwendungszwecke «Regelenergiemarkt», «Redispatching», «Netzentgeltminimierung» und «Integration der Produktion erneuerbarer Energien» diskutiert.

Schliesslich wurde auf Basis von im Rahmen der Studie durchgeführten Befragungen bei Energieversorgungsunternehmen, von Industrieunternehmen und Branchenverbänden, sowie auf Basis z. B. von öffentlichen Datenquellen und von eigener Expertise versucht, die jeweiligen Potentiale für die Sektoren «Haushalte», «Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen», «Industrie und Verarbeitendes Gewerbe» sowie «Verkehr» zu analysieren. Es stellte sich dabei heraus, dass zu DSM-relevanten Aspekten bei verschiedenen Stakeholdern, aber auch in öffentlichen Datenquellen etc. kaum Daten, Informationen und ausreichend Know-how vorhanden sind.

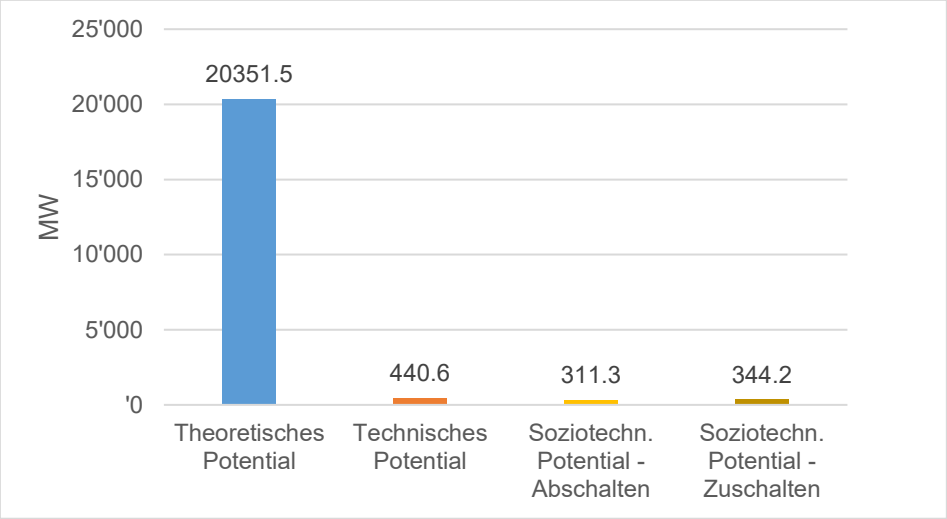
Es wurde eine erste Schätzung für die Grössenordnung des DSM-Potentials in der Schweiz erstellt. Über alle Sektoren besteht ein theoretisches DSM-Potential von 31.0 bis 46.6 GW (aufaddierte elektrische Leistungen der Anwendungen) und übersteigt somit die Schweizer Spitzenlast. Das technische, für die Nutzung verlässliches Potential beträgt ca. 1.1 bis 2.6 GW. Gründe für die grossen Unterschiede der beiden Potentialstufen sind vor allem in der oft nicht-gleichzeitigen Nutzung der verschiedenen Verbraucher, aber auch in den oft nur kurzen Betriebszeiten der Verbraucher zu finden.

Die Potentiale sind zum Teil von der Jahreszeit und der Tageszeit abhängig und stehen nicht immer zur Verfügung. Beispielsweise sind Heizungsanwendungen für die zeitlich nicht einheitliche Höhe des Potentials ausschlaggebend.

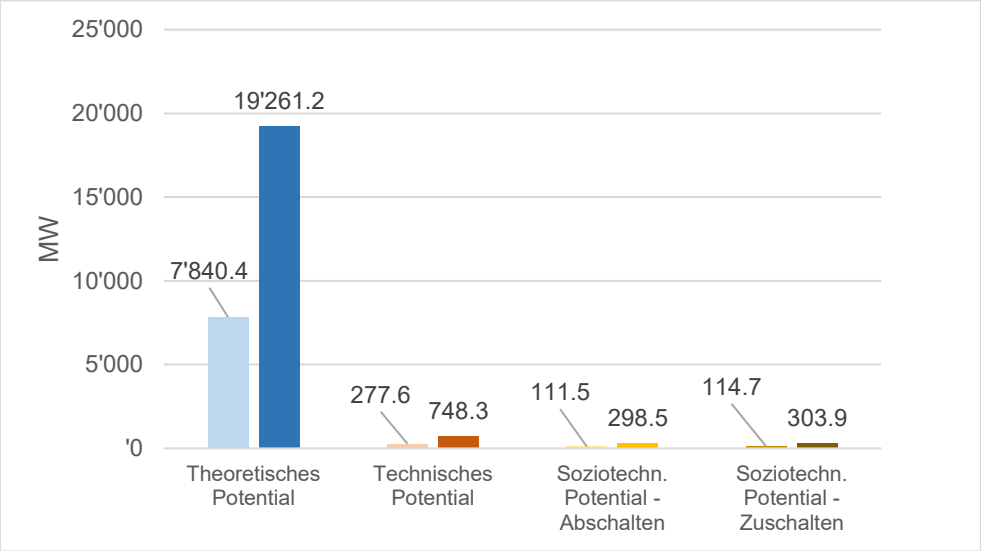
Entsprechend werden die Potentiale in der Arbeit zeitlich gegliedert dargestellt, wie es auch in anderen Studien zum Thema DSM bereits praktiziert wurde. Das soziotechnische Potential liegt bei etwa 0.6 bis 1 GW, da die Bereitstellung elektrischer Verbraucher für DSM in der Realität nicht auf uneingeschränkte Akzeptanz treffen dürfte.



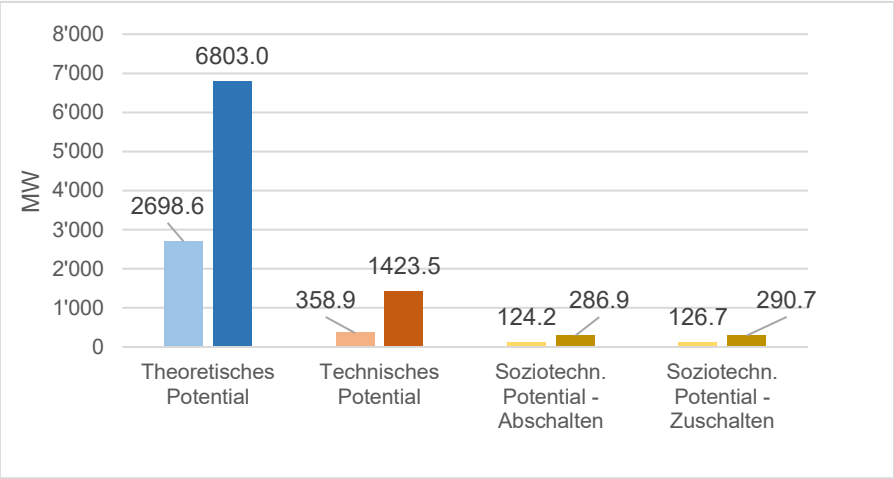
Das höchste soziotechnische Potential ist im Bereich Haushalte sowie bei den Dienstleistungen zu erwarten. Industrie und Gewerbe weisen ein leicht niedrigeres soziotechnische Potential aus.
Bei den Haushalten beträgt das maximal zur Verfügung stehende, technische Potential 440.6 MW. Es resultiert ein soziotechnisches Potential von maximal rund 311 bzw. 344 MW für Abschalten und Zuschalten.



Bei den Dienstleistungen (inkl. Landwirtschaft und Gartenbau) wurde ein technisches Potential von zwischen 278 MW und 748 MW berechnet. Es ergibt sich ein soziotechnische Potential zwischen 112 und 304 MW. Aussichtsreiche DSM-Prozesse sind «Raumwärme», «Warmwasser», «Prozesswärme», «Klima/Lüftung/Haustechnik» und «Antriebe und Prozesse».



Der Abschlag vom theoretischen zum technischen Potential ist bei Industrie und Gewerbe deutlich geringer als bei den Haushalten resp. bei den Dienstleistungen. Das technische Potential beträgt 358.9 bis 1423.5 MW. Das soziotechnische Potential liegt jeweils zwischen 10 und 30% dieser Werte, d.h zwischen 124 und 290 MW.



Das technische und das soziotechnische Potenzial im Verkehr sind derzeit vernachlässigbar, wird aber mit der Verbreitung der E-Mobilität steigen. Das theoretische Potenzial beträgt 140 MW.

Aufgrund der eingeschränkten Datenlage sollten die ermittelten Werte in weiteren Studien mit Hilfe weiterführender Datenrecherche weiter geschärft werden. Erst dann ist auch die genaue Bezifferung der Potentiale für die Grossregionen möglich. In der Studie wird davon ausgegangen, dass die Potentiale in etwa analog zur Anzahl der Haushalte bzw. der Betriebe in den Schweizer Grossregionen verteilt sind.

Für die Nutzung von DSM in der Schweiz gibt es heute unterschiedliche Hemmnisse:

Zum einen sollte ein zielgerichteter Know-how-Aufbau in der Industrie etc. stattfinden. Die verschiedenen Akteure haben heute oft nicht die Daten und Informationen, um ihre Flexibilität im Rahmen von DSM bereit zu stellen. Dieses betrifft grundsätzlich das Thema DSM, aber auch z. B. technische Aspekte der eigenen Stromverbraucher und erschwert auch das Entstehen entsprechender Geschäftsmodelle. Breit angelegte Kampagnen könnten förderlich sein, um den Informationsstand der Beteiligten zu verbessern.

Zum anderen wären Standardisierungen hilfreich, um technische Hemmnisse für DSM zu beseitigen, sie können aber nicht von der Schweiz alleine herbeigeführt werden.

Für eine umfassendere Nutzbarmachung der DSM-Potentiale ist es zudem wichtig, dass eine Verbesserung der wirtschaftlichen Anreize erfolgt, diese sind heute oft noch nicht ausreichend.

Ein weiterer Bereich, der Hemmnisse darstellt, sind rechtliche Regelungen, zum Beispiel zu Tarifen. Hier gibt es verschiedene regulatorische Hemmnisse, u. a. im StromVG und in der StromVV. Hilfreich bei der Entwicklung von DSM ist die Einführung einer Flexibilitätsregulierung und grössere Spielräume bei der Tarifierung.Zudem könnten bei Konfliktfällen der Besitz und das Nutzungsrecht von Flexibilitäten innerhalb eines Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV) expliziter geregelt werden.

2 Résumé en Français

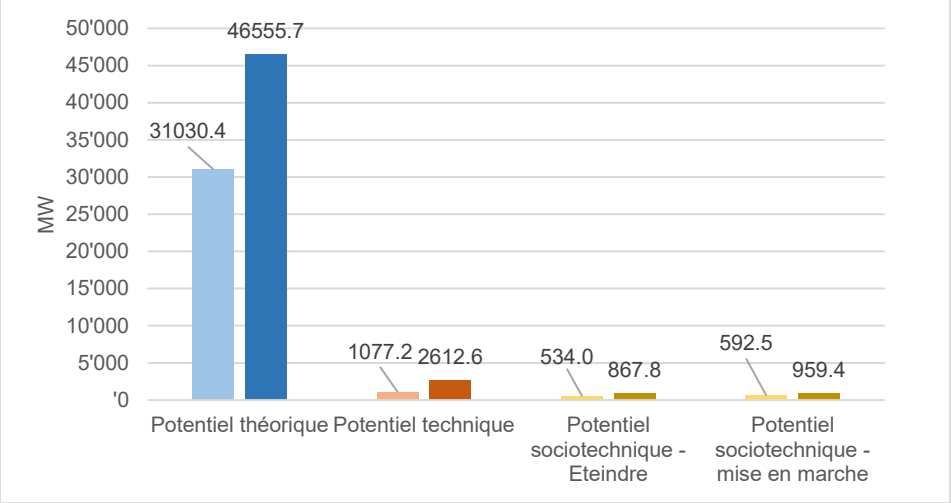
On entend par «Demand-Side-Management » (DSM) des mesures mises en place par des tiers pour influencer la consommation d'électricité des clients en fin de chaîne dans le but d'optimiser économiquement un système énergetique. Cela peut prendre la forme d'une réduction ou d'un décalage de la consommation. Le DSM est connu depuis les années 1970 et se pratique déjà en Suisse aujourd'hui sous la forme, par exemple, du pilotage des gros appareils électroménagers au moyen de signaux de télécommandes centralisées. En Suisse, on ne connaît pas l'ampleur absolue des potentiels actuels afférents à la gestion de la demande, pas plus que l'on ne sait si différentes sources de flexibilité se prêtent à des buts d'applications définis tels que par exemple la fourniture d'une énergie de réglage. De même, les obstacles à l'utilisation du DSM et les démarches visant à les supprimer ne sont pas suffisamment clairs. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a par conséquent chargé la société BET Suisse AG (BET) de traiter ces questionnements.

Dans un premier temps, BET a soumis les paramètres suivants: Potentiel théorique, Potentiel technique, Potentiel socio-technique et Potentiel économique à une analyse qualitative. Tandis que le potentiel théorique cible l'adéquation fondamentale des consommateurs d'électricité et des consommations d'électricité pour le DSM, le potentiel technique englobe par exemple les restrictions conditionnées par les installations de production. Le potentiel socio-technique place l'acceptation au premier-plan, le potentiel économique pose lui la question de savoir si l'investissement de l'utilisation d'un DSM va de pair avec un gain approprié.

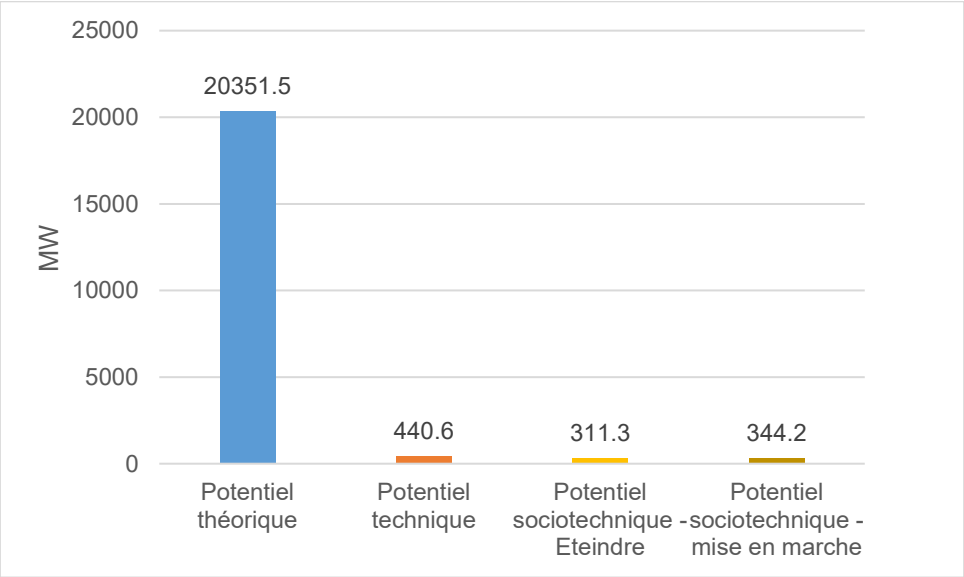
Ensuite, BET a discuté de l'adéquation des potentiels susmentionnés avec les usages prévus désignés par le commanditaire, à savoir le «Marché de l'énergie de réglage», le «Redispatching», la «Minimisation de la taxe d'utilisation de réseau» et l'«Intégration de la production d'énergies renouvelables».

Une première estimation de l'ordre de grandeur du potentiel d'un DSM pour la Suisse a été dressée. Tous secteurs confondus, il existe un potentiel théorique du DSM compris entre 31.0 et 46.6 GW (somme des potentiels électriques de l'application) et dépasse par conséquent la charge de pointe suisse. Le potentiel technique utilisable de manière fiable n'est compris lui, qu'entre 1.1 et 2.6 GW.
Les raisons pour la grande différence entre les deux niveaux potentiels sont avant tout à chercher dans les exploitations non-simultanées des différents consommateurs, mais également dans les fréquentes courtes périodes d'exploitation des consommateurs.

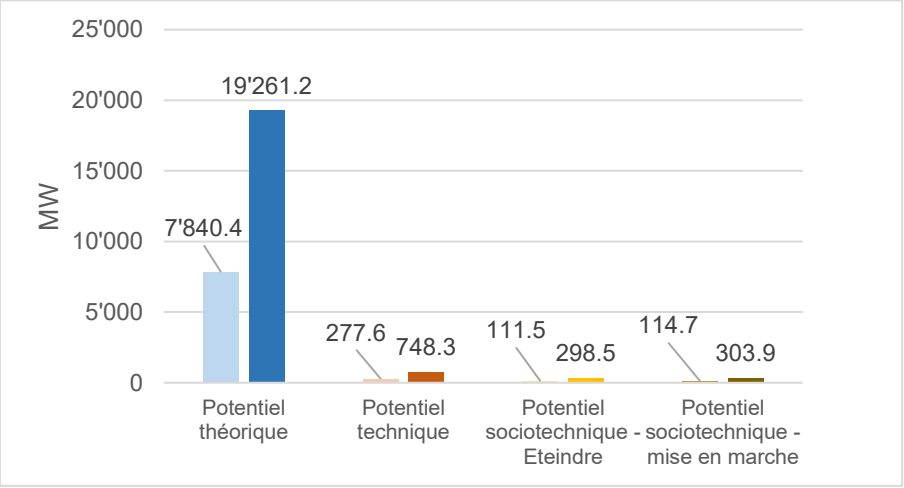
Les potentiels dépendent en partie de la saison et de l'heure du jour, et ils ne sont pas toujours disponibles. Ainsi par exemple les applications de chauffage jouent-elles un rôle déterminant dans l'irrégularité d'ampleur de ce potentiel sur l'échelle de temps. De manière correspondante, les potentiels sont représentés structurés en temps dans ce travail. Cette méthode a déjà été pratiquée dans d'autres études sur le thème du DSM. Le potentiel socio-technique est compris entre environ 0.6 et 1 GW vu que la mise de consommateurs électriques à la disposition du DSM devrait, dans la réalité, rencontrer une acceptation limitée.



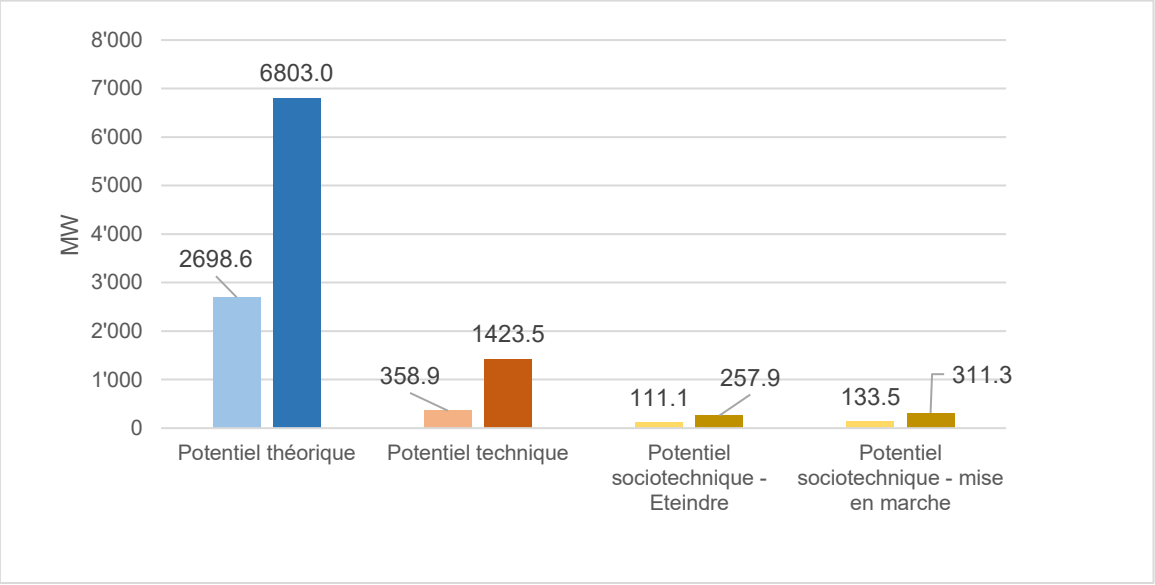
C'est dans le domaine des ménages et des services que l'on peut s'attendre au potentiel socio-technique le plus élevé. L'industrie et le commerce ont un potentiel socio-technique légèrement inférieur. Pour les ménages, le potentiel technique maximal disponible est de 440,6 MW. Il en résulte un potentiel socio-technique maximal d'environ 311 ou 344 MW pour la mise en marche et l'arrêt.



Un potentiel technique compris entre 278 MW et 748 MW a été calculé pour les services (y compris l'agriculture et l'horticulture). Le potentiel socio-technique qui en résulte se situe entre 112 et 304 MW. Les processus importants de DSM sont le "chauffage des locaux", l'"eau chaude", la "chaleur industrielle", la "climatisation / ventilation / services du bâtiment" et les "entraînements et processus".



La réduction du potentiel théorique au potentiel technique est nettement plus faible pour l'industrie et le commerce que pour les ménages et les services. Le potentiel technique est de 358,9 à 1423,5 MW. Le potentiel socio-technique se situe entre 10 et 30% de ces valeurs, soit entre 124 et 290 MW.



Le potentiel technique et socio-technique des transports est actuellement négligeable, mais il augmentera avec l'augmentation de la mobilité électrique. Le potentiel théorique est de 140 MW.

En raison du corpus de données restreint, il faudrait une prospection approfondie des données pour augmenter la précision des valeurs déterminées. Ce n'est qu'ensuite qu'on pourra chiffrer avec précision les potentiels afférents aux grandes régions de Suisse. L'étude part cependant du principe que les potentiels sont approximativement distribués de façon analogue au nombre de foyers et d'entreprises dans ces grandes régions.

Il existe aujourd'hui en Suisse différents obstacles à l'utilisation du DSM. Il faudrait d'une part que l'industrie et d'autres secteurs développent un savoir-faire ciblé. Souvent les différents acteurs ne disposent

aujourd'hui pas des données et des informations qui leur permettraient d'inscrire leur flexibilité dans la gestion de l'énergie dans le cadre du DSM. Cela concerne fondamentalement le thème du DSM mais aussi p. ex. des aspects techniques des propres consommateurs d'électricité et complique l'apparition et le développement de modèles commerciaux correspondants. Des campagnes à grande échelle pourraient être propices à une amélioration du niveau d'information des parties impliquées.

D'autre part, des standardisations aideraient à supprimer des obstacles techniques au DSM, mais elles ne peuvent pas être introduites par la Suisse seule. Afin de rendre le potentiel du DSM plus "réalisable", il est en outre important d'améliorer les incitatifs économiques qui aujourd'hui souvent pèchent par leur insuffisance.

Autre domaine synonyme d'obstacles: les règlements juridiques p. ex. au sujet des tarifs. Il en va de même aussi pour différents obstacles d'ordre réglementaire (entre autres dans la LApEI et l'OApEI). L'introduction d'une réglementation de la flexibilité et d'une plus grande marge de manœuvre en matière de tarification sont utiles dans le développement du DSM. En outre, en cas de conflit, la propriété et le droit d'utilisation des flexibilités dans le cadre d'un regroupement pour la consommation propre (RCP) pourraient être réglementés plus explicitement.

3 Definition DSM, Auftrag und Ziel der Studie

Als Baustein eines künftig stärker dezentral und erneuerbar ausgerichteten Energiesystems mit Photovoltaik, flexiblen und steuerbaren Lasten wie Wärmepumpen und Elektromobilität wird diskutiert, den Strombezug an die jeweils verfügbare Energieproduktion anzupassen. Damit soll das energetische System optimiert werden. Solche Ansätze werden landläufig als Lastmanagement oder Demand-Side-Management (DSM) bezeichnet.

Lastmanagement / DSM ist seit Anfang der 70er Jahren des letzten Jahrtausends bekannt. Solche Massnahmen hatten ihren Ursprung in den USA, wo umfangreiche Projekte und Studien etc. zu dem Thema vorhanden sind. Nach einer Definition der US-amerikanischen „Federal Energy Regulatory Commission“ aus dem Jahr 2006 besteht Lastmanagement aus „Abweichungen vom üblichen Stromverbrauchsmuster durch die Endkunden in Reaktion auf Änderungen des Strompreises im Zeitverlauf oder Anreizzahlungen, die eingeführt wurden, um einen geringeren Stromverbrauch in Zeiten mit hohem Stromgrosshandelspreis auszulösen oder um einen geringeren Stromverbrauch auszulösen, wenn die Systemstabilität gefährdet ist[1].”

Zum Lastmanagement / DSM gehören also solche Massnahmen, die geeignet sind, das Verbrauchsverhalten anzupassen. Dieses geschieht meist auf Basis ökonomischer Anreize, wobei aber auch technische Eingriffe die Last beeinflussen können. Technische Eingriffe können auch auf Basis ökonomischer Signale erfolgen.

Folglich gilt für diese Studie:

„Demand Side Management umfasst Massnahmen, welche durch Dritte zur Optimierung eines energiewirtschaftlichen Systems direkt oder indirekt herbeigeführt werden und das übliche, unbeeinflusste Stromverbrauchsmuster von Endkunden beeinflussen“.

Dritte geben demnach vor, wie das energiewirtschaftliche System optimiert werden soll. Diese Definition schliesst aus, dass z. B. ein Industrieunternehmen durch die Nutzung eines (eigenen) Energiemanagementsystems als zu teuer angesehene Strombezugsmuster (nur) aus eigenem, ökonomischen Kalkül vermeidet[2]. Vielmehr ist es zentral, dass die Flexibilität zu Gunsten eines übergeordneten Energiesystems genutzt bzw. ihr Einsatz von Dritten hervorgerufen wird. Dabei können gleichwohl ökonomische Anreize wirksam sein, um systemdienliches Verhalten zu fördern.

DSM kann bedeuten, dass Stromverbrauch bzw. Last verschoben, gesenkt oder erhöht wird. Weiter gefasst kann auch z. B. durch Massnahmen der Sektorkopplung zwischen Stromverbrauch und dem Verbrauch anderer Energien umgestellt werden. Für diese Studie werden unter DSM lediglich Lastreduktion und Lastverschiebung verstanden. Das Steuern von Kraftwerken respektive Pumpspeicherkraftwerken in der Energieversorgung wird nicht unter diesem Begriff subsumiert[3].

---

[1] Vgl.: Federal Energy Regulatory Commission (USA) (2006): “Assessment of Demand Response and Advanced Metering : Staff Report”. Washington DC, Eigene Übersetzung

[2] Dieses könnte zum Beispiel der Fall sein, wenn Strombezugsverträge mit Toleranzbändern abgeschlossen werden.

[3] Nach Absprache mit dem Auftraggeber wird aber auch an einigen Stellen der Studie auf dezentrale, fossil-befeuerte Stromerzeuger ohne Abwärmenutzung (z. B. Notstromdiesel) eingegangen.

In der Schweiz gibt es bereits heute eine Reihe von Massnahmen, welche als DSM zu bezeichnen sind. Hervorzuheben ist der weit verbreitete Einsatz von technischen Rundsteueranlagen, mit welchen einzelne Verbraucher wie beispielsweise Tumbler oder Wärmepumpen gesperrt werden können. Ein ebenfalls etablierter Ansatz besteht darin, dass Energieversorgungsunternehmen mittels nach Hoch- und Niedertarif differenzierten Preisen ökonomische Anreize für ein bestimmtes Verbrauchsverhalten bei Kunden schaffen. Solche Preisdifferenzierungen können zum Beispiel aus einer Weitergabe zeitlich divergierender Energiebeschaffungspreise des Energielieferanten herrühren. Auch wird oft versucht, Netzspitzen zu vermeiden. Insofern ist die von den Schweizer Stromverbrauchern bezogene elektrische Energie bzw. die Last in den Schweizer Stromnetzen bereits eine beeinflusste Last, anhand derer z. B. auch die Netze dimensioniert sind.

Folglich wird ein Teil der für DSM nötigen Potentiale bereits heute genutzt. Bei einem späteren, allfälligen Redesign der Nutzung von DSM muss das berücksichtigt werden. Zum einen sind die dann noch zusätzlich zu realisierenden Potentiale vermindert, z. B. weil bereits heute Lastbeeinflussung im Haushaltsbereich stattfindet. Zum anderen muss analysiert werden, ob die bisher genutzten Flexibilitäten künftig anders eingesetzt werden sollten.

Für die Schweiz ist bisher keine vollumfassende Erhebung oder Abschätzung dazu vorhanden, welches DSM-Potential vorhanden ist und welchen Beitrag es zur Versorgungssicherheit heute und bis 2035 leisten kann[4]. Bei der Analyse der Datenlage stellte sich heraus, dass diese teils recht mangelhaft ist. In der Studie werden für das theoretische, technische und soziotechnische Potential geeignete Grössenordnungen abgeschätzt. Die Methoden und Inputparameter werden transparent gemacht, so dass fortlaufende Arbeiten darauf aufbauen können. Verschiedene Hemmnisse werden beschrieben. Zudem sind die regulatorischen und tariflichen Hindernisse für die Nutzung von DSM noch nicht eindeutig bekannt und näher zu analysieren.

[4] Auch für andere Ländern Europas fehlen durchgängig konsistente Erhebungen des DSM-Potentials, welche alle Branchen umfassen.

4 Methodisches Vorgehen

Die Studie beleuchtet zunächst verschiedene Potentialbegriffe und Ansätze zu deren Ermittlung, um dann die vier vorgegebenen Anwendungszwecke und deren Anforderungen zu skizzieren. Die Fokussierung auf definierte Anwendungszwecke grenzt das grundsätzliche Potential für DSM aufgrund der jeweiligen Regularien und Randbedingungen weiter ein.

Um den Datenbedarf für die quantitative Ermittlung des DSM-Potentials einzuschränken, erfolgt zunächst eine qualitative Diskussion des DSM-Potentials. Dazu werden nicht nur eigene Erkenntnisse der Autoren und Erkenntnisse aus anderen Studien genutzt werden. Vielmehr erfolgten auch spezifische Erhebungen bzw. Befragungen bei EVU und bei Verbänden bzw. Verbrauchern durch Umfragen und Interviews[5].

In den Bereichen, in denen grundsätzlich Potential für die Anwendungszwecke vorhanden sein kann, wird eine Quantifizierung dieses Potentials unternommen. Diese Quantifizierung deckt alle Verbrauchergruppen in der Schweiz ab. Dazu wird das Potential ausgehend vom theoretischen Potential zum technischen Potential und weiter zum soziotechnischen Potential abgeschätzt. Die Sicherung einer zuverlässigen und einheitlichen Datenlage über alle betrachteten Anwendungen, Branchen und Sektoren für die Studie war sehr anspruchsvoll. Es wären für eine vollständige Betrachtung vielfältige Restriktionen und Randbedingungen für DSM in den jeweiligen Branchen zu berücksichtigen, die z. B. vom Lebensmittelrecht über Vorschriften zum Tierschutz bis hin zu prozessual-betrieblichen Aspekten reichen. Zusätzlich stellte sich heraus, dass bei den direkt involvierten Akteuren, zum Beispiel bei KMUs, kaum detaillierte technische Daten über Flexibilitätspotentiale oder ökonomische Parameter in hinreichendem Masse vorhanden sind. Auch öffentlich sind relevante Daten kaum verfügbar. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Sektor von Industrie und verarbeitendem Gewerbe in der Schweiz sehr heterogen ist. Sofern keine Daten öffentlich zugänglich sind oder aus der Datenerhebung gewonnen werden können, erfolgen daher qualifizierte, transparente Schätzungen. Damit können unter Nutzung der in der Studie dargelegten Methoden für das theoretische und das technische Potential geeignete Grössenordnungen abgeschätzt werden, wie auch für das soziotechnische Potential.

Quantitative Daten aus anderen Ländern sind für die Studie kaum übertragbar, da die Schweizer Volkswirtschaft mit ihrem Fehlen von verbrauchsintensiven und grosser Industriesektoren nicht ohne Weiteres mit derjenigen anderer Ländern vergleichbar ist. Verschiedene Aspekte zum DSM wurden aber dennoch mit Blick auf andere Länder plausibilisiert oder inhaltlich ergänzt, bspw. zur Einordnung des soziotechnischen Potentials der Schweiz. Die quantifizierten Potentiale werden in der Studie anschliessend auf die Grossregionen umgelegt. Schliesslich werden in der Studie Hemmnisse für den Einsatz von DSM identifiziert und priorisierte Lösungsansätze skizziert.

[5] Vgl.: Anhang: „Befragung EVU“ und „Befragung Industrie und Verbände“

5 Potentialbegriffe

Für die vorliegende Studie werden zunächst die Potentialbegriffe

- Theoretisches Potential,
- Technisches Potential,
- Soziotechnisches Potential und
- Wirtschaftliches Potential

beschrieben.

Diese Potentialbegriffe sind der theoretische Ausgangspunkt der Untersuchungen. Sie helfen, das Untersuchungsfelds grundsätzlich zu strukturieren und zugleich kritische Aspekte bei der Erfassung des DSM-Potentials zu identifizieren.

5.1 Theoretisches Potential

5.1.1 Definition

Das theoretische Potential entspricht dem Potential, welches die installierte elektrische Leistung aller grundsätzlich geeigneten Anlagen ohne Berücksichtigung weiterer Faktoren umfasst[6]. Gemäss der eingangs angeführten Definitionen zu DSM wird als Kriterium für die theoretische Eignung einzelner Anwendungen oder Prozesse für DSM bestimmt, ob der Verbrauch entweder

- zeitlich verschoben, also abgesenkt und dann wieder „nachgeholt“ oder
- ausschliesslich gesenkt werden kann.

Elektrische Verbraucher können zunächst grundsätzlich immer geschaltet werden. Lastverschiebung oder Lastsenkung sind aber letztlich in der realen Welt nur dann möglich, wenn Nachfrage nach den Anwendungen bzw. nach den erzeugten Gütern, Produkten und Dienstleistungen von deren Bereitstellung bzw. Produktion zeitlich entkoppelt werden kann, oder wenn die Nachfrage danach grundsätzlich veränderbar ist. Das heisst, dass das theoretisches Potential nur dann vorhanden ist, wenn z. B. ein Unternehmen seinem eigentlichen Geschäftszweck auch mit DSM weiterhin verfolgen kann. Für private Haushalte gilt entsprechend, dass z. B. familiäre Abläufe und Strukturen auch mit DSM weiterhin Bestand haben.

Für physisch vorhandene Güter und Produkte ist eine gewisse Speicherbarkeit im Gesamtprozess oder eine Veränderbarkeit der Nachfrage zentral. DSM ist demnach nur dort eine Option, wo in den Prozessen Lager oder Speicher vorhanden sind oder die Nachfrage verändert werden kann. Veranschaulichen lässt sich dieses z. B. am Prozess der Zementherstellung[7].

[6] Vgl.: Steuer, Martin (2017): «Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung». Dissertation. Stuttgart. S. 37

[7] Vgl.: Imboden et al. (2016): „Teilnahme industrieller Regelleistungs-Anbieter am Schweizer SDL-Markt - Technische und wirtschaftliche Opportunitäten, Bewertungsmethodik“. Horw. S. 74

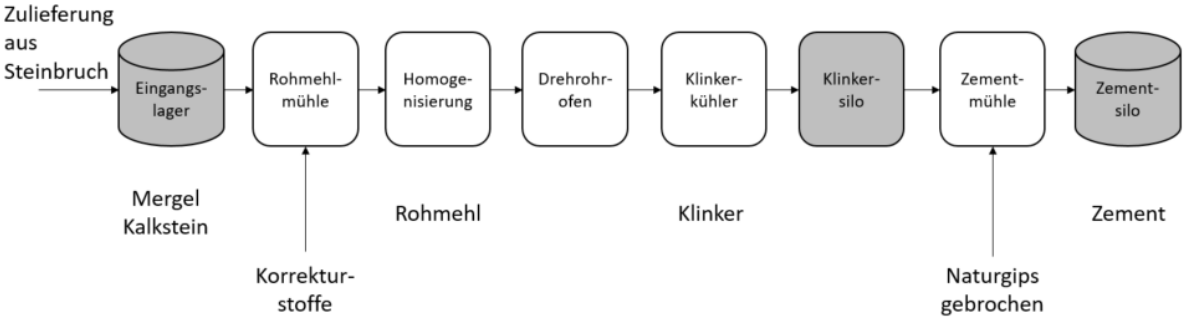


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung des Prozesses der Zementherstellung[8]

In diesem beispielhaften industriellen Prozess gibt es mehrere Möglichkeiten, den Prozess zeitlich zu steuern bzw. zu unterbrechen (grau hervorgehoben). Das Eingangslager, der Klinkersilo oder der Zementsilo stellen Möglichkeiten der Speicherung bzw. der Entkopplung von vor- und nachgelagerter Prozessstufen dar. Zum Beispiel kann das Brechen von Stein und die Weiterverarbeitung zeitlich entkoppelt von nachfolgenden Prozessschritten zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgen.

Bei Dienstleistungsprozessen ist es hingegen oft nicht möglich, die Nachfrage nach der Dienstleistung grundsätzlich auf einen anderen Zeitpunkt zu verschieben, man denke etwa an die Bereitstellung von Beratungsleistungen im Bankgeschäft oder an den Einzelhandel. Die Dienstleistung wird in der Regel zeitgleich unmittelbar während der Nutzung durch den Kunden produziert. Damit sind Flexibilitäten im Stromverbrauch hier sehr begrenzt.

Entsprechendes gilt auch für die Bedürfnisbefriedigung im Haushalt, wo zum Beispiel das Kochen nicht zu beliebigen Zeitpunkten erfolgen kann. Andere Dinge jedoch, zum Beispiel Waschen oder maschinelle Wäschetrocknen sind zeitlich variabel möglich. Gleichwohl ist auch hier eine gewisse Lagerhaltung (Wäsche, Geschirr etc.) nötig.

5.1.2 Quantifizierung

Die Quantifizierung des theoretischen Potentials ist Basis, um das technische Potential zu ermitteln. Für die Quantifizierung wird die jeweils installierte Leistung der für DSM vorgesehenen Verbraucher benötigt. Zur Ermittlung des Potentials sind drei Verfahren geeignet: ein direktes Verfahren und zwei indirekte Verfahren[9].

Das direkte Verfahren (A) kann nur bei sehr guter Datenlage hinsichtlich elektrischer Leistung und Anzahl der der jeweiligen, potentiellen DSM-Anlagen verwendet werden. Dazu muss ein statistisch erfasster Bestand der Anlagen sowie deren jeweils durchschnittliche, installierte elektrische Leistung zugänglich sein. Im Idealfall könnte die Anzahl der jeweiligen Anlagen über den verschiedenen, elektrischen Leistungen abgetragen werden. In der Literatur wird darauf verwiesen, dass die Methode bei entsprechender Datenverfügbarkeit auch für Querschnittstechnologien geeignet ist[10]. Dieses könnten z. B.

[8] Darstellung B E T in Anlehnung an Imboden

[9] Vgl.: Steurer, S. 46 ff.

[10] Vgl.: Steurer, S. 47

technisch ähnliche Warmwasserboiler sein. Wichtig ist zu bedenken, dass diese Methode nur für homogene Anlagencluster genutzt werden kann. Zentral ist es, die genaue Anzahl der homogenen Anlagen zu kennen resp. dass diese mit einer hohen Genauigkeit abgeschätzt werden können.

– Berechnungsmethode A (direktes Verfahren):

$$P_{inst,A} = P_{el,Anlage} * N$$

$P_{inst,\,A}$: Installierte Leistung aller elektrischen Anlagen nach Methode A
$P_{el.\,Anlage}$: Leistung aller elektrischen Anlagen
N: erfasster Anlagenbestand der Anlagen

Im Gegensatz zu diesem direkten Verfahren werden die beiden nachfolgend geschilderten, indirekten Verfahren angewendet, wenn z. B. detaillierte Angaben zur Verteilung der Leistungen der Anlagen nicht vorhanden sind.

Die indirekte Berechnungsmethode B wird i.d.R. für Produktionsprozesse angewendet, wenn zwar keine oder keine vollständigen Angaben zu Anlagen und Anlagenbestand, aber zu den Prozessen vorliegen. Das bedeutet, dass die jeweilige Leistung für die unterschiedlichen, potentiellen DSM-Prozesse aus statistischen Daten über die Produktion des Outputs ermittelt wird. Sofern nicht alle Daten vorliegen, müssen fehlende Daten geschätzt werden. Diese Schwierigkeit tritt tendenziell dann auf, wenn z. B. in einem betrachteten Land keine dominanten Industrien vorhanden sind, für welche entsprechendes statistisches Datenmaterial vorgehalten wird. Die Berechnungsmethode B ist aufgrund der Datenanforderungen geeignet, wenn es sich um klar abgegrenzte, homogene Produktionsprozesse geht, die zwischen Unternehmen mit demselben Produktionszweck gut miteinander verglichen werden können. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung von Rohstahl durch Lichtbogenöfen.

– Berechnungsmethode B (indirektes Verfahren):

$$P_{inst,B} = \frac{m_{Kap} * E_{spez}}{8760 * (1 - v_N)}$$

$P_{inst.\,B}$: Installierte Leistung aller elektrischen Anlagen nach Methode B
m_{Kap}: Produktionskapazität
E_{spez}: spezifischer Stromverbrauch
v_N: Nichtverfügbarkeitsfaktor

Üblicherweise wird dieser Ansatz für DSM-Analysen in der energieintensiven Industrie genutzt, die aber in der Schweiz gegenüber Nachbarländern weniger verbreitet ist.

Die indirekte Berechnungsmethode C wird unter anderem für Querschnittstechnologien eingesetzt. Die Methode errechnet auf Basis des Jahresstromverbrauchs sowie der durchschnittlichen Volllastbenutzungsstunden, das allfällig vorhandene DSM-Potential. Der dafür notwendige Jahresstromverbrauch kann entweder aus bestehenden Erhebungen entnommen werden, oder über eine statistische Bezugseinheit (z. B. Bestand von Wärmepumpen nach Kategorie) und dessen spezifischen Stromverbrauch errechnet werden.

– Berechnungsmethode C (indirektes Verfahren):

$$P_{inst,C} = \frac{E_i}{VBH}$$

$P_{inst.C}$: Installierte Leistung aller elektrischen Anlagen nach Methode C
E_i: Spezifischer Jahresstromverbrauch
VBH: Volllastbenutzungsstunden

Anspruchsvoll ist hier die Schätzung der Volllastbenutzungsstunden. Diese sind oft nur auf für den gesamten Verbrauch des Energiekunden, nicht aber für einzelne Prozesse bekannt, in denen unter Umständen dann allfällige Flexibilität vorhanden ist. Wenn sich zum Beispiel der Strombezug eines Unternehmens aus dem Verbrauch für den eigentlichen, DSM-fähigen Kernprozess und dem Verbrauch für die Verwaltung etc. besteht, fallen die Werte für Unternehmen und Kernprozess auseinander.

