Elektrische Flexibilitäten

Welches Potential bieten elektrische Flexibilitäten wie DSM, V2G, Freileitungsmonitoring und mit welcher Wahrscheinlichkeit können sie zukünftig genutzt werden?

Hochschule Flensburg, Reiner Lemoine Institut, DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme e. V.

30. September 2020

Ablauf

1. Keynote-Vortrag: Flexibilitätsoptionen — Ein Überblick
2. Flexibilitäten aus dem Bereich E-Mobilität
3. Demand Side Management
4. Freileitungsmonitoring
5. Abschließende Diskussion

Flexibilitäten aus dem Bereich E-Mobilität

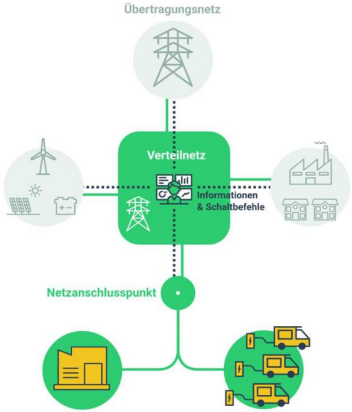
Tim Röpcke
Reiner Lemoine Institut

Agenda

- Zielstellung/Motivation
- Ladestrategien
- Netzseitiges Lastmanagement
- Vehicle-to-Grid

Zielstellung - Motivation

Im Zuge der zunehmenden, volatilen Einspeisung Erneuerbarer Energien wird die Nutzung von Flexibilität für das Stromnetz immer wichtiger.



- Elektromobilität stellt für das Netz neue Herausforderungen aber auch Chancen dar.
- Jedes Elektrofahrzeug ist ein möglicher Speicher für das Netz.

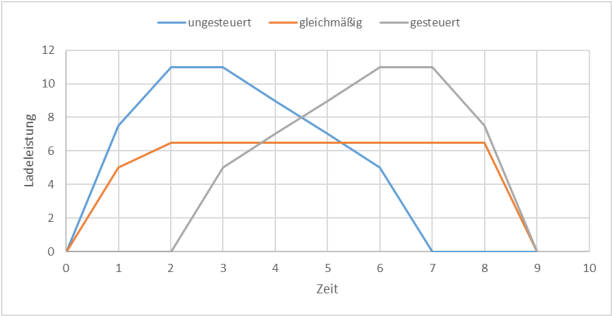
Fragestellung:

Wie können diese mobilen Speicher **netzdienlich** eingesetzt werden und welches **Potenzial** lässt sich abschätzen?

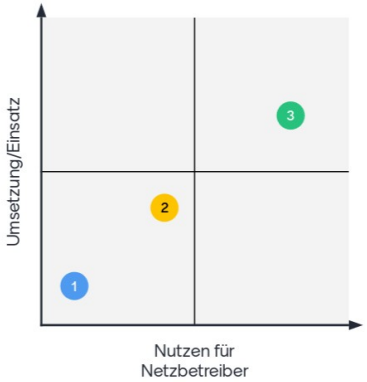
Ladestrategien

Es lassen sich verschiedene Ladestrategien unterschieden, die unterschiedliche Auswirkungen auf das Netz haben:

1. Laden **ungesteuert** – sofortige Ladung des Autos nach Anstecken mit max. möglicher Ladeleistung
2. Laden über die Standzeit **gleichmäßig** verteilt – Auto lädt mit minimal möglicher Leistung, um zum Ende der Standzeit den maximalen SoC zu erreichen
3. Laden **gesteuert** – Netzbetreiber gibt Ladezeitpunkt vor und das Lademanagement regelt entsprechend die Ladeleistung



Wo sehen Sie die Ladestrategien in der Umsetzung und ihrem Nutzen für das Netz?



1. Ungesteuertes Laden
2. Verteiltes Laden
3. Gesteuertes Laden

Netzseitiges Lastmanagement

Motivation für ein netzseitiges Lastmanagement:

- Reduktion von Netzengpässen und teuren Redispatch-Maßnahmen durch Anpassung der Last an die Einspeisung
- Verminderung von Überlastungen des Stromnetzes durch intelligente Planung
- Schnellere Handlungsfähigkeit im Vergleich zum Netzausbau
- Vermeidung höherer volkswirtschaftlicher Gesamtkosten im Vergleich zum reinen Netzausbau
- Wirtschaftliche Vorteile für Stromkundendurch die Nutzung von Anreizsystemen
- Schnelleres Erreichen von Klima – und Umweltzielen durch Förderung der Elektromobilität

https://netz-elog.de/wp-content/uploads/2020/05/Netz_eLOG-Workshop1-Ergebnispapier_final.pdf

Netzseitiges Lastmanagement

Varianten des Lastmanagements:

1. **Lokal** – Kunden steuern selbst, um ihre maximale Leistung zu begrenzen und damit die Kosten zu beeinflussen
2. **Netzdienlich** nach §14a EnWG (Niederspannung) oder §19 Absatz 2 StromNEV (Hoch-und Mittelspannung) – Kunde und Netzbetreiber