Die Problematik der Datenlage kann es nötig machen, unterschiedliche Berechnungsansätze parallel zu nutzen, um einen wahrscheinlichen Wert bzw. einen Ergebnisraum abschätzen zu können. Das Verfahren C hat den geringsten Datenbedarf, so dass es für diese Studie bevorzugt wurde. Alle anderen Verfahren würden zwar theoretisch zu schärferen Ergebnissen führen, beruhen dann aber auf noch mehr Unsicherheiten und können nicht mit vollumfänglich nachvollziehbaren Daten unterlegt werden.

5.2 Technisches Potential

5.2.1 Definition

Nur eine Teilmenge des theoretischen Potentials ist dem technischen Potential zuzurechnen. Dieses technische Potential ist wie folgt definiert:

„Gesamtheit aller technisch möglichen Lastreduktionen oder Lasterhöhungen einer regelbaren Last oder einer Gruppe von regelbaren Lasten“[11].

Damit stehen die bestehenden Anlagenkonstellationen bzw. Anlagencharakteristiken im Mittelpunkt. Es ist aber nicht möglich, unmittelbar die installierte Leistung mit dem technischen Potential gleich zu setzen. Wichtig ist vielmehr, dass für diesen Potentialbegriff der „typzeitraumabhängige Betriebspunkt“ einbezogen wird. Abhängig vom Zustand des Verbrauchers zum jeweiligen Zeitpunkt sind unterschiedliche Mindest- und Maximallasten möglich, aus denen sich das technische Flexibilitätspotential ableiten lässt[12]. Das technische Potential ist, genau genommen, stets abhängig vom Zeitpunkt. Mindest- und Maximallast können z. B. aufgrund technologischer Restriktionen im Kernprozess vorgegeben sein. Grundsätzlich könnte eine exakte Bestimmung des zeitpunktscharfen, technischen DSM-Potentials nur dann erfolgen, wenn neben der minimalen Leistungsinanspruchnahme (für positive Richtung) oder der maximalen Leistungsinanspruchnahme (für negative Richtung) auch die aktuell gemessene Leistungsinanspruchnahme zum jeweiligen Zeitpunkt vorläge.

[11] Vgl.: Langrock et al (2015) „Potentiale regelbarer Lasten in einem Energieversorgungssystem mit wachsendem Anteil erneuerbarer Energien“. Aachen. S. 205

[12] Vgl.: Stadler, Ingo (2005): «Nichtelektrischer Speicher für Elektrizitätsversorgungssysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien». Habilitation. Kassel. S. 37

Weiterhin haben die einzelnen Anwendungen jeweils ein individuelles „Verfügbarkeitsprofil“. Damit verbunden ist bei grösseren Anzahlen von ähnlichen, flexiblen Verbrauchern (Anlagenclustern) auch, dass die Leistungsaufnahme im Zeitverlauf unterschiedlich sein kann. Nicht alle (grundsätzlich identischen) Stromverbraucher in dem Anlagencluster laufen zwangsweise gleichzeitig, so dass vom theoretischen Potential aus kaum unmittelbar auf das technische Potential oder andere Potentialbegriffe geschlossen werden kann. Die nachfolgende Grafik zeigt exemplarisch den Verlauf des Tagesenergiebedarfs für verschiedene Haushaltsgeräte.

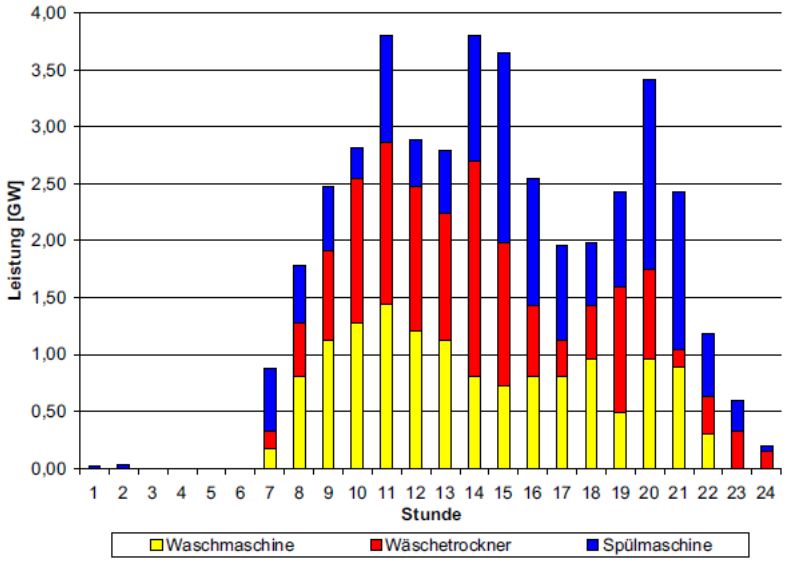


Abbildung 2: Normierter Tagesenergiebedarf (Lastprofil) Haushaltsgeräte[13]

Offenkundig ist die elektrische Leistung z. B. aller in Deutschland installierten Waschmaschinen höher als für die einzelnen Stunden des Tages oben angegeben. Der Betrieb der Maschinen ist über den Tag verteilt. Der Stromverbrauch fällt nicht gleichmässig über den Tag verteilt an. Bei einem je Zeitraum gegebenen Stromverbrauch ist das in elektrischer Leistung ausgedrückte maximale DSM-Potential umso höher, je kürzer der Zeitraum ist, in dem der Stromverbrauch anfällt. Umgekehrt ist das Potential in einem definierten Zeitraum umso höher, je höher der Stromverbrauch ist.

Am Beispiel eines fiktiven Rechenzentrums und eines Steinbruchs mit gleicher Jahresarbeit lässt sich das verdeutlichen: Da der Steinbruch die elektrische Arbeit in einem kürzeren Zeitpunkt in Anspruch nimmt, ist sein technisches DSM-Potential höher, als der des Rechenzentrums. Zudem steht in bestimmten Zeiträumen beeinflussbarer Stromverbrauch gar nicht für DSM zur Verfügung. Das Beispiel aufgreifend kann z. B. angenommen werden, dass der Steinbruch im Winter und in der Nacht nur eingeschränkt arbeitet und dann, anders als z. B. im Sommer und bei Tag, ein niedrigeres Flexibilitätspotential bieten kann.

[13] Vgl.: Stadler, S. 169

Für den Zweck der Studie ist es angesichts der umfassenden Betrachtung aller volkswirtschaftlichen Sektoren und der definierten Anwendungszwecke sinnvoll, für definierte Zeiträume ein durchschnittliches DSM-Potential auszuweisen[14]. Es werden in dieser Studie daher Aussagen zum technischen Potential hinsichtlich Saison (Sommer, Winter) und Tag bzw. Tageszeit unterschieden.

Dieses Potential im jeweiligen Zeitraum spiegelt die Anforderungen, welche aus den für die Studie vorgegebenen Anwendungszwecken herrühren. Das Potential muss mit der jeweils geforderten Verlässlichkeit für die Anwendungszwecke zur Verfügung stehen. Die Verlässlichkeit gilt auch in intertemporaler Hinsicht. Hiermit ist gemeint, dass z. B. nach einer Inanspruchnahme von Flexibilität das DSM-Potential weiterhin (im vereinbarten Masse) zur Verfügung stehen muss. Es gibt aber Fälle, in denen zum Beispiel zwischen einzelnen Aufrufen von Flexibilität ein gewisser, zeitlicher Mindestabstand vorhanden sein muss.

5.2.2 Quantifizierung

Die Kenntnis der für die Bezifferung des technischen Potentials benötigten Parameter ist zum Teil anspruchsvoll, und stark z. B. von der jeweiligen Anlagenkonfiguration in einem produzierenden Unternehmen abhängig. Ausgangspunkt für die Bestimmung dieser Parameter muss diejenige Einheit sein, welche beispielsweise über ein SPS-System angesprochen werden kann[15]. Bei einfachen Prozessen wie z. B. der Warmwassererzeugung in einem Boiler ist das sehr viel einfacher als in einem komplexen Produktionsprozess der pharmazeutischen Industrie. Abhängig von der Granularität bei der Ermittlung des technischen Potentials ist ein unterschiedlicher Datenumfang nötig.

Nachstehende Grafik zeigt exemplarisch die Zeitabhängigkeit verschiedener Flexibilitätsquellen auf.

[14] Auch die DENA-Netzflexstudie II nennt an verschiedenen Stellen durchschnittliches DSM-Potential. Vgl. beispielsweise: Deutsche Energie Agentur DENA (Hrsg.) (2010): «Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025». Berlin. S. 520 f.

[15] SPS = Speicher-programmierbare Steuerung

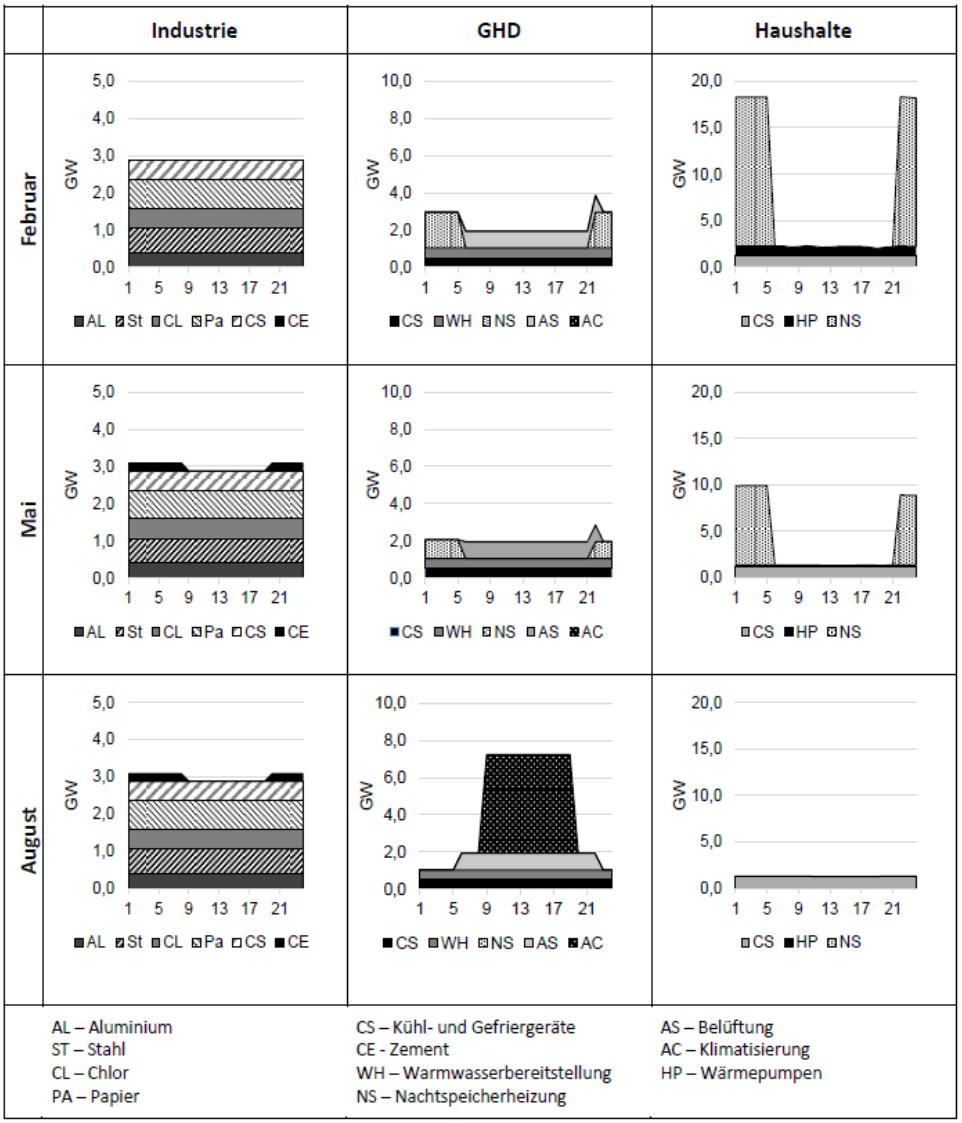


Abbildung 3: Zeitlich verfügbare Flexibilitätsquellen nach Sektoren[16].

Das technische Potential ist nicht nur im Tages- oder Saisonverlauf unterschiedlich, sondern auch mittel- und langfristig weder fix noch unveränderlich. Es kann sich z. B. mittel- und langfristig mit Änderungen an Produktionsanlagen verändern. Solche Veränderungen von elektrischen Anlagen finden zum Beispiel durch Ausdehnung der Produktionskapazität oder durch Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz statt.

Für die Studie wird das vorhandene technische DSM-Potential zunächst hinsichtlich der saisonalen Verfügbarkeit und hinsichtlich der täglichen Verfügbarkeit klassifiziert (analog zum Vorgehen bei Steurer).

[16] Vgl.: Möst, Dominik (2014): "Energiewende Sachsen – Aktuelle Herausforderungen und Lösungsansätze. Beiträge der Abschlusskonferenz des ENERSAX-Projektes". Dresden, 2014, S. 18

Tabelle 1: Mittlere Auslastung nach Typzeiträumen bei Lüftungsanlagen in Industrie und GHD[17]

Lüftungs-anlagen	$v_{A,ø}$ nach Typzeiträumen											
	WTT				SaT				SFN			
	[%]			±	[%]			±	[%]			±
EI, KI, Meb, Mach, Fzb[1]	50			10	24			5	24			5
Lw[a, 2]	100	87	2	10	100	87	2	10	89	14	2	10
Büro[1]	50			10	24			5	24			5
Beh[3]	46			10	46			10	58			10
Krh[3]	71			10	71			10	71			10
Ha[4]	70			10	70			10	24			5
Gast[3]	32			10	32			10	28			10

a – Saisonale Differenzierung nach Sommer | Übergangszeit | Winter (bei allen anderen Anwendungsbereichen keine saisonale Differenzierung)

1 – (LfU 2008), (Gils 2014); 2 – (Heidenreich 2009), (Eilers 2012); 3 – (Rivière et al. 2012); 4 – (Réhault et al. 2013)

Diese Vorgehensweise führt zu einer Aussage über eine Vergleichmässigung des DSM-Potentials[18]. Dies ist vor dem Hintergrund des insgesamt breiten Untersuchungsfelds und angesichts der Datenlage zielführend. Die Quantifizierung des technischen Potentials wird unterteilt nach

- Sommer und Winter und
- Tag und Nacht.

Die vergleichsmässige Aufstellung des Potentials in Typzeiträumen gibt natürlich keinen exakten Hinweis mehr darauf, wie genau sich das DSM-Potential im Zeitablauf zum jeweiligen Zeitpunkt verhält, also beispielsweise innerhalb eines Tages. Entsprechend wird für diese Arbeit vorgeschlagen, das maximal und minimal verfügbare DSM-Potential in der Periode entsprechend der Tageszeit (Tag / Nacht) mit einer Bandbreite zwischen Maximal- und Minimalwert auszuweisen.

Für die Ermittlung der Bandbreite muss der Verbrauch (elektrische Arbeit) dafür mit maximalen und minimalen, typischen Vollbenutzungsstunden auf elektrische Leistung umgerechnet werden. Die nötigen Vollbenutzungsstunden können z. B. mittels Erfahrungswerten durch typische Werte genähert, oder aus anderen Studien entnommen werden.:

$$P^{DSM}_{techn.\ max\ /\ min} = \frac{W_{DSM}}{VBH_{max,min}}$$

$P^{DSM}_{techn.\max\ /\ min}$ = *Maximal- oder Minmalwert des technischen DSM-Potentials*
W_{DSM} = *Elektrische Arbeit DSM*
$VBH_{max/\ min.}$ = *Maximale oder minimale Stunden für DSM im Zeitraum*

Die Aussage mit der Spannbreite dient auch dazu, die technischen Minimal- und Maximallasten zu berücksichtigen.

[17] Vgl.: Steurer S. 184. Abkürzungen: EI= Ernährungsindustrie; KI = Kunststoffindustrie; Meb = Metallbearbeitung; Mach = Maschinenbau; Fzb = Fahrzeugbau; Lw = Landwirtschaft; Büro = Büros; Beh = Beherbergung; Krh = Krankenhäuser; Ha = Handel; Gast = Gastronomie; WTT = Werktags tagsüber; SaT = samstags tagsüber; SFN = Sonn- und Feiertage sowie nachts

[18] Vgl.: Steurer S. 179 ff.

Schliesslich wird das technische Potential stark davon geprägt, über welche Dauer ein flexibilisierbarer Verbrauch beeinflusst werden kann, in welchen Zeitabständen zueinander das stattfinden kann und wie oft. Eine solche Differenzierung wird in der Arbeit durch eine Aussage zum maximalen oder minimalen technischen DSM-Potential ersetzt. Stünde das DSM-Potential (in MW) in einem jeweiligen Zeitraum von z. B. 2196 Stunden nur eingeschränkt während 1000 Stunden zur Verfügung, würde die verlässliche Leistung entsprechend korrigiert[19]:

$$P^{DSM}_{vergl.techn.max/min} = P^{DSM}_{techn.max/min} \times \frac{VBH_{avail}}{VBH}$$

$P^{DSM}_{vergl.techn.}$ = *vergleichmässigt bereitstehendes, technisches DSM-Potential*
$P^{DSM}_{techn.max/min}$ = *Maximales bzw. minimales bereitstehendes, technisches DSM-Potential*
VBH_{avail} = *Stunden im Zeitraum, in denen technisches DSM-Potential nutzbar ist*
VBH = *Stunden im Zeitraum*

Für die vier Kombinationen aus Tag und Nacht sowie aus Sommer und Winter entstehen so Aussagen, welche unter anderem der Saisonabhängigkeit des DSM-Potentials Rechnung tragen.

5.3 Soziotechnisches Potential

Nicht das gesamte, technische Potential steht für DSM am Ende zur Verfügung, da soziotechnische Einflüsse wirken. Der Begriff des soziotechnischen Potentials wurde dazu eingeführt[20]:

«Es beschreibt das Flexibilitätspotential, das […] als prinzipiell nutzbar eingeschätzt wurde. Es berücksichtigt daher neben den technischen Aspekten immer auch die individuelle Perspektive der Unternehmen auf wirtschaftliche und logistische Rahmenbedingungen und teilweise auch subjektive Einschätzungen der befragten Personen»[21].

Wenn beispielsweise wegen besonders hoher Auslastung ein individuelles Unternehmen einen Mehrschichtbetrieb hat, lassen sich Lasten in den Kernprozessen unter Umständen kaum steuern. Ähnliches gilt umgekehrt auch dann, wenn das Unternehmen z. B. wegen zu geringer Auslastung die Produktion eingeschränkt hat. Wichtig ist aber auch der Informationsstand, zum Beispiel bezüglich der Kosten der Erschliessung, der Kosten der Nutzung oder der technischen Parameter wie zum Beispiel Zeitrestriktionen. Ein zu niedriger Informationsstand lässt den Entscheid für oder gegen DSM zu einer Entscheidung unter Unsicherheit werden.

Der Begriff des soziotechnischen Potentials ist nicht nur für Unternehmen, sondern auch für Haushalte anwendbar. Hier sind weniger «technische» Aspekte, denn «soziale Aspekte» wie zum Beispiel Akzeptanz der Einflussnahme von aussen ausschlaggebend. Das soziotechnische Potential hängt unter anderem davon ab, für welchen Anwendungszweck und in welcher Häufigkeit die Flexibilität genutzt wird. Das Potential ist zudem richtungsabhängig. Es wird als Schaltpotential in positiver (Abschalten bzw.

[19] Vgl.: Stadler, S. 114.

[20] Vgl.: Langrock et al, S. 18

[21] Vgl.: Langrock et al, S. 18

Reduktion des Stromverbrauchs) und in negativer Richtung (Zuschalten bzw. Erhöhung des Stromverbrauchs) differenziert[22].

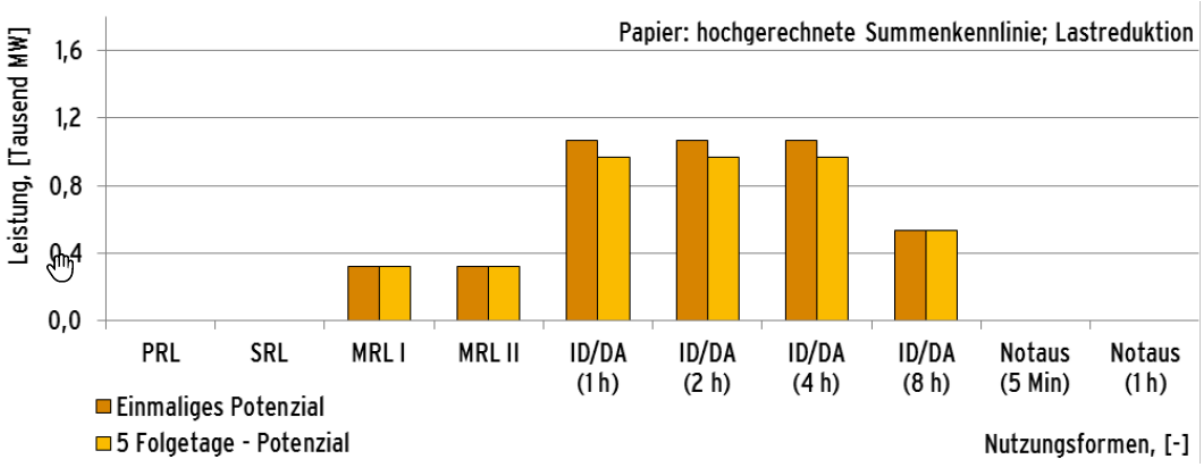


Abbildung 4: Hochgerechnete Summenkennlinien Papierindustrien nach Nutzungsformen[23]

Positives Potential entsteht dadurch, dass Verbraucher abgeschaltet werden. Dieses ist z. B. im Raumwärmebereich mit der vorübergehenden Abschaltung von Umwälzpumpen möglich. Negatives Potential entsteht durch die Zuschaltung von Verbrauchern. Ein Beispiel dafür ist die Zuschaltung von elektrischen Warmwasserboilern[24]. Zu Bedenken sind dabei mögliche Einflüsse auf die Energieeffizienz.

Nachfolgende Grafik veranschaulicht, dass die entsprechenden Werte durchaus differenzieren können, und zwar hinsichtlich Maximalwert als auch hinsichtlich der zeitabhängigen Verfügbarkeit:

[22] Vgl.: Steurer, S. 37

[23] Vgl.: Langrock et al, S. 112

[24] Elektrische Widerstandsheizungen sind in den meisten Kantonen verboten und im Sinne der Energieeffizienz nicht erwünscht, gleichwohl als steuerbare Verbraucher immer noch vorhanden.

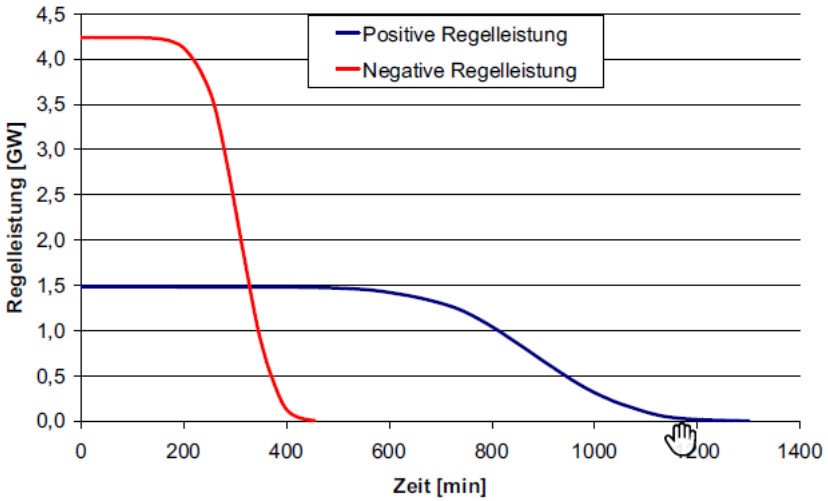


Abbildung 5: Maximale positive und negative Regelleistung von Kühlschränken[25]

Speziell in industriellen und kapitalintensiven Prozessen ist es oft nicht möglich, Lasterhöhungen durchzuführen. Die jeweiligen Produktionsanlagen sind bereits hoch ausgelastet. Lastsenkungen sind dann ebenfalls wenig attraktiv, weil eine geringere Auslastung regelmässig geringere Deckungsbeiträge bedeutet.

Durch Poolingeffekte und entsprechende Steuerung kann versucht werden, zum Beispiel ein definiertes DSM-Potential länger bereit zu stellen. Dadurch wird es dann möglich, primär als nicht geeignet erscheinendes Potential für bestimmte Anwendungen zu nutzen, in dem das für sich alleine betrachtete nicht geeignete Potential gebündelt und gesteuert wird. Somit kann im Rahmen von Pooling eine höhere Verfügungsdauer erzielt werden, wobei das in der Regel mit einem gesenkten Potential verbunden ist. Das Potential ist also davon abhängig, für wie lange es genutzt wird.

[25] Vgl.: Stadler, S. 169. Die Grafik bezieht sich auf Deutschland.

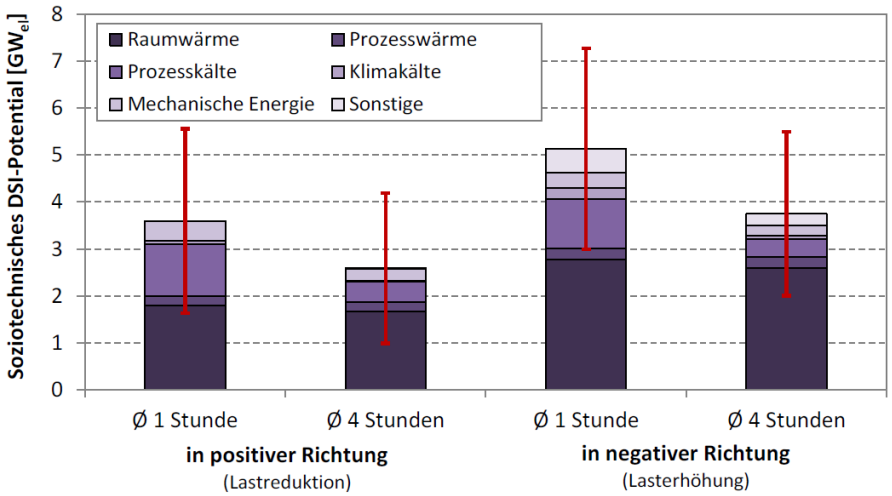


Abbildung 6: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien[26]

Es hat sich während der Bearbeitung der Studie herausgestellt, dass die subjektive Einschätzung z. B. der befragten Branchenvertreter von einem hohen Mass an Unsicherheiten und Unkenntnis geprägt ist.

Eine ausreichend genaue Quantifizierung des soziotechnischen Potentials ist nur mit zusätzlichem Aufwand z. B. im Rahmen empirischer Sozialforschung möglich. Zum Beispiel wäre es möglich im Rahmen einer breiten Befragung bei Haushalten zu ergründen, welcher ökonomische Anreiz nötig wäre, damit diese z. B. Lasten wie das Laden von Elektrofahrzeugen zeitlich steuern lassen, und in welchem Rahmen sie dazu bereit wären. Ähnliche Aussagen könnten auch für die Landwirtschaft sinnvoll sein, wobei dort zusätzlich auch technische Daten zum Anlagebestand im Zusammenhang mit DSM relevant wären.

In den verschiedenen, für diese Arbeit gesichteten Studie konnte kein umfassendes Bild erkannt werden, wie das Verhältnis von technischem und soziotechnischem Potential ist. In einzelnen Studien sind aber zum Beispiel für Deutschland, abhängig vom jeweils betrachteten DSM-Potential, zum Teil nur sehr geringe Anteile der installierten Leistung als soziotechnisches Potential identifiziert worden. Insbesondere für die Querschnittsbereiche sind nur geringe Anteile der installierten Leistung (bzw. des theoretischen Potentials) verfügbar.

[26] Vgl.: Steurer, S. 65. Die Roten Linien stellen das Fehlermass dar. Angenommene Aktivierungsdauer ist höchstens 30 Minuten. Die Zahlen beziehen sich auf Deutschland. DSI = Demand-Side Integration

Tabelle 2: Spannbreite zwischen installierter Leistung und soziotechnischem Potential

Quelle	Aussage zu	Installierte Leistung	Soziotechnisches DSI-Potential[27]	Faktor
Steurer[28]	Industriellen Produktionsprozessen Dauer: 1 Stunde Richtung: positiv	ca. 8.4 GW	Ca. 2.7 GW	32.1%
	Industriellen Produktionsprozessen Dauer: 4 Stunde Richtung: positiv		Ca. 2.0 GW	23.8%
	Industriellen Produktionsprozessen Dauer: 1 Stunde Richtung: negativ		Ca. 0.4 GW	4.8%
	Industriellen Produktionsprozessen Dauer: 4 Stunde Richtung: negativ		Ca. 0.4 GW	4.8%
	Querschnittstechnologien Dauer: 1 Stunde Richtung: positiv	Ca. 219 GW	Ca. 5.1 GW	2.3%
	Querschnittstechnologien Dauer: 4 Stunde Richtung: positiv		Ca. 3.7 GW	1.7%
	Querschnittstechnologien Dauer: 1 Stunde Richtung: negativ		Ca. 3.6 GW	1.6%
	Querschnittstechnologien Dauer: 4 Stunde Richtung: negativ		Ca. 2.6 GW	1.2%
Langrock[29]	Papierindustrie Dauer: 1 Stunde Papierindustrie	Ca. 3 GW	Ca. 1 GW	33.3%

Insgesamt scheint gemäss diesen Quellen eine Spannbreite zwischen installierter Leistung und soziotechnischem Potential für industrielle Produktionsprozesse von 5 bis 10% für die negative und 20 bis 35% für die positive Richtung gegeben zu sein. Plausibel ist gerade für industrielle Produktionsprozesse, dass diese in negativer Richtung geringere Werte aufweisen, da ein «spontaner, exogen verursachter

[27] DSI = Demand Side Integration. DSI wird oft als Obergriff genutzt, unter den zum einen DSM im hier genutzten Sinn, zum anderen aber auch DSR (Demand Side Response) subsumiert werden. DSR beschreibt die (indirekte) Reaktion des Verbrauchers auf ein Signal zur Verbrauchsbeeinflussung (z. B. ein ökonomisches Signal). DSM hingegen beinhaltet eine eher direkte, unmittelbare Beeinflussung des Verbrauchs durch ein Steuersignal. Für die hier vorliegende Arbeit werden DSI und DSM synonym gebraucht, was nicht der strengen Definition entspricht.

[28] Vgl.: Steurer, S. 63 ff. Speziell für die Industrie ist anzumerken, dass hier eine Branchenstruktur zugrunde liegt, die nicht derjenigen in der Schweiz entspricht.

[29] Vgl.: Langrock et al., S. 22

Start des Prozesses» vielfach nicht ohne weiteres möglich sein wird, z. B. wegen Sicherheitsgründen. Für Querschnittstechnologien sind 1 bis 5% anzunehmen. Für Haushaltsanwendungen wie Spülen etc. ist ein Wert von maximal 5% anzunehmen, da zum Beispiel Wärmeanwendungen und Warmwasserzeugung in anderen Branchen als Querschnittstechnologien bezeichnet würden, hier aber viel zentraler sind. Die Autoren nehmen an, dass diese Spannbreite auch für den Dienstleistungsbereich sowie für Gartenbau und Landwirtschaft sowie Verkehr gegeben ist.

Für diese Arbeit wurden Schätzungen vorgenommen, welcher Anteil des technischen Potentials als soziotechnisches Potential zur Verfügung steht. Dazu wurden Abschläge vom im jeweiligen Typzeitraum vorhandenen, maximalen und minimalen technischen Potential über den Typzeitraum vorgenommen[30]. So entsteht ein kontinuierlich vorhandenes, soziotechnisch verlässliches Potential. Diese Abschläge ähneln zwar vordergründig den minimalen und maximalen Auslastungen des technischen Potentials, sollen hier aber darüber hinaus gehende Restriktionen abbilden.

$$P^{DSM}_{sozio.kont.\max/min} = P^{DSM}_{techn.} \times Abschlag_{max/min}$$

$P^{DSM}_{sozio,kont\ max/min}$ = *Maximales oder minimales, kontinuierlich bereitstehendes soziotechnische DSM-Potential*
$P^{DSM}_{techn.}$, *kont.* = *Kontinuierlich bereitstehendes, technisches DSM-Potential*
$Abschlag_{max/min}$ = *Maximaler oder minimaler Abschlag für Akzeptanz*

Durch die bereits geschilderte Vergleichmässigung wird ein möglicherweise entstehender Fehler tendenziell aber wieder korrigiert. Das technische Potential wird insgesamt folglich über Auslastungsfaktoren innerhalb von Typzeiträumen abgeleitet.

5.4 Wirtschaftliches Potential

In der Realität wird der Umfang der tatsächlich genutzten Flexibilität aus ökonomischen Gründen nochmals geringer ausfallen. Das «wirtschaftliches Potential» wird wie folgt definiert:

«Wirtschaftliches DSM-Potential liegt dann vor, wenn die direkten und indirekten Kosten der Bereitstellung und Nutzung von DSM geringer sind als die dadurch beim Stromverbraucher direkt oder indirekt anfallenden Erlöse».

Für das wirtschaftliche Potential müssen Kosten einerseits, Erlöse andererseits berücksichtigt werden. Zu den Kosten zählen beispielsweise der Erschliessungs- und Nutzungsaufwand, aber auch Opportunitätskosten, wenn es zu einer Lastverschiebung kommt. Solche Opportunitätskosten können dann entstehen, wenn z. B. zusätzliches Personal vorgehalten oder das Personal höher entlohnt werden muss. Die Kostensituation kann zwar für typische Fälle ansatzweise abgeschätzt werden, was auch in dieser Arbeit an anderer Stelle in Kapitel 9.2. versucht wurde. Der finale Entscheid, DSM auch angesichts wirtschaftlicher Aspekte einzusetzen, muss aber im Einzelfall durch den Eigentümer der Flexibilität gefällt werden. Hier fallen volkswirtschaftlich-gesamtheitliche Optimierung einerseits und individuelles Entscheidungsverhalten andererseits unter Umständen auseinander.

[30] Die genauen Abschläge finden sich jeweils unten im Kapitel 8 genannt.

Die Erlösseite hängt stark davon ab, für welche Anwendungszwecke das DSM-Potential genutzt wird. Zu den Erlösen können zum Beispiel Entschädigungen, Tarifvorteile etc. gehören. Dass DSM heute in der Schweiz bis auf bestimmte Ausnahmen (z. B. Steuerung von Wärmepumpen zur Teilnahme an Pools für die Bereitstellung von Regelenergie) nicht weit verbreitet ist, bedeutet auch, dass noch gar keine entsprechenden Angebote vorhanden sind. Durchaus wäre es möglich, für definierte und typische Flexibilitätsfälle Erlöse zu modellieren und die Wirtschaftlichkeit von DSM aus volkswirtschaftlicher Sicht abzuleiten. Aber auch hier erlaubt das keinen Aufschluss über die Realisierung des Potentials. Vielmehr ist dazu jedoch eine individualökonomische Betrachtungsweise angezeigt, da beispielsweise individuelle Transaktionskosten, Planungskosten, Kosten für Steuerungseinrichtungen etc. mit einzubeziehen sind.

Während in globaler, volkswirtschaftlicher Betrachtung durchaus gewisses wirtschaftliches Potential vorhanden sein könnte, wird es durch die Einzelfallbetrachtungen nochmals deutlich geringer ausfallen. Wenn es zum Beispiel volkswirtschaftlich sinnvoll sein könnte, bestimmte flexible Lasten in Haushalten zu steuern, wird das sozioökonomische Potential nur dann genutzt, falls es im wirtschaftlichen Kalkül der Haushalte zu einem (ausreichende grossen) Vorteil kommt. Und aus dem volkswirtschaftlich möglichen vorhandenen Potential lässt sich das aus individueller Sicht vorhandene Potentiale nicht ableiten, wenn unklar ist, wie sich die verschiedenen Erbringer der Wertschöpfung genau verhalten. In eine ähnliche Richtung gehen zum Beispiel auch Rückmeldungen einzelner Branchenverbände (z. B. Baumeisterverband), die aus ihrer Perspektive einen Mehrwert aus DSM für sich nicht sehen.

6 Skizzierung Anwendungszwecke des DSM-Potentials

Das auf die Anwendungszwecke (bzw. in nachstehender Grafik: Nutzungsformen) entfallende DSM-Potential hängt von einer Reihe von Einflussparametern ab.

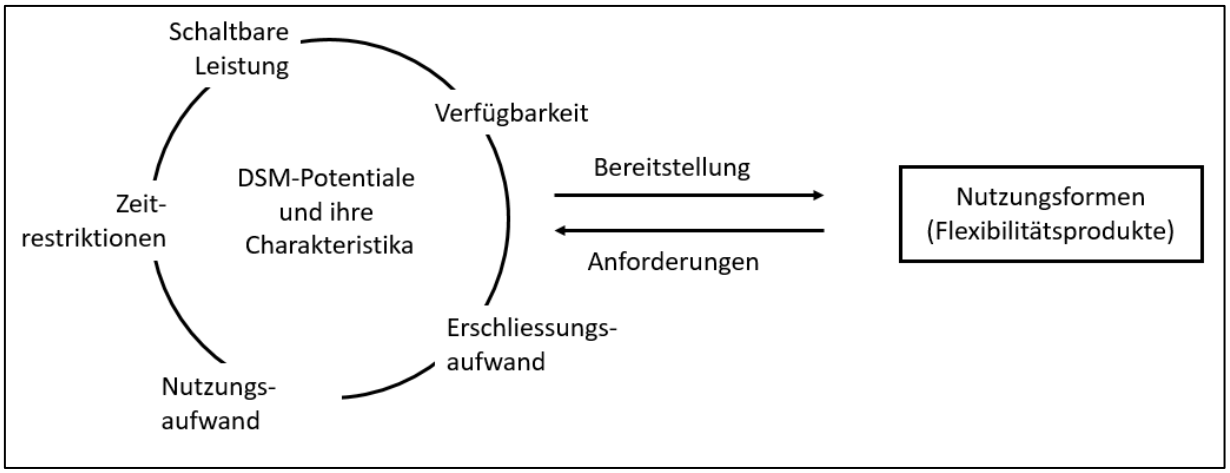


Abbildung 7: Einflussparameter auf DSM-Potentiale abhängig vom Anwendungszweck[31]

Das Potential kann sich demnach für verschiedene Nutzungsformen unterschiedlich darstellen, da verschiedene Aktivierungszeiträume, Schaltdauern etc. einzuhalten sind, wenn das jeweilige Potential eingesetzt werden soll[32].

Sofern grundsätzlich DSM-fähige Prozesse und Anwendungen nicht die Anforderungen eines einzelnen Verwendungszweckes erfüllen, ist das Potential entsprechend verringert.

Gemäss Auftrag werden in dieser Studie die folgenden Verwendungszwecke beleuchtet:

- Regelenergiemarkt (vor allem Sekundärregelung, Tertiärregelung)
- Redispatch Übertragungsnetz
- Netzentgeltminimierung
- Integration der Produktion Erneuerbarer Energien.

6.1 Überblick

Die Anforderungen der für die Studie definierten. Anwendungszwecke sind in der nachstehenden Tabelle zur Übersicht aufgeführt und werden unten weiter erläutert:

[31] Vgl.: Steurer, S. 33

[32] Vgl.: Steurer, S. 62

Tabelle 3: Übersicht genereller, aktueller Anforderungen der Anwendungszwecke[33]

	Regelenergie-markt	**Redispatching**	**Netzentgeltmi-nimierung**	**Integration Er-neuerbarer Energien**
Pooling möglich	Ja	Denkbar	Nein	Ja
Anforderung an Aktivie-rungszeit	Sekunden bis Minuten	Minuten bis Stunden	Unmittelbar bis Stunden[34]	Unmittelbar bis Stunden
Verfügungsdauer	Minuten bis Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
Reliabilität	Hoch Anforderung TSO ist, dass das SDL-Ange-bot im vereinbar-ten Umfang zeit-lich uneinge-schränkt zur Ver-fügung steht	Hoch Anforderung TSO wäre, dass das Redispatch-ing aus Gründen der Netzsicher-heit im verein-barten zeitlich uneingeschränkt zur Verfügung steht	Mittel bis hoch[35] Je besser Ver-braucher steuer-bar sind, desto höher ist der Op-timierungseffekt	Hoch Nur eine zuver-lässige Entlas-tung der Be-triebsmittel kann dafür sorgen, dass diese z. B. kleiner dimensio-niert werden können
Definierte Vorgaben zur Laständerungsge-schwindigkeit	Ja	Nein	Nein	Nein
Netzebene	Irrelevant	Netzebene 1	Meist Netzebe-nen 5 bis 7	Netzebene 5 bis 7
Relevanz des Orts der Bereitstellung («Knoten-schärfe»)	Zum Teil	Ja	Ja	Ja
Kommentare		Redispatching wird heute nur auf Erzeugungs-seite praktiziert[36]	Dient der einzel-wirtschaftlichen Optimierung, nicht der Systemopti-mierung	

[33] Insbesondere im Zusammenhang mit der Regelenergie sind noch Anforderungen an die Mindestgrösse (bei der Präqualifika-tion) zu beachten, die aber ggf. auch über einen Pool gemeinsam mit anderen Flexibilitätsquellen erfüllt werden.

[34] Je nach Anspruch an die Güte der Optimierung.

[35] Je nach Anspruch an die Güte der Optimierung.

[36] Hier müsste ggf. mit Swissgrid diskutiert werden, ob eine Anpassung möglich wäre.

6.2 Regelenergiemarkt

Die Nutzung von DSM für den (Schweizer) Regelenergiemarkt bedeutet, dass Anwendungen oder Prozesse, entweder einzeln oder mit anderen Flexibilitätsquellen gemeinsam gepoolt, dem TSO (hier: Swissgrid) als Angebot für die Erbringung von Systemdienstleistungen bereitgestellt würden. Dabei sind die vom TSO jeweils spezifizierten Anforderungen zu erfüllen, wie zum Beispiel Zeitrestriktionen wie Aktivierungszeiten und Verfügungsdauer («Durchhaltefähigkeit»). Beispielweise müssen dezentrale, automatische Reserven (Primärregelenergie- PRL) eine vollständige Aktivierung innerhalb von 30 Sekunden ermöglichen, zentralisierte automatische Reserven (Sekundärregelenergie- SRL) sind typischerweise innerhalb von 2 bis 3 Minuten aktiviert. Für manuell aktivierte Reserven gelten 15 bis 20 Minuten[37].

Zentral ist, dass Systemdienstleistungen in dem mit dem TSO vereinbarten Umfang zuverlässig erbracht werden können. Wie oben bereits erwähnt, können gewisse Poolingvorteile genutzt werden, um bei einem optimalen Trade-off zwischen bereitgestellter Leistung und zeitlicher Verfügbarkeit ein zusätzliches Angebot zu erbringen. Nachfrageseitige Flexibilitäten werden bereits heute international und auch in der Schweiz für die Erbringung von SDL-Angebot erbracht, würden dann aber nicht primär der Versorgungssicherheit der Schweiz dienen. Auch eines der befragten EVU sagte aus, Flexibilitäten international anzubieten.

Die Netzebene der Bereitstellung ist für die Bereitstellung der Regelenergie grundsätzlich irrelevant, und auch der Ort der Bereitstellung ist für PRL und SRL nicht relevant. Für Tertiärregelenergie- TRL ist dieses aber sehr wohl der Fall - hier werden Einspeisepunkte berücksichtigt[38].

Für die Zukunft sind im Schweizer Regelenergiemarkt deutliche Veränderungen zu erwarten. Beispielsweise ist geplant, für PRL ab etwa 2020 4-Stunden-Produkte am Vortrag zu beschaffen, bei SRL sollen auch Tagesprodukte eingeführt werden. Solche Veränderungen der Anforderungen bei den einzelnen Anwendungszwecken werden auch dazu führen, dass die Quantifizierungen des jeweils durch DSM möglichen Potentials aktualisiert werden müssen[39].

6.3 Redispatching

Redispatching-Massnahmen bedeuten, dass jeweils auf den zwei Seiten eines potentiellen, lokalen Engpasses im Übertragungsnetz die geplante Produktion (entgegengesetzt) verändert wird. Während internationale Redispatching-Massnahmen überwiegend mit Italien erfolgen und etwa ein Jahr lang ab Mitte 2016 monatlich über 30 GWh betrugen, ist das nationale Redispatching von geringerem Umfang und beträgt nur in Einzelfällen je Monat mehr als 5 GWh. Die Anforderungen der für das Redispatching eingesetzten Betriebsmittel sind in beiden Fällen unterschiedlich hoch.

[37] Vgl.: zur Übersicht: Swissgrid (Hrsg.) (2018): „Balancing Roadmap Schweiz“. Aarau, S. 24 f.

[38] Vgl.: Swissgrid, S. 15

[39] Vgl.: zur Übersicht: Swissgrid, S. 24 f

Diese kurzfristigen Massnahmen dauern meist nur wenige Stunden. Vom Redispatching sind nicht alle Betriebsmittel betroffen, es gibt einzelne Leitungsabschnitte, bei denen immer wieder eine Ballung auftritt. Hier müsste mit Swissgrid geklärt werden, ob das auch künftig weiter so der Fall sein wird. Da die Redispatching-Massnahmen sich z. B. auf einen konkreten Leitungsabschnitt beziehen, müsste auch beim Einsatz von DSM für Redispatching-Zwecke die netztopologische Perspektive beachtet werden. Das Angebot müsste also «knotenscharf» und hoch verlässlich genutzt werden können. Sofern im Übertragungsnetz kritische Situationen auftreten, müssen diese zuverlässig behoben werden können.

Überlegungen zur Nutzung von (dezentralem) DSM-Angebot für Redispatching sind in der Schweiz noch nicht angestellt worden.

6.4 Netzentgeltminimierung

Bei diesem Anwendungszweck würden DSM-Verbraucher zu- oder abgeschaltet werden, um die für diese Gruppen anfallenden Netzentgelte zu minimieren. Die automatisierte oder manuelle Steuerung des Verbrauchs über Preisanreize im heutigen oder künftigen Preis- und Tarifsystem z. B. mittels zeitabhängiger oder lastabhängiger Endkundenpreise ist im Grunde genommen jedoch kein klassischer, eigener Anwendungszweck für DSM. Das Verbrauchsverhalten eines oder mehrerer Konsumenten wird durch diese Akteure selbst verändert, um die Kosten ihres Strombezugs aus dem öffentlichen Netz zu optimieren. Dieses Verhalten wird schon heute praktiziert, wenn z. B. mittels Energiemanagementsystemen versucht wird, als teuer angesehene Netzspitzen zu vermeiden. Der Effekt auf das vorgelagerte Netz steht nicht im Vordergrund. Allerdings ist diese Art er Optimierung durchaus netzdienlich, da die Betriebsmittel kontinuierlicher ausgelastet bzw. geringer dimensioniert werden können. Auch ist es möglich, schon während der Bau- und Planungsphase für neue Betriebsstätten und andere Verbraucher z. B. durch die Nutzung von Speichern bspw. den Hausanschluss geringer zu dimensionieren.

Die Optimierung findet regelmässig nicht isoliert vor dem Hintergrund der Netzkosten statt, sondern vor dem Hintergrund der gesamten Energiekosten des jeweiligen Verbrauchers. Das kann aber zum Beispiel auch bedeuten, dass bei Anpassung der Vertragsinhalte zwischen Energielieferant, Netzbetreiber und Energieverbraucher ein bisher praktiziertes Optimierungsverhalten anzupassen ist. In dem Fall könnten Wärmepumpen, Batteriespeicher etc. verändert gesteuert werden.

6.5 Integration der Produktion aus Erneuerbaren Energiequellen

Die Integration erneuerbarer Energien bedeutet, dass z. B. auf NE 5 oder 7 bestehende Netzrestriktionen durch Einfluss auf Verbraucher beseitigt würden, ohne z. B. die Produktion abzuregeln. In der DENA-Studie II wird formuliert: «DSM kann in dieser Hinsicht eine wichtige Rolle spielen, um die Integration grosser Leistungen volatiler erneuerbarer Energieeinspeisung ins Elektrizitätssystem zu erleichtern und somit die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten des Stromsektors zu verringern bzw. gering zu halten […]. Mit dem fortschreitenden Ausbau volatiler erneuerbarer Energien gewinnt DSM zunehmend an Bedeutung»[40].

[40] Vgl.: DENA Netzflex II, S. 406

Aus heutiger Sicht sind in den Schweizer Verteilnetze erneuerbare Energien nur punktuell so stark ausgebaut, dass die Integration behindert würde. Allenfalls in einzelnen Netzabschnitten kommt es zu Problemen, wobei diese auch durch andere Massnahmen wie beispielsweise regelbare Ortsnetzstationen oft gehandhabt werden können.

Die Anforderungen an DSM und deren Einsatz hängen stark davon ab, wie die Netze gesteuert werden. Eine Echtzeitüberwachung der NE 7 beispielsweise ist in der Schweiz faktisch nicht verbreitet. Ausserdem überwachen und steuern viele Verteilnetzbetreiber ihre Netze heute gar nicht in Echtzeit. Sofern die Produktion aus Erneuerbaren Energiequellen also zu kritischen Situationen im Netz führen würde, müssten diese zunächst einmal gemessen werden, bevor Steuerungsmassnahmen stattfinden.

7 Qualitative Bewertung der Sektoren

Vor der Quantifizierung der Grössenordnung des DSM-Potentials wird für alle volkswirtschaftlichen Sektoren eine qualitative Betrachtung durchgeführt. Erkenntnisse aus der Umfrage resp. aus den Interviews sind dabei miteingeflossen. Damit wird geschärft, wo überhaupt DSM-Potential vorhanden sein kann, um die Quantifizierung effizient durchzuführen und den Datenbedarf zu reduzieren.

7.1 Strukturierung der volkswirtschaftlichen Bereiche

Es gibt verschiedene Auflistungen von DSM-fähigen Prozessen, die aus einer Vielzahl unterschiedlicher Studien herrühren. Das EWI nennt beispielsweise die folgenden Prozesse[41]:

Tabelle 4: Übersicht DSM-fähige Prozesse nach EWI

Bereich	Prozesse
Industrie	Aluminium-Elektrolyse, Zementmühle, Papiermaschine, Papierbeschichtung, Papier-Kalender, Zellstoffmahlung, Altpapieraufbereitung, elektrischer Lichtbogenofen, Chlor-Alkali-Elektrolyse, Ventilation, Druckluft
Dienstleistung	Klimaanlage, Ventilation, Kühlhaus, Kühlraum, Kälteanlage, Gefriertruhe
Haushalte	Kühlschrank, Gefriertruhe, Waschmaschine, Wäschetrockner, Spülmaschine, Brauchwassererhitzer, Klimaanlage, Nachtspeicherheizung, Umlaufpumpe
Transport	Elektromobilität
Kommunal	Pump- und Belüftungsprozesse an Kläranlagen

Um die Ermittlung des Potentials für diese Studie durchzuführen, wurden die nachfolgenden Sektoren genutzt:

- Haushalte
- Landwirtschaft, Gartenbau sowie Dienstleistungen
- Verkehr,
- Industrie, verarbeitendes Gewerbe

[41] Vgl.: Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln (EWI) (2012): „Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign“. Köln, S. 36

Diese Gliederung ist orientiert an statistischen Daten bzw. Publikationen des Auftraggebers, um so eine bestmögliche Nutzbarkeit der Daten zu sichern. Den Sektoren untergeordnet sind jeweils spezifische Anwendungen und Prozesse, aber auch Querschnittsfunktionen wie „Druckluft“ und „Pumpen“[42].

7.2 Überblick

In diesem Kapitel werden unter anderem Rahmenbedingen für DSM beleuchtet und Überlegungen zu den einzelnen Potentialstufen je Bereich angestellt. Weiterhin wird eine qualitative Einschätzung zum heutigen DSM-Potential und zur zukünftigen Entwicklung vorgenommen[43].

Tabelle 5: Überblick der Sektoren für eine qualitative Einschätzung

	Haushalte	**Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen**	**Industrie und Verbarbeitendes Gewerbe**	**Verkehr**
Senkbarkeit[44] und Verschiebbarkeit	Senkbarkeit und Verschiebbarkeit von Last verschiedentlich gegeben	Senkbarkeit und Verschiebbarkeit von Last verschiedentlich gegeben	Vorrangig Verschiebbarkeit zu erwarten (sonst oft Produktionseinbussen)	Nur individuelle Elektromobilität relevant (Verschiebbarkeit)
Potentialstufen	Theoretisches und technisches Potential vorhanden, aber zeitlich stark strukturiert (z. B. wegen Wetter, Saisonalität)	Theoretisches und technisches Potential vorhanden, aber umfangreiche Restriktionen sowie Nicht-Speicherbarkeit von Dienstleistungen, so dass soziotechnisches Potential gemindert ist	Starke Einschränkungen beim Übergang vom theoretischen zum technischen Potential aufgrund technischer Restriktionen und Randbedingungen in Produktionsprozessen. Weiterhin wirken zum Beispiel rechtliche Restriktionen sen-	Starke Abhängigkeit von soziotechnischen Faktoren für die Zukunft zu erwarten

[42] Auf eine Aufschlüsselung der Kernfunktionen und Querschnittfunktionen wird verzichtet, da das zugängliche Datenmaterial diese Aufschlüsselung nicht zulässt. Grundsätzlich ist aber zu erwarten, dass in den Querschnittsfunktionen gewisses DSM-Potential besteht.

[43] Die nachfolgenden Aussagen, ob sich einzelne Prozessen und Anwendungen für DSM eignen, sind nur tendenziell zu verstehen.

[44] Senkbarkeit bedeutet in diesem Zusammenhang die «Fähigkeit» einer Last zur Reduktion.

			kend auf das soziotechnische Potential	
Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential	Raumwärme; Warmwasser; Klima, Lüftung und Haustechnik; Waschen und Trocknen; Kochen und Spülen; Kühlen und Gefrieren	Raumwärme; Warmwasser; Klima, Lüftung und Haustechnik; landw. Antriebe und landw. Prozesse	Raumwärme; Warmwasser; Klima, Lüftung und Haustechnik; Antriebe und Prozesse	Lüftung Tunnel und individuelle Elektromobilität
Restriktionen unterhalb des theoretischen Potentials (Auswahl)	Kochen und Spülen: Gepflogenheiten Haushalte	Regularien zu Tierschutz, Hygiene; Brandschutz (Heustockbrände);	Vorschriften der Guten Herstellungspraxis; Hygiene; Logistik; Umweltschutz	Vorrang Umweltschutz (Tunnel); Lade- und Nutzungsverhalten bei E-Mobilität
Eignung für Anwendungszwecke	Für „Redispatching“ eher fraglich, da entsprechende Leistungen in netztopografischer Nähe zum jeweiligen Betriebsmittel nötig sind	Für „Redispatching“ eher fraglich, da entsprechende Leistungen in netztopografischer Nähe zum jeweiligen Betriebsmittel nötig sind	Tendenziell für alle Anwendungszwecke geeignet	Tendenziell sind nur bei Bündelung und starker Durchmischung hohe Leistungen verlässlich zu erwarten
Trends bezüglich DSM	Tendenziell sinkendes Potential (Ersatz Widerstandsheizungen, Effizienzförderung im Gebäudebereich	Keine einheitlichen Trends ersichtlich, aber zum Teil technologische Veränderungen	Keine klaren Trends, aber zum Beispiel konjunkturelle Schwankungen des Stromverbrauchs vorhanden	Klar wachsend (Zunahme individueller Elektromobilität)

7.3 Haushalte

Gemäss der Elektrizitätsstatistik 2017 verbrauchten die Haushalte insgesamt 19.2 TWh Strom, was 32.9% des gesamten Stromverbrauchs in der Schweiz entspricht[45]. Damit sind die Haushalte der Sektor

[45] Vgl.: Bundesamt für Energie (2017): “Elektrizitätsstatistik 2017”. Bern, S. 33

mit dem grössten Stromverbrauch, zugleich aber mit einem nur sehr geringen, individuellen Verbrauch – was Auswirkungen hat auf die Wirtschaftlichkeit einer allfälligen Erschliessung von DSM-Potential.

Für die Haushalte ist zu erwarten, dass es ein sehr hohes theoretisches Potential gibt, da die installierte, elektrische Leistung sehr hoch ist. Zugleich dürfte wegen des zeitlich durchmischten Nutzungsverhalten und der oft nur kurzen Betriebsdauern der elektrischen Verbraucher das technische Potential aber nur gering sein. Verschiedene Restriktionen und Verhaltensweisen sorgen darüber hinaus dafür, dass das soziotechnische Potential abermals reduziert sein dürfte.

Theoretisches Potential ist in den Haushalten bei verschiedenen Prozessen und Anwendungen vorhanden, jedoch nicht bei allen. Der Stromverbrauch aus Anwendungen für Unterhaltung, Information und Kommunikation kann nicht gesteuert werden und wird keinen Beitrag zum theoretischen DSM-Potential liefern. Es handelt sich um Power-on-demand-Anwendungen[46]. Das gleiche gilt für Beleuchtung, deren Potential auch nicht genutzt werden kann, da die Steuerung der Beleuchtung z. B. von den Lebensgewohnheiten der Haushalte abhängt. Power-on-demand-Verbraucher werden für die weiteren Schritte dieser Arbeit grundsätzlich nicht berücksichtigt. Damit ist das für DSM infrage kommende Bündel an Prozessen und Anwendungen bereits reduziert.

Tabelle 6: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Haushalte

Verwendungszweck / Branche	Senkbarkeit	Verschiebbarkeit wg. Speicherung bzw. Lagerung / Entkopplung	Beispiel
Raumwärme	Ja	Ja	Wärmepumpe, Umwälzpumpe, elektrische Direktheizungen
Warmwasser	Ja	Ja	Boiler
Klima, Lüftung, Haustechnik	Ja	Ja	Ventilation
Waschen und Trocknen	Nein	Ja	Waschmaschine, Tumbler
Kühlen und Gefrieren	Nein	Ja	Betrieb Tiefkühlschrank
Kochen und Spülen	Nein	Ja	Spülmaschine

[46] Vgl.: Styczynski und Sauer 2015 a. a. O. in: Stadler, S. 40. «Power-on-demand» ist letztlich ein Sammelbegriff für sehr stark wirkende, zwingende Restriktionen zum Beispiel aus den Bereichen Technik oder soziotechnische Akzeptanz.

Die oben dargestellten Prozesse bzw. Anwendungen stellen theoretisches Potential dar und werden zum Teil heute bereits im Rahmen der Flexibilitätsbewirtschaftung durch EVU genutzt. Die Prozesse und Anwendungen wären auch in einem erweiterten oder veränderten Umfang für DSM nutzbar.

Das technische Potential aus den Prozessen und Anwendungen im Haushaltsbereich fällt im Saison- bzw. Tagesablauf und auch während der Tage unterschiedlich an. Damit ist die Verlässlichkeit für verschiedene Anwendungszwecke bereits eingeschränkt. Zugleich sind nicht alle jeweiligen Stromverbraucher eines Anlagenclusters bei allen Haushalten zeitgleich im Einsatz, was das jeweils zur Verfügung stehende DSM-Potential tendenziell senkt. Durch Portfolioeffekte gibt es aber eine «Trade-off» zwischen zeitlicher Verfügbarkeit und Umfang der Flexibilität.

Auf das theoretisch und technisch vorhandene Potential wirken jeweils Hemmnisse, welche das soziotechnische Potential geringer ausfallen lassen. Dieses wird vor allem anschaulich bei den Prozessen «Kochen und Spülen». Hier wäre eine Verschiebung oder gar Senkung des Stromverbrauchs nur schwer mit den Gepflogenheiten der Haushalte in Übereinstimmung zu bringen[47]. Einen genauen Aufschluss über das soziotechnische Potential kann es nur im Rahmen z. B. von Marktforschung geben. Auch seitens der Versorgungswirtschaft sind keine allgemein gültigen Informationen vorhanden. Eine Übernahme von Daten aus anderen Ländern erscheint nicht ratsam, da zum Beispiel die sozialen Strukturen in der Schweiz, aber auch das Angebot an Stromtarifen hierzulande nicht mit dem anderer Länder identisch ist[48].

Das bei Haushalten resultierende DSM-Potential erscheint vorrangig für drei der vier Verwendungsarten geeignet zu sein, etwa für das Angebot im Systemdienstleistungsmarkt. Lediglich ein Einsatz für Redispatch-Zwecke ist aus Sicht der Autoren wenig sinnvoll wegen der topografischen Anforderungen an die Bereitstellung des Potentials. Heute wird de-facto das Flexibilitätspotential aber ebenfalls noch genutzt, um Lastspitzen zu vermeiden und speziell die Leistungskomponente in den Netzentgelten des vorgelagerten Netzbetreibers. Das wurde so auch in der Befragung der EVUs wiedergegeben[49]. Das ermittelte Potential ist also kein zusätzliches Potential, sondern ein Gesam-Potential. Um das Haushaltspotential nutzen zu können, müsste Flexibilität topografisch sehr selektiv geschaltet werden, zugleich müssten ausreichend grosse Leistungen geschaltet werden können.

Langfristig wird sich das DSM-Potential in diesem Bereich nach Einschätzung einiger der befragten EVU durch die vermehrte Integration von Wärmepumpen und Warmwassererzeugungen in hauseigene Energie-Management-Systeme deutlich mindern. Einen weiteren Beitrag stellt der Ersatz elektrischer Widerstandsheizungen und von Boilern dar, welche durch effizientere Lösungen ersetzt werden. Insgesamt herrscht unter den EVUs aber nach den Ergebnissen der Erhebung in der Studie aber Uneinigkeit darüber, wie sich das Potential langfristig entwickelt. Von den befragten EVUs wurden verschiedene Hemmnisse zur Nutzung von Flexibilitäten in EVUs angegeben (z. B. rechtlicher und ökonomischer Natur), die zudem erst beseitigt werden müssen, bevor die Flexibilitäten nutzbar werden[50].

---

[47] Das kann beispielsweise an starren, familiären Zeitabläufen liegen, oder an eher scheinbar trivialen Gegebenheiten wie zum Beispiel begrenzter Menge an Geschirr.

[48] Ausführungen zum wirtschaftlichen Potential finden sich in Abschnitt 5.4

[49] Vgl.: Anhang 1

[50] Vgl.: Anhang 1

Durch bereits heute vorhandene Massnahmen wie zum Beispiel den Einsatz von Rundsteueranlagen wird bereits ein Teil des DSM-Potentials genutzt.

7.4 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen

Aus Gründen der Verfügbarkeit von öffentlichen Datenquellen werden die Bereiche «Landwirtschaft und Gartenbau» einerseits und «Dienstleistungen» andererseits zusammengefasst. Insgesamt liegt der Stromverbrauch des Bereichs Landwirtschaft und Gartenbau bei rund 1 TWh, verteilt auf über 51'000 Betriebe, so dass ein spezifischer Stromverbrauch von durchschnittlich ca. 20 MWh verbleibt. Im Dienstleistungssektor werden zusätzlich rund 15.7 TWh Strom pro Jahr verbraucht, wobei dieser Sektor hinsichtlich Grösse, Struktur und Branche stark divergiert.[51]

Der primäre Sektor «Landwirtschaft und Gartenbau» in der Schweiz wird hinsichtlich Stromverbrauch überwiegend von der Landwirtschaft geprägt, «Gartenbau» ist vernachlässigbar. Die landwirtschaftlichen Betriebe in der Schweiz sind sehr heterogen, sowohl was ihre Grösse angeht, als auch ihre Spezialisierung z. B. in Milchwirtschaft, Mastbetriebe, Ackerbau.

Tabelle 7: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Landwirtschaft und Gartenbau

Prozesse und Anwendungen	Senkbarkeit	Verschiebbarkeit wg. Speicherung bzw. Lagerung / Entkopplung	Beispiele für Anwendungen und Prozesse[52]
Raumwärme	Ja	Ja	Heizstrahler (Hallenheizung)
Warmwasser	Nein	Ja	Boiler
Prozesswärme	Nein	Ja	Trocknungsprozesse
Klima, Lüftung und Haustechnik	Ja	Ja	Ventilation geschlossener Ställe
Antriebe, Prozesse	Nein	Ja	Rührwerke, Melkmaschinen

[51] Elektrizitätsstatistik 2017, S. 26

[52] Vgl. u. a.: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln e.V. EWI (Hrsg.) (2012): "Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign: im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums". Köln, S. 36

Es ist anzunehmen, dass bei fünf Prozessen bzw. Anwendungen mindestens Verschiebbarkeit und damit theoretisches Potential gegeben ist. Der Umfang ist von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich. Das technische, verlässliche Potential ist bei Prozessen zur Raumwärme, zur Klimatisierung saisonal unterschiedlich, bei allen Prozessen und Anwendungen aber im Tagesablauf schwankend.

Aus verschiedenen Restriktionen heraus ist bei das soziotechnische Potential aber eingeschränkt, denn abhängig von den Spezialisierungen der einzelnen Betriebe wirken unterschiedliche Restriktionen. Grundsätzlich benötigen zum Beispiel Melkanlagen jeweils am Morgen und am Abend am meisten Strom. Hier sind keine grossen Verschiebungen möglich, da ansonsten das Tierwohl gefährdet wäre. Weiter braucht die Milch eine konstante Kühlung, um deren Qualität zu sichern bzw. aus hygienischen Gründen. Damit stünden solche Prozesse und Anwendungen nicht zur Verfügung. Allerdings verändern sich nach Ergebnissen aus der Befragung von Branchenvertretern im Rahmen der Studie in diesem Bereich die Prozesse derzeit, denn in der Tendenz werden zunehmend Melkroboter bei Stallneubauten oder Sanierungen eingesetzt. Das bedeutet, dass der Strombezug weniger Spitzen am Morgen und am Abend aufweist verursacht durch das Melken, da die Kühe ihrem natürlichen Trieb folgen und sich zunehmend auch untertags melken lassen. In diesen Fällen kann gewisses, technisches Potential vorhanden sein, welches dann aber stärker über den Tag verteilt ist, als es heute noch oft der Fall ist[53]. Bei der Hühner- und Schweinezucht stellen hingegen die Lüftungen grosse Stromverbraucher dar und weisen eine Flexibilität auf, werden aber nach Bedarf benötigt. Es sind z. B. aus Gründen des Tierwohls zwingende Restriktionen einzuhalten. Sofern dieses aber der Fall ist, könnte z. B. eine sensorgeführte Klimatisierung bzw. Belüftung helfen, Flexibilität in begrenztem Umfang nutzbar zu machen. Die betrieblichen Anforderungen würden so erfüllt, darüber hinaus wäre die Flexibilität für energiewirtschaftliche Zwecke (DSM) nutzbar). Auch die Heubelüftung ist ein namhafter Stromverbraucher. Wird diese nicht ordnungsgemäss durchgeführt, drohen Heustockbrände. Damit scheiden solche Energieverbräuche spätestens bei der Beurteilung des soziotechnischen Potentials aus.

Auch in der Landwirtschaft können flexible Verbraucher gepoolt und z. B. für Systemdienstleistungen eingebunden werden. Im Einzelfall ist aber auch hier zu diskutieren, ob das Pooling gemeinsam mit anderen Flexibilitäten geschehen sollte. Das Potential zur Bereitstellung von DSM ist räumlich verteilt. Folglich sind DSM-Anwendungen für Redispatching, welches starke, definierte netztopologische Kriterien berücksichtigen müssen, tendenziell ungeeignet. Für die anderen Zwecke kann tendenziell Eignung angenommen werden.

Auch im Dienstleistungsbereich ist DSM-Potential vorhanden, was auch durch Antworten im Rahmen der EVU-Umfrage bestätigt wurde. Allerdings sind hier die Besonderheiten der Leistungserstellung zu berücksichtigen, insbesondere die weitgehende Nicht-Speicherbarkeit. Dienstleistungen können faktisch nicht oder nur in Einzelfällen «auf Vorrat» erbracht werden, da die Lagerfähigkeit ist nicht gegeben. Der Stromverbrauch wird verursacht durch die zeitlich unmittelbar damit verbundene Nachfrage der Kunden. Aus Sicht der Autoren sind im Dienstleistungsbereich maximal fünf Prozesstypen bzw. Anwendungen theoretisch geeignet, für DSM herangezogen zu werden. Die befragten EVUs haben bisher das Flexibilitätspotential im Dienstleistungsbereich weder systematisch erhoben, noch genutzt[54].

---

[53] Dieses ist ein gutes Beispiel dafür, dass sich energieverbrauchende Prozesse durchaus ändern können, so dass auch das DSM-Potential im Zeitablauf ändert.

[54] Vgl.: Anhang 2

Tabelle 8: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Dienstleistungen

Prozesse und Anwendungen	Senkbarkeit	Verschiebbarkeit wg. Speicherung bzw. Lagerung / Entkopplung	Beispiele für Anwendungen und Prozesse[55]
Raumwärme	Ja	Ja	Heizungsanlagen mit und ohne Wärmepumpe
Warmwasser	Ja	Ja	Schwimmbäder, Sanitäranlagen
Prozesswärme	Nein	Nein	In-Shop-Backeinrichtungen, Küchenbetriebe
Klima, Lüftung und Haustechnik	Ja	Ja	Klimatisierung von Ladenlokalen, grosse Kühlhäuser
Antriebe, Prozesse	Nein	Nein	Antriebe von Bergbahnen

Eine theoretische Eignung der Stromanwendungen für DSM kann bei unterstützenden Prozessen wie Raumwärme, Warmwasserbereitung und Klima, Lüftung und Haustechnik angenommen werden. Das technische Potential aus diesen Prozessen und Anwendungen ist in dieser Branche zeitlich strukturiert, in vielen Fällen mit Schwerpunkten tagsüber. Zudem kann insbesondere im Bereich des Kleingewerbes nach Aussagen in der EVU-Umfrage im Rahmen dieser Studie eine Ähnlichkeit der DSM-Quellen zu der im Haushaltsbereich angenommen werden.

Bei Prozesswärme sowie Antrieben und Prozessen stellt sich aber trotz potentiell vorhandenem theoretischen und technischen Potential die Frage, ob eine soziotechnische Akzeptanz vorhanden ist. Grund dafür ist, dass die Prozesse vielfach darauf ausgerichtet sind, Nachfrage ohne weiteren Zeitverzug zu bedienen. Speicherbarkeit als Voraussetzung für DSM-Potential ist kaum gegeben. Viele Dienstleistungen nutzen faktisch Power-on-demand-Anwendungen. Aus Sicht des wirtschaftlichen Potentials ist ggf. der Value of Lost Load sehr hoch, also der «Wert» bzw. «die Kosten», die mit dem entfallenden Strombezug einhergehen. Solche Kosten können z. B. aus nicht-produzierten Gütern herrühren. DSM würde zu einer Unterbrechung des Leistungsangebots der Dienstleistungen, oder zu einem Qualitätsverlust führen. In Restaurationsbetrieben müssen die Prozesse und Anwendungen z. B. dann erfolgen, wenn Gäste bedient werden müssen. Im Einzelhandel sind in den einzelnen Unternehmen verschiedene Vorgaben einzuhalten, etwa was die Kühlkette bei Lebensmitteln angeht. Nach unserer Kenntnis sind die Restriktionen teilweise so stark, dass bei einzelnen Unternehmen z. B.

[55] Vgl. u. a.: EWI 2012, S. 36

über das Mobilfunknetz Alarme übermittelt werden, wenn Temperaturschwellwerte überschritten werden. Punktuell kann aber Potential vorhanden sein, zum Beispiel bei grossen Kühlhäusern. Hier könnten zum Teil niedrigere Temperaturen aufgrund der Dämmung der Gebäude für bestimmte Zeiträume gehalten werden, ohne zusätzliche Energie für die Kühlung einzusetzen. Dieses bestätigte auch die die Befragung durch die Autoren.

Gerade im Dienstleistungsbereich gibt es zudem Bereiche, in denen sehr hohe Einwände gegen die Nutzung von DSM vorhanden wären. Diese gilt zum Beispiel für den Betrieb von Spitälern, aber auch für kritische Infrastrukturen wie Flughäfen oder Bahnhöfe. Hier sind zum Beispiel hohe Anforderungen an die Klimatisierung von Gebäuden oder an die Beleuchtung vorhanden. Sofern Steuerung dann in abgegrenzten Bereichen möglich ist, wird sie sich die Steuerbarkeit nicht grundsätzlich von anderen Dienstleistungssektoren unterscheiden.

7.5 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe

Der sekundäre Sektor hat einen Stromverbrauch von rund 17.9 TWh nach Elektrizitätsstatistik 2017[56]. Die spezifisch je Abnahmestelle höchsten Stromverbräuche sind in der Zement- und Betonbranche, in der Metall/Eisen-Branche und in der Chemie/Pharma-Branche zu finden. Die absolut höchsten Verbräuche finden sich in der Chemie/Pharma-Branche, in der Metall/Geräte-Branche und in der Nahrungsmittelbranche.

Tabelle 9: Übersicht Stromverbräuche in GWh[57]

	Nahrungsmittel	Textil / Leder	Papier / Druck	Chemie / Pharma	Zement / Beton	Andere NE-Mineralien	Metall / Eisen	NE-Metall	Metall / Geräte	Maschinen	Andere Industrien
Verbrauch total	2‘177	350	1‘449	2‘474	455	446	1‘166	377	2‘624	829	1‘951
Verbrauch spezifisch je Betriebs-stätte	0.53	0.28	0.83	2.95	11.10	0.46	10.41	3.46	0.32	0.44	0.22

Auch in den einschlägigen DSM-Studien in anderen Ländern wurde der Schwerpunkt auf das Potential in der Industrie und im Verarbeitenden Gewerbe gelegt. Anhand der Verbräuche in obiger Tabelle wird klar, wie sehr sich die Schweizer Industrie strukturell von der in anderen Ländern unterscheidet. Zum Beispiel haben in der deutschen Stahlindustrie oder in der Chemiebranche einzelne, grosse Stahlwerke

[56] Vgl.: BFE (2017), S. 26

[57] Bundesamt für Energie BFE (2018): «Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor - Resultate 2017». Bern

und Chemieunternehmen einen Strombedarf, der über dem Bedarf der ganzen entsprechenden Branche in der Schweiz liegt.

Es ist zu erwarten, dass in vielen Bereichen und Prozessen von Industrie und verarbeitendem Gewerbe theoretisches und technisches DSM-Potential in der Schweiz vorliegt. Neben den eigentlichen Kernprozessen tragen vor allem Querschnittsfunktionen wie die Drucklufterzeugung dazu bei, aber auch Hilfsfunktionen wie z. B. die Rechenzentren für betriebsinterne IT. Nachfolgende Tabelle veranschaulicht das theoretische Potential. In Industrie und verarbeitendem Gewerbe sind es vor allem die verschiebbaren Lasten, welche DSM-Potential bieten.

Tabelle 10: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe[58]

Prozesse und Anwendungen	Senkbarkeit	Verschiebbarkeit wg. Speicherung bzw. Lagerung / Entkopplung	Beispiele für Anwendungen und Prozesse[59]
Raumwärme	Ja	Ja	Hallenheizung
Warmwasser	Nein	Ja	Maischeherstellung
Prozesswärme	Nein	Ja	Glühprozesse
Klima, Lüftung und HT	Ja	Ja	Hallenbeleuchtung
Antriebe, Prozesse	Nein	Ja	Bohren, Drehen

Echte Senkbarkeit des Stromverbrauchs in der Industrie und im verarbeitenden Gewerbe ist nicht in grossem Umfang zu erwarten, da dann entweder deutliche Effizienzmängel vorhanden sein müssten, die z. B. ohne Produktionseinbussen (kurzfristig) behoben werden könnten. Verschiebungen der Last bzw. die Vermeidung von Lastspitzen werden bereits heute vorgenommen. Beispielsweise hat dieses ein Vertreter der Papierindustrie im Rahmen der Umfrage für diese Studie bestätigt[60].

Das technische Potential liegt deutlich unter dem theoretischen Potential, was u.a. an der Gleichzeitigkeit der Inanspruchnahme der elektrischen Leistung in Verbindung mit den spezifischen Prozessen liegt. Zum Beispiel können Glühprozesse im Maschinenbau nicht beliebig gesteuert werden, ohne die Qualität des Produktes einzuschränken. Zudem gibt es in einzelnen der oben genannten Abteilungen besonders starke, zum Teil rechtlich begründete Restriktionen, die zum Beispiel aus Prozessrestriktionen bzw. der «Guten Herstellungspraxis» (GHP) herrühren. Unter anderem die Pharmabranche ist hiervon betroffen. In der Umfrage der Autoren wurde auch erwähnt, dass z. B. bei

[58] Der Stromverbrauch für Prozesswärme wird den einzelnen Branchen zugerechnet.

[59] Vgl. u. a.: EWI 2012, S. 36

[60] Vgl.: Anhang 2

der Wasserversorgung grundsätzlich vorhandenes Flexibilitätspotential Restriktionen unterworfen ist, da das Trinkwasser in Speichern regelmässig umgewälzt werden muss.

Für die Industrie und das vorhandene theoretische und technische Potential spielt stärker als für die anderen Bereiche die Frage der Organisation des spezifischen Betriebs eine Rolle. Dieses wurde in den Interviews sehr deutlich. Erwähnt wurde in der Befragung, dass grundsätzlich die Lagerfähigkeit von z. B. Zwischenprodukten Voraussetzung ist für Lastverschiebungen – dem kann aber bei anderen Unternehmen das «Just-in-time-Prinzip» entgegenstehen. «Produktion auf Vorrat» hat zudem den ökonomischen Effekt, dass dafür Kapital für die Finanzierung des so entstandenen Umlaufvermögens gebunden wird. Im Einzelfall ist laut Befragungen Serienfertigung mit Lagern eher geeignet als eine Manufaktur-Fertigung. Im Mehrschichtbetrieb bedeutet Lastverschiebung Einbussen der Produktion, so dass dann die Kosten der Lastverschiebung hoch sind. Das bedeutet, dass im Mehrschichtbetrieb nur Querschnitttechnologien wirtschaftlich sinnvoll nutzbar sind, bei einer oder zwei Schichten ist evtl. weniger Steuerbarkeit überhaupt vorhanden, aber mehr Steuerbarkeit kostengünstig, da die Assets nicht so hoch ausgelastet werden müssen.

Schliesslich wirken auch Restriktionen aus anderen Rechtsbereichen. Zementherstellende Unternehmen können nach Befragung ihre Last zwar grundsätzlich steuern – aber nur in Teilbereichen, da zum Beispiel das Brechen von Gestein wegen der Lärmemissionen nur zeitlich begrenzt stattfinden kann.

Fraglich ist, welches soziotechnische Potential unterhalb des technischen Potentials jeweils verbleibt. Verbrauchssteuerung im Rahmen von DSM wird in der Schweizer Industrie und im verarbeitenden Gewerbe bereits stellenweise praktiziert, zum Beispiel in Grossbäckereien. Es treten allerdings auch hier zum Teil branchenabhängige Restriktionen auf, etwa ist es in Zementwerken nach der von B E T durchgeführten Umfrage nicht ohne weiteres möglich, den Betrieb der Mühlen zeitlich zu verschieben, da zum Beispiel Lärmschutzregelungen dem entgegenstehen. Auch ist es nicht immer ohne weiteres möglich, Zwischen- und Endprodukte länger zu lagern. Im Falle der Zementindustrie kann dies wegen Reaktion des Mahlguts bzw. der Produkte auf Wasser zu Minderungen bei der Produktqualität führen). Die Förderung der Energieeffizienz kann der Nutzung von Flexibilitäten für DSM entgegenstehen, wie in der Branchenbefragung durch Teilnehmer vermutet wurde. Müssten zum Beispiel Zwischen- oder Endprodukte längere Zeit gekühlt oder warmgehalten werden, wenn z. B. in der Lebensmittelindustrie Flexibilitäten genutzt werden, bedeutete das sinkende Energieeffizienz. Die Flexibilität des Stromverbrauchs wird – so die Ergebnisse der Umfrage bei Branchenverbänden bzw. Industrieunternehmen – offensichtlich insbesondere durch Anstrengungen zur Förderung der Gesamtenergieeffizienz, zur Senkung des CO_2-Ausstosses und durch die Optimierung von Prozessen begrenzt. Es wurde zum Beispiel berichtet, dass Grossverbraucher die Zielvereinbarungen nutzen um die Jahresenergieverbräuche zu minimieren, aber die Fähigkeit der Lastverschiebung dabei absolut nachrangig ist oder sogar den Energieeffizienzzielen entgegensteht.

Der Stromverbrauch der Industrie ist zudem stark von konjunkturellen Einflüssen abhängig, bei geringer Auslastung können die Stromverbraucher entsprechend auch nur zu geringerem Mass gesteuert werden. Dieses wurde auch im Rahmen der Befragung bestätigt. Das bedeutet, dass beispielsweise die Flexibilität, welche durch Schweizer Automobilzulieferer bereitgestellt würde, von der Konjunktur der Fahrzeughersteller abhängt.

Für die Abwasserreinigungsanlagen wurde bemerkenswerterweise noch erwähnt, dass eher zufällige Faktoren wie das Wetter und Niederschläge den Betrieb und damit das nutzbare Potential beeinflussen können.

7.6 Verkehr

Der Verkehrssektor verursacht einen Stromverbrauch von rund 4.7 TWh, wobei rund 3.55 TWh auf Schienenverkehr und auf öffentliche Beleuchtung entfallen[61]. Insbesondere der Stromverbrauch für Fahrstrom und öffentliche Beleuchtung wird kein DSM-Potential zulassen.

Theoretisches Potential ist künftig im Bereich der individuellen Elektromobilität in signifikantem Umfang vorhanden.

Tabelle 11: Übersicht Prozesse und Anwendungen mit theoretischem Potential Verkehr

Prozesse und Anwendungen	Senkbarkeit	Verschiebbarkeit wg. Speicherung bzw. Lagerung / Entkopplung	Beispiele für Anwendungen und Prozesse[62]
Beleuchtung	Nein	Nein	Strassenbeleuchtung
Lüftung	Nein	Ja	Lüftung Tunnelanlagen
Schienenverkehr[63]	Nein	Nein	SBB
Elektrische Trolleybusse	Nein	Nein	
Individuelle Elektromobilität	Nein	Ja	Ladestationen
Sonstige	Nein	Nein	

Im Zusammenhang mit dem Verkehrssektor wird allein der Individualverkehr mit Elektromobilität betrachtet. Heute ist die Elektromobilität in der Schweiz kaum verbreitet, von einem starken Wachstum ist aber jedoch auszugehen. Dennoch haben bereits zwei befragte EVU angegeben, die Last an Ladesäulen manuell bzw. automatisch steuern zu können und auch eine Notfallsteuerung zu besitzen.

Elektromobilität wird in der Schweiz, anders als beispielsweise in Deutschland oder Frankreich, mit eher nur geringen, täglichen Fahrdistanzen verbunden, so dass auch Ladeinfrastruktur mit eher niedriger Leistung oft reichen kann, die tägliche Mobilität sicher zu stellen. Das bedeutet, dass auch die

[61] Vgl.: BFE (2017), S. 26

[62] Vgl. u. a.: EWI 2012, S. 36

[63] BET erwartet, dass bestimmte betriebliche Anforderungen (z. B. Fahrpläne, Sicherheit) in Verbindung mit technischen Rahmenbedingungen (z. B. nicht von aussen steuerbare Heizungssysteme in den Waggons) hier kein theoretisches Potential entstehen lassen.

Ladeinfrastruktur nur für einen relativ kurzen Zeitraum genutzt werden. Wird also Flexibilität in Form von DSM bewirtschaftet, kann die für Mobilitätszwecke nötige Elektrizität schnell gespeichert werden.

Das verlässliche technische Potential dürfte deutlich unterhalt des theoretischen Potentials liegen, z. B. wegen des jeweils begrenzten Ladestrombedarfs, oder auch wegen der starken, zeitlichen und räumlichen Durchmischung des Ladeverhaltens.

Während das theoretische und das technische Potential von geringem Niveau aus wachsen dürften, ist das soziotechnische Potential heute kaum abschätzbar. Insbesondere liegen noch keine Erfahrungswerte zum Beispiel zur statistischen Verfügbarkeit der nutzbaren Fahrzeugflotte, oder zum Ladeverhalten vor. Dieses wurden von den im Rahmen der Studie befragten EVUs ausdrücklich erwähnt. Zum Beispiel herrscht Unklarheit darüber, wann die Fahrzeugbesitzer ihrer Fahrzeuge laden und nutzen wollen, bzw. welche Einschränkungen sie bereit sind hinzunehmen. Es wird zudem erwartet, dass faktisch nur die Fahrzeuge für die Bereitstellung von Flexibilität genutzt werden können, welche längere Zeit parkiert sind, also zum Beispiel Privatfahrzeuge in der Nacht. Das wird dazu führen, dass abhängig von der Tageszeit deutlich andere Flexibilitätsmengen angeboten werden[64].

Tunnelanlagen werden vor allem durch die sich bewegenden Fahrzeuge durchlüftet. Die Verbräuche für die Belüftung von längeren Tunnels sind nur gering. Die Belüftungsanlagen sind auf einen möglichen Brandfall dimensioniert und damit ist die installierte Leistung sehr hoch, ohne dass diese aber oft im Einsatz sind. Der Verwendungszweck der Lüftung (von Tunnelanlagen) wurde darum gestrichen, da im Normalbetrieb hier nur sehr geringe elektrische Arbeit anfällt[65].

---

[64] Vgl.: Anhang 1

[65] Vgl.: Bundesamt für Strassen ASTRA (2011): „Energiebericht zu den Nationalstrassen in Betrieb Jahresbericht 2011“. Bern, S. 15

8 Ergebnisse der Quantifizierung des theoretischen, technischen und soziotechnischen Potentials

Eine sichere Quantifizierung erweist sich über alle untersuchten Potentialbegriffe als komplex und aufwändig. Es wurde dennoch versucht, nach den Berechnungsmethoden aus Kapitel 5 das theoretische, technische sowie das soziotechnische Potential bestmöglich zu quantifizieren und einzugrenzen, um einen Ansatzpunkt für weitere Diskussionen zu geben. Abhängig von den weiteren Diskussionen zum Thema DSM in der Schweiz muss zusätzlicher, unter Umständen hoher Aufwand für die präzisere Quantifizierung geleistet werden.

Basis der Ermittlung der Potentiale sind im Wesentlichen Stromverbräuche von Prozessen und Anwendungen sowie von Branchen einerseits, und eine Recherche bzw. Schätzung der Benutzungsstunden in den genannten Zeiträumen sowie Annahmen zur Akzeptanz andererseits. Diese wurden fallweise um andere Daten ergänzt, so dass eine Verifizierung der Ergebnisse stattfinden konnte. Minimale und maximale Potentialwerte wurden als Spannbreite angegeben, wenn die Unsicherheit über die Benutzungsstunden besonders hoch war. Mit späteren Arbeiten lassen sich die Unsicherheiten eventuell einschränken und die Berechnungsergebnisse weiter schärfen.

Das theoretische Potential (siehe Kapitel 5.1) kann primär via Methode C berechnet werden, indem der Stromverbrauch einer Anwendung bzw. eines Prozesses oder einer Branche durch die jeweiligen Benutzungsstunden dividiert werden. Beim (vergleichmässigten) technischen Potential (siehe Kapitel 5.2) sind die Aussagen hinsichtlich Saison (Sommer, Winter) und Tageszeit (Tag, Nacht) zu unterscheiden. Zur Berechnung werden dafür die jeweiligen Energieverbräuche der betrachteten Prozesse durch die in der jeweiligen Periode anfallenden Benutzungsstunden dividiert. Schliesslich wird beim soziotechnischen Potential (siehe Kapitel 5.3) ein Akzeptanzfaktor pro Prozess resp. pro Anwendung eingerechnet, der das jeweilige Potential nochmals geringer ausfallen lässt. Beispielsweise sind Bewohner eines Haushalts eher bereit die Raumwärme steuern zu lassen, als dass nur zu bestimmten Zeit die Waschmaschine benutzt werden darf. Dieser Akzeptanzfaktor muss für alle betrachteten Sektoren ebenfalls geschätzt werden, da keine Quellen dazu vorhanden sind. In einzelnen Fällen kann aber davon ausgegangen werden, dass die Akzeptanz in beiden Richtungen unterschiedlich ist.

Für weitere Studien wäre es ratsam, u. U. mit anderen Methoden (z. B. Marktforschung oder Messung energietechnischer Parameter wie z. B. Stromverbräuchen im Zeitablauf) eine zusätzliche Datenerhebung durchzuführen. Eine vollständige, durchgängige und den realen Produktionsbedingungen angepasste Datenerhebung wäre künftig jedoch nur möglich, wenn die Unternehmen dies für ihre Prozesse auch selber erheben.

8.1 Gesamtbetrachtung Sektoren

Über alle in dieser Studie betrachteten Sektoren «Haushalte», «Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen», «Industrie und Verarbeitendes Gewerbe» sowie «Verkehr» entsteht ein theoretisches DSM-Potential von 31’030 bis 46’556 MW (aufaddierte elektrische Leistungen der Anwendungen) und übersteigt somit die Schweizer Spitzenlast. Grundsätzlich fallen aber das nachgelagerte, technische Potential und die anderen, ebenfalls dem theoretischen Potential nachgelagerten Potente deutlich niedriger aus, sie betragen nur ein Bruchteil des theoretischen Potentials.

Hierfür gibt es mehrere Gründe, die miteinander zum Teil verbunden sind. Einerseits kann die Summe der installierten Leistungen der elektrischen Verbraucher sehr hoch sein, die einzelnen Verbraucher werden aber keineswegs alle gleichzeitig genutzt. Gerade bei einer Vielzahl ähnlicher, elektrischer Verbraucher in Haushalten werden diese insgesamt regelmässig über einen längeren Zeitraum verteilt bzw. durchmischt eingesetzt, oft aber auch nur für kurze Zeit[66]. Dieses Muster ist gemäss der Definition des theoretischen Potentials dort noch nicht berücksichtigt.

Andererseits fällt das technische Potential deutlich geringer als das theoretische Potential aus, weil technische Restriktionen im Gegensatz zum theoretischen Potential wirken. Die Betriebsweise eines elektrischen Verbrauchers kann z. B. hinsichtlich Minimallasten im Sommer eine andere sein als im Winter, in der Nacht eine andere als am Tag[67].

Schliesslich ist bei der Potentialermittlung zu berücksichtigen, welche Anforderungen die definierten Anwendungszwecke stellen. Da diese regelmässig hoch sind, müssen das technische Potential und die weiteren Potentialstufen dieses berücksichtigen, weshalb die Vergleichmässigung erfolgt. In dieser Studie erfolgt das für die vier Kombinationen aus Sommer und Winter einerseits und Tag und Nacht andererseits[68]. Die Vergleichmässigung stellt sicher, dass die ausgedrückten Potentialwerte auch eine Relevanz haben.

Im Ergebnis wird die Frage, wie viel technisches Potential vom theoretischen Potential übrigbleibt, zeitlich differenziert beantwortet. In den vier betrachteten Sektoren treten die Höchstwerte des technischen Potentials zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf. Während zum Beispiel das Potential im Haushaltsbereich wegen der Wichtigkeit der Heizungsanwendungen zwischen Sommer und Winter stark schwankt, ist das maximale, technische Potential bei Industrie und Verarbeitendem Gewerbe eher saisonunabhängig.

[66] Waschmaschinen und Tumbler benötigen beispielsweise nur recht kurzzeitig hohe elektrische Leistungen.

[67] Offensichtliches Beispiel ist der Betrieb von Verbrauchern für Heiz- und Wärmezwecke.

[68] Sofern die Prämisse der hohen Verfügbarkeit in den genannten Zeiträumen abgeschwächt würde, wäre das technische Potential entsprechend höher.

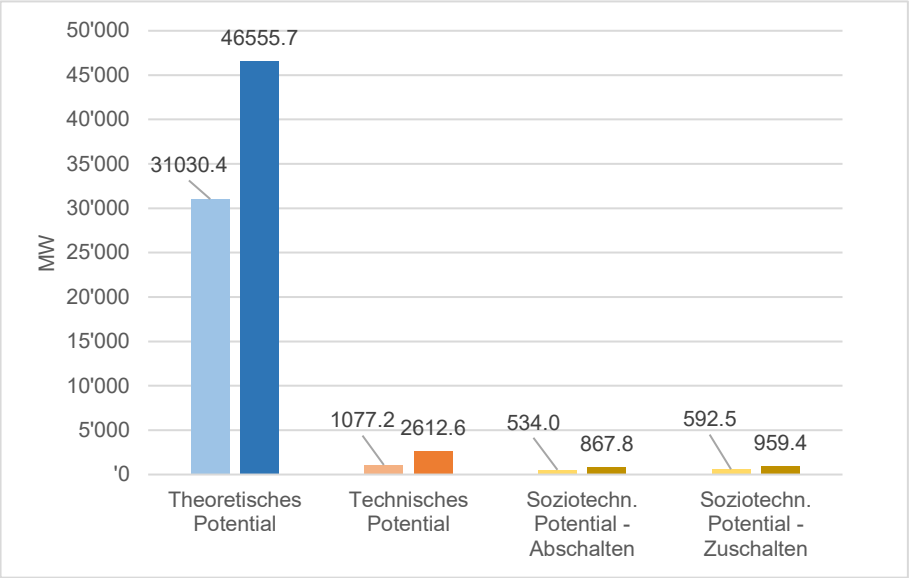


Abbildung 8: Minimales und maximales DSM-Potential alle Sektoren[69]

Vom theoretischen Potential verbleiben (vergleichmässigt) rund zwischen 1’077 und 2'613 MW als maximales, technisches Potential. Wenig überraschend ist es überwiegend vom industriellen Sektor geprägt. Das soziotechnische Potential für das Abschalten und Zuschalten liegt gerundet bei 534 bis 959 MW. Das bedeutet, dass bei der beschriebenen Vorgehensweise nur wenige Prozent des theoretischen DSM-Potentials als soziotechnisches Potential nutzbar sind. Das höchste Potential ist im Bereich Haushalte sowie bei den Dienstleistungen zu erwarten. Zugleich ist dann aber je Stromverbraucher das Potential jeweils nur gering. Wird die Vergleichmässigung für kürzere Zeiträume durchgeführt, erhöht das rechnerisch die Potentialwerte, senkt aber zugleich die Zuverlässigkeit für die einzelnen Anwendungszwecke.

In den folgenden Kapiteln wird auf die Berechnungen der einzelnen Sektoren eingegangen, basierend auf den oben eingeführten Berechnungsmethodiken und mit Hinweisen zu den jeweiligen Datengrundlagen.

8.2 Haushalte

8.2.1 Gesamtbetrachtung Potentiale

Für den Bereich «Haushalte» lassen sich für die in Tabelle 6 definierten DSM-fähigen Prozesse entweder mit Methode A oder mit Methode C (siehe Kapitel 5.1.2) die theoretische Potentiale errechnen bzw. validieren[70]. Wenn alle Leistungen aufaddiert werden, so resultiert in der Schweiz ein theoretisches

[69] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

[70] Die Methode C wurde als primäre Methode zur Potentialermittlung genutzt. Wo möglich, wurden mittels Methode C Validierungen durchgeführt.

Potential für DSM von rund 20’350 MW im Haushaltsbereich, was allein deutlich über der Last des Schweizer Stromverbrauchs liegt.

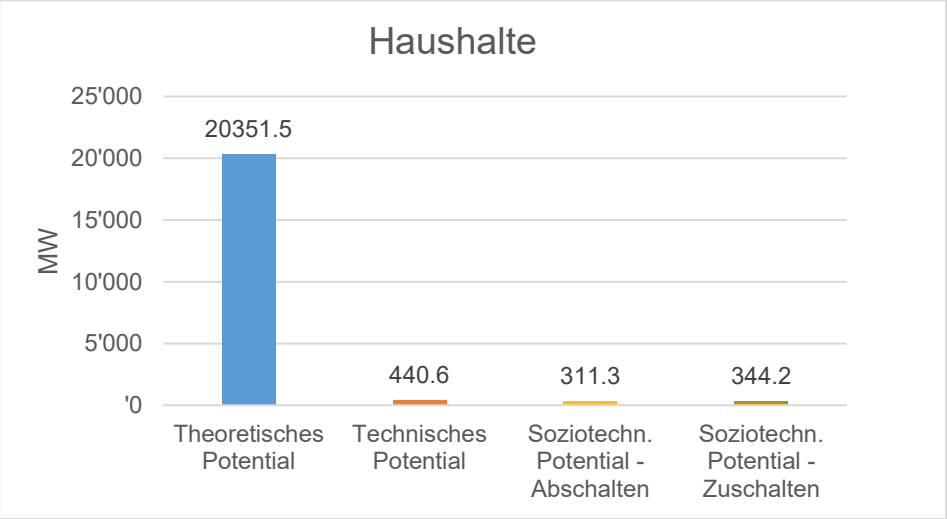


Abbildung 9: Überblick DSM-Potentiale Haushalte

Das maximal zur Verfügung stehende, vergleichmässigte und dadurch für die Anwendungszwecke verlässliche, technische Potential beträgt 440.6 MW, was 2.2% des theoretischen Potentials entspricht. Die installierte, elektrische Leistung ist hoch – für Flexibilität steht aber nur wenig Leistung technisch zur Verfügung. Beispielsweise werden Tumbler und Waschmaschinen in der Schweiz bei hoher zeitlicher Streuung eingesetzt.

Bei Haushalten gehen die Autoren davon aus, dass - über alle grundsätzlich zur Lastbeeinflussung mittels DSM geeigneten Prozesse betrachtet - ein hoher Akzeptanzfaktor von gut 70% (Mittelwert) für die Prozesse vorhanden ist. Es resultiert ein soziotechnisches Potential von maximal rund 311 bzw. 344 MW für Abschalten und Zuschalten. Diese Werte entsprechen ca. 1.6% des gesamten theoretischen Potentials .

8.2.2 Theoretisches Potential

Betrachtet man detaillierter die Beiträge der jeweiligen Prozesse und Anwendungen zum theoretischen Potential, so entstehen bei «Waschen und Trocknen» die höchsten Werte. Das Potential dieser Kategorie wird schon heute vielfach als Flexibilitätsquelle genutzt und bewirtschaftet. Diese Anwendungen sind auch ein Beispiel dafür, dass eine gewisse Akzeptanz vorhanden ist, da die Nutzung bereits heute vielfach als «Usus» bezeichnet werden kann.

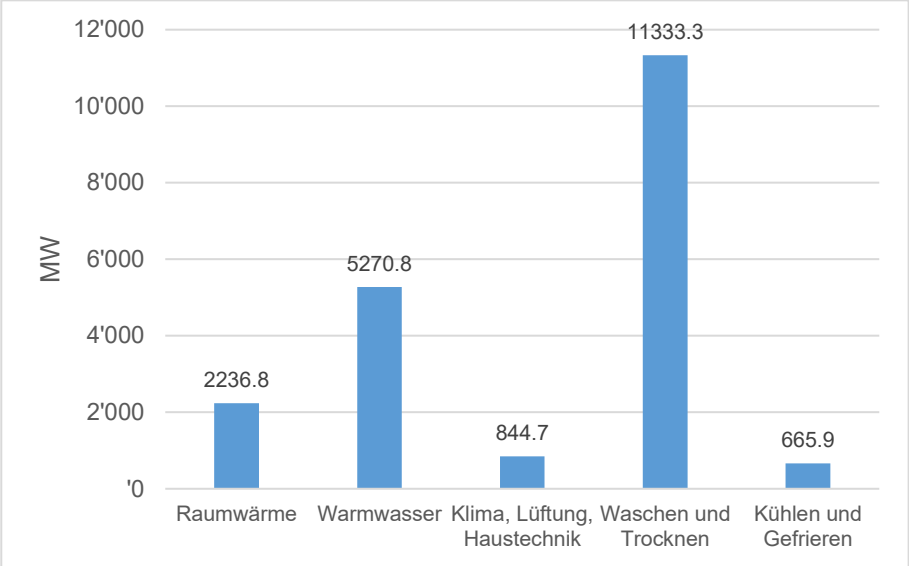


Abbildung 10: Theoretisches Potential Haushalte[71]

Gründe für das hohe theoretische Potential bei Waschen und Trocknen liegen zum einen darin, dass die Anlagen eine relativ hohe Leistungsaufnahme haben, und zum anderen darin, dass die Anzahl der Anlagen recht hoch ist.

Aufgrund der recht guten Datenlage zur Anzahl von Geräten, zum Verbrauch etc. im Haushaltsbereich müssen hier bei der Potentialermittlung nicht zwingend Minimal- und Maximalwerte angegeben werden, wie es in den anderen Bereichen der Fall ist[72].

8.2.3 Technisches Potential

Bei der Betrachtung des vergleichmässigten, technischen Potentials fällt auf, dass im Winter die Werte für gewisse Prozesse logischerweise höher sind als im Sommer (insb. Raumwärme). Anders als im Sommer, fällt im Winter tagsüber ein höheres technisches Potential an, u. a. Heizzwecken geschuldet.

[71] Diese Schätzung wurde von B E T stärker verifiziert, da aufgrund der etwas besseren Datenlage verschiedene Berechnungsmethoden für das theoretische Potential genutzt werden könnten.

[72] Vgl. z. B. zum Elektrizitätsverbrauch der privaten Haushalte: Bundesamt für Energie (2018) (Hrsg.): «Analyse des Schweizerischen Energieerbrauchs 2000 – 2017 nach Verwendungszwecken». Bern. Aus diesen Verbrauchswerten und z. B. Angaben der Hersteller zu typischen Stromverbräuchen und Leistungen lassen sich Angaben zum theoretischen Potential ableiten.

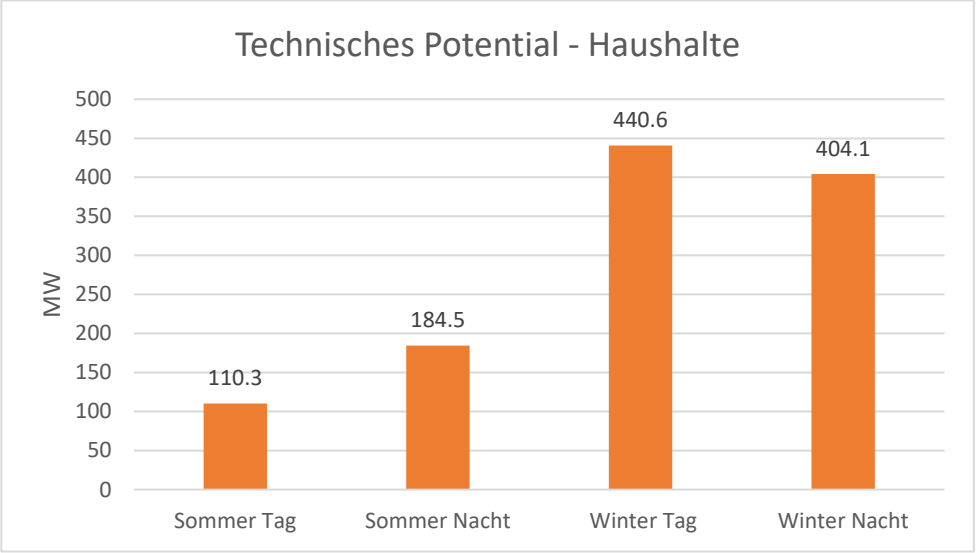


Abbildung 11: Vergleichmässigtes technisches Potential Haushalte

Das vergleichsmässigte, technische Potential manifestiert sich überwiegend im Bereich der Raumwärme, wo heute auch schon viele Nutzungen vorhanden sind, beispielsweise die Steuerung von Wärmepumpen. Die einzelnen Potential-Höchstwerte treten nicht in den gleichen Perioden auf. Bei Raumwärme liegt das technische Potential im Winter tagsüber bei maximal 356.2 MW, wohingegen bei Warmwasser der Höchstwert in der Nacht im Winter bei 64.6 MW liegt. Der Höchstwert für Waschen und Trocknen liegt stets zwischen ca. 2 und ca. 6 MW, für Kühlen und Gefrieren bei rund 74 MW in allen vier Perioden. Diese Verbraucher werden zeitlich verteilt, nicht in der jeweiligen, gesamten Periode ununterbrochen und dann auch nur jeweils für kurze Zeiten benötigt[73].

Tabelle 12: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Haushalte

Prozess und Anwendung	Sommer Tag (von – bis) in MW	Sommer Nacht (von – bis) in MW	Winter Tag (von – bis) in MW	Winter Nacht (von – bis) in MW
Raumwärme	21.8	43.6	356.2	263.1
Warmwasser	3.7	64.3	3.9	64.6
Prozesswärme	5.6	1.7	1.0	1.0
Waschen und Trocknen	6.1	2.0	6.0	2.0
Klima, Lüftung, Haustechnik	6.1	2.0	6.0	2.0
Antriebe, Prozesse	73.0	73.0	73.5	73.5

[73] Hoch energieeffiziente Geräte senken den Stromverbrauch (elektrischer Arbeit) deutlich ab, haben aber u. U. weiter hohe Leistungsaufnahmen.

Bei «Waschen und Trocknen» ist kaum ein Beitrag zum verlässlichen, technischen Potential zu erwarten, trotz der hohen, installierten Leistung. Das liegt daran, dass die einzelnen Geräte nur geringe Volllastbenutzungsstunden haben und die Geräte zeitlich stark verteilt betrieben werden[74].

8.2.4 Soziotechnisches Potential

Wie bereits eingangs zu diesem Kapitel erwähnt, liegt das soziotechnische Potential deutlich unter dem theoretischen Potential, aber nur relativ gering unter dem technischen Potential. Das liegt daran, dass im Haushaltssektor grundsätzlich eine eher höhere Akzeptanz bei geeigneten Prozessen erwartet wird. Der Grund liegt darin, dass die Stromverbraucher es bereits heute gewohnt sind, dass zum Beispiel Wärmepumpen durch den Energieversorger gesteuert werden.

Wie beim technischen Potential, steht das soziotechnische Potential auch nicht permanent zur Verfügung, sondern variiert z. B. nach Saisonalität resp. Tag / Nacht. Das soziotechnische Potential in positiver Richtung (Lastreduktion resp. Abschalten) sowie negativer Richtung (Lasterhöhung resp. Zuschalten) ist nicht in jedem Fall gleich hoch, da die Akzeptanz einer Schaltung sich je nach Richtung unterscheiden kann. Beispielsweise ist die Akzeptanz in einem Haushalt höher, dass zu bestimmten Zeit eine Spülmaschine nicht benutzt werden darf, anstatt dass sie zu bestimmten Zeiten laufen muss, obwohl sie vielleicht gar nicht gefüllt ist. Dieses widerspräche auch dem Primat der Energieeffizienz.

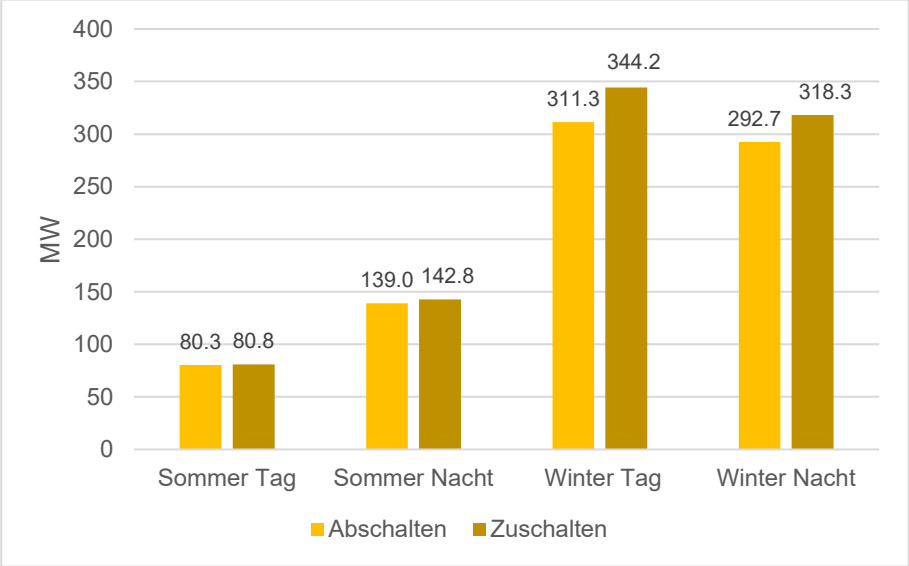


Abbildung 12: Soziotechnisches Potential Haushalte

Es wurden keine saisonabhängigen Akzeptanzabschläge genutzt. Vielmehr wurden für die jeweiligen Richtungen angesetzt:

- Raumwärme: 80% (beide Richtungen)

[74] Bezogen auf kurze Zeiträume wie z. B. „Mittagsspitze“ kann der Beitrag aber durchaus höher sein, was auch der Grund ist, dass heute Steuerungen bei dieser Art der Flexibilität erfolgen. Für z. B. den Anwendungszweck „Redispatch“ hilft das aber nicht weiter: Die Flexibilität wäre dann u. U. zum fraglichen Zeitpunkt nicht verfügbar.

- Warmwasser: 80% (beide Richtungen)
- Klima, Lüftung, Haustechnik: 75% (Abschalten) bzw. 100% (Zuschalten)[75]
- Kühlen und Gefrieren: 75% (beide Richtungen)
- Waschen und Trocknen: 50% (Reduzierung) bzw. 0% (Erhöhung)

8.3 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen

8.3.1 Gesamtbetrachtung Potentiale

Bei Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen wurde die Berechnung analog «Haushalte» (Methode C) vorgenommen. Als erstes wurden die Energieverbräuche für die als aussichtsreich qualifizierten DSM-Prozesse «Raumwärme», «Warmwasser», «Prozesswärme», «Klima/Lüftung/Haustechnik» und «Antriebe und Prozesse» eruiert[76]. Das bedeutet zugleich, dass in den Aussagen in diesem Abschnitt nicht geeignete Prozesse und Anwendungen von vorne herein nicht enthalten sind. Die Division der Energieverbräuche durch die geschätzten Benutzungsstunden ergibt wiederum das theoretische Potential. Bei der Schätzung der Volllast-Benutzungsstunden wurde zur Annäherung von einem Minimum (helle Säule) und Maximum (dunkle Säule) ausgegangen – dies im Gegensatz zum Vorgehen bei den Haushalten, wo umfangreichere Daten vorlagen.

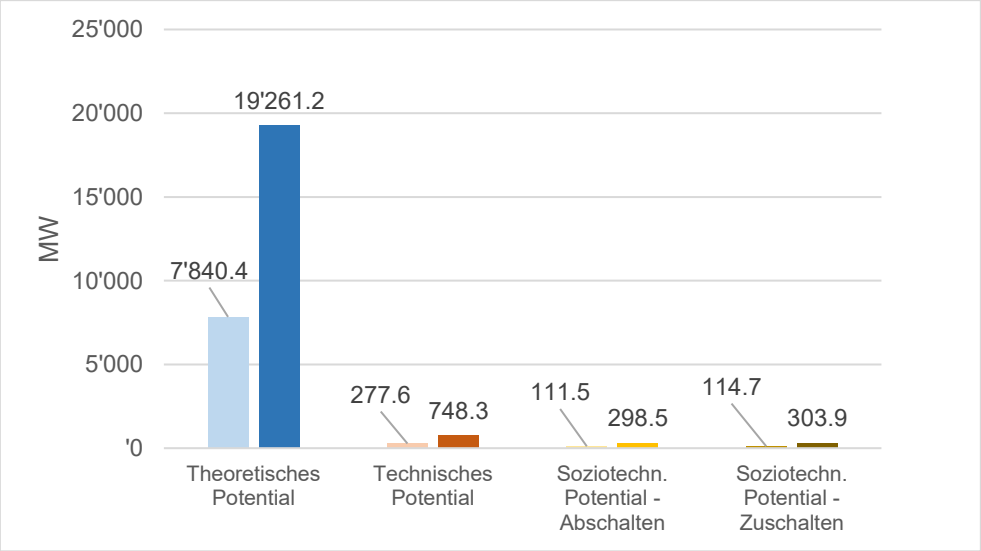


Abbildung 13: Minimale und maximale DSM-Potentiale Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen[77]

Da gewisse Prozesse wie zum Beispiel Raumwärme sehr tiefe Benutzungsstunden aufweisen können, andererseits Klima- oder Lüftungsprozesse hohe Werte ergeben können, ergibt sich eine grosse Bandbreite an theoretischem Potential (rund 7’840 MW bis 19’261 MW).

[75] Abschalten = positive Richtung; Zuschalten = negative Richtung

[76] Vgl.: BFE (2018): «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2017 nach Verwendungszwecken». Bern

[77] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

Das technische Potential ist bei den betrachteten Prozessen im Sektor Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistung deutlich geringer und beträgt zwischen 278 MW und 748 MW. Das Verhältnis zum theoretischen Potential ist damit in einem ähnlichen Rahmen wie bei den Haushalten, wenn auch etwas geringer. Die Gründe sind auch hier z. B. in der zeitlichen Durchmischung und in jeweils nur geringen Betriebszeiten zu sehen. Auch die Vergleichmässigung wirkt.

Um das soziotechnische Potential in positiver und negativer Richtung zu erhalten, wurde wiederum einen Akzeptanzfaktor pro Prozess eingerechnet. Dieser bildet ab, ob ein Unternehmen ein Eingreifen (Zu- oder Abschalten eines Prozesses) als störend empfinden würde. Das soziotechnische Potential liegt für Abschalten gerundet zwischen 115 und 304 MW. In diesem Sektor wird davon ausgegangen, dass es zwischen Ab- und Zuschalten keine signifikanten Unterschiede vorliegen.

8.3.2 Theoretisches Potential

In Bereich Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen liegt ebenfalls beträchtliches, theoretisches DSM-Potential. Das theoretische Potential weist insbesondere bei der Warmwassererzeugung und bei Antrieben und Prozessen sehr hohe Werte auf, allerdings ist die Spannbreite bzw. die Unsicherheit sehr hoch. Besonders die installierten Leistungen in der Landwirtschaft sind nicht ermittelbar, ebenso liegen keine verlässlichen Daten vor, wie viele Stunden die einzelnen Antriebe und Prozesse wirklich laufen.

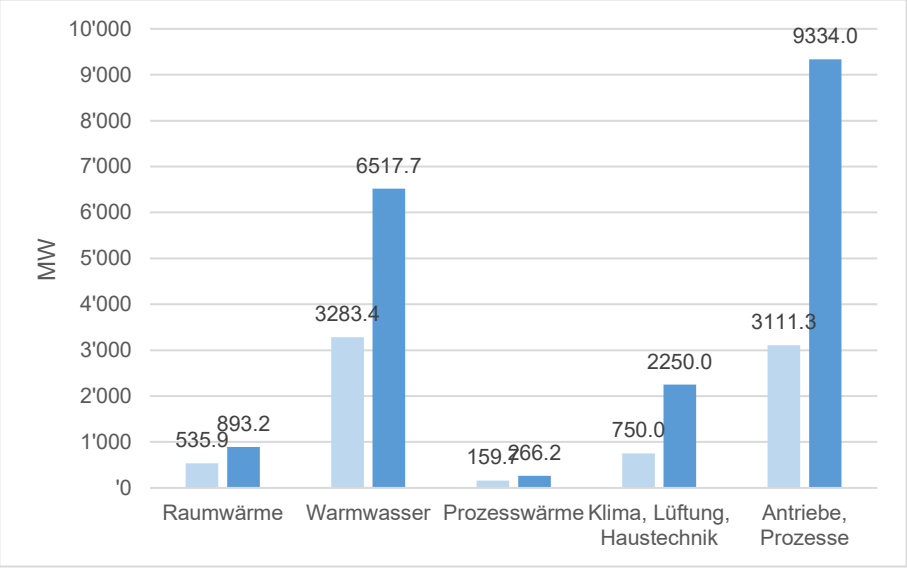


Abbildung 14: Minimales und maximales theoretisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen[78]

[78] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

8.3.3 Technisches Potential

Da Unternehmen ihre Leistungen primär während des klassischen Arbeitszeiten während des Tages erbringen, ist das technische Potential während des Tages höher als in der Nacht. Aufgrund der Beiträge von vor allem der Warmwassererzeugung und etwas weniger die Raumwärme-Prozesse, sind die Werte zudem im Winter höher.

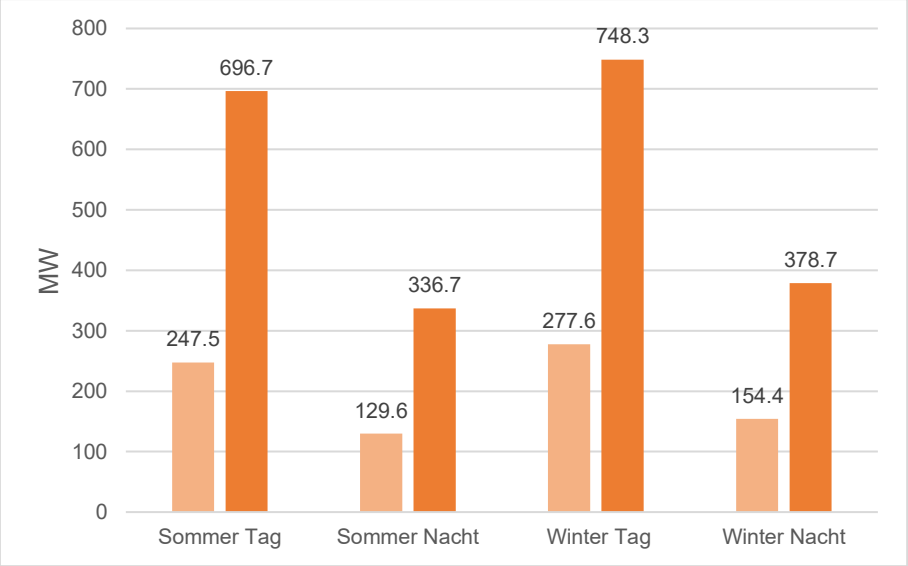


Abbildung 15: Vergleichmässigtes Technisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen[79]

Die Beiträge der einzelnen Prozesse und Anwendungen sind deutlich unterschiedlich. Klima, Lüftung, Haustechnik haben die höchsten Werte.

Tabelle 13: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen

Prozess und Anwendung	Sommer Tag (von - bis)	Sommer Nacht (von – bis)	Winter Tag (von – bis)	Winter Nacht (von – bis)
Raumwärme	3.6 – 5.9	8.0 – 13.3	32.1 – 53.6	32.1 – 53.6
Warmwasser	2.3 – 4.6	35.5 – 70.5	2.4 – 4.8	35.7 – 70.9
Prozesswärme	29.1 – 48.5	4.1 – 6.8	29.3 – 48.8	4.1 – 6.9
Klima, Lüftung, Haustechnik	155.9 – 467.8	78.0 – 233.9	156.8 – 470.4	78.4 – 235.2
Antriebe, Prozesse	56.6 – 169.8	4.0 – 12.1	56.9 – 170.8	4.1 – 12.2

Klima, Lüftung und Haustechnik weisen hier das höchste Potential auf, und zwar sowohl im Sommer, als auch im Winter.

[79] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

Eine wachsende Rolle beim Stromverbrauch nehmen in der Schweiz auch Data-Center (Rechenzentren) ein, welche diesem Sektor zuzuordnen sind. 2013 wurde der Strombedarf auf rund 1.6 TWh ermittelt, wovon rund 37% auf Kühlung, Lüftung entfallen – wobei aber Einsparungen und Effizienzsteigerungen möglich sind[80]. Auch hier ist aber damit zu rechnen, dass durch Energieeffizienz das DSM-Potential begrenzt wird. Bezogen auf die 1.6 TWh kann davon ausgegangen werden, dass rund 0.6 TWh des Stromverbrauchs in Rechenzentren für DSM nutzbar wären. Dieses entspräche bei 5'000 bis 7'500 Vollbenutzungsstunden für Kühlung und Lüftung rund 80 bis 120 MW technisches DSM-Potential, welches aber relativ kontinuierlich zur Verfügung stünde.

8.3.4 Soziotechnisches Potential

Es ist nicht zu erwarten, dass zwischen positiver und negativer Richtung signifikante Potentialunterschiede auftreten. Darum wird hier nicht weiter zwischen Ab- und Zuschalten unterschieden, sondern lediglich auf Minima und Maxima fokussiert. Gegenüber dem technischen Potential in Abbildung 15 ändern sich die Verhältnisse in Abbildung 16 praktisch nicht. Die verminderten Werte gründen wiederum auf der geschätzten Akzeptanz.

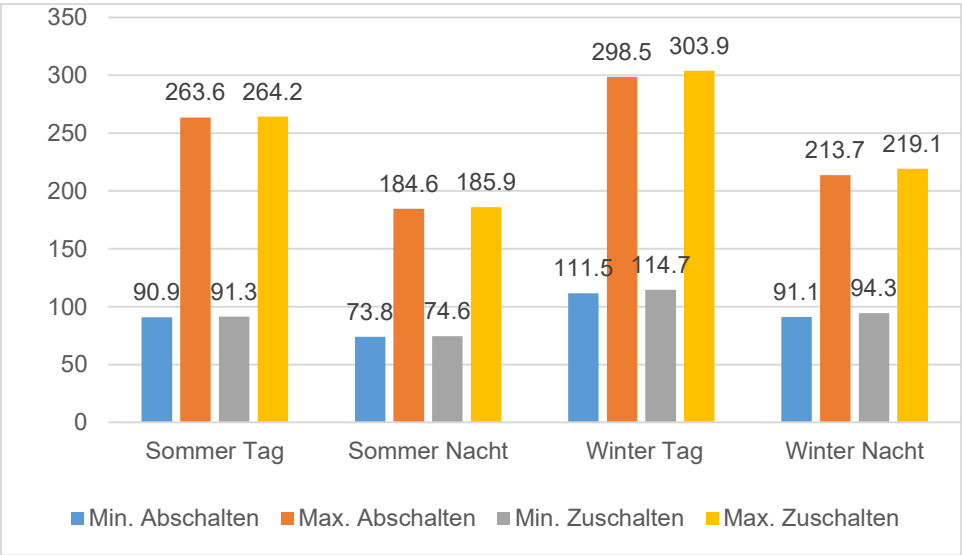


Abbildung 16: Soziotechnisches Potential Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen

Bei Raumwärme und Warmwasser wird eine Akzeptanz von 80% in beide Richtungen erwartet, bei Klima etc. von 50% und bei Antrieben, Prozessen und Prozesswärme von 10%.

[80] Vgl.: Bundesrat (2013): „Stromverbrauch, Energieeffizienz und Fördermassnahmen im Bereich der Rechenzentren. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 13.3186 von Nationalrat Maier Thomas vom 21. März 2013». Bern

8.4 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe

8.4.1 Gesamtbetrachtung Potentiale

Es liegen keine umfassenden, einheitlich erhobenen Verbrauchdaten für Strom nach Prozessen je Branche vor. Das bewirkt zum Beispiel, dass aus Stromverbräuchen und Analysen der Benutzungsstunden keine Aussagen über das DSM-Potential abgeleitet werden können. Anders war dieses noch im Sektor Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen, wo Daten zu Stromverbräuchen auf Prozess- und Anwendungsebene verwendet werden konnten, um dann nach Methode C das theoretische Potential zu errechnen.

Hinzu kommt die Heterogenität des Sektors. Im Sektor «Industrie und verarbeitendes Gewerbe» ist die Heterogenität über die Verbrauchsstrukturen und Benutzungsstunden der jeweiligen Prozesse viel grösser als bei Dienstleistungen und darum nicht abschätzbar. Beispielsweise ist die Zahl der Benutzungsstunden bei Prozesswärme in bestimmten Unternehmen der Nahrungsmittelindustrie unter Umständen sehr hoch, während andere Nahrungsmittelunternehmen oder gar zum Beispiel ein Textil-Unternehmen potentiell viel weniger Benutzungsstunden verzeichnet.

Darum wird hinsichtlich Stromverbräuchen auf eine Branchenbetrachtung zurückgegriffen. Zu den Branchen liegen umfassendere Daten vor. Es wird mit Minimal- und Maximalwerten gearbeitet.

Zur Bestimmung des theoretischen Potentials wurden die Daten zu Stromverbräuchen (in MWh) durch die geschätzten Benutzungsstunden der ganzen Branche dividiert (Methode C). Die dadurch erhaltene Leistung ist dem theoretischen Potential gleichzusetzen. Abhängig von der jeweiligen Schätzung beziehungsweise von den realen Verbrauchsdaten kann das Potential deutlich variieren, da der Stromverbrauch (Arbeit) auf unterschiedliche Anzahl an Stunden umgelegt wird.

Der Abschlag zum technischen Potential ist deutlich geringer als bei den Haushalten resp. bei den Dienstleistungen. Dies ist ebenfalls durch Sektoreffekte begründet. Beispielsweise sind Durchmischungseffekte geringer und die Nutzungsdauern der Anlagen höher als im Haushaltssektor. In absoluten Werten ist das technische Potential 358.9 bis 1423.5 MW. Das soziotechnische Potential liegt jeweils zwischen 10 und 30%.

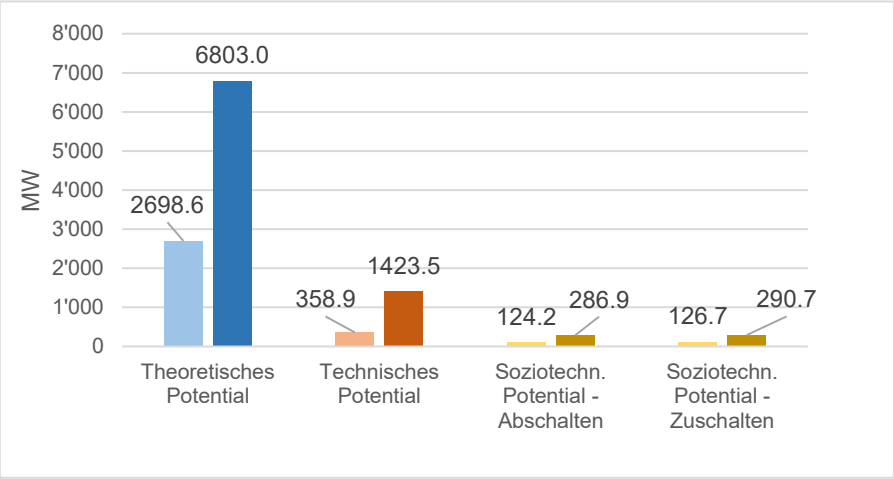


Abbildung 17: Minimales und maximales DSM-Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe[81]

8.4.2 Theoretisches Potential

Zur Berechnung des technischen Potentials wurden die Stromverbräuche der einzelnen Branchen laut Statistik des BFE mittels Annahmen zu maximalen und minimalen Benutzungsstunden in Werte für das maximale und minimale DSM-Potential umgerechnet. Es resultiert über alle Branchen in dem Sektor eine Spannbreite von 2'699 bis 6'803 MW, wobei der gesamte Stromverbrauch laut der öffentlichen Statistik rund 15 TWh beträgt. Das theoretische Potential in diesem Sektor ist insgesamt niedriger als im Haushaltsbereich.

Das grösste, theoretische DSM-Potential ist im Bereich Chemie und Pharma, Nahrungsmittel und Mineralien zu erwarten. Das Potential ist aber unter Umständen über eine grosse Anzahl an Betriebsstätten verteilt. Die Spreizung zwischen Maximal- und Minimalwerten rührt daher, dass keinerlei übergreifende, klaren Aussagen über die Benutzungsstunden (VBH) vorhanden sind, zugleich ist es aber auch nicht möglich, mittels anderen Berechnungsverfahren als dem Verfahren C zur Ermittlung des technischen Potentials zu verlässlicheren Daten zu kommen.

[81] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

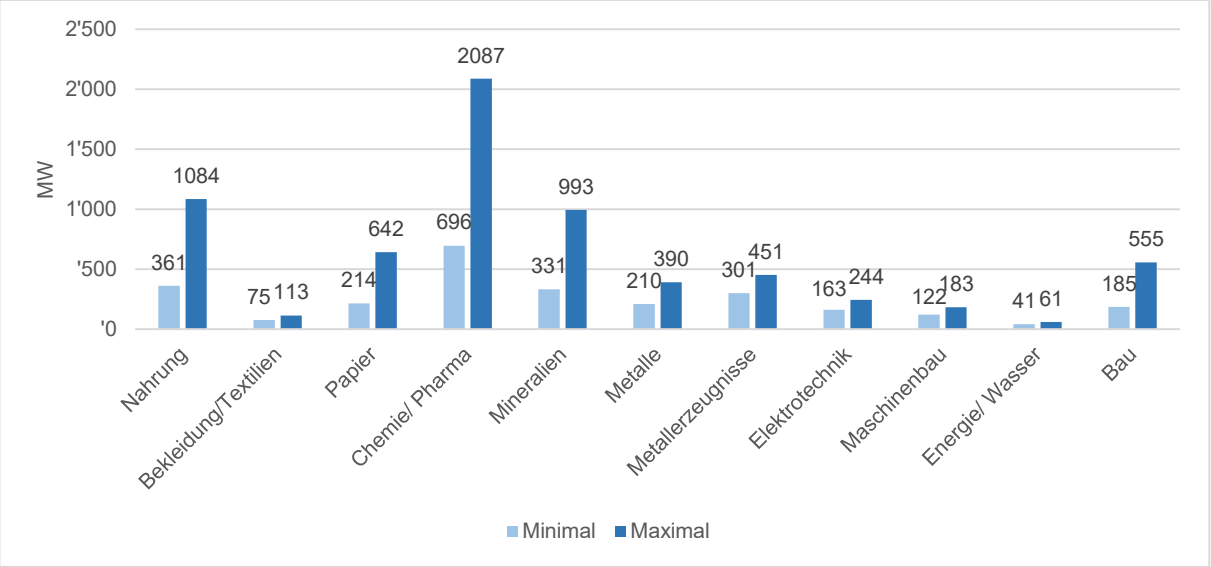


Abbildung 18: Theoretisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe[82]

8.4.3 Technisches Potential

Analog zu den Dienstleistungen ist zu erwarten, dass das technische Potential vor allem untertags vorhanden ist und im Sommer leicht höher ist.

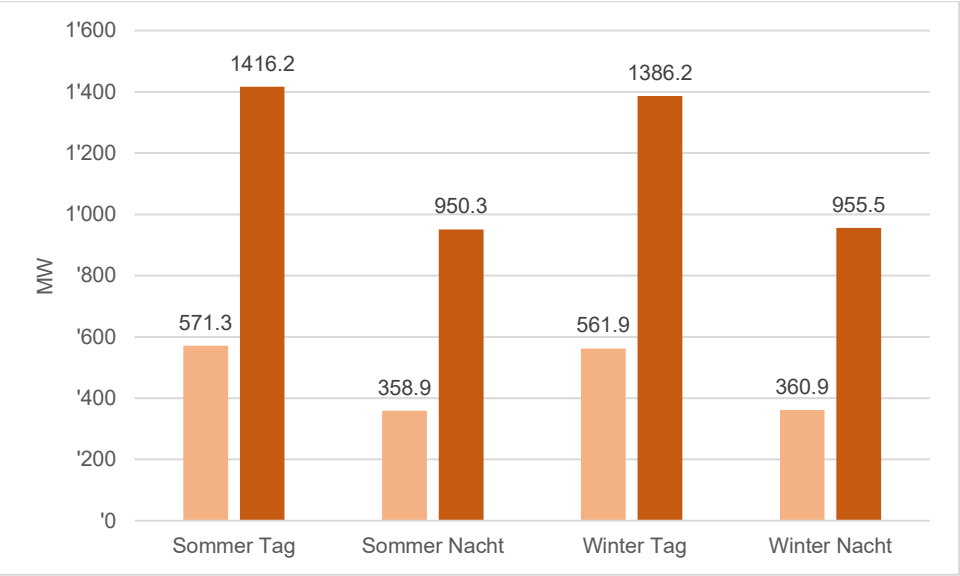


Abbildung 19: Vergleichmässigtes Technisches Potential Industrie und verarbeitendes Gewerbe[83]

[82] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

[83] Minimalwerte: hell; Maximalwerte: dunkel

Eine Reihe von Branchen bietet faktisch kaum DSM-Potential, welches zudem dann noch über mehrere Betriebsstätten verteilt wäre.

Tabelle 14: Zeitliche Verteilung Technischer Potentiale Industrie und Verarbeitendes Gewerbe

Branche	Sommer Tag (von - bis)	Sommer Nacht (von – bis)	Winter Tag (von – bis)	Winter Nacht (von – bis)
Nahrung	56.3 – 169.0	56.3 – 169.0	56.3 – 169.0	56.3 – 169.0
Bekleidung/Textilien	6.3 – 9.4	1.3 – 1.9	6.3 – 9.5	1.3 – 1.9
Papier	42.2 – 126.7	42.2 – 126.7	42.5 – 127.4	42.5 – 127.4
Chemie/ Pharma	137.3 – 411.9	137.3 – 411.9	138.0 – 414.1	138.0 – 414.1
Mineralien	103.2 – 158.1	0.0 – 51.6	103.8 – 259.5	0.0 – 51.9
Metalle	88.0 – 163.4	88.0 – 163.4	88.4 – 164.3	88.4 – 164.3
Metallerzeugnisse	25.0 – 37.5	5.0 – 7.5	25.2 – 37.7	5.0 – 7.6
Elektrotechnik	50.0 – 75.1	5.5 – 8.3	50.3 – 75.3	5.5 – 8.3
Maschinenbau	37.6 – 56.4	4.1 – 6.2	37.8 – 56.7	4.2 – 6.2
Energie/ Wasser	12.6 – 18.8	1.4 – 2.1	12.6 – 18.9	1.4 – 2.1
Bau	30.0 – 90.1	0.6 – 1.9	17.6 – 52.8	0.6 – 1.9

In anderen Fällen kann das DSM-Potential zudem noch zeitabhängig deutlich schwanken. Zum Beispiel werden bestimmte Prozesse in der Nahrungsmittelindustrie abhängig von der zeitlichen Verfügbarkeit der Rohstoffe oder von der Nachfrage nach dem Endprodukt durchgeführt. Es würde sich daher allenfalls anbieten, bei der Nutzung des Potentials in diesen Sektoren auf Nahrung, Chemie und Pharmazie, Metalle und Papier zu fokussieren.

8.4.4 Soziotechnisches Potential

Das soziotechnische Potential ist in absoluten Werten ähnlich hoch wie in den anderen beiden Bereichen, d.h bei 124 bis 290 MW Zudem wird nicht erwartet, dass die Richtung der Inanspruchnahme deutliche Unterschiede aufweist, allenfalls in einzelnen Branchen sind hier Differenzierungen zweifelsfrei sinnvoll. Es wird erwartet, dass die Akzeptanz bis auf Weiteres eher gering ist, was die deutlich tieferen Werte gegenüber dem technischen Potential erklärt. Dieses ist verbunden insbesondere mit Informationsdefiziten, die weiter unten im Zusammenhang mit den Hemmnissen thematisiert werden. Dieses ist auch gestützt auf die Aussagen in der Befragung der Branchenverbände.

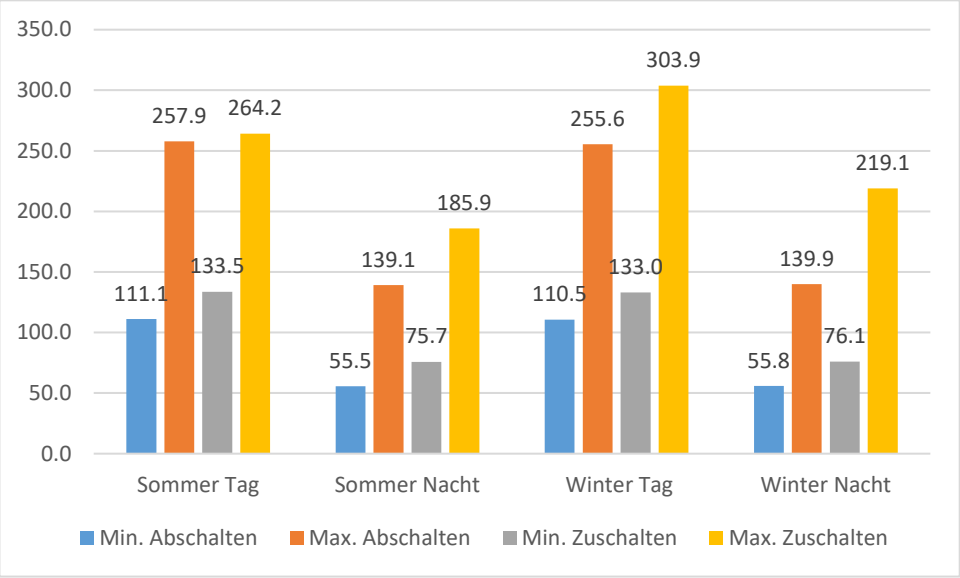


Abbildung 20: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe [in MW]

Es wurden keine saisonabhängigen Akzeptanzabschläge genutzt. Vielmehr wurden für die jeweiligen Richtungen angesetzt:

- Nahrung: 10% (beide Richtungen)
- Chemie / Pharma: 10% (Abschalten) bzw. 15% (Zuschalten)
- Papier: 20% (Abschalten) bzw. 30% (Zuschalten)
- Energie / Wasser: 10% (Abschalten) bzw. 30% (Zuschalten)
- Bau: 10% (beide Richtungen)

Für alle anderen Branchen wurde eine Akzeptanz von 30% in beide Richtungen geschätzt.

8.5 Verkehr

8.5.1 Gesamtbetrachtung Potentiale

Im betrachteten Verkehrssektor, der für diese Studie primär die Elektromobilität umfasst, liegt das theoretische Potential heute bei ca. 140 MW. Diese Zahl lässt sich leicht ermitteln über die Anzahl der Elektrofahrzeuge, deren spezifischen Stromverbrauch und Annahmen zum Ladeverhalten. Das technische Potential und auch das soziotechnische Potential sind hingegen praktisch null, wodurch hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Die Quantifizierung ist eine Momentaufnahme, und stellt keine Aussage dar über das Flexibilitätspotential aus dem Bereich der (individuellen) Elektromobilität in der Zukunft.

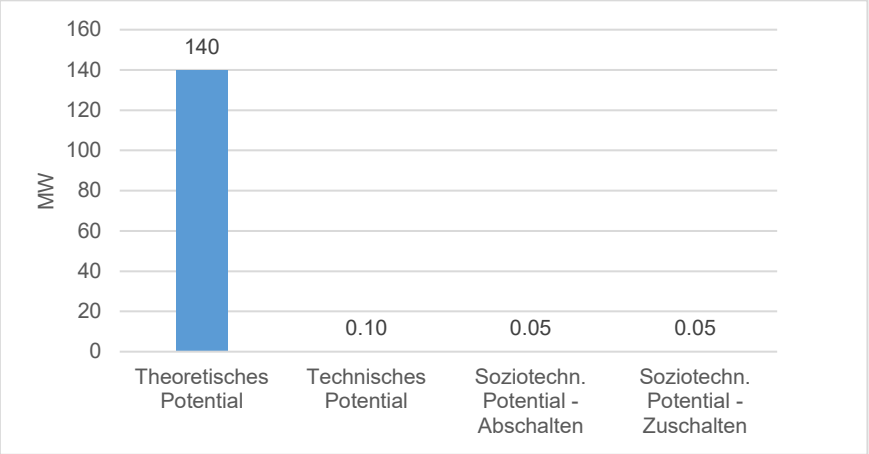


Abbildung 21: Überblick DSM-Potentiale Verkehr

Es ist aber für die Zukunft zu erwarten, dass alle Potentialwerte ansteigen. Unsicher bleibt aber bis auf Weiteres zum Beispiel, wie die Akzeptanz der Fahrzeugbesitzer ist, ihre Fahrzeuge im Rahmen von DSM steuern zu lassen, oder wann die Fahrzeuge überhaupt technisch für Ladevorgänge zur Verfügung stehen. Es ist zum Beispiel zu erwarten, dass viele Elektrofahrzeuge, deren Besitzer über private Ladestationen verfügen, in der Nacht oder am Abend geladen werden, diese Vorgänge werden aber jeweils nur wenige Stunden dauern. Über eine – heute noch unklare – Durchmischung des Ladeverhaltens kann ein gewisses Potential erreicht werden. Wie das Ladeverhalten an öffentlichen oder halböffentlichen Ladesäulen sein wird, ist unklar.

Schliesslich müssen auch die technischen Bedingungen gegeben sein, die Fahrzeuge bzw. deren Batterien für DSM zu nutzen – beispielsweise muss die Ladeeinrichtung bzw. das Fahrzeug entsprechend angesteuert werden können.

8.6 Ableitung des technischen und soziotechnischen Potentials für die Grossregionen

Das DSM-Potential soll in dieser Studie für die Grossregionen ermittelt werden. Ausgehend von den oben geschätzten Werten für das technische Potential wurde die Ableitung des DSM-Potentials auf Basis von öffentlich zugänglichen Daten z. B. des Bundesamts für Statistik auf die Grossregionen überführt.

Für diese Ermittlung wurden die technischen Potentiale der oben genannten Bereiche anhand von Schlüsselfaktoren auf die Grossregionen umgelegt. Für Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen diente zur Schlüsselung die Anzahl der Arbeitsstätten in den Sektoren[84]. Dieses Schlüsselungsverfahren wurde ebenfalls für Industrie und verarbeitendes Gewerbe genutzt. Für den Verkehrssektor diente die jeweilige Anzahl der immatrikulierten Fahrzeuge des Bundesamtes für Statistik.

[84] Vgl.: BFS: «Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Jahr, Kanton, Wirtschaftsabteilung und Variablen». Bern, Online-Abfrage unter www.bfs,admin.ch

8.6.1 Haushalte

Für Haushalte wurde als Schlüsselung die Wohnbevölkerung in der jeweiligen Grossregion herangezogen[85]. Im Einzelnen dienten die folgenden Werte der Schlüsselung:

- Genferseeregion: 19.2%
- Espace Mittelland: 22.0%
- Nordwestschweiz: 13.6%
- Zürich: 17.7%
- Ostschweiz: 13.8%
- Zentralschweiz: 9.5%
- Tessin: 4.2%

In den verschiedenen Grossregionen liegt das technische Potential aus DSM bei Haushalten zwischen rund 50 und rund 250 MW, wobei die einwohnerstärksten Grossregionen logischerweise die höchsten Werte aufweisen.

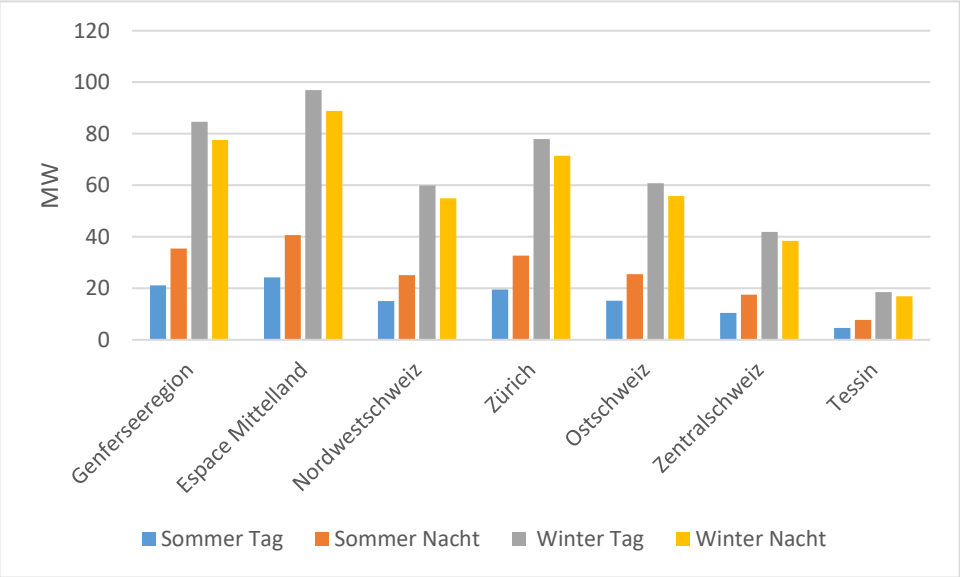


Abbildung 22: Technisches Potential Haushalte pro Grossregion

Ob sich die Verhältnisse unter den Grossregionen gegenüber dem technischen Potential beim soziotechnischen Potential ändern oder konstant bleiben, ist nicht bekannt. Zur Beantwortung der Frage müssten präzise Akzeptanzdaten ermittelt werden, z. B. über Marktforschung. Daher werden an dieser Stelle für die Schlüsselungen gleiche Faktoren genutzt.

[85] Vgl.: BFS (2017): «Ständige Wohnbevölkerung». Bern, Online-Abfrage. Bei einer künftig durch allfällige, weitere Datenerhebungen verbesserten Datenlage sollten ggf. weitere Verfeinerungen der Hochrechnungen, z. B. durch Daten zur Gebäudesubstanz und durch Klimadaten erfolgen.

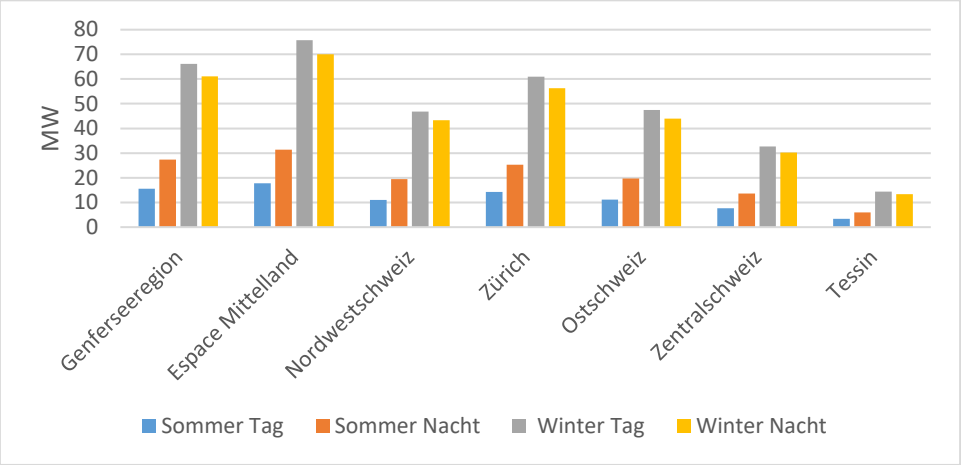


Abbildung 23: Soziotechnisches Potential Haushalte nach Grossregionen (Zuschalten)

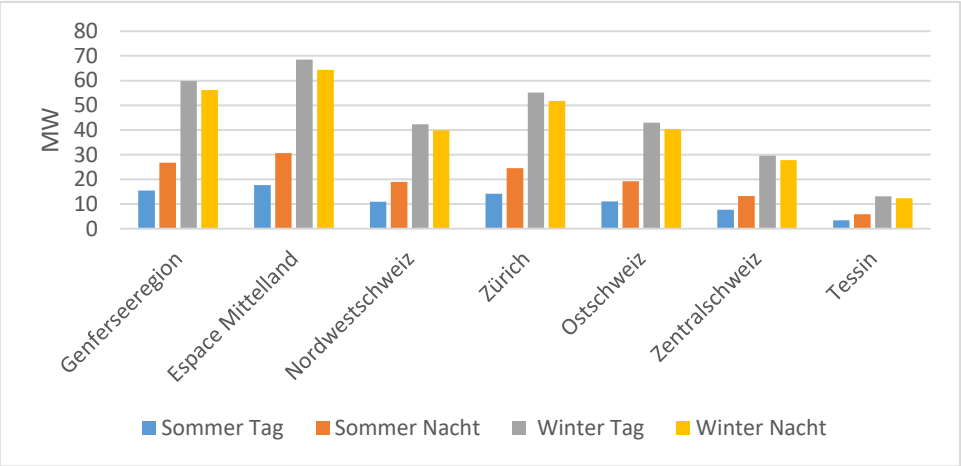


Abbildung 24: Soziotechnisches Potential Haushalte nach Grossregionen (Abschalten)

8.6.2 Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen

Für diesen Sektor wurde als Schlüsselung die Anzahl der Betriebe in der jeweiligen Grossregion herangezogen. Im Einzelnen dienten die folgenden Werte der Schlüsselung:

- Genferseeregion: 19.0%
- Espace Mittelland: 20.2%
- Nordwestschweiz: 12.0%
- Zürich: 18.0%
- Ostschweiz: 13.8%
- Zentralschweiz: 11.2%
- Tessin: 5.7%

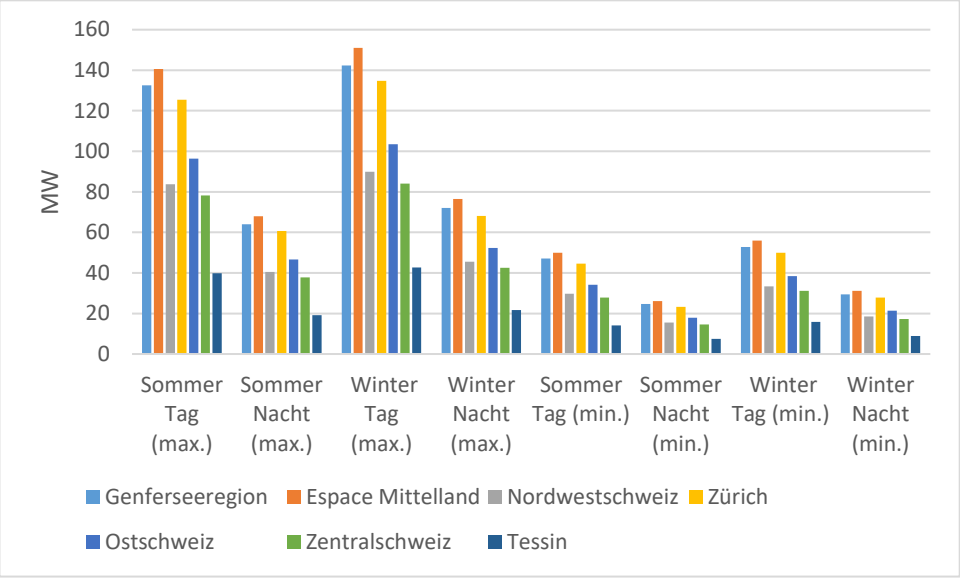


Abbildung 25: Technisches Potential (minimal und maximal) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion

Wie bereits bei den Haushalten, führen auch hier die Genferseeregion, der Espace Mittelland, Zürich und die Nordwestschweiz das DSM-Potential an.

Die Verhältnisse zwischen Zu- und Abschaltpotential ändern sich nicht, wie der

Abbildung 26 zu entnehmen ist.

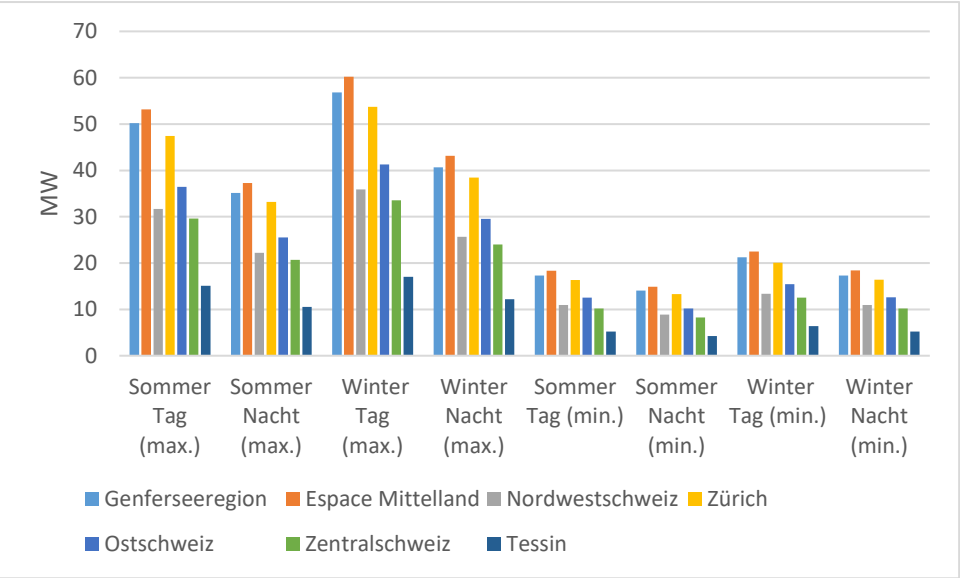


Abbildung 26: Soziotechnisches Potential (Abschalten) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion

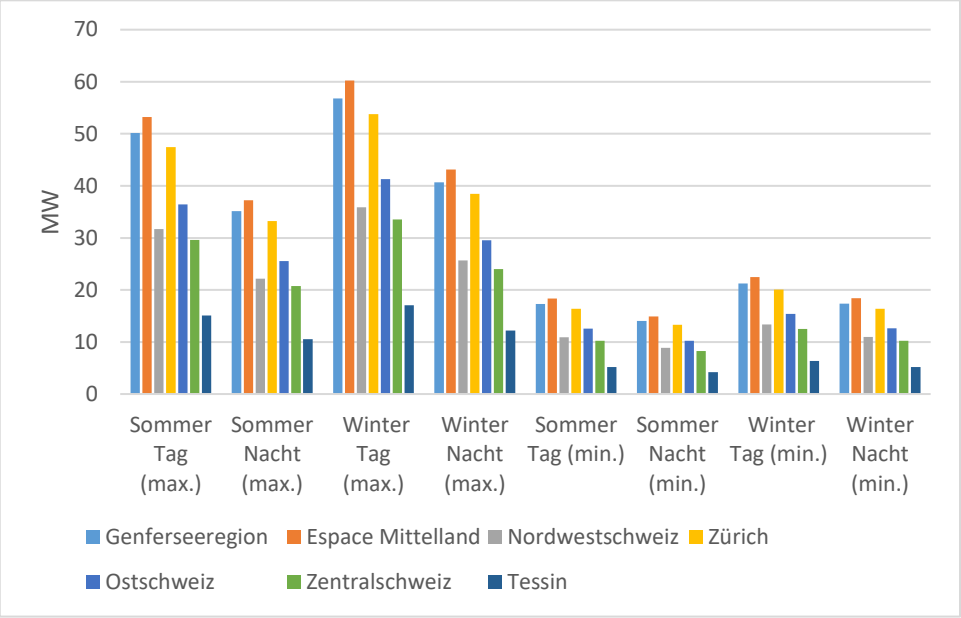


Abbildung 27: Soziotechnisches Potential (Zuschalten) Landwirtschaft, Gartenbau, Dienstleistungen pro Grossregion

8.6.3 Industrie und Verarbeitendes Gewerbe

Für diesen Sektor wurde als Schlüsselung die Anzahl der Betriebe in der jeweiligen Grossregion herangezogen. Im Einzelnen dienten die folgenden Werte der Schlüsselung:

- Genferseeregion: 17.2%
- Espace Mittelland: 22.3%
- Nordwestschweiz: 12.2%
- Zürich: 13.9%
- Ostschweiz: 18.2%
- Zentralschweiz: 10.3%
- Tessin: 5.8%

Das technische Potential liegt in den Grossregionen zwischen rund 100 MW im Minimalfall im Tessin und mehr als 1370 MW im Maximalfall in der Grossregion Mittelland. Durch weitere Datenerhebungen liesse sich der Schätzfehler eingrenzen. Die Ostschweiz hat bei Industrie und verarbeitendem Gewerbe ebenfalls eher hohes DSM-Potential.

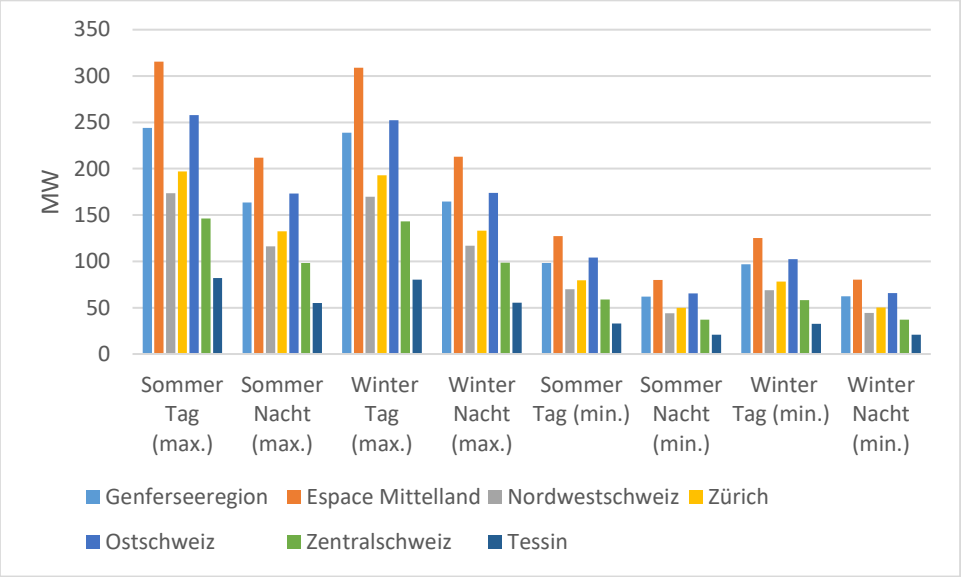


Abbildung 28: Technisches Potential (minimal und maximal) Industrie und verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion

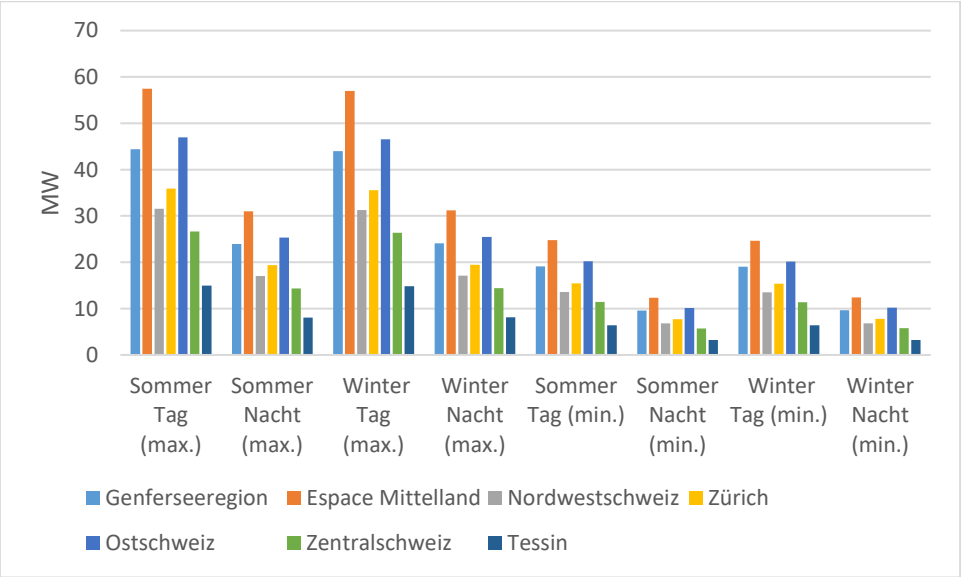


Abbildung 29: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion

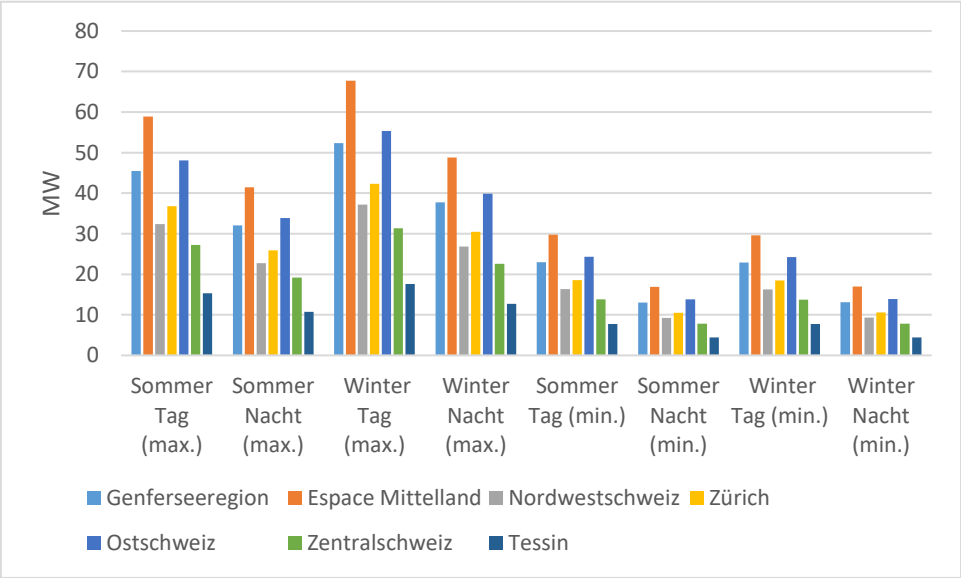


Abbildung 30: Soziotechnisches Potential Industrie und Verarbeitendes Gewerbe pro Grossregion

8.6.4 Verkehr

Das aktuelle Potential ist überall sehr gering. Es wird aber speziell auch in den Ballungsräumen in der Zukunft mit einer raschen Zunahme zu rechnen sein, so dass auf Elektromobilität gestützte Flexibilität einen deutlich höheren Beitrag zu DSM wird liefern können, als heute.

Entsprechend der Verteilung der Elektrofahrzeuge hat Zürich das höchste DSM-Potential aus Elektromobilität.

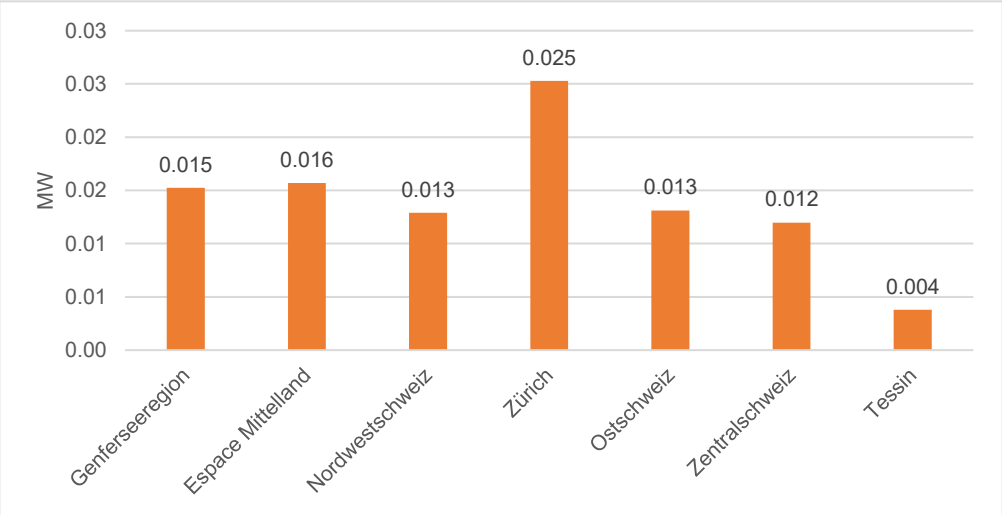


Abbildung 31: Technisches Potential Elektromobilität pro Grossregion

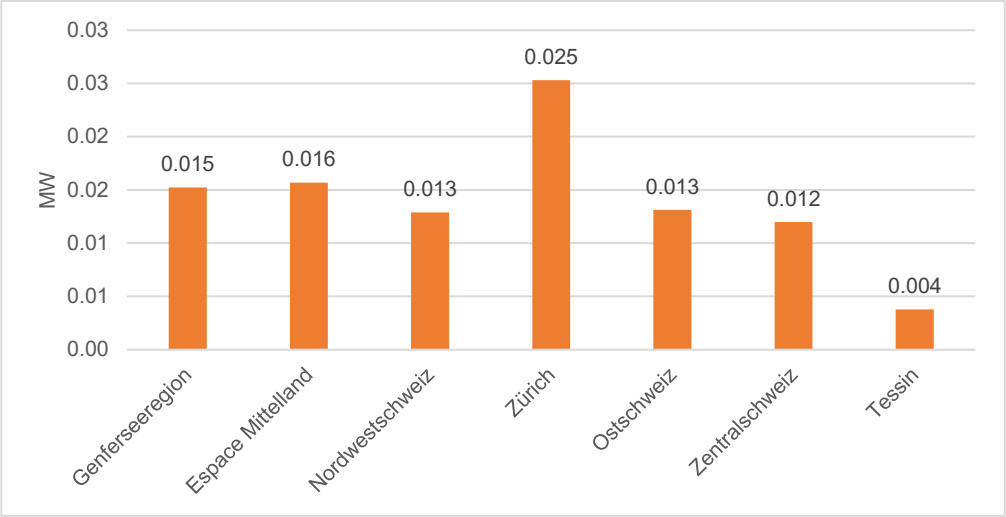


Abbildung 32: Soziotechnisches Potential

9 Erschliessungsaufwand als Faktor für wirtschaftliches Potential

Für die Bezifferung des wirtschaftlichen Potentials können, wie bereits angedeutet, hier keine abschliessenden Quantifizierungen vorgenommen werden. Beispielsweise ist es unklar, welche Opportunitätskosten im Dienstleistungssektor oder in der Industrie vorhanden sind, wenn Flexibilitätspotentiale für DSM genutzt werden. Auch ist es beispielsweise unklar, wie sich für die verschiedenen Anwendungszwecke die Erlöse darstellen. Hier sind zum Beispiel im Bereich der Regelenergie deutliche Marktveränderungen zu erwarten. Weiterhin ist unklar, wie sich die Preise für beide Anwendungen bei einem durch DSM erhöhten Angebot verändern würden.

Zum einen muss für die Nutzung von Flexibilität grundsätzlich Handlungsspielraum bestehen, im Betrieb der Anlagen nicht benötigte Kapazität zur Verfügung bzw. benötigte Kapazität abzustellen oder zeitlich zu verschieben. Weiterhin ist dann das Wirtschaftlichkeitskalkül einzubeziehen, und zwar aus der Perspektive derjenigen, welche über die Flexibilität verfügen können. Zum anderen ist aber eine steuertechnische Anbindung an eine Koordinationsstelle Vorbedingung um sicherzustellen, dass die Flexibilität systemdienlich eingesetzt wird. Damit müssen einerseits die flexiblen Kapazitäten (Prozesse, Anwendungen) geschaltet werden, zum anderen ist zu gewährleisten, dass keine unerwünschten Beeinträchtigungen des Betriebes auftreten. Solche Beeinträchtigungen können zum Beispiel Fehlchargen oder Anlageschäden sein, die beispielsweise entstehen würden, wenn in der Kunststoffverarbeitenden Industrie Spritzgussprozesse unterbrochen würden. Schliesslich sind Ressourcen nötig, um die Bereitstellung der flexiblen Kapazitäten zu organisieren und durchzuführen.

Aufgrund der zentralen Bedeutung des Erschliessungsaufwands wird an dieser Stelle versucht, den Erschliessungsaufwand als einen Treiber für das wirtschaftliche Potential einzugrenzen bzw. systematisch zu untersuchen. Um die vom Versorgungsnetz benötigte Flexibilität bereitzustellen, müssen für die jeweiligen Anlagenbetreiber verschiedene Bedingungen erfüllt sein[86].

9.1 Definition des Erschliessungsaufwands

Der spezifische Erschliessungsaufwand ist stark von den individuellen Gegebenheiten der verschiedenen Kundenkategorien abhängig. Er ist aber auch abhängig zum Beispiel vom Alter der eingesetzten Steuerungstechnik. Wird diese altersbedingt sowieso ersetzt, könnte u. U. mit nur geringem Aufwand die Nutzung von Flexibilität ermöglicht werden.

Der totale spezifische Erschliessungsaufwand $C_{tot\ spez\ i}$ der benötigten Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Einerseits aus den Investitionskosten $C_{inv\ spez\ i}$ und andererseits aus den fixen jährlichen Betriebskosten $C_{fix\ spez\ i}$. Diese beiden Komponenten variieren je nach Grösse eines Standorts, dessen flexibilisierbarer Leistung etc. stark.

[86] Vgl.: Steurer, S. 58 ff.

$$C_{tot\ spez\ i} = C_{inv\ spez\ i} + C_{fix\ spez\ i}$$

$C_{tot\ spez\ i}$: totaler spezifischer Erschliessungsaufwand pro DSM-Option
$C_{inv\ spez\ i}$.: spezifische Investitionskosten
$C_{fix\ spez\ i}$: spezifische Fixkosten

Die spezifischen Investitionskosten pro Anlage $C_{inv\ spez\ i}$ wiederum beinhalten die Kosten für Hardware $C_{ikt\ i}$ wie Aktoren, Sensoren oder Automatisierungsstationen sowie deren Lizenzkosten. Hinzu kommen Implementierungskosten $C_{imp\ i}$ für Programmierung, Montage und Inbetriebnahme bezogen auf das technische Potential.

$$C_{inv\ spez\ i} = \frac{C_{ikt\ i} + C_{imp\ i}}{P_{tech\ i}}$$

$C_{inv\ spez\ i}$.: spezifische Investitionskosten pro DSM-Option
$C_{ikt\ i}$: Kosten der für die kommunikationstechnische Anbindung notwendigen Hardwarekomponenten
$C_{imp\ i}$: Implementierungskosten für Montage, Inbetriebnahme und Programmierung
$P_{tech\ i}$: technisches Potential

Die jährlich anfallenden spezifischen Fixkosten setzen sich zusammen aus den jeweiligen Instandhaltungskosten (operation and maintenance) $C_{om\ i}$ und den entsprechenden Commodities für Strom und Kommunikation $C_{comm\ i}$.

$$C_{fix\ spez\ i} = \frac{C_{om\ i} + C_{comm\ i}}{P_{tech\ i}}$$

$C_{fix\ spez\ i}$: jährlich anfallende spezifische Fixkosten pro DSM-Option
$C_{om\ i}$.: Instandhaltungskosten (operation and maintenance)
$C_{comm\ i}$: Kosten für commodities wie Strom und Kommunikation
$P_{tech\ i}$: technisches Potential

9.2 Exemplarisches Kostenschätzung IKT

Die Autoren haben für verschiedene, typische Fälle den Erschliessungsaufwand für die IKT abgeschätzt. Das folgende Diagramm zeigt verschiedene Kundenkategorien und Investitionskosten auf Basis von Kostenschätzungen[87].

[87] Vgl.: Anhang 4, Kostenschätzung Erschliessungsaufwand pro Kundenkategorie

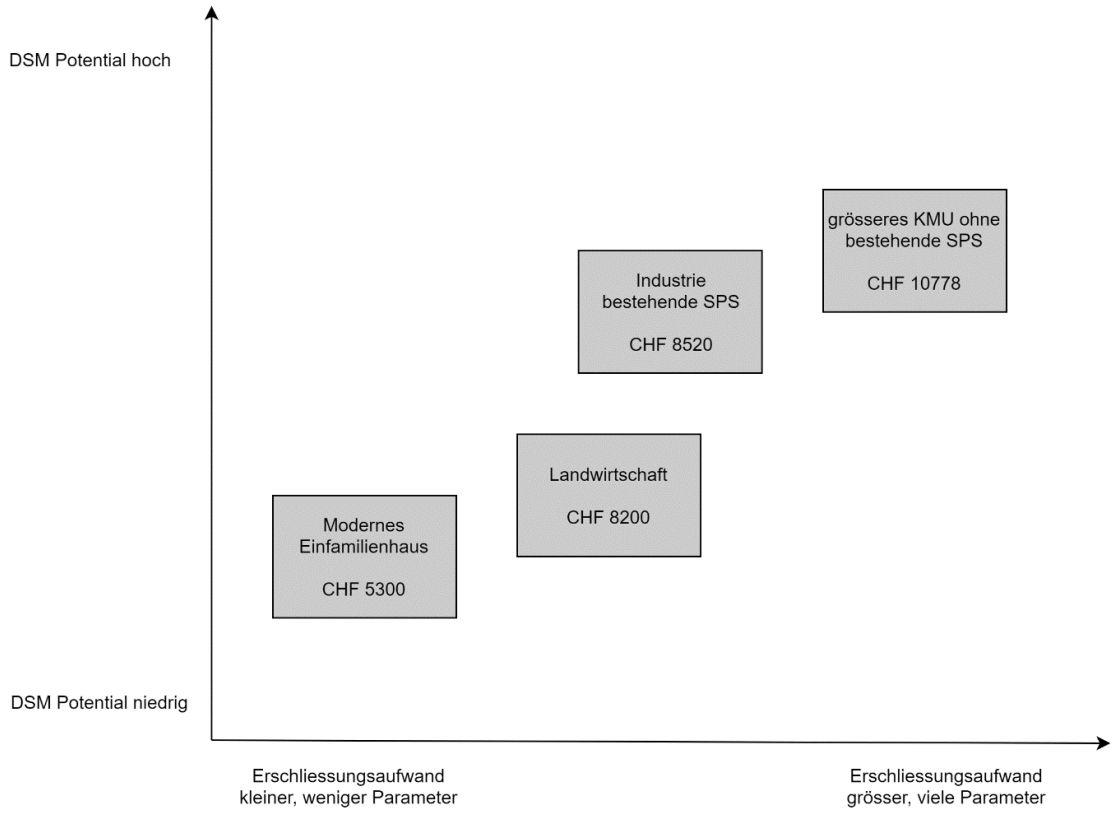


Abbildung 33: Erschliessungsaufwand (total)[88]

Es ist zu beachten, dass der Erschliessungsaufwand insbesondere bei Industrieanlagen sehr schwierig abzuschätzen ist, da die Erweiterung und Umprogrammierung einer bestehenden SPS-Anlage je nach Zustand und Komplexität stark variiert. Bei Haushalten kann die Erschliessung unter Umständen deutlich günstiger sein, was auch das Vorhandensein z. B. von Rundsteueranlagen bzw. die bereits heute praktizierte Bewirtschaftung von Flexibilitäten zeigt. Letztlich ausschlaggebend ist, wie sich die Kostenfunktion der jeweiligen Technologie zur Erschliessung des DSM-Potentials darstellt. Skaleneffekte, Lerneffekte oder neu Technologien können zu Kostensenkungen beitragen.

Bei genauem Betrachten der Kosten und einer angenommenen Lebensdauer der Steuerkomponenten von zehn Jahren kann man bei einem Einfamilienhaus von jährlichen Kosten von ca. CHF 530 ausgehen. Dieser Betrag müsste erwirtschaftet werden, was angesichts der jährlichen, durchschnittlichen Stromkosten in der Schweiz ambitioniert sein kann. Denn das wirtschaftliche Potential von DSM wird unter dem technischen bzw. soziotechnischen Potential liegen, da nicht alle technisch möglichen oder akzeptierten DSM-Massnahmen angesichts der Investitionskosten, der Nutzungskosten oder der Erlöse realisiert werden. Sind zum Beispiel Erlöse für die Bereitstellung von Regelenergie gering, unterbleiben bestimmte Massnahmen.

[88] In den Kästchen sin die jeweiligen Beträge über die gesamte Lebensdauer genannt. Im Anhang finden sich die genauen Prämissen für die Berechnung der genannten Fälle.

9.3 Einfluss von Smart Metering auf den Erschliessungsaufwand

Die Einführung von Smart Metering in der Schweiz kann als Vorgehen interpretiert werden, einen Teil des Erschliessungsaufwands bereits vorweg zu nehmen[89]. Nur mit der Einführung von Smart Metering wird die Flexibilität im Haushaltsbereich aber noch keineswegs auch nutzbar.

Die EVU sind verpflichtet, bis Ende 2027 80% ihrer Messeinrichtungen durch intelligente Messsysteme zu ersetzen[90]. Diese intelligenten Messsysteme sind per Verordnung mit einer Schnittstelle zum VNB und einer weiteren zur Haustechnik ausgestattet, könnten aber auch mit zusätzlichen Kommunikationsschnittstellen ausgestattet werden. Einerseits ist die Kommunikation mit einem DSM System, beispielsweise via Energiedatensystem möglich, andererseits kann via eine zu definierende Schnittstelle des Smart Meter das Last Management System verbunden werden. So muss für die Steuerung der Komponenten des DSM zwischen Energiedatenmanagements-System (EDM) des EVU und dem Smart Meters keine separate Erschliessung erfolgen, was ein Beitrag zur Steigerung des wirtschaftlichen Potentials sein kann.

Der prinzipielle schematische Aufbau der Steuerungs-Infrastruktur ist im folgenden Bild ersichtlich.

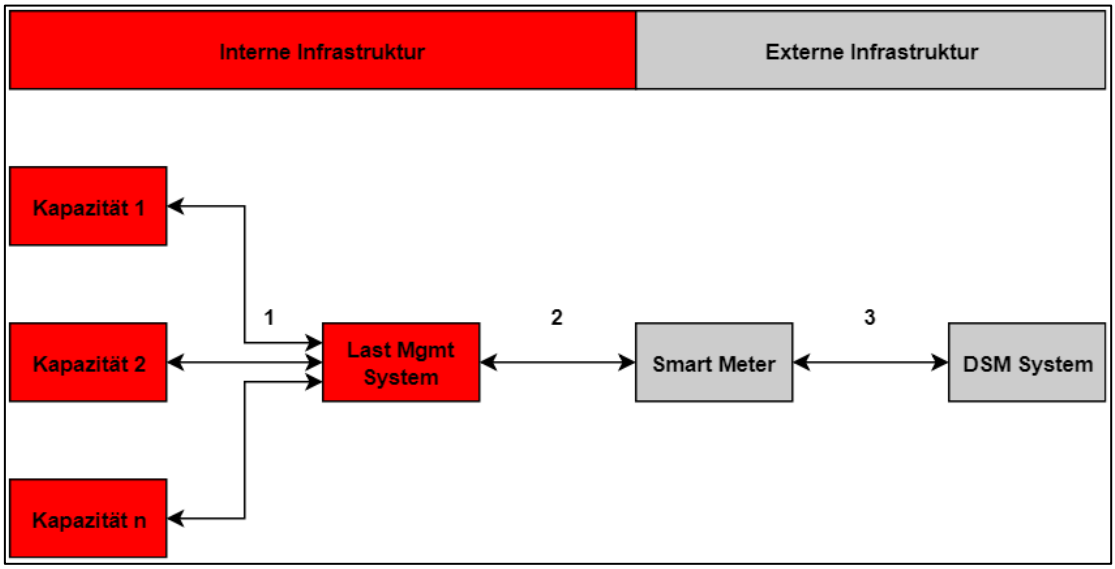


Abbildung 34: Steuerungs-Infrastruktur

Die jeweiligen Kommunikationskanäle können sehr verschiedene Ausprägungen haben. Je nach Kundenkategorie, Grösse und Struktur können sie stark variieren. Wenn beim Kunden störfeste Kommunikation kabelgebunden implementiert werden soll, hat das unmittelbar zur Auswirkung, dass nicht nur das wirtschaftliche Potential wegen der Kosten geringer wird, sondern auch das soziotechnische Potential, weil z. B. bestimmte Baumassnahmen nicht akzeptabel sind.

---

[89] Vgl. für eine Übersicht u. a. über die wirtschaftlichen Auswirkungen von Smart Metering in Europa: ACER (Hrsg.) (2014): "Demand Side Flexibility. The Potential Benefits and State of Play in the European Union". Ohne Ort. S. 5

[90] Vgl.: Stromversorgungsverordnung SR734.71, Art.31e Abs.1

Zugleich muss für die Nutzung von DSM aber eine hoch-performante Infrastruktur geschaffen werden. Für die Auslesung der Zähler zu Abrechnungszwecken würde es völlig ausreichen, die Smart Meter z. B. einmal jährlich auszulesen, wenngleich der Standard in der Schweiz eher kürzere Ablesezyklen sind. Die Nutzung von DSM für die genannten Anwendungszwecke bedingt aber, dass die Flexibilitäten sehr zuverlässig abgerufen werden können. Sofern beim Rollout und bei der Erstellung der entsprechenden Infrastruktur hier nicht bereits angemessen vorgegangen wird, sind Flexibilitäten unter Umständen nur in sehr eingeschränktem Masse nutzbar.

10 Internationaler Vergleich

Ein internationaler Vergleich kann für eine Nutzung von DSM in der Schweiz wertvolle Aufschlüsse geben. Die Aussagen sind aber nicht ohne weiteres übertragbar. Die typischen Produktions- und Herstellungsprozesse von Produkten und Dienstleistungen unterscheiden sich zwischen Ländern zwar nicht per se. Allerdings ist die Wirtschaftsstruktur mit Branchen, Sektoren und Unternehmen dafür relevant, ob und welches Potential sich bei Produktionsprozessen sowie in den Querschnittstechnologien für DSM zeigt. Bei Haushalten hingegen sind Analogieschlüsse eher möglich, da das Verhalten und die Geräte zumindest in europäischen Ländern sich nicht grundsätzlich unterscheiden dürften[91].

Es zeigt sich, dass einige Länder bereits regulatorische Massnahmen und Programme in ihren Systemdienstleistungen umgesetzt haben, wobei sich der Reifegrad erheblich unterscheidet.

10.1 Deutschland

Es wurden für Deutschland verschiedene Studien zur Potentialerhebung im Bereich Demand Side Management durchgeführt und sind öffentlich zugänglich. Deutschland hat einen grösseren und anders zusammengesetzten Industriesektor als die Schweiz, der ein grösseres theoretisches Potential aufweist. In den dortigen Studien wurde überwiegend auf die energieintensive Industrie abgezielt, andere Sektoren wurden nur vereinzelt betrachtet.

Für ausgewählte Industriezweige in Deutschland wurde insbesondere auch ein soziotechnisches Potential ausgewiesen, welches abhängig von Richtung und Dauer deutlich unter dem theoretischen Potential liegt. Für diese Industriezweige können daher Plausibilitätsüberprüfungen für das soziotechnische Potential mit Deutschland erfolgen.

[91] Allerdings ist zum Beispiel ein Vergleich der Nutzung von Flexibilitäten im Raumwärmebereich zwischen den USA und der Schweiz sorgfältig zu prüfen.

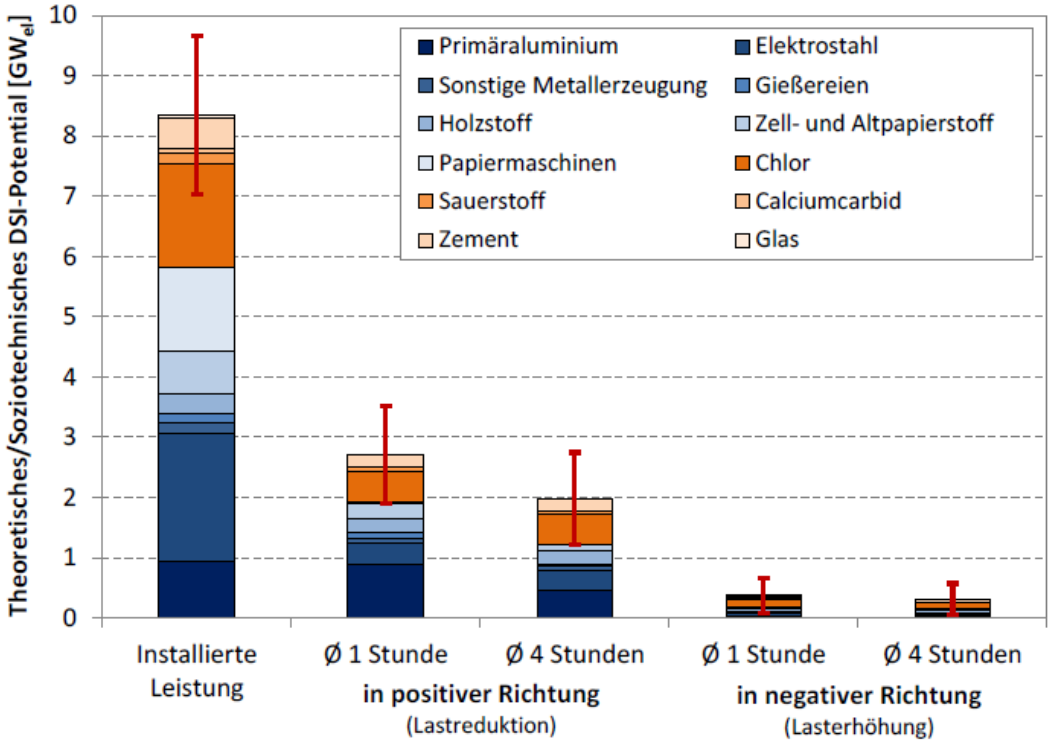


Abbildung 35: Soziotechnisches DSM-Potential industrieller Produktionsprozesse[92]

Wie aus obiger Abbildung entnommen werden kann, liegt das grösste industrielle DSM-Potential in Deutschland bei den Produktionsprozessen in der Primäraluminimums- und Elektrostahlindustrie, wobei dies vor allem bei der Lastreduktion anfällt. Lasterhöhungen sind in den betrachteten Branchen kaum möglich, da diese regelmässig kapitalintensiv sind und einen hohen Auslastungsgrad anstreben. Weitere wichtige DSM-Blöcke entfallen auf die Papierindustrie (Zell- und Altpapierstoff, Papiermaschinen) sowie auf Herstellung von chemischen Erzeugnissen (Chlor). Das theoretische Potential (installierte Leistung) liegt über 8 GW. Eine andere Studie kommt ebenfalls zum ähnlichen Ergebnis, dass das DSM-Potential bei Produktionsprozessen zu Stahl und Chemie am grössten ist[93]. Die Unterschiede zwischen positiver Richtung und negativer Richtung sind für die Schweiz auch für einzelne Industriebranchen wie Chemie, Pharma, Papier so angenommen worden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass in Deutschland bei industriellen Querschnittsprozesse das soziotechnische Potential in die negative Richtung (Lasterhöhung) höher ist als in positiver Richtung mit Lastsenkung. Eindeutig am meisten Potential weist der Prozess «Raumwärme» auf. Anders als bei den Produktionsprozessen in der Industrie sind die durchschnittlichen Potentiale bei Schaltung in negativer Richtung höher als bei Schaltung in positiver Richtung. Auch für die vorliegende Studie wurde für Raumwärme in den Sektoren Haushalte sowie Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen ein entsprechendes Verhältnis der Akzeptanz abgebildet. Das Potential wird aber in positiver Richtung nur in begrenzten Zeiträumen zur Verfügung stehen, da sonst negative Auswirkungen auf die Energieeffizienz zu erwarten wären.

---

[92] Vgl.: Steurer, S. 64. Betrachtet wird eine Aktivierungsdauer von höchstens 30 Minuten.

[93] Vgl.: Dena, (2010), S. 421.

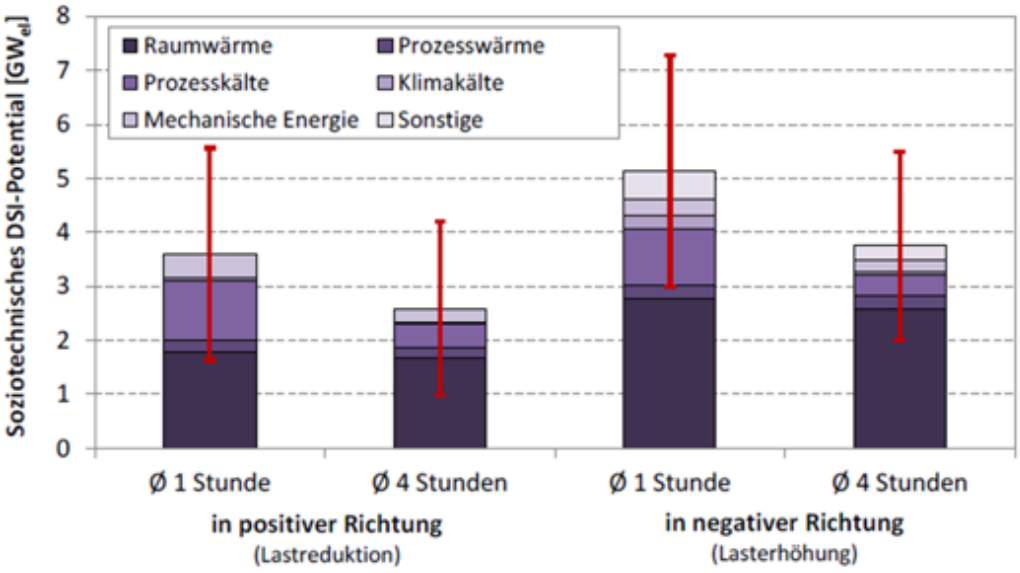


Abbildung 36: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien94

Die nächste Abbildung zeigt das Potential aufgeschlüsselt nach Querschnittstechnologien in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Gemäss Steurer machen Kältemaschinen in der Ernährungsindustrie, in Supermärkten und Warenhäusern im Handel, in der Gastronomie und in Kühlhäusern sowie Pumpanlagen in der Wasserversorgung einen wesentlichen Teil des Potentials aus[95].

[94] Vgl.: Steuer, S. 65. Aktivierungsdauer höchstens 30 Minuten.

[95] Vgl.: Steurer, S. 66

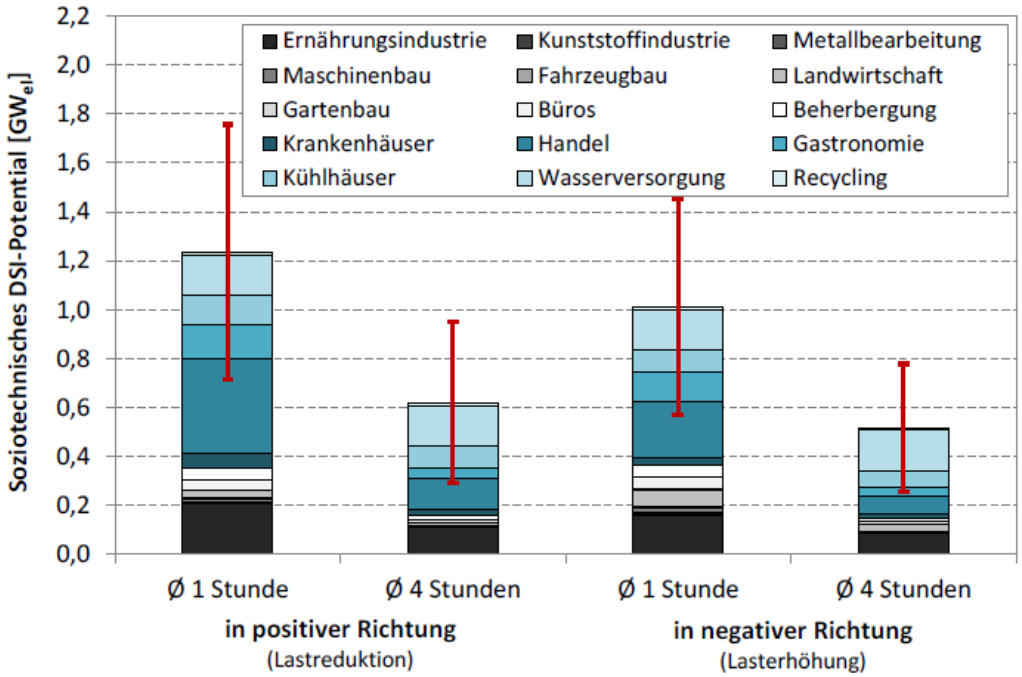


Abbildung 37: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien in Industrie und GHD[96]

Das soziotechnische DSM-Potential bei den Haushalten ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Das Potential in negativer Richtung liegt für eine Stunde resp. vier Stunden deutlich über dem in positiver Richtung. In beiden Richtungen ist das Potential in Deutschland bei den Speicherheizungen klar am höchsten. Speicherheizungen und Warmwasseraufbereitung eignen sich aufgrund der Speicherbarkeit besonders für DSM. Auch die DENA-Netzflex II – Studie kommt zu ähnlichen Ergebnissen.[97]

[96] Vgl.: Steurer, S. 66f

[97] Vgl.: Dena Netzflex II, S. 413

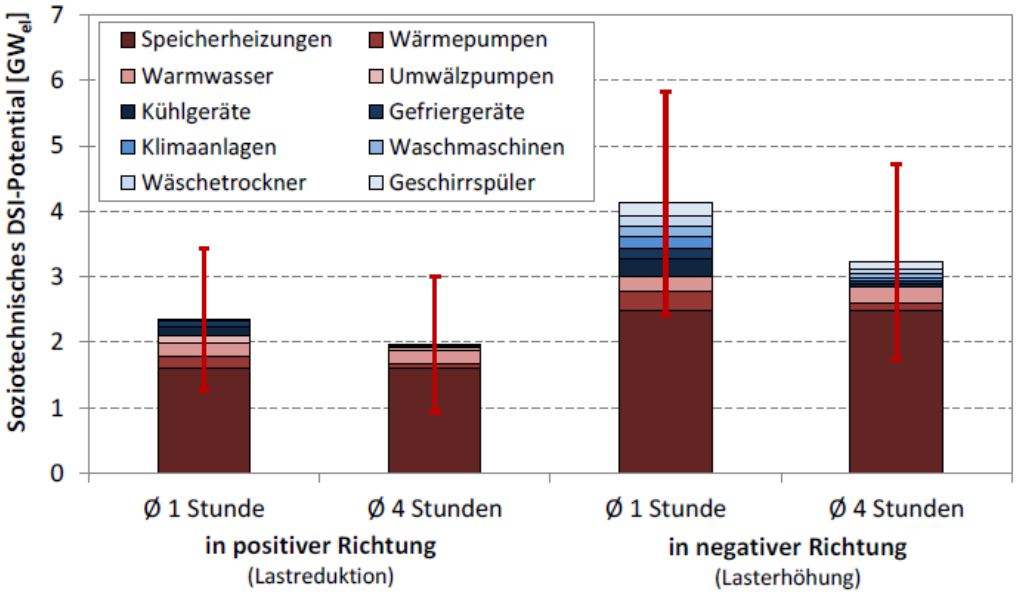


Abbildung 38: Soziotechnisches DSM-Potential Querschnittstechnologien in Haushalten[98]

Trotz dieser viel versprechenden Perspektiven ist Demand Side Management auch bei den für DSM aussichtsreichen energieintensiven Branchen in Deutschland zwar oft im Grundsatz bekannt, wird aber dennoch nicht oft praktiziert. Hier spielen individualökonomische Gründe oft eine Rolle. Ebenso wird das Potential in den Haushalten heute nicht genutzt.

Vor allem bei Industrie und Gewerbe, wo grössere Einzellasten vorhanden sind und professionelle Mess- und Steuerungstechnik zur Verfügung steht, wird versucht, das Potential zu erschliessen. Die deutsche Energie-Agentur (dena) führt derzeit zu diesem Zweck verschieden Pilotprojekte durch, um die nötigen Rahmenbedingungen zu schaffen und weiterzuentwickeln[99]. Erste Befragungen im Rahmen eines Pilotprojekts in Bayern haben ergeben, dass bis dato nur ein Anteil von weniger als 4% der Unternehmen die flexiblen Lasten am Regelenergiemarkt vermarktet oder bilaterale Vereinbarungen mit dem Netzbetreiber trifft. Andererseits nehmen bereits die Hälfte der befragten Unternehmen Massnahmen vor, um die betriebliche Spitzenlast zu reduzieren. Schliesslich gaben ein Viertel der Befragten an, bisher noch keine Erfahrungen mit Lastmanagement gemacht zu haben[100].

[98] Vgl.: Steurer, S. 67

[99] Vgl.: Deutsche Energieagentur dena (2019): «Mehr Flexibilität durch Lastmanagement». Ohne Ort, URL: https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/flexibilitaet-und-speicher/demand-side-management/ [24.4.2019]

[100] Vgl.: Pilotprojekt Demand Side Management Bayern (2019): «Verbreitung von Demand Side Management». Ohne Ort, URL: http://www.dsm-bayern.de/dsm/was-ist-demand-side-management/verbreitung-von-demand-side-management/ [24.4.2019]

10.2 USA

In den USA wird seit längerem erfolgreich Demand Side Management eingesetzt, um die Stromnachfragen zu flexibilisieren. Die Struktur der nordamerikanischen Elektrizitätswirtschaft variiert je nach Region, regionale Übertragungsorganisationen (Regional Transmission-Organisation, RTO) werden zur Überwachung des Betriebs regionaler Übertragungsnetze gebildet. Die Märkte werden von vielen RTOs für die wettbewerbsfähige Beschaffung von Zusatzleistungen wie Echtzeit-Regelkraftwerken und Betriebsreserven genutzt. In einigen dieser Märkte können sich grosse Endverbraucher (z. B. solche mit mehr als 1 MW) durch die Bereitstellung von Reserven und/oder Ausgleichsenergie direkt beteiligen. Die Mechanismen für die Teilnahme sind durch direkte, marktbasierte Ausschreibungen möglich, die eine nachfrageseitige Ausschreibung der Nachfrage als Angebotsquelle zulassen. Alternativ kann indirekt durch unterbrechbare Kürzungsprogramme, die von lokalen Versorgungsunternehmen oder anderen Energieeinzelhändlern verwaltet werden, teilgenommen werden[101]. Hier wird deutlich, dass DSM aus übergeordneter Systemsicht eingesetzt wird und dafür auch durchaus nutzbar sein kann.

Die regionale Übertragungsnetzorganisation PJM bietet beispielsweise unter dem Namen «Reliability-Pricing-Model» einen Kapazitätsmarkt an[102]. Um die Zuverlässigkeit und Stabilität des elektrischen Übertragungsnetzes zu gewährleisten, stimmen die Netzbetreiber den Strombedarf der Verbraucher mit den verfügbaren Ressourcen ab, um diesen Bedarf zu decken. Das 2007 eingeführte Modell verfolgt einen Marktansatz zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit der erforderlichen Kapazität. Mittels Anreizen sollen Investitionen sowohl in die Aufrechterhaltung der bestehenden Erzeugung als auch in die Erschliessung neuer Kapazitätsquellen stimuliert werden. Damit werden nicht nur Kraftwerke, sondern auch Demand Response- und Energieeffizienzprogramme angesprochen. Der Ansatz geht also über klassische, erzeugerseitige Kapazitätsmärkte hinaus und führt u. U. zu einer verbesserten Nutzung der Ressourcen. Der Mechanismus von PJM, der auf Kapazitätszusagen in den nächsten drei Jahren basiert, schafft langfristige Preissignale, um für die Versorgungssicherheit notwendige Investitionen anzuziehen.

Mit diesem Programm kann die Nachfrage mit der Erzeugung konkurrieren. Die Demand Side Ressourcen können Angebote zur Reduzierung der Nachfrage in den Auktionen des PJM-Kapazitätsmarktes unterbreiten, und diese Angebote sind berechtigt, den Marktbereinigungspreis (market clearing price) für die Kapazität festzulegen. Eine Auktion im Mai 2017 beschaffte für Lieferjahr 2021 / 2020 insgesamt 7532 MW an Ressourcen für die Nachfragesteuerung, die sich auf eine ganzjährige Verfügbarkeit und höhere Leistungsstandards verpflichteten.

10.3 Grossbritannien

Grossbritannien war das erste Land in Europa, das nachfrageseitige Ausschreibungen und andere Programme im Bereich Demand Side Management durchführte[103].

---

[101] Vgl.: Baitch et al. (2007): “International perspectives on demand-side integration”. Ohne Ort, S. 1 - 2

[102] Vgl.: PJM (2017): “Reliability Pricing Model”. Ohne Ort, URL: https://www.pjm.com/-/media/about-pjm/newsroom/fact-sheets/reliability-pricing-model-fact-sheet.ashx?la=en [25.4.2019].

[103] Vgl.: Baitch et al., S. 2

Der britische Stromnetzbetreiber National Grid schloss mit dem Programm «Frequency-Control by Demand-Management» bilaterale Verträge mit abschaltbaren Lasten ab. Teilnehmen konnten Lasten, die rund um die Uhr verfügbar waren, die Lastreduktion innerhalb von 2 Sekunden gewährleisten und dabei 30 Minuten abgeschaltet bleiben können sowie eine Leistung von mindestens 3 MW erreichten. Die Vergütung erfolgte über einen Leistungspreis, der pro MW und verfügbare Stunde abgerechnet wurde. Beispielsweise nahm die Supermarktkette Sainsbury's durch Pooling der Kühl-, Lüftungs- und Heizsysteme mit 3 MW positive und negative Regelleistung teil[104].

Weitere Systemdienstleistungen wurden mit der sogenannten «Fast Reserve / Demand-Management» vorgenommen. National Grid kaufte in regulären Ausschreibungen mit standardisierten Ausschreibungsbedingungen Stromlieferung und Stromabnahmen von Produzenten und Stromabnehmern. Ausserdem bestand die Möglichkeit, bilaterale Verträge zu schliessen. Die Anforderungen an die Leistungen sind jedoch einiges höher als bei der «Frequency-Control by Demand Management» (mind. 50 MW Abschaltleistung / Erzeugungsleistung innerhalb 2 Minuten, für mind. 15 Minuten)[105].

Die Programme wurden und werden gegenwärtig überarbeitet[106]. Seit 2016 wird das Programm «Demand side response (DSR)» angeboten. Das Programm steht für grosse Industrie- und Gewerbeverbraucher, für KMU und für Aggregatoren offen. Auch in Grossbritannien findet also Pooling statt. Die Massnahme beinhaltet, dass Unternehmen ihren Stromverbrauch erhöhen, verringern oder verschieben - als Reaktion auf ein Signal -, um zum Ausgleich des britischen Stromsystems beizutragen. Dieses ist wiederum Ausdruck der Systemsicht. Im Gegenzug erhalten sie starke finanzielle Anreize, senken ihre Rechnungen und reduzieren gemäss National Grid ihren CO_2-Fussabdruck. Die Teilnahme erfordert einen Vertrag, entweder direkt mit dem Beschaffer wie z. B. National Grid ESO oder über einen Anbieter. Anschliessend gibt es ein Verfahren zur Beurteilung der Teilnahmefähigkeit, danach werden die Aufträge entweder bilateral oder im Rahmen eines Wettbewerbsverfahrens vergeben. Der gezahlte Betrag variiert je nach System, und die Vertragsdauer variiert von Monat zu Monat, saisonal oder jährlich. Das Unternehmen muss zusätzlich sicherstellen, dass es über die richtigen Geräte verfügt, wie z. B. geeignete Zähler, Überwachungs- und Steuerungssysteme. Die Investitionen können idealerweise durch Einnahmen aus dem Programm gedeckt werden[107].

Die Nutzung nachfrageseitiger Flexibilität ist für Grossbritannien insbesondere wegen der begrenzten Interkonnektoren sinnvoll, und die Notwendigkeit wird sich mit dem dortigen Zubau von Windkraft noch weiter verstärken[108].

---

[104] Vgl.: Langrock et al., S. 47 ff.

[105] Vgl.: Langrock et al., S. 49

[106] Vgl.: National Grid ESO (2019): "Future of balancing services". Ohne Ort, URL: https://www.nationalgrideso.com/insights/future-balancing-services [25.4.2019]

[107] Vgl.: National Grid ESO (2019): "Power Responsive - a short guide to how your business can profit from Demand Side Response". Ohne Ort, URL: http://powerresponsive.com/wp-content/uploads/2019/04/Power-Responsive-Guide-Updated-2019.pdf. [25.4.2019]

[108] Vgl.: ACER (2014), S. 10

10.4 Niederlande

Der Übertragungsnetzbetreiber hat Vereinbarungen mit mehreren Industriepartnern getroffen, dass in Zeiten mit zu hoher Stromnachfrage diese Industrieparteien ihre Nachfrage reduzieren und dafür einen finanziellen Ausgleich erhalten werden. Der niederländische Regelzonenverantwortliche TenneT stellt diesen Bilanzausgleich unter dem Begriff «Noodvermogen» durch Zu- und Abschaltung und Notleistung (Reserveleistung) sicher[109].

Inwieweit speziell das z. B. aus der Chemiebranche herrührende industrielle Potential genutzt werden kann, hängt auch in den Niederlanden von ausreichenden Anreizen und der regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Für das Demand Side Management auf Haushalts- und KMU-Ebene sind intelligente Netze erforderlich. Die Forschung in den Niederlanden ist diesbezüglich gut entwickelt und es laufen mehrere Pilotprojekte. Elektrofahrzeuge werden oft in Bezug auf intelligente Stromnetze und die Reaktion der privaten Nachfrage erwähnt, aufgrund ihrer Speicherkapazität. Die Entwicklung einer Infrastruktur für Elektrofahrzeuge und die Verbreitung von Elektrofahrzeugen auf dem niederländischen Markt sind relativ weit fortgeschritten. Das grösste Potential für Demand Side Management besteht in der Schwerindustrie (z. B. Metalle), die in den Niederlanden zunehmend stillgelegt werden. Dennoch bleibt ein erhebliches Potential bestehen, das in der Regel zu niedrigeren Kosten als vergleichen mit z. B. Haushalten genutzt werden kann[110]. Wie in anderen Fällen auch, sind grosse Potentialquellen zum Teil mit eher weniger Aufwand erschliess- und nutzbar, als viele kleine Quellen.

10.5 Italien

Der italienische Übertragungsnetzbetreiber Terna kennt zwei Programme zur Regelung von Lasten, wobei jeweils nur in positive Richtung (Lastreduktion) geregelt wird. Das Programm «Interrompibilità istantanea» löst eine sofortige Unterbrechung aus, während «Interrompibiltà emergenza» etwas längere Reaktionszeiten zulässt. Anwendung finden diese Programme jedoch nur bei sehr grossen Industriezweigen.[111] An den Programmen können Lasten teilnehmen, die innerhalb von 200 Millisekunden (sofortige Unterbrechung) oder innerhalb von 5 Sekunden (Notfallunterbrechung) ihre Last reduzieren können. Die minimale Abrufleistung beträgt 1 MW, die maximale Länge einer Unterbrechung beträgt 1 Stunde.[112] Für den Zeitraum 1. Januar bis 31. Dezember 2019 wurde ein Kontingent von 700 MW zu einem Preis von 68.350 €/MW auktioniert (ohne Sardinien und Sizilien).[113]

---

[109] Vgl.: Langrock et al., S. 57

[110] Vgl.: Slingerland et al. (2014): “The Balance of Power–Flexibility Options for the Dutch Electricity Market”. Ohne Ort, URL: http://trinomics.eu/wp-content/uploads/2015/06/The-Balance-of-Power-–-Flexibility-Options-for-the-Dutch-Electricity-Market-final-report.pdf [25.4.2019]

[111] Vgl.: Torriti et al. (2010): « Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation ». Ohne Ort, S. S6

[112] Vgl.: Langrock et al., S. 51

[113] Vgl.: Terna (2019): «Zuweisungsergebnisse Kontinentzeitraum 1. Januar bis 31. Dezember 2019». Ohne Ort, URL: http://download.terna.it/terna/0000/1165/43.PDF [25.4.2019]

11 Identifikation von Hemmnissen und Lösungsvorschlägen

Nachfolgend werden die Hemmnisse mit den Auswirkungen sowie Vorschläge für deren Beseitigung diskutiert. Die Hemmnisse für die (stärkere) Nutzung von DSM in der Schweiz sind sehr vielschichtig. Im Einzelnen liegen sozioökonomische Hemmnisse, technische Hemmnisse, rechtliche Hemmnisse und schliesslich auch Hemmnisse bei nicht-rechtlichen Regularien der Energiebranche vor. In gewisser Art sind diese Hemmnisse additiv zu sehen: Selbst wenn eine Hemmnis-Kategorie perfekt beseitigt würde, wäre DSM aufgrund der anderen Hemmnisse immer noch behindert.

In dieserm Abschnitt wird wiederholt der Begriff «Flexibilität» genutzt, statt von DSM zu sprechen. Es ist aus Sicht der Autoren sinnvoll, an verschiedenen Stellen den Charakter der Steuerbarkeit der Verbraucher durch den Terminus «Flexibilität» besser hervor zu heben, um eine Abgrenzung zum Begriff DSM zu ermöglichen, welche eher eine Systemsichtweise beinhaltet.

11.1 Soziotechnische Hemmnisse

Zu den soziotechnischen Hemmnissen zählen vorrangig Probleme mit dem Wissens– und Informationsstand der Beteiligten bezüglich DSM. Weiterhin gibt es verschiedene Branchenregularien, welche die Förderung von DSM eher erschweren.

11.1.1 Wissens- und Informationsstand

Zentrales soziotechnisches Hemmnis für DSM ist der geringe Informationsstand der potentiellen Anbieter von Flexibilität für DSM-Zwecke, beispielsweise bei den individuellen Haushalten und Industrieunternehmen, aber auch bei solchen Unternehmen, welche die Flexibilitäten bewirtschaften würden. Der Mangel an Informationen trägt wesentlich dazu bei, dass sich die entsprechenden Märkte nicht entwickeln können. Dieses Hemmnis behindert nicht nur die Quantifizierung des DSM-Potentials in dieser Studie, sondern verhindert zusätzlich, dass sich DSM, entsprechende Geschäftsmodelle etc. in der Schweiz verbreiten können. Öffentliche Statistiken, Datenquellen, Studien etc. sind heute in der Schweiz nicht in der Lage, diesen Informationsbedarf bei den genannten Akteuren zu decken. Damit können politische Entscheide in diesem Zusammenhang ebenso wenig unterstützt werden wie z. B. betriebswirtschaftliche Überlegungen.

Endverbraucher wissen oft nicht, über welche DSM-fähigen Verbraucher sie verfügen und von welchem Nutzen diese sind, denn Strom ist für sie heute ein klassisches Low-Interest-Gut. Dies betrifft sowohl Kunden mit geringem Stromverbrauch, als auch zum Beispiel grössere Wirtschaftsunternehmen. Dass ihr heutiger Informationsstand hinsichtlich DSM insgesamt oft sehr gering ist, wurde in der Branchenbefragung zum Beispiel auch von einem Vertreter der Zementindustrie erwähnt. Bisher gab es schlichtweg keinen (ökonomischen) Anreiz für bestimmte Akteure, über DSM nachzudenken oder entsprechenden Aufwand zu betreiben. Viele Informationen, Daten etc. können nur den jeweiligen Akteuren bekannt sein. Diese Situation betrifft z. B. auch technische Aspekte der eigenen Produktionsprozesse, einschliesslich der jeweiligen Randbedingungen, Restriktionen etc.

Dieses Problem ist nicht nur in der Schweiz bekannt. Im Rahmen des «Pilotprojekts Demand Side Management Bayern» wurden Informationsmängel als kritisch identifiziert und in einer DSM-Roadmap Verbesserungen der Informationslage angesprochen[114]. Aktuell werden zum Beispiel webbasiert Toolboxen bereitgestellt, zudem gibt es Expertenblogs, Berichte zu Best practises etc.

Die Endverbraucher sollten zur Förderung von DSM umfassend über die Bedingungen für deren Bewirtschaftung und deren Bedeutung für das zukünftige Energiesystem informiert werden. Ohne Transparenz über die Nutzungsbedingungen werden die Endverbraucher kaum bereit sein, ihre Flexibilität zur Verfügung zu stellen. Eine breite Aufklärung würde dem entgegenwirken.

Zugleich ist auch bei den Versorgungsunternehmen ist der Informationsstand gering. Bislang hatten die Verteilnetzbetreiber wenig Veranlassung die Flexibilitätspotentiale in ihrem Netz systematisch zu erheben und Produkte bis hin zu geeigneten Tarifstrukturen zu entwickeln. Zum einen sind die Netze vielfach noch gut ausgebaut, zum anderen sind nicht immer ökonomischen Vorteile zu erkennen, wenn man Flexibilität bewirtschaftet.

Der stärkste Anreiz für die Beseitigung der Wissens- und Informationsmängel ist zu erwarten, wenn z. B. durch höhere Spot- und Regelenergiekosten die Nutzung der Flexibilität attraktiver und rentabler wird. In dem Fall werden die Marktteilnehmer eigene Anstrengungen unternehmen, um die Informationsdefizite zu beseitigen. Weitere Studien und Pilotprojekte in Zusammenarbeit mit den Wirtschaftsverbänden könnten die Akzeptanz zusätzlich erhöhen.

11.1.2 Energiewirtschaftliche Regularien

Die Entflechtung verhindert. einen Austausch von Daten zwischen dem Energielieferanten, dem «Bündler» (Pooler) von Flexibilitäten und dem Verteilnetzbetreiber. D.h. der Verteilnetzbetreiber kennt die Bewirtschaftung der Flexibilitäten durch Dritte in seinem Netz nicht. Im schlechtesten Fall bewirtschaftet ein Pooler oder ein Energielieferant die Flexibilitäten in einem Verteilnetz gegen den Verteilnetzbetreiber, wodurch dieser etwaig teure Gegenmassnahmen ergreifen muss (Ausgleichsenergie, Abrufen anderer Flexibilitäten). Das wird insbesondere dann eine grosse Herausforderung für den Verteilnetzbetreiber, wenn es sich um vergleichsweise grosse Lasten handelt. Pooler oder Energielieferanten, welche grössere Lasten im Netz eines VNB verschieben, sollten diesem die für ihn relevanten Angaben machen müssen (z. B. Mitteilung zur Grösse der Lastverschiebung und Zeitrahmen). Eventuell ist auch vorzusehen, dass sich der Pooler oder Energielieferant an den durch seine Aktivitäten für den VNB entstandenen Kosten beteiligt.

In der VSE-Branchenempfehlung «Anbindung von Regelpools an den Schweizer SDL-Markt» wird festgehalten, dass ein Regelpoolbetreiber Lasten in verschiedenen Netzgebieten und Bilanzgruppen zur Erbringung von SDL beeinflussen kann. Dadurch kann es zu nicht prognostizierbaren Fahrplanabweichungen kommen. Diese wiederum erhöhen die Notwendigkeit zum Bezug von Ausgleichsenergie, wodurch Kosten für den Bilanzgruppenverantwortlichen entstehen. Deshalb muss entweder durch geeigneten Informationsaustausch vermieden werden, dass die Regelenergiepooler den Bedarf an Ausgleichsenergie für Bilanzgruppen/Netzbetreiber erhöhen oder aber die Regelenergiepooler sollten einen Teil der Kosten übernehmen, die sie verursachen[115].

---

[114] Für weitere Informationen vgl.: www.dsm-bayern.de

[115] Voraussetzung hierfür ist natürlich die Identifizierbarkeit.

Falls im Extremfall die Systemstabilität gefährdet ist, muss der Verteilnetzbetreiber vorrangig auf die Flexibilität zurückgreifen können. Dies ist in der Revision StromVG vorgesehen, hierzu Art. 17b^{bis} Abs. 5, Vorentwurf vom 17. Oktober 2018 für die Revision des StromVG, garantierte Nutzung). Dazu sind Kriterien festzulegen, aber auch Haftungs- und Schadenersatzfragen zu klären.

11.2 Ökonomische Hindernisse

Das heutige Preisniveau der Erlösseite, z. B. bezüglich Regelenergie, wurde bereits erwähnt. Ebenso wirken auch rein ökonomische Aspekte hemmend. Fehlende Kostensensitivität und geringe Preiselastizität insbesondere bei den kleinen Endverbrauchern führen dazu, dass die Nachfrage kaum auf Strompreisänderungen reagiert. Entsprechend werden die Flexibilisierungspotentiale auch bei einer Dynamisierung der Preise wenig genutzt. Auch für Industrieunternehmen fehlen heute oft die Anreize, sich mit den ökonomischen Bedingungen zu befassen, was auch in der Befragung der Branchenvertreter deutlich wurde. Hintergrund der fehlenden Informationen über die Ökonomie der Flexibilitätsbewirtschaftung ist unter anderen, dass bedingt durch Überkapazitäten bei der Stromproduktion im europäischen Markt bestand bislang keine Notwendigkeit bestand, die Last zu flexibilisieren, da stets ausreichend Erzeugungskapazitäten vorhanden waren. Der Markt stellt keine ausreichenden Anreize bereit. Diese Situation kann jedoch drehen und entsprechende Vorbereitungen werden sich auszahlen.

Unklar ist, welche Wechselwirkungen es zwischen den verschiedenen Massnahmen zur Förderung der Energieeffizienz einerseits, und der Nutzung von DSM andererseits es geben kann. In Anhang 5 gibt es verschiedene Hinweise der befragten Experten, aus denen diese Unsicherheit hervorgeht. Es müsste im Mindestfall sichergestellt werden, dass die Ziele der Förderung der Energieeffizienz einerseits und die mit dem Einsatz von DSM verfolgten Ziele andererseits nicht konfliktär verfolgt werden.

11.3 Technische Hemmnisse

Es gibt eine Reihe technischer Hemmnisse, welche die künftige Nutzung von DSM erschweren.

Eher kurzfristig relevant und zu lösen ist aus technischer Sicht die Frage, welche Infrastruktur mit welchen Leistungsmerkmalen künftig beim Smart Meter Rollout installiert werden soll, um DSM im Haushaltsbereich stärkere Verbreitung zu verschaffen. Die Nutzung von Flexibilitäten im Rahmen von DSM hat nur dann Sinn, wenn auch die technische Infrastruktur geeignet ist, die jeweilige Leistung zu jedem Zeitpunkt sicher und zuverlässig abzurufen. Smart Meter sind zwar keineswegs Voraussetzung für die Nutzung von flexiblen Verbrauchern, doch kann beim Rollout die Steuerung der Flexibilitäten für DSM-Zwecke gleich mit angelegt werden, was Effienzvorteile hebt. Wie oben geschildert, muss zum Beispiel eine leistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur geschaffen werden, um die flexible Leistung im Bedarfsfall auch zeitnahe und zuverlässig abrufen zu können. Hilfreich wäre es, wenn zur Vermeidung von Fehlinvestitionen beim Smart-Meter-Rollout insbesondere hinsichtlich der Kommunikationstechnologie klare Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Systeme definiert würden, um einen Beitrag zu DSM zu leisten. Die Definitionen selbst könnten dann aber subsidiär erfolgen.

Grundsätzlich förderlich wäre es aus technischer Sicht, wenn fehlende Normierungen oder fehlende Kommunikationsstandards beseitigt würden, um z. B. Datenaustauch und Interoperabilität unterschiedlicher Systeme zu verbessern. Dieses hätte Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von DSM. Die Er-

schliessung von DSM-Potentialen ist heute oft nur mit grossem, technisch-finanziellen Aufwand möglich. Standardisierungen können die Interoperabilität der verschiedenen, technischen Komponenten fördern, sie könnten zugleich aber auch die Wirtschaftlichkeit verbessern. Es wird hier angeregt, in Diskussion mit den jeweiligen Branchenverbänden solche Normierungen herbeizuführen. Hier wäre aber ggf. ein Schulterschluss mit anderen Ländern oder ein kooperativer Austausch mit der Industrie hilfreich, da der Schweizer Energiemarkt nur sehr klein ist.

Schliesslich ist zu überlegen, ob die Nutzung des jeweiligen Verbrauchers für DSM-Zwecke im technischen Einzelfall geeignet und sinnvoll ist, z. B. Netzprobleme zu beheben. Solche Probleme könnten insbesondere mit der prognostizierten Zunahme der Elektromobilität entstehen. Die Verteilnetzbetreiber werden zukünftig vermehrt vor der Frage stehen, ob sie allenfalls Netze verstärken müssen oder andere Massnahmen wie DSM nutzen können. Die Verteilnetzbetreiber werden ihren Informationsstand über die Sinnhaftigkeit von (neuen) Massnahmen wie DSM nur dann verbessern, wenn sie z. B. regulatorisch angehalten werden, oder wirtschaftliche Vorteile für die Einbindung Erneuerbarer Energien entstehen. Auch Informationskampagnen können hilfreich sein.

11.4 Rechtliche Hindernisse

Es gibt verschiedene rechtliche Hemmnisse für die Nutzung von DSM, die zum Beispiel aus StromVG und StomVV herrühren.

11.4.1 Beschränkte Wahlfreiheit bei Tarifen

Aktuell wirken die StromVG und die StromVV hinderlich, da sie die Wahlfreiheit bei Tarifen beeinflussen. Nach Art. 6 Abs. 3 StromVG legen die Betreiber der Verteilnetze in ihren Netzgebieten für feste Endverbraucher mit gleichartiger Verbrauchscharakteristik, die von der gleichen Spannungsebene Elektrizität beziehen, einen einheitlichen Elektrizitätstarif fest. Art. 18 Abs. 2 StromVV fordert, dass innerhalb einer Spannungsebene Endverbraucher mit vergleichbarem Bezugsprofil eine Kundengruppe bilden sollen. Damit kann nicht zwischen Endverbrauchern mit und ohne Bereitschaft, ihre Flexibilität nutzen zu lassen, unterschieden werden. Diese Bestimmung ist zu lockern, es sollte mehr Freiheit geschaffen werden, dass unterschiedliche Tarife angeboten werden bzw. abgeschlossen werden können. Das würde eine Abkehr vom Primat der uneingeschränkten Netznutzung bedeuten.

Es müssten also Wahltarife einfacher und mit weniger Restriktionen angeboten werden können, für welche die Endverbraucher sich dann aktiv entscheiden können. Der Netzbetreiber könnte dann z. B. einem Teil der Kunden das Netz (gegen höhere Netznutzungsentgelte) uneingeschränkt bzw. unbedingt zur Verfügung stellen, einem anderen Teil der Kunden jedoch nur noch bedingt. Anders ausgedrückt, könnte der Verteilnetzbetreiber die Netznutzung vertraglich einschränken. Die Netze müssen nicht mehr so dimensioniert werden, dass jederzeit uneingeschränkte Bedarfsdeckung möglich ist. Der Netzbetreiber könnte für seine technischen Planungen, seine langfristigen Investitionen etc. verlässliche Grundlagen nutzen, die eine Minderung der Inanspruchnahme der Netze bewirken.

Es empfiehlt sich, bereits auf Gesetzesstufe explizit festzulegen, dass Verteilnetzbetreiber spezielle Elektrizitätstarife für alle Endverbraucher (zusätzlich) anbieten können, welche ihnen ihre Verbraucher zur Steuerung zur Verfügung stellen. Eine solche Regelung wird mit der Revision StromVG beabsichtigt und ist nicht völlig neu. Endverbraucher, welche ihre Flexibilität dem Netzbetreiber ganz oder teilweise

zur Verfügung stellen, können schon heute einen besseren Netznutzungstarif erhalten (z. B. Wärmepumpentarif). Es gibt keinen weiteren Grund, das Angebot an Wahltarifen darüber hinaus zu beschränken. Die Frage, in welchem Umfang Flexibilitätstarife angeboten werden, könnte auf Verordnungsebene subsidiär geregelt werden. Aufgrund des Missbrauchspotentials sollte eine solche Regelung aber auf jeden Fall überprüft werden, damit der Gesetzgeber die Möglichkeit hat, diese geeignet über konkretere Regelungen in der Verordnung anzupassen.

Die Ausgestaltung der Flexibilitätsregulierung sollte möglichst marktorientiert erfolgen. Bei Bedarf könnten die Verteilnetzbetreibenden EVUs die Flexibilität für Netzzwecke zu definierten (und ggf. als angemessen beurteilten Konditionen) von Endkunden oder von Aggregatoren aufkaufen. Sofern die Tarife dann nicht zu komplex gestaltet sind, könnten auch Dritte Anbieter Produkte gestalten, die Flexibilität im Netz und am Energiemarkt bewirtschaften.

Mit erweiterten Wahlmöglichkeit können Endverbraucher an günstigeren Strompreisen partizipieren und bei hohen Strompreisen mit Lastverlagerung reagieren. Smart Meter wären sicher hilfreich, sofern die Daten zum Beispiel hinsichtlich Granularität und Aktualität angemessen bereitgestellt werden. Durch eine Missbrauchsaufsicht seitens ElCom auch für Wahltarife kann der Schutz der Endverbraucher gewährleistet werden.

11.4.2 Angemessenheit der Tarife

Weiterhin wäre es hilfreich, die Angemessenheit von Tarifen flexibler zu definieren, denn Art. 6 Abs. 1 StromVG kann bei einer engen Auslegung hemmend in Hinblick auf die Verbreitung dynamischer Tarife zur Stützung von DSM wirken. Heutiges Primat (in der Monopolsituation) ist, dass Verteilnetzbetreiber den festen Endverbrauchern und den Endverbrauchern, die auf den Netzzugang verzichten, jederzeit die gewünschte Menge an Elektrizität mit der erforderlichen Qualität und zu angemessenen Tarifen liefern müssen. Diese Bestimmung fordert, dass die Stromproduktion der Nachfrage immer nachfahren und diese immer decken kann - und dies zu angemessenen Tarifen. Dafür dürfen «angemessene Tarife» in Rechnung gestellt werden, wobei der Gesetzgeber den Begriff des „angemessenen Tarifs“ bislang keineswegs konkret umrissen hat. Um die Nutzung der Flexibilität beim Endverbrauchern besser zu beanreizen, empfiehlt sich eine Formulierung, bzw. eine für alle beteiligten rechtssichere Auslegung durch den Regulator, die unter bestimmten Bedingungen auch dynamische Preissetzung ermöglicht. Sofern diese als Wahlmöglichkeit ausgestaltet wird, könnten – im Falle von Engpässen – temporär sehr hohe Strompreise als «angemessen» zugelassen werden.

Mit der Revision StromVG wird zur Operationalisierung des Begriffs „angemessene Tarife“ für den Energieanteil eine Vergleichsmarktbetrachtung vorgeschlagen. Ein solcher Vergleich könnte Basis für die Beurteilung der «Angemessenheit» sein, wenn es ausreichend viele Angebote auf dem Markt gibt, die beobachtet werden können. Zudem könnten die Grosshandelspreise in einer Zuschlagsbetrachtung herangezogen werden. Sofern es zu einer vollständigen Marktöffnung kommt, wird aber auch der Wettbewerb seine Wirkung entfachen, so dass Missbrauch erschwert wird.

11.4.3 Berechnungsvorschriften für Tarife

Art. 18 Abs. 3 StromVV regelt die Bemessungsgrundlage für den Netznutzungstarif und sieht bei Spannungsebenen unter 1 kV für Endverbraucher in ganzjährig genutzten Liegenschaften mit einem Jahresverbrauch bis zu 50 MWh zu mindestens 70 Prozent ein nichtdegressiver Arbeitstarif (Rp./kWh) vor. Ohne eine zusätzliche Flexibilitätsregulierung und die Möglichkeit dynamischer Netztarife lässt diese Bestimmung zu wenig betriebswirtschaftlichen Spielraum zur effektiven Nutzung von DSM.

Anteil Arbeitspreis	Anteil Leistungspreis
+ Für unflexible Kleinkunden wird Kostenstruktur gut abgebildet	+ Reizt effizienten Umgang mit Netzkapazität an
+ Reizt energieeffizientes Verhalten an	+ Verursachungsgerechte Verteilung der Netzkosten (soweit zeitgleich zur Netzhöchstlast)
+ Hohe Akzeptanz beim Kunden	- Kein direkter Anreiz für energieeffizientes Verhalten
- In der Regel nicht verursachungsgerecht für flexible Verbraucher	- In der klassischen Ausprägung hinderlich für Bereitstellung Flexibilität im Markt
- Kein Anreiz für effizienten Umgang mit Kapazität	

Abbildung 39: Vor- und Nachteile von Arbeits- und Leistungspreiskomponenten.

Wichtige Parameter der Tarifkalkulation sind damit vorgegeben. Bislang dominiert in vielen Fällen der Arbeitstarif über dem Leistungsanteil. In der Revision StromVG soll ein grösserer Spielraum für die Tarifierung geschaffen werden: geringere Arbeitspreisanteile und somit höherer Leistungs-, Grund- oder Kapazitätspreise sowie auch dynamische Netztarife (mit einer Schutzklausel für Eigenverbraucher).

11.4.4 Marktdesign

Die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Flexibilitäten bilden eine Schnittstelle zwischen Markt/Marktdesign und Netz/Netztarifierung. Ob DSM markt-, system- oder netzdienlich eingesetzt werden, entscheidet in erster Linie der Preis bzw. die Renditeaussicht für die jeweiligen Akteure. Zentral hierfür ist eine Kontrolle der Marktmacht, v.a. bei den Netzbetreibern sowie etwaig bei den Flexibilitätsanbietern. Heute wirkt aber die Monopolsituation. Solange der Markt nicht geöffnet wird, wird kein sehr starker Wettbewerb um Flexibilität bzw. kein florierender Markt für (neue) DSM-Produkte entstehen.

Zurzeit haben feste Endverbraucher keinen Anspruch auf Netzzugang (Art. 6 Abs. 6 StromVG). Endverbraucher als Eigentümer der Flexibilität können zwar heute ihre Flexibilität dem Netzbetreiber zur Verfügung stellen und erhalten dafür einen besseren Tarif (z. B. Wärmepumpentarif) oder ein Angebot eines Aggregatoren. Sie können jedoch diese Flexibilität nicht mit einer Energielieferung durch Dritte zu einem neuen Produkt kombinieren. Neue Produkte, welche die Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 unterstützen, können so viel weniger leicht entstehen. Eine vollständige Marktöffnung würde dies beheben, da die Innovationskraft der Akteure gefördert würde. Zudem würde die Einführung einer Anreizregulierung für die Verteilnetzbetreiber einen deutlich klareren Anreiz zur effektiven Bewirtschaftung von Flexibilitäten in den Netzen setzen als der das derzeitige Cost plus System (zukünftig ergänzt um eine Sunshine-Regulierung für eine verbesserte Transparenz). Bei einem solchen System können effiziente Netzbetreiber Zusatzgewinne erzielen, nicht effiziente Netzbetreiber erhalten einen impliziten Malus. Dadurch wird eine effektive Nutzung von DSM in den Verteilnetzen beanreizt, welche zukünftig erheblich an Bedeutung gewinnen.

11.4.5 Versorgungssicherheit

Politisch vorteilhaft wäre es unter Umständen, auch den Beitrag von DSM zur Versorgungssicherheit verdeutlichen, in dem Rechtsnormen angepasst würden. Bei Gefährdung der Versorgungssicherheit

kann der Bundesrat Massnahmen ergreifen (Art. 9 Art. 9 StromVG). Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Nutzung flexibler Verbraucher für die Versorgungssicherheit, wäre es zweckmässig diese explizit auch bei den Massnahmen aufzuführen, bspw. könnte Art. 9 Abs. 1 Bst. a StromVG mit Inhalten zum Thema «Steigerung der Effizienz der Elektrizitätsverwendung und Nutzung der Flexibilitäten im Verteilnetz» ergänzt werden.

Schliesslich könnte man das Marktdesign und das Netznutzungsmodell anders aufeinander abzustimmen. Art. 15 Abs. 2 StromVG besagt einerseits, dass die nationale Netzgesellschaft die Preise für die Ausgleichsenergie so festlegt, dass ein Anreiz besteht, gesamtschweizerisch Regelenergie und Regelleistung effizient einzusetzen und sich die Preise für die Ausgleichsenergie an den Kosten für Regelenergie orientieren. Die Bereitstellung und Nutzung der Flexibilitäten wird anderseits bereits heute auch durch den Verteilnetzbetreiber beeinflusst (z. B. Wärmepumpentarife), oft mit dem Ziel der Optimierung der Netzkosten. Bereits heute nutzt also der Verteilnetzbetreiber die Flexibilitäten bei den Endverbrauchern (wobei der eigentliche Nutzungszweck, Netz- oder Marktdienlichkeit, für den Endverbraucher nicht offensichtlich ist), und beeinflusst zugleich indirekt die Inanspruchnahme von Ausgleichsenergie. Zudem nutzen verschiedene Aggregatoren heute zum Beispiel die Flexibilitäten von Kehrrichtverbrennungsanlagen, um Angebote für die Swissgrid zu stellen.

Fraglich ist aber, ob die Verfolgung der jeweiligen Ziele durch Verteilnetzbetreiber, Aggregatoren etc. am Ende zu einem volkswirtschaftlich optimalen Ergebnis führt, und ob es zum Beispiel Zielkonflikte zwischen den Beteiligten gibt. Um diesem Defizit zu begegnen, wäre zu überlegen, dass sich die Swissgrid und die Verteilnetzbetreiber über die Nutzung von Flexibilitäten in den Verteilnetzen abstimmen müssen. Hierbei sind mehrere Ausgestaltungmodelle denkbar.

11.4.6 Nutzungsrechte für Flexibilität

Der Besitz und das Nutzungsrecht von Flexibilitäten innerhalb eines Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch ZEV nach Art. 17 und 18 EnG ist nicht explizit geregelt. Zur Schaffung von Rechtssicherheit und für die bestmögliche Nutzung aller Flexibilitäten im Zusammenschluss ist die Frage des Besitzes und der Nutzungsrechte explizit zu regeln. Beispielsweise ist die Frage zu klären, ob Mieter, die nicht am Zusammenschluss beteiligt sind, ihre Flexibilität selber vermarkten können. Weiterhin ist aber auch zu klären, ob dies ebenfalls für Teilnehmende am Zusammenschluss gilt. Beispielsweise könnte ein Konflikt zwischen individueller Optimierung von DSM-fähigen Geräten (z.B. Kühltruhe) zu Gunsten des einzelnen ZEV-Teilnehmers einerseits und der Gesamtoptimierung des ZEV als Ganzes andererseits entstehen. Wird z.B. der gesamte ZEV gesteuert und geregelt, so müsste beachtet werden, dass alle ZEV-Teilnehmende im selben Masse betroffen wären oder andernfalls ein Ausgleichsmechanismus von Nöten wäre.

11.4.7 Weitere Bestimmungen

Neben den oben aufgeführten Bestimmungen müssen im einzelnen Bestimmungen für spezifische Nutzung von Flexibilitäten geprüft werden. Beispielsweise kann über die Wasserversorgung bis zu einem gewissen Grad Flexibilität zur Verfügung gestellt werden, denn die Pumpen erreichen oft namhafte Grössen und die Wasserreservoire verfügen oft über grössere Volumen. Diesbezüglich sind die für die Wasserversorgung relevanten Gesetze zu prüfen. Ein anderes Beispiel ist die die Nutzung der Notstromgruppen welche eingeschränkt wird durch die Luftreinhalteverordnung.

11.5 Zusammenfassung

Nachfolgend werden die oben genannten, wesentlichen Hemmnisse für die Nutzung von Flexibilitäten mitsamt den Möglichkeiten zur Beseitigung aufgeführt:

Tabelle 15: Zusammenfassung Hemmnisse

Kategorie	Hemmnis	Wirkung	Beseitigung
Technische Hemmnisse	Fehlende Kommunikationsstandards und fehlende Normierungen	Zu hohe Kosten z. B. für technische Anbindung von Flexibilitäten	Normierung und Standardisierung subsidiär fördern
	Unsichere, technische Anforderungen an Flexibilitätserschliessung	Drohende Sunk Costs bei EVUs, z. B. für Kommunikation	Klare Vorgaben an Anforderungen z. B. durch Regulator; allenfalls subsidiäre Definition
		Nutzung anderer Technologien in Verteilnetzen	Informationskampagnen, regulatorische Vorgaben, verbesserte Wirtschaftlichkeit der Flexibilitätsbewirtschaftung
Soziotechnische Hemmnisse	Unkenntnis über technische Vorteile, Rahmenbedingungen etc. bei DSM bei Verbrauchern, EVUs und anderen Akteuren	Fehlende Datengrundlage für Marktteilnehmer, z. B. um Geschäftsmodelle zu entwickeln	Verbesserung der Datengrundlage seitens Bund, um die Grundlagen zu schaffen für erhöhte Akzeptanz, neue Geschäftsmodelle etc.
	Wissens- und Informationsdefizite	Transaktionskosten für Marktteilnehmer zu hoch	Informationskampagnen, verbesserte Wirtschaftlichkeit der Flexibilitätsbewirtschaftung
Ökonomische Hemmnisse	Sicherstellung des Informationsaustausches z. B. zwischen Verteilnetzbetreiber, Energielieferant und Regelenergiepooler Mangelnde wirtschaftliche Anreize und geringe Preiselastizität der Stromnachfrage	Das durch die Flexibilitätsbewirtschaftung ermöglichte Optimum wird aufgrund fehlender Daten verfehlt Flexibilitätsbewirtschaftung unterbleibt aus betriebswirtschaftlichem Kalkül	Verbesserung der Informationspflicht Abgeltung etwaiger Kosten Dritter, die z. B. durch Regelenergiepooling entstehen
Rechtliche Hemmnisse	Tarife zu wenig dynamisch, es bestehen keine Anreize die Flexibilität zu nutzen	Dem Verbraucher steht jederzeit die gewünschte Menge an Elektrizität mit der erforderlichen Qualität und	Bedingte und unbedingte Netztarife, so dass nur noch ein kleinerer, aber relevanter

		zu angemessenen Tarifen zu Verfügung	Teil des Verbrauchs jederzeit zur Verfügung steht
	Wenig Flexibilität bei Festlegung der Verbrauchergruppen	Potential kann nur ungenügend genutzt werden	Verteilnetzbetreiber sollen spezielle Elektrizitätstarife für alle Endverbraucher zusätzlich anbieten können, welche ihnen ihre Flexibilitäten zur Steuerung zur Verfügung stellen
	Aktuelle Monopolsituation begrenzt Vermarktung der Flexibilität.	Kein starker Wettbewerb um Flexibilität für DSM-Produkte	Vollständige Marktöffnung
	Regelung zum Umgang von Flexibilität innerhalb von ZEV fehlt.	Fehlende Rechtssicherheit, offene Fragen der Mitbestimmung der ZEV-Teilnehmer	Regelung zum Umgang von Flexibilität innerhalb von ZEV treffen

12 Schlussfolgerungen

In den Branchen «Haushalte», «Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen», «Industrie und Verarbeitendes Gewerbe» sowie «Verkehr» ist Potential für DSM vorhanden, welches aber aufgrund der Datenlage nur in Grössenordnungen beziffert bzw. abgeschätzt werden kann.

Das theoretische Potential liegt zwischen 31’030 bis 46’556 MW (aufaddierte elektrische Leistungen der Anwendungen) und übersteigt somit die Schweizer Spitzenlast. Das technische, für die Nutzung verlässliches Potential beträgt 1'077 bis 2'613 MW und ist somit angesichts der Spitzenlast von relevanter Grösse.. Grund für die hohen Werte des theoretischen Potentials ist, dass insgesamt eine hohe, installierte Leistung der elektrischen Verbraucher in der Schweiz vorhanden ist. Gründe für die grossen Unterschiede zwischen dem theoretischen und dem technischen Potential sind vor allem in der oft nicht-gleichzeitigen Nutzung der verschiedenen Verbraucher, aber auch in den oft nur kurzen Betriebszeiten der Verbraucher zu finden. Beispielsweise werden Haushaltsgeräte in der Schweiz nicht zeitgleich betrieben, sondern im Tagesablauf verteilt. Zudem sind beim technischen Potential definitionsgemäss bestimmte (technische) Restriktionen zu berücksichtigen. Weiterhin treten neben Schwankungen im Tagesablauf auch Schwankungen bei der Nutzung der Verbraucher zwischen Sommer und Winter auf. Hier sind z. B. Stromverbraucher in Verbindung mit Raumheizzwecken ausschlaggebend. Folglich können die flexibel steuerbaren Verbraucher keinen zeitlich konstanten, einfach bezifferbaren Beitrag für DSM bieten. Die definierten Anwendungszwecke verlangen, dass das DSM-Potential in hohem Masse gesichert zur Verfügung stehen muss. Aus diesem Grunde wurde das technische Potential in dieser Studie «vergleichmässigt», also das Potential angegeben, welches in jeder Stunde in den verschiedenen Zeitperioden im Mittel zur Verfügung stehen würde. Sofern diese Vergleichmässigung abgeschwächt wird, das DSM-Potential also nur noch während eines definierten Zeitfensters z. B. tagsüber im Winter breit steht, kann auch das technische Potential wieder höher ausfallen.

Im Haushaltsbereich resultiert bei der genannten, starken Vergleichmässigung vor allem im Winter ein technisches Potential von rund 400 bis 440 MW. 155 bis 755 MW stehen zusätzlich im Sektor «Landwirtschaft, Gartenbau und Dienstleistungen» als technisches Potential zur Verfügung, im Sommer sind die Werte nur geringfügig niedriger als im Winter. In der Industrie und im verarbeitenden Gewerbe ist im Jahresablauf ein technisches Potential zwischen etwa 360 bis rund 1’400 MW zu erwarten, im Verkehrssektor ist kaum technisches Potential vorhanden, es kann aber künftig deutlich wachsen.

Allerdings ist es wiederum nur eine Teilmenge des technischen Potentials, welche auch soziotechnisches Potential darstellt. Die Akzeptanz, Verbraucher für DSM bereit zu stellen, ist stets nur eingeschränkt vorhanden, so dass schweizweit nur rund 530 bis 870 MW verbleiben für das Abschalten von Verbrauchern, und rund 590 MW bis 960 MW für das Zuschalten. Hier können zum Beispiel in Haushalten bestimmte familiäre Gepflogenheiten der DSM-Nutzung entgegenstehen, im Verarbeitenden Gewerbe kann es zum Beispiel die Pflicht sein, Regularien der guten Herstellungspraxis einzuhalten.

Das verbleibende DSM-Potential kann für verschiedene Anwendungszwecke genutzt werden. Diese können sich zum Beispiel hinsichtlich Anforderungen an Aktivierungszeit oder Laständerungsgeschwindigkeit unterscheiden, so dass nicht jede Quelle für DSM-Potential auch für jede Anwendung geeignet ist. Entsprechend würde auch eine Zuordnung der Potentiale zu Anwendungszwecken zu unterschiedlichen, quantitativen Beiträgen führen. Es ist im Einzelfall zu diskutieren, welchem Anwendungszweck das jeweilige DSM-Potential optimaler Weise zugerechnet werden sollte.

Heute steht aber der verbreiteten Nutzung von DSM noch entgegen, dass die Erlöse für die Akteure oft noch zu niedrig ausfallen. Es rentiert sich nicht, Stromverbraucher für DSM zur Verfügung zu stellen, da zu geringe Erlöse erzielt werden. Solange diese Situation anhält, werden die Akteure, insbe-

sondere die Industrieunternehmen, kaum Anstrengungen unternehmen, sich im Bereich DSM zu engagieren. Neben solchen ökonomischen Hindernissen wirken auch soziotechnische, technische und rechtlich-regulatorische Hindernisse. Hervorzuheben sind unterschiedlichste Informationsdefizite, die zum Teil nur von den Akteuren selbst beseitigt werden können, während für andere Defizite auch öffentliche Massnahmen Abhilfe bieten könnten. Die Defizite müssten insgesamt bei den Akteuren überwunden werden, damit die Akzeptanz für DSM verbessert wird und neue Geschäftsmodelle entstehen können. Die Defizite zu überwinden kann beispielsweise bedeuten, die Kenntnis über technische Parameter der einzelnen Verbraucher und Prozesse zu verbessern. Die Überwindung solcher Defizite wird längere Zeit in Anspruch nehmen. In anderen Ländern wurde das ebenfalls erkannt und entsprechende Programme wurden gestartet.

Regulatorische Hemmnisse liegen unter Umständen im Tarifwesen, aber auch hinsichtlich Marktdesign, Nutzungsrechten für Flexiblität etc. vor. Um diese Hemmnisse zu überwinden kann z. B. eine Anpassung des Tarifwesens erfolgen.

Es wird aber nicht ausreichen, einzelne Hemmnisse zu beseitigen. Vielmehr ist es nötig, möglichst viele der Kategorien der Hemmnisse zu beachten, wenn DSM gefördert werden soll.

Literaturverzeichnis

ACER (Hrsg.) (2014) : “Demand Side Flexibility. The Potential Benefits And State of Play in the European Union”. Ohne Ort.

Baitch et al. (2007): “International perspectives on demand-side integration”. Ohne Ort

Bundesamt für Energie (2017): “Elektrizitätsstatistik 2017”. Bern

Bundesamt für Energie (2018): «Analyse des Schweizerischen Energieerbrauchs 2000 – 2017 nach Verwendungszwecken. Bern

Bundesamt für Energie (2018): “Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor - Resultate 2017”. Bern

Bundesamt für Strassen ASTRA (2011): „Energiebericht zu den Nationalstrassen in Betrieb Jahresbericht 2011“. Bern

Bundesrat (ohne Jahr): „Stromverbrauch, Energieeffizienz und Fördermassnahmen im Bereich der Rechenzentren“. Bern

Bundesrat (2013): “Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 13.3186 von Nationalrat Maier Thomas vom 21. März 2013”. Bern.

Deutsche Energie Agentur DENA (Hrsg.) (2010): “Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025”. Berlin.

Deutsche Energieagentur DENA (Hrsg.) (2019): “Mehr Flexibilität durch Lastmanagement”. URL: https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/flexibilitaet-und-speicher/demand-side-management/. [24.4.2019]

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln e.V. EWI (Hrsg.) (2012): “Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign: im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums”. Köln

Federal Energy Regulatory Commission (USA) (2006): “Assessment of Demand Response and Advanced Metering: Staff Report”. Washington DC.

Imboden et al. (2016): „Teilnahme industrieller Regelleistungs-Anbieter am Schweizer SDL-Markt - Technische und wirtschaftliche Opportunitäten, Bewertungsmethodik“. Horw

Küng, Lukas; Felder, Rolf (2006): „Verschiedene Notstromanlagen im Vergleich“. VSE-Bulletin (15).

Langrock, T.; Achner, S.; Jungbluth, C.; Marambio, C.; Michels, A.; Weinhard, P. et al. (2015): “Potentiale regelbarer Lasten in einem Energieversorgungssystem mit wachsendem Anteil erneuerbarer Energien”. Aachen

Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16.12.1985 in der Fassung vom 16.04.2019

Möst, Dominik (2014): “Energiewende Sachsen – Aktuelle Herausforderungen und Lösungsansätze. Beiträge der Abschlusskonferenz des ENERSAX-Projektes”. Dresde

National Grid ESO (2019): “Future of balancing services”. URL: https://www.nationalgrideso.com/insights/future-balancing-services [25.4.2019]

National Grid ESO (2019): “Power Resonsive - a short guide to how your business can profit from Demand Side Response”. URL: http://powerresponsive.com/wp-content/uploads/2019/04/Power-Responsive-Guide-Updated-2019.pdf. [25.4.2019]

Nolde, Andreas (2018): “Digitalisierung der Energiewende: Flexibilisierung der Stromversorgung –Weiterentwicklung der Netzregulierung”. Vortrag auf einer Tagung an der TU Berlin am 07.06.2018.

Notter, Benedikt; Graf, Cornelia (2016): „Emissionsinventar stationäre Motoren und Gasturbinen. Standbericht 2014“. Bern

Pilotprojekt Demand Side Management Bayern (2019): “Verbreitung von Demand Side Management”. URL: http://www.dsm-bayern.de/dsm/was-ist-demand-side-management/verbreitung-von-demand-side-management/ [24.4.2019]

PJM (2017): “Reliability Pricing Model”. URL: https://www.pjm.com/-/media/about-pjm/newsroom/fact-sheets/reliability-pricing-model-fact-sheet.ashx?la=en [25.4.2019].

Stadler, Ingo (2005): “Nichtelektrischer Speicher für Elektrizitätsversorgungssysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien”. Habilitation. Kassel

Steurer, Martin (2017): “Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung”. Dissertation. Stuttgart

Slingerland et al (2014): “The Balance of Power–Flexibility Options for the Dutch Electricity Market”. URL: http://trinomics.eu/wp-content/uploads/2015/06/The-Balance-of-Power-—-Flexibility-Options-for-the-Dutch-Electricity-Market-final-report.pdf [25.4.2019]

Swissgrid (Hrsg.) (2018): „Balancing Roadmal Schweiz“. Aarau

Terna (2019): “Zuweisungsergebnisse Kontinentzeitraum 1. Januar bis 31. Dezember 2019”. URL: http://download.terna.it/terna/0000/1165/43.PDF [25.4.2019]

Torriti et al (2010): “Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation”. Ohne Ort

Anhang 1: Fragebogen EVU-Onlineumfrage

Allgemeine Beschreibung des Unternehmens

Strom :
- Netzabsatz Strom (GWh/a):
- Von Dritten gelieferte Strommengen (GWh/a):
- Einspeisung im Verteilnetz (GWh/a):
- Netzhöchstlast Strom (MW):

Weitere Sparten des Unternehmens:
Gas: ☐ Wasser: ☐ Wärme: ☐ Telekommunikation: ☐
Sonstige:

Haben Sie sich bereits mit Demand Side Management oder mit der Bewirtschaftung von Flexibilitäten befasst?
Ja: ☐ Nein: ☐

Informationen zum Stromabsatz

Struktur der Kunden (Netzsicht)

Segment	Anzahl	davon: Haus-halte (Anzahl)	Absatz (GWh)	davon: Haushalte (Absatz in GWh)
< 5‘000 kWh				
< 10‘000 kWh				
< 50‘000 kWh				
< 100‘000 kWh				
< 1‘000‘000 kWh				
> 1‘000‘000 kWh				

Technische Aspekte und Tarife

Rundsteueranlagen
- Anzahl Kunden mit Rundsteueranlage:
- Davon Anzahl Kunden mit sperrbarem Verbrauch:
- Verbrauch der Kunden mit Rundsteueranlage (GWh):
- Davon Kunden mit sperrbarem Verbrauch (GWh):

Flexible Tarife
- Verfügen Sie über HT/NT-Tarife hinaus über „flexible Tarife“, d.h. über Tarife für Kunden, deren Lastverhalten Sie beeinflussen können?
  Ja: ☐ Nein: ☐

Flexibilitätspotential

Bewirtschaftung der Flexibilitäten durch Ihr EVU heute
- Werden Flexibilitäten in Ihrem Netz **heute** von Ihnen bewirtschaftet?
  Ja: ☐ Nein: ☐

- Planen Sie die Flexibilitäten in Ihrem Netz **in Zukunft** zu bewirtschaften?
  Ja: ☐ Nein: ☐

Wenn Sie die Flexibilitäten in Ihrem Netz heute nicht bewirtschaften, überspringen Sie bitte die nachfolgenden Fragen 4.3.1 bis 4.3.5.

- Bewirtschaften Sie Flexibilitäten bei ihren grossen Endverbrauchern, d.h. bei Endverbrauchern mit mehr als 100‘000 kWh-Stromverbrauch pro Jahr?
  Ja: ☐ Nein: ☐
  - Wenn Ja, wieviel GWh pro Jahr?
  - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Bewirtschaften Sie Flexibilitäten bei ihren Gewerbebetrieben und Dienstleistungsunternehmen mit weniger als 100‘000 kWh-Stromverbrauch?
  Ja: ☐ Nein: ☐
  - Wenn Ja, wieviel GWh pro Jahr?
  - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Bewirtschaften Sie Flexibilitäten bei Haushalten?
  Ja: ☐ Nein: ☐
  - Wenn Ja, wieviel GWh pro Jahr?
  - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Bewirtschaften Sie Flexibilitäten im Verkehrssektor (Elektromobilität)?
  Ja: ☐ Nein: ☐
  - Wenn Ja, wieviel GWh pro Jahr?
  - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Bewirtschaften Sie Flexibilitäten im Bereich Wasserversorgung?
  Ja: ☐ Nein: ☐
  - Wenn Ja, wieviel GWh pro Jahr?
  - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

Schätzungen zu den Flexibilitäts-Potentialen in Ihrem Netzgebiet

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet bei den grossen Endverbrauchern, d.h. bei Endverbrauchern mit mehr als 100‘000 kWh-Stromverbrauch pro Jahr?

    - Wieviel GWh pro Jahr?
    - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet bei Gewerbebetrieben und Dienstleistungsunternehmen mit weniger als 100‘000 kWh-Stromverbrauch?
    - Wieviel GWh pro Jahr?
    - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet bei Haushalten?
    - Wieviel GWh pro Jahr?
    - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet für stationäre Batterien bei Endverbrauchern?
    - Wieviel GWh pro Jahr?

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet im Verkehrssektor (Elektromobiliät)?
    - Wieviel GWh pro Jahr?
    - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

- Wie schätzen Sie das Flexibilitätspotential in Ihrem Netzgebiet bei der Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung bzw. Abwasserbehandlung?
    - Wieviel GWh pro Jahr?
    - Art der flexiblen Anlagen:

- Beschreibung von Art und Umfang der Flexibilitätsbewirtschaftung, z. B. Dauer Verschiebung, Häufigkeit, Saisonalität:

Bewirtschaftung der Flexibilitäten durch Dritte heute

- Werden Flexibilitäten in Ihrem Netz von Dritten bewirtschaftet (bspw. durch Regelenergiepooling)?
  Ja: ☐ Nein: ☐

Art der von Ihnen oder von Dritten bewirtschafteten Flexibilitäten (z.B. Wärmepumpen):

- Flexibilitäten bei Haushalten, inkl. Kleingewerbe (ggf. schätzen)

    - Heutige Anzahl Haushalte mit Elektroboiler:
    - Wenn keine Daten vorhanden, bitte schätzen:

- Heutige Anzahl Haushalte mit Wärmepumpenboiler
    - Wenn keine Daten vorhanden, bitte schätzen:

- Heutige Anzahl Haushalte mit elektrischer Widerstandsheizung:
    - Wenn keine Daten vorhanden, bitte schätzen:

- Heutige Anzahl Haushalte mit Wärmepumpe:
    - Wenn keine Daten vorhanden, bitte schätzen:

- Heutige Anzahl Haushalte mit WKK:
    - Wenn keine Daten vorhanden, bitte schätzen:

- Sonstige Flexibilitäten in Haushalten (Beschreibung und Anzahl):

Wie schätzen Sie die zukünftige Situation ein:

- Werden die steuerbaren Flexibilitäten bei Haushalten eher
  zunehmen ☐ gleich bleiben ☐ abnehmen ☐

Hemmnisse für die Nutzung vorhandener oder weiterer Flexibilitäten bei Haushalten und Verkehr

- Heutige Anzahl öffentlicher Ladesäulen:
- Heutige Anzahl privater Ladesäulen:
- Heutige Anzahl Elektromobile im Netz (Autos):
- Sonstige typische Flexibilitäten im Verkehrsbereich (Beschreibung und Anzahl):
- Notstromaggregate:
- Anzahl Notstromgeneratoren im Netz:
- Installierte Leistung Notstromgeneratoren im Netz:

Anhang 2: Auswertung EVU-Umfrage

Struktur der Antworten

Zu Erhebung und Verifizierung von Daten wurde eine Umfrage bei Schweizer Energieversorgern (EVU) durchgeführt. Insgesamt wurden 26 EVU angeschrieben, die einerseits verschiedenen Grössenklassen (gemessen am Netzabsatz), andererseits verschiedenen Grossregionen angehören. Das Bundesamt für Energie hat die Unternehmen per Brief vorinformiert, die Erhebung erfolgte durch B E T mittels eines ausführlichen Online-Fragebogens. In der zweiten Hälfte des Fragebogens wurde gefragt, ob die EVU in gewissen Verbraucherkategorien Flexibilitäten aktiv bewirtschaften. Fällt die Antwort negativ auf, so verkürzt sich der Fragebogen entsprechend und es fielen dann nicht für jede Frage genauso viele Antworten an wie EVU teilgenommen haben.

Insgesamt haben 6 Unternehmen den Fragenbogen komplett ausgefüllt, was einer Rücklaufquote von 23% entspricht. Ein EVU hat die Umfrage begonnen, aber nicht beendet. Von den Grossregionen sind Zürich und die Genferseeregion nicht vertreten.

Im Fragebogen konnten bei gewissen Frage freie Antworten angegeben werden. Dies werden in diesem Abschnitt im Original wiedergegeben und sind darum unbearbeitet.

	Grossregion	**Grösse**
EVU 1	Espace Mittelland	gross
EVU 2	Tessin	gross
EVU 3	Ostschweiz	klein
EVU 4	Zentralschweiz	gross
EVU 5	Nordwestschweiz	mittel
EVU 6	Nordwestschweiz	klein

Von den sechs befragten Unternehmen haben sich fünf bereits mit dem Thema Demand Side Management befasst und bewirtschaften Flexibilitäten in ihrem Netz. Vier der sechs Unternehmen bieten heute abgesehen von HT-/NT bereits flexible Tarife an, um deren Lastverhalten beeinflussen zu können.

Auswertung heutige Flexibilität pro Kategorie

<u>Flexibilität von Grossverbrauchern (> 100‘000 kWh)</u>
Zwei der Teilnehmer bewirtschaften Flexibilität von Grossverbrauchern in der Höhe von 0.5 resp. 2 GWh/a, wobei einer „industrielle Anwendungen“ als Art der Anlagen genannt hat. Ein Unternehmen gab an, dass Flexibilität vor allem am Markt für Sekundär- und Tertiärregelleistung angeboten wird, es dabei zu wenigen Abrufen von kurzer Dauer (5-60 min) komme. Das andere erläuterte, dass tägliche Ausschaltungen während den Spitzenlastzeiten im Netz vorkämen, damit eine Verteilung der Einschaltzeiten für eine ausgeglichene Lastverteilung im Netz sorge.

Flexibilität von Gewerbebetrieben und Dienstleistungsunternehmen (<100‘000 kWh)

Im Monopolbereich ist es einfacher, Flexibilität zu bewirtschaften. Fünf EVU sind in diesem Bereich aktiv und bewirtschaften von 2 bis 80 GWh/a pro Jahr (geschätzte Werte). Dabei handelt es sich um Anwendungen wie Boilerheizungen, Wärmepumpen, Elektrische Heizungen, Kälteanlagen und Grossbäckereien. Folgende Arten wurden beschrieben:

- Boilersteuerung einmal pro Nacht, Wärmepumpe zweimal pro Tag für je 2h
- Minuten Blöcke mehrmals täglich, Stunden Blöcke täglich
- Tägliche Ausschaltungen während den Spitzenlastzeiten im Netz resp. Verteilung der Einschaltzeiten für eine ausgeglichene Lastverteilung im Netz
- Tägliche Freigabe/Sperrung zu bestimmten Zeiten mit Entschädigung über günstigeren Tarif
- Betrieb einer automatischen Laststeuerung, momentan nur zur Spitzenlastregulierung

Flexibilitäten bei Haushalten

Auch bei der Kategorie „Haushalt“ bewirtschaften fünf EVU die Flexibilitäten. Entsprechend den Grössenunterschieden der jeweiligen EVU werden von 4 bis 500 GWh/a (geschätzte Werte) bewirtschaftet. Analog der obigen Kategorie werden ebenfalls Heizungs- und Warmwassertechnologien gesteuert (Wärmepumpen, Boiler, elektrische Heizungen, Speicherheizungen etc.). Art und Umfang wurde genauso wie Gewerbebetrieben und Dienstleistungsunternehmen (<100‘000 kWh) beschrieben. Dies bedeutet, dass zwischen diesen beiden Kategorien bei der Flexibilitätsbewirtschaftung keinen Unterschied gemacht wird.

Flexibilität von stationären Batterien

Von den befragten Unternehmen ist in dieser Kategorie keines aktiv.

Flexibilität im Verkehrssektor (Elektromobilität)

Zwei EVU steuern in dieser Kategorie Ladestationen. Insgesamt sind es 30 resp. 100 Kunden. Es werden dabei aber nur geringen Mengen (0.01 resp. 0.005 GWh) verschoben. Einerseits besteht für das EVU die Möglichkeit zur automatischen oder manuellen Regulierung sowie ein dazu redundantes Lastmanagement. Andererseits wurde eine Notfallsteuerung „zugunsten der Versorgungssicherheit“ eingebaut.

Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung

Ein EVU bewirtschaftet ein Trinkwasserkraftwerk und ein Abwasserkraftwerk. Näheres wurde leider aber nicht beschrieben.

Auswertung zukünftiges Flexibilitätspotential

Flexibilität von Grossverbrauchern (> 100‘000 kWh)

	Heutiges Potential GWh/a	Zukünftiges Potential GWh/a	Zukünftige Zahl der Verbraucher
EVU 1	0.5	13	-
EVU 2		50	130
EVU 3	2	0.5	5
EVU 4		10	30
EVU 5		0.5	10

EVU 6		1	3

Einige der EVU gehen davon aus, auch künftig mit denselben Massnahmen Flexibilität zu bewirtschaften wie heute. Ein EVU gab an, künftig die dynamische Nutzung nach Netzbelastung respektive Energieverfügbarkeit zu bewirtschaften. Ein anderes EVU stellte fest, dass das lokale Gewerbe immer weniger bereit sei, Flexibilitäten zur Verfügung zu stellen. Ein anderes EVU prüft derzeit ob Flexibilitäten, insbesondere mit dem Rollout von Smartmetern genutzt werden können. Dabei gäbe es viele mögliche Usecases zu berücksichtigen: Lastmanagement, Batteriespeicher bei Kunden mit bivalenter Nutzung, Blindenenergiekompensation, Teilnahme am Regelenergiemarkt etc.

Flexibilität von Gewerbebetrieben und Dienstleistungsunternehmen (<100‘000 kWh)

	Heutiges Potential GWh/a	Zukünftiges Potential GWh/a	Zukünftige Zahl der Verbraucher
EVU 1	2	5	
EVU 2	80	80	10‘000
EVU 3	2	1	20
EVU 4	5	10	200
EVU 5	-	1	100
EVU 6	-	0.1	4

Flexibilität bei Haushalten

Die Teilnehmenden EVU sind sich uneins, ob bei der Kategorie Haushalte die steuerbaren Flexibilitäten eher zu- oder abnehmen werden. Auf die drei Antwortmöglichkeiten „zunehmen“, „gleichbleiben“ und „abnehmen“ entfielen je zwei Antworten.

Hemmnisse bei der Nutzung wurden dementsprechend einigen angegeben:

- Restriktive Vorschriften, begrenzte Entschädigungen, übermässige Bürokratie
- Das grösste Problem besteht darin, dass die Eigentümer seit der Revision des Energiegesetzes neu schriftlich einwilligen müssen, dass Flexibilitäten in ihren Haushalten gesteuert oder gemanagt werden dürfen. Die dazu nötigen Aufwendungen mit sehr vielen vorgängig nötigen Abklärungen und Verträgen zwischen Eigentümern und dem VNB sowie die Gefahr einer sehr grossen Unzufriedenheit bei den Eigentümern, sollte es zu einem Systemausfall kommen verhindern, erschweren eine Zunahme bei der zukünftigen Steuerung von Flexibilitäten. Lösungen dafür bilden aus meiner Sicht eine flexible Tarifstruktur sowie die Digitalisierung mit dem IoT.
- Komplexe Administration, respektive gesetzliche Vorgaben mit "Opt-In" und Entschädigungsthematik
- Vermehrte Integration von Wärmepumpen und Warmwassererzeugung in eigenes EMS
- Weniger elektrische Lasten, da Widerstandsheizungen und Boiler durch effizientere Lösungen ersetzt werden
- Die finanziellen Anreize für eine Veränderung der bestehenden Installationen sind zu gering. Die Stromrechnung ist im Vergleich zu anderen Haushaltsbudgetpositionen tief. Die wenigsten

Haushalte sind einerseits bereit, Komforteinbussen oder Einschränkungen beim Strombezug zu akzeptieren und andrerseits ohne grossen Druck Änderungen vorzunehmen. Was bei einer Erstinstallation wie z. B. Wärmepumpen ohne grossen Aufwand an DSM umgesetzt werden kann, wird heute schon gemacht, wie dies auch beim Einbau von Elektroboilern mit der Rundsteuerung geschehen ist. Bei Letzteren sinkt jedoch durch Ersatz mittels Wärmepumpenboiler der Stromverbrauch massiv und somit auch das verschiebbare, optimierbare Energiepotential.

- Eine Nachrüstung von Sensoren und Steuerelementen lohnt sich finanziell in vielen Fällen nicht (hier bieten allenfalls Smartmeter, die diese Funktionalitäten schon aufweisen, Möglichkeiten).
- Bei Neuinstallationen, wie insbesondere Ladesäulen- und Boxen für die E-Mobilität sieht dies hingegen anders aus, da hier ein Lastmanagement effektiv massive Mehrkosten (Netzanschlussausbau) verhindern können.

	Heutiges Potential GWh/a	Zukünftiges Potential GWh/a	Zukünftige Zahl der Verbraucher
EVU 1	50	66	
EVU 2	200	200	30‘000
EVU 3	4	1	200
EVU 4	40	40	25’000
EVU 5	-	10	2500
EVU 6	-	-	-

<u>Flexibilität bei stationären Batterien</u>

	Zukünftiges Potential GWh/a	Zukünftige Zahl der Verbraucher
EVU 1	0.3	300
EVU 2	6.5	1'300
EVU 3	0.045	40
EVU 4	25	100
EVU 5	0	0
EVU 6	-	-

Während sich zwar aktuell noch kein EVU mit diesem Potential befasst hat, wird das Potential jedoch anerkannt. Das Potential wird wie folgt beschrieben:

- Verschiebungen innerhalb des Tages. Da es sich hauptsächlich um Solarbatterien handelt, bezieht sich Flexibilität vor allem auf den Zeitpunkt der Ausspeicherung.
- Minuten Blöcke mehrmals täglich; Stunden Blöcke täglich; vor allem im Sommer

- Hier liegt das Potential vor allem bei den Haushalten mit Eigenverbrauchsanlagen und den dazugehörigen PV-Anlagen; Lastmanagement durch Eigenverbrauch.
- Eigenverbrauchsoptimierung durch Prosumer. Dynamisch – Witterungsabhängig
- Batterien werden sich erst durchsetzen, wenn sie wirtschaftlich betrieben werden können. Momentan ist dies nicht absehbar.
- Grundsätzlich kommt es darauf an, für welchen Anwendungsfall die Batterie eingesetzt werden soll. Eine Batterie ist kein Verbraucher, sondern dient der Speicherung (Bezug und Abgabe) von elektrischer Energie. Sollten die Grenzkosten von elektrochemischen Batterien drastisch sinken und die Speicherung von Energie günstiger als bei Alternativen werden, resp. die Nachfrage nach gespeicherter Energie, Regelenergie, Lastspitzenmanagement etc. steigen, werden entsprechend Batteriekapazitäten aufgebaut.

Flexibilität im Verkehr (Elektromobilität)

Bei der Nutzung des Potentials werden einige Hemmnisse und Hindernisse genannt:

- Öffentliche Ladestationen sind nur bedingt als Flexibilitäten einsetzbar. Wenn der Nutzer an eine öffentliche Station fährt, will er sofort mit maximaler Leistung laden. Hier geht es um Schnelligkeit und Zeit. Im Heimbereich oder am Arbeitsplatz, oder überall dort, wo das Auto mehrere Stunden steht, kann das E-Auto als Flexibilität genutzt werden. Es muss aber sichergestellt werden, dass das Auto zu einer bestimmten Zeit (z. B. morgens um 7.00 Uhr) vollgeladen ist.
- Bidirektionales Laden ist heute noch nicht möglich, wird aber in Zukunft sicher möglich sein. Die Flexibilitäten können heute also nur durch ein gesteuertes Laden erreicht werden, aber nicht durch ein gesteuerter Entladen der Batterie.
- Bedenken der Nutzer, ob Auto am nächsten Tag wirklich geladen ist. Was ist, wenn man doch plötzlich spontan am Abend noch los muss, und das Auto nicht geladen ist? Nutzer möchte immer 100% flexibel bleiben und sich in seiner Mobilität nicht einschränken.
- Dauer der Ladung und Notwendigkeit schwer abzuschätzen
- Das Netz der Ladestationen und die Ladezeiten
- Nutzungseinschränkungen durch Kunden
- Der Kunde erwartet, dass er sein Fahrzeug dann laden kann, wenn er es will bzw. einsteckt.
- Marktdurchdringung noch zu klein
- Intelligente Gesamtsysteme sind erst im Entstehen und Standardisierung von Ladestationen noch nicht sichergestellt.
- Bidirektionales Laden/Entladen bei praktisch keinem heutigen EV vorgesehen. Somit können diese nicht wie stationäre Batterien genutzt werden.
- Wirtschaftlicher Nutzen der Flexibilität zu Flexibilitätseinschränkung
- Private Nutzer wollen möglichst wenige Fremdeingriffe (bspw. durch VNB), Auto ist in CH meist Privatsache

Flexibilitätspotentiale in Ihrem Netzgebiet - Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung

Die teilnehmenden EVU haben die Fragen zu dieser Kategorie nicht ergiebig beantwortet.

Bewirtschaftung der Flexibilitäten durch Dritte heute

Vier der sechs EVU gaben an, dass Flexibilitäten in ihrem Netz durch Dritte bewirtschaftet werden. Dabei handelt es sich um Wärmepumpen, Batterien, PV-Anlagen, Notstromgruppen sowie eine Kirchenheizung. Bei zwei der sechs EVU ist nicht bekannt, dass Flexibilitäten durch Dritte bewirtschaftet werden.

Anhang 3: Interviewleitfaden Verbände

- Abgleich und Verifizierung der typischen Produktions- und Querschnittsprozesse in der Branche anhand der Vorrecherche B E T
- Welche wesentlichen Kernprozesse verbrauchen am meisten elektrische Energie in ihrer Branche?

Wesentliche Kernprozesse	Art / Funktionsweise	Anzahl Unternehmen, bei denen dieser Prozess vorhanden ist	Anteil Gesamtstromverbrauch (%)

Welche Querschnittsfunktionen sind für Ihre Branche relevant:

Wesentliche Kernprozesse	Art / Funktionsweise	Anzahl Unternehmen, bei denen dieser Prozess vorhanden ist	Anteil Gesamtstromverbrauch (%)

Beispielfragen:

- Gibt es den Bedarf in Ihrer Branche, bei Einsatz elektrischer Energie Produkte, Rohstoffe, Halbfertigerzeugnisse oder Gebäude etc. zu kühlen / zu erwärmen?
- Wo wird in der Branche Druckluft eingesetzt, was über kleine Kompressoren hinausgeht?
- Wird in ihrer Branche irgendwo durch Einsatz von Pumpen, Fördereinrichtungen (Förderbänder etc.) Material von einem Ort / Niveau auf einen anderen umgelagert, wobei eine Speicherung vorhanden ist?
- Werden in Ihrer Branche bereits Möglichkeiten zur Flexibilisierung von elektrischen Verbrauchern genutzt resp. sind bekannt?
- Ist in den wesentlichen Prozessen / Querschnittsfunktion Flexibilitätspotential vorhanden? Wenn ja, welches?

Prozess / Querschnittsfunktion	Leistung (min.)	Leistung (max.)	Schaltbare Leistung	Schaltbare Häufigkeit	Zeitrestriktionen	Aktivierungsdauer	Verschiebedauer	Speicherfähigkeit	Vorankündigungszeiten	Investitionskosten

- Zukünftige Entwicklung: Welche Prozesse werden wichtiger / unwichtiger? Welche technologischen Fortschritte können erwartet werden?
- Was sind die Hemmnisse zur Nutzung vorhandener oder weiterer Flexibilitäten (Nennung oder kurze Beschreibung)?

Anhang 4: Interviewleitfaden Unternehmen

- Abgleich und Verifizierung der typischen Produktions- und Querschnittsprozesse des Unternehmens anhand der Vorrecherche B E T resp. der Angaben des Verbandes (wenn vorhanden)
- Welche wesentlichen Kernprozesse verbrauchen am meisten elektrische Energie in ihrem Unternehmen?

Wesentliche Kern-prozesse		Anteil Gesamt-stromverbrauch (%)	Art / Funktionsweise

Kernpro-zess	Methode A		Methode B			Methode C	
	Anzahl Anlagen / Verbrei-tung	Typische Leistung (kW)	Produkti-onskapa-zität	spezifi-scher Stromver-brauch (kWh)	Nichtver-fügbar-keitsfak-tor (h)	Verbrauch (kWh/a)	Benut-zungs-stunden (h/a)

- (Auswahl der Methode A und damit der Abfrage durch B E T)
- Welche Querschnittsprozesse sind für Ihrem Unternehmen relevant?

Querschnittsprozesse	Anteil Gesamtstromver-brauch (%)	Art / Funktionsweise

Prozess	Methode A		Methode B			Methode C	
	Anzahl Anlagen / Verbrei-tung	Typische Leistung (kW)	Produkti-onskapa-zität	spezifi-scher Stromver-brauch (kWh)	Nichtver-fügbar-keitsfak-tor (h)	Verbrauch (kWh/a)	Benut-zungs-stunden (h/a)

(Auswahl der Methode A und damit der Abfrage durch B E T)

- Werden in Ihrem Unternehmen bereits Möglichkeiten zur Flexibilisierung von elektrischen Verbrauchern genutzt resp. sind bekannt?

– Ist den wesentlichen Prozessen / Querschnittsfunktion Flexibilitätspotential vorhanden? Wenn ja, welches?

Prozess / Quer-schnitts-funktion	Leis-tung (min.)	Leis-tung (max.)	Schalt-bare Leis-tung	Schalt-bare Häu-figkeit	Zeit-rest-riktio-nen	Akti-vie-rungs-dauer	Ver-schie-be-dauer	Speicher-fähig-keit	Voran-kündi-gungs-zeiten	Inves-titi-ons-kos-ten

– Betrieben Sie ein Notstromaggregat?
– Zukünftige Entwicklung: Welche Prozesse werden wichtiger / unwichtiger? Welche technologischen Fortschritte können erwartet werden?
– Was sind die Hemmnisse zur Nutzung vorhandener oder weiterer Flexibilitäten (Nennung oder kurze Beschreibung):

Anhang 5: Zusammenfassung der Verbands- und Unternehmensumfrage

Nachfolgend finden sich inhaltliche Zusammenfassungen (Transskripte) von telefonischen Interviews, welche mit verschiedenen Ansprechpartnern Mitte März bis Anfang April durchgeführt wurden.
Insgesamt verfügen die angefragten Betriebe und Verbände nur vereinzelt über belastbare Aussagen zu den vorhandenen Flexibilitäten, da bislang keine Anreize bestanden, diese systematisch zu erfassen, um sie zu bewirtschaften.

Im Vordergrund steht vor allem bei den energieintensiven Unternehmen zunächst die Steigerung der Gesamtenergieeffizienz, bzw. die Senkung des Gesamtenergieverbrauchs und die Senkung des CO2-Ausstosses sowie die Optimierung der Prozesse. Grossverbraucher mit Zielvereinbarungen versuchen primär Jahresenergieverbräuche zu minimieren. Die Fähigkeit zur Lastverschiebung ist unter diesem Aspekt dabei nicht relevant.

Belastbare Aussagen für verschiedene Sparten und Branchen erfordern wegen der Heterogenität jeweils vertiefte Abklärungen, idealerweise mit Mitwirkung der jeweiligen Verbände.
Wie mit den Ansprechpartnern vereinbart, werden sie nicht namentlich genannt, und das Unternehmen wird ebenfalls anonymisiert.

Detailhandelsunternehmen
(Energieexperte, Einzelhandels-Unternehmen, 27. März 2019)

Den grössten Energieverbraucher stellt der Transport von Lebensmitteln und Waren dar. Dieser erfolgt über Dieselfahrzeuge. Längerfristig ist eine Umstellung auf Strom und/oder Wasserstoff angedacht. Zurzeit werden entsprechende Tests durchgeführt. Vor allem bei einem zukünftigen Einsatz von Elektrofahrzeugen wird der Strombedarf erheblich steigen, aber gleichzeitig wird durch die Batterien ein gewisses Flexibilisierungspotential geschaffen.

In den Filialen stellen die Backöfen, die Klimaanlagen und die Kühlanlagen für Lebensmittel die grössten Stromverbraucher dar. Der Stromverbrauch steigt im Tagesverlauf an. Abends und in der Nacht ist der Stromverbrauch am geringsten. Die Kühlung der Lebensmittel befindet sich auf dem absolut erforderlichen Mindestmass. Am Morgen werden die Backöfen in Betrieb genommen, welche eine Lastspitze bewirken. Dann steigt im Laufe des Tages der Kühlbedarf wegen dem Temperaturanstieg und weil durch die Entnahme von Lebensmitteln durch die Kunden jeweils Kälte entweicht und nachgeführt werden muss. Die Tageslastkurve kann deshalb ideal durch Photovoltaikanlagen abgedeckt werden, entsprechend werden diese überall wo möglich auf den Flachdächern der Filialen installiert.

In den Filialen wird durch das Ziel der höchstmöglichen Energieeffizienz und absoluter Einhaltung der Lebensmittelvorschriften kaum Flexibilitätspotential ausgemacht. Beispielsweise müssen die Lebensmittel strengen Vorgaben genügen und in einem engen Toleranzband von 0-2 Grad konstant gekühlt werden und der Betrieb der Backöfen richtet sich nach den Öffnungszeiten und der Kundennachfrage.

Die Unternehmung verfügt neben den Filialen über drei grosse, zentrale Kühlhäuser. Bei diesen gibt es ein gewisses Flexibilisierungspotential, welches allerdings wegen mangelnder tariflicher Anreize bis jetzt weder systematisch erhoben noch genutzt wurde. Sollten allerdings sowohl die Netznutzungsentgelte dynamischer ausgestaltet werden und das Energiepreisniveau sowie die Energiepreisvolatilität zunehmen, dann könnten Batterien eingesetzt werden zur Optimierung der Strombeschaffung unter Berücksichtigung der eigenen Produktion aus Photovoltaikanlagen. Darin wird insgesamt ein gewisses

Flexibilisierungspotential gesehen. Bei einer Verstärkung der Leistungskomponente zulasten der Arbeitskomponente bei den Netznutzungsentgelten könnte sich die Anschaffung von Batterien ebenfalls auszahlen.

Gas-, Wasser- und Wärmeversorgung
(Mitarbeiter Branchenverband, 1. April 2019)

Bei der Gasversorgung kann Strom bei der Verdichtung des Gases auf eine höhere Druckstufe und bei der Expansion des Gases auf eine niedere Stufe eine Rolle spielen. In wenigen Fällen wird für die Druckreduktion eine Expansionsturbine zur Stromerzeugung eingesetzt. Gas weist natürlicherweise eine gewisse Flexibilität auf, da Gas ein komprimierbares Medium ist und das Gassystem über eine gewisse Speicherfähigkeit (Gasdruck, Speicher wie Druckröhrenspeicher) verfügt. Zu den einzelnen Flexibilitätspotentialen bezüglich Strom konnten keine konkreten Angaben gemacht werden, da sie nicht im Einzelnen erhoben wurden.

(Mitarbeiter Branchenverband, 25. April 2019 (Interview und E-Mail-Verkehr))

Bei der Fernwärme spielen elektrische Gebläse und Pumpen im Vergleich zur Energie, die für die Wärmeerzeugung (z. B. Holzschnitzel, Biomasse) genutzt werden eine untergeordnete Rolle, bergen jedoch in Einzelfällen ein gewisses Flexibilisierungspotential. Bei der Produktion von Biogas gibt es ebenfalls ein gewisses Flexibilisierungspotential, je nach Grösse der Gärungs-/Gasspeicher. Insgesamt kam aber bislang dem Thema Flexibilisierungspotential im Vergleich zur Gesamtenergieeffizienzsteigerung eine untergeordnete Bedeutung zu. Dies ist insbesondere bei den Abwasserreinigungsanlagen der Fall.

Der befragte Experte stützt sich bei der Trinkwasserversorgung mehrheitlich auf die Studie «Potential der Schweizer Infrastrukturanlagen zur Lastverschiebung», BFE, Juni 2019. Die Trinkwasserversorgung braucht in der Schweiz rund 415 GWh Strom. Davon entfallen rund 85% auf die Förderung von Seewasser, Grundwasser und 20% des Quellwassers, weitere 10% auf die Desinfektion mit UV-Licht und die restlichen 5% auf die Filtration.

Der Pumpvorgang kann nur mit Einschränkungen flexibilisiert werden. Einerseits muss das Wasser in den Reservoirs aus hygienischen Gründen in einem bestimmten Zeitraum durch frisches ersetzt werden, andererseits kann der Pumpvorgang nicht beliebig unterbrochen werden, denn nur eine gewisse Stetigkeit beim Pumpen kann sicherstellen, dass stets frisches Wasser aus dem Grundwasservorrat angesogen wird. Bislang wurde vielerorts vor allem nachts gepumpt, wegen den dann vorherrschenden Niedertarifen. Dynamischere Tarife können wegen den erwähnten Auflagen an die Pumpen nur eingeschränkt genutzt werden. D.h. der Energieverbrauch der in der Schweiz installierten 340 Pumpen über 300 kW mit einer typischen Leistung von 500 kW kann nur zu einem geringen Teil verschoben werden. In Zukunft wird sich daran nichts Wesentliches ändern, jedoch werden die Pumpen immer effizienter, im Gegenzug nimmt jedoch die Reinigung (UV-Desinfektion und Filtrierung) eher etwas zu.

Zementherstellung
(Energie-Experten der Zementindustrie, 27. März 2019)

In der Schweiz gibt es sechs Zementwerke von unterschiedlicher Grösse, die gemessen an ihrer Wertschöpfung vergleichsweise viel Energie benötigen. Die Flexibilisierungspotentiale im Strombereich wurden bislang noch wenig ausgeleuchtet und werden zurzeit auch nicht systematisch bewirtschaftet, insbesondere wegen fehlender tariflicher Anreize. Dazu kommt, dass Zement sehr empfindlich auf Wasser reagiert und nur begrenzt lagerbar ist. Zudem ist die Lagerung sehr teuer, da spezielle Lagerstätten

gebaut werden müssen. Entsprechend ist es schwierig aus der Lagerung heraus Flexibilisierungspotentiale zu erhalten.

Die Steigerung der Energieeffizienz und die Senkung des CO2-Ausstosses (rund 5% des schweizerischen Ausstosses an CO2 durch Zementherstellung) steht bei den Zementwerken im Vordergrund, denn die Energiekosten sind enorm. Bei den Mühlen zur Zementherstellung wird ein gewisses Flexibilisierungspotential geortet, allerdings sind die Verschiebemöglichkeiten durch Lärmvorschriften (Nachtruhe) und Lagermöglichkeiten beschränkt. Speziell im Sommer, wenn die Bautätigkeit am höchsten ist, muss die stete Lieferfähigkeit aufrecht erhalten bleiben. Insgesamt ist die Zementindustrie bemüht, den Energieverbrauch und den CO2-Ausstoss weiter zu senken und ist stetig dabei, Prozesse weiter zu optimieren. Diesen Bemühungen stehen der Nutzung der Flexibilität in der Regel entgegen, denn optimale, effiziente Prozesse sind eher mit stetigem Betrieb im optimalen Produktionsbereich zu erreichen. Bislang gab es auch keine Anreize, die Flexibilitäten zu bewirtschaften. Werden diese bspw. durch entsprechende Tarife geschaffen, wird die Zementindustrie diese prüfen, denn jede Möglichkeit, die Kosten weiter zu senken ist willkommen. Die Zementindustrie steht unter hohem internationalem Wettbewerbsdruck. Entsprechend ist die stete Lieferbereitschaft von grösster Wichtigkeit und darf nicht aufs Spiel gesetzt werden.

Abwasserreinigungsanlagen (ARAs)
(Fachingenieur aus dem Bereich Abwassertechnologie, 18. März 2019)

Bei den Abwasserreinigungsanlagen wird der grösste Teil der Energie für die biologische Reinigung des Wassers gebraucht. Daneben wird elektrische Energie für Pumpen, die mechanische Reinigung und die Belüftung gebraucht, sowie die Schlammbehandlung. Insgesamt ist die Abwasserreinigung sehr energieintensiv, umgekehrt wird mit der Gasherstellung in den Faultürmen auch Energie produziert. Mit diesen verfügen die ARAs über eine gewisse Flexibilität im Strombereich, wie die Studien (vgl. Regelpooling mit Infrastrukturanlagen Wasserversorgungen und Abwasserreinigungsanlagen, BFE, Dezember 2017) gezeigt haben. Beim Energieeinsatz spielt die Witterung eine Rolle und beeinflusst den Strombedarf erheblich. Z. B. beeinflussen starke Trockenheit oder intensive Regenfälle die Pumptätigkeit massgeblich, was die Flexibilitätsnutzung weiter einschränkt.

Maschinen-/Anlagenbau
(Energieexperte Maschinenbauunternehmen, 25. März 2019)

Die Messung und feinere Erfassung des Stromverbrauchs befindet sich in diesem spezifischen Industriebetrieb erst im Aufbau.

Es wird im Schichtbetrieb produziert und es werden 15.3 GWh Strom pro Jahr gebraucht, wovon rund 60% für den Produktionsprozess anfallen. Daneben wird elektrische Energie für die Bürogebäude, die Lagerhaltung und für Versuchsanlagen benötigt. Geheizt wird mit fossilen und erneuerbaren Energien. Eine zentrale Druckluftanlage braucht rund 4% des Stroms und läuft rund um die Uhr während 365 Tagen im Jahr, da die Druckluft für den Schichtbetrieb benötigt wird. Der Fabrikationsprozess erfordert zudem Bäder für die Oberflächenbehandlung, die stets geheizt sein müssen. Entsprechend dem Schichtbetrieb wird Strom benötigt und als Band über Ausschreibungen für einen fixen Tarif für jede Stunde im Jahr beschafft. Damit allfälliges Flexibilitätspotential ausgenutzt würde, müssten die Differenzen in den Stromtarifen enorm sein, denn die Stillstandzeiten sind wegen dennoch weiter anfallenden Personalkosten im Vergleich sehr hoch. In Zukunft wird der Stromverbrauch in der Tendenz eher zunehmen, da mehr Robotik eingesetzt wird. Dadurch wird aber das Flexibilitätspotential kaum steigen, denn der Produktionsprozess dürfte weiter kontinuierlich und in Schicht erfolgen.

Giessereien
(Energieexperte Giessereibetrieb, 1. April 2019)

Die etwa 50 Giessereien in der Schweiz sind sehr heterogen. So gibt es ganz kleine, spezialisierte Giessereien, bspw. für Kirchturmglocken bis zu ganz grossen mit mehreren hundert Mitarbeiter, die für den internationalen Markt produzieren. Naturgemäss braucht der Schmelzvorgang am meisten Energie, gefolgt von den Prozessen Glühen, Beschichtung und weiteren Nachfolgeprozessen. Die Produktion der Giessereien ist starken konjunkturellen Zyklen unterworfen, dabei ist auch die Einführung von Kurzarbeit und Betriebsstillstand möglich. Da die Giessereien viel Energie verbrauchen, steht dieser bei allen im Fokus von Effizienzsteigerungen. Die grossen Giessereien verfügen zudem über Zielvereinbarungen, um ihre Effizienzfortschritte zu überwachen. Es wird von den Experten ein gewisses Flexibilisierungspotential vermutet, bspw. auch bei Querschnittsprozessen wie der Druckluftaufbereitung. Auch könnten – je nach Auftragsgrösse und vorhandenem Lagerplatz – Teile auf Vorrat produziert werden, dabei stehen Massenteile für den Bau oder die Automobilindustrie im Vordergrund. Bislang wurde jedoch das Flexiblisierungspotential noch nicht systematisch untersucht, nicht zuletzt wegen fehlenden tariflichen Anreizen.

Stahlwerk
(Energieexperte Stahlwerk, 26. März 2019)

Rund zwei Drittel der elektrischen Energie wird in diesem Stahlwerk in der Schmelzerei verwendet, wo Schrott mit einem Elektrolichtbogenofen geschmolzen wird, um flüssigen Stahl zu erhalten. Der Rest des Verbrauchs wird auf die anderen Prozesse und Dienstleistungen aufgeteilt. Alle Werke, ausser einem Walzwerk, arbeiten 24 Std. pro Tag mit zwei grossen Unterbrechungen im Jahr, eine davon im Sommer (3 Wochen) und eine im Winter (3 Wochen). Wenn rund um die Uhr produziert wird, können die Stromverbräuche normalerweise nicht verschoben oder auf eine bestimmte Zeit konzentriert werden. Die einzige Möglichkeit, Flexibilität zu nutzen, besteht darin, den Betrieb einer Anlage einzustellen und die Produktion zu verlieren und die einzige dafür geeignete Anlage ist der Elektrolichtbogenofen.

Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bedingungen werden aus technischer Sicht in diesem Stahlwerk zwei mögliche Optionen gesehen:
1. Stopp für max. zwei Stunden mit einer Vorankündigung von einer Stunde
2. Stopp für 5-10 Minuten, ohne Vorankündigung

In Anbetracht der Tatsache, dass beide Optionen zu Produktionsausfällen und anderen Effekten wie bspw. insgesamt Steigerung des Stromverbrauchs oder zur Zunahme technischer Risiken führen, kann diese Art von Flexibilität nicht häufig angeboten werden (max. zwei bis viermal im Monat) und muss angemessen vergütet werden, um alle Verluste und Risiken abzudecken. Diese Art von Flexibilität wird bereits in Italien und Frankreich dem Netzbetreiber angeboten. Die Handhabung der Flexibilitätspotentiale dieser beiden Länder müssten nach Angaben des Stahlwerks bei der Ausarbeitung von Bedingungen für die Lastverschiebung als Vorlage dienen.

Papier- und Kartonherstellung
(Energieexperte Papierfabrik, 25. März 2019)

Die Papierproduktion erfolgt in diesem spezifischen Werk im Schichtbetrieb rund um die Uhr und sieben Tage die Woche, entsprechend müssen auch Querschnittsfunktionen wie Druckluft rund um die Uhr zur

Verfügung stehen. Der Gesamtverbrauch beträgt 72 GWh pro Jahr, wovon weit über 90% für den eigentlichen Herstellungsprozess benötigt werden. Das mögliche Lastmanagement wird entsprechend als sehr gering eingeschätzt, teilweise lässt sich der Produktionsprozess aber im Viertelstundenbereich verschieben, beispielsweise um Spitzen zu vermeiden. Bei volatileren Strompreisen oder dynamischeren Netznutzungsentgelten würde man versuchen das technische Potential der möglichen Lastverschiebung zu heben, sofern es sich rechnet und man würde zusätzlich mit darauf abgestimmten Strombeschaffungsstrategien reagieren.

Landwirtschaft
(Mitarbeiter Branchenverband, 1. April 2019)

Der Fragebogen konnte nicht ausgefüllt werden, zu heterogen sind die Mitglieder des Verbandes und zu detailliert die geforderten Angaben. Der Bauernverband selber verfügt nicht über detaillierte Erhebungen. Nichtsdestotrotz konnten einige Aussagen zum Flexibilisierungspotential gemacht werden.

Grundsätzlich benötigen bei der Viehzucht die Melkanlagen der Bauern jeweils am Morgen und am Abend am meisten Strom. Hier sind keine grossen Verschiebungen möglich. Weiter braucht die Milch eine konstante Kühlung, auch hier wird aus hygienischen Gründen wenig Verschiebungspotential gesehen. In der Tendenz werden zunehmend Melkroboter bei Stallneubauten oder Sanierungen eingesetzt. Das bedeutet, dass der Strombezug weniger Spitzen am Morgen und am Abend aufweist verursacht durch das Melken, da die Kühe ihrem natürlichen Trieb folgen und sich zunehmend auch untertags melken lassen. Bei der Hühner- und Schweinezucht stellen die Lüftungen grosse Stromverbraucher dar und weise keine Flexibilität auf, sondern werden nach Bedarf benötigt. Auch die Heubelüftung ist ein namhafter Stromverbraucher. Dieser wird aber nach Bedarf eingesetzt und weist wenig Flexibilität auf.

Beim Gemüseanbau spielt vor allem die Wärmeerzeugung eine Rolle, welche aber über andere Energieträger erfolgt.

Insgesamt spielt das Thema Energieeffizienz und Eigenerzeugung bei den Bauern und dem Bauernverband eine grosse Rolle (vgl. bspw. https://www.agrocleantech.ch/de/), allerdings wurde das Thema Flexibilisierungspotential noch nicht systematisch untersucht oder dazu Daten erhoben.

Anhang 6: Berechnungen des exemplarischen Erschliessungsaufwands

Die nachfolgende Kostenschätzung bezieht sich einerseits auf die Dissertation von Steurer sowie auf eigene Schätzungen von B E T, insbesondere für die Verkabelung der Aktoren und Sensoren.

Objekt	Hersteller / Typ	Anzahl	Preis €	Total €	Total € x 1.14	Aufgerundet CHF
Einfamilienhaus						
SPS/LAN Gateway	Tixi Data Gateway LAN SD	1	588	588	670.32	800
Adapter für 6 Sensoren, 3 Aktoren	geschätzt	9	90	810	923.4	1200
Verkabeln	2er Team, 1 Tag, inkl. Material					2500
Inbetriebnahme	1 Inbetriebnehmer, 1/2 Tag					800
Total CHF						**5300**
Landwirtschaft						
SPS/LAN Gateway	Tixi Data Gateway LAN SD	1	588	588	670.32	800
Diverse Adapter für 8 Sensoren / 4 Aktoren		12	90	1080	1231.2	1600
Verkabeln	2er Team, 2 Tage, inkl. Material					5000
Inbetriebnahme	1 Inbetriebnehmer, 1/2 Tag	1	500	500	570	800
Total CHF						**8200**
Industrie, bestehende SPS						
Gateway		1	248	248	282.72	400
Umprogrammieren vorhandener SPS		1	1525	1525	1738.5	3000
Zusätzliche Aktoren		4	90	360	410.4	550
4-Kanal Ausgangsklemme	Wago 4-Kanal-Analogausgangsklemme	2	195	390	444.6	570
Verkabeln	2er Team, 1 Tag, inkl. Material					2500
Inbetriebnahme	1 Inbetriebnehmer, 1 Tag	1	1150	1150	1311	1500
Total CHF						**8520**

Objekt	Hersteller / Typ	Anzahl	Preis €	Total €	Total € x 1.14	Aufgerundet CHF
grösseres KMU, ohne bestehende SPS						
Gateway		1	248	248	282.72	400
Automationsstation/Zentraleinheit	Controller ETHERNET; 3. Generation	1	801	801	913.14	568
4-Kanal Ausgangsklemme	Wago 4-Kanal-Analogausgangsklemme	6	195	1170	1333.8	1710
Diverse Adapter für 8 Sensoren / 4 Aktoren		12	90	1080	1231.2	1600
Verkabeln	2er Team, 2 Tage, inkl. Material					5000
Inbetriebnahme	1 Inbetriebnehmer, 1 Tag	1	1150	1150	1311	1500
Total CHF						**10778**

Anhang 7: Exkurs Notstromaggregate

Notstromaggregate gehören streng genommen nicht zum DSM, da sie allenfalls in der Lage sind, ein zusätzliches Potential in der (fossilen) Stromerzeugung bereit zu stellen. Auf Wunsch des Auftraggebers werden die Aggregate hier diskutiert, da sie eine dezentrale Flexibilitätsquelle darstellen können. Im Jahr 2014 waren rund 3000 Anlagen ohne Abwärmenutzung in der Schweiz installiert[116]. Notstromaggregate können mobil oder fest installiert sein. Aus Gründen der Verfügbarkeit für die Anwendungszwecke können an dieser Stelle nur fest installierte Einheiten qualitativ beurteilt werden. Sie lassen sich finden z. B. in Data-Centern, Kühlanlagen, oder in kritischer Infrastruktur wie z. B. in Flughäfen oder Zivilschutzanlagen. Theoretisches Potential kann durchaus zur Verfügung stehen, ebenfalls ist technisches Potential denkbar, welches zudem kaum zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Das technische Potential ist aber regelmässig dadurch begrenzt, dass die Brennstoffbevorratung und Brennstoffbewirtschaftung nicht auf hohe Benutzungsstunden ausgelegt ist. Zudem ist die Luftreinhalteverordnung gültig, nach der Anlagen ohne Abwärmenutzung maximal 50 Stunden pro Jahr betrieben werden dürfen[117].

Die Anlagen können üblicherweise nicht unmittelbar in Betrieb genommen werden. Allenfalls dann, wenn sie dauerhaft vorgewärmt sind, können sie innerhalb von Minuten ihre Leistung erbringen[118]. Auch kann es Aufgrund der Umweltschutzrichtlinien in Verbindung mit den technischen Restriktionen ist nur punktuelles Potential vorhanden, welches z. B. für die Anwendungszwecke Regelenergiemarkt (im Pool), Steuerung Eigenverbrauch genutzt werden könnte.

---

[116] Vgl.: Notter, Benedikt; Graf, Cornelia (2016): „Emissionsinventar stationäre Motoren und Gasturbinen. Standbericht 2014“. Bern, S. 8

[117] Vgl.: Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16.12.1985 in der Fassung vom 16.04.2019

[118] Vgl. weiterführend: Küng, Lukas; Felder, Rolf (2006): „Verschiedene Notstromanlagen im Vergleich“. VSE-Bulletin (15). S. 16 ff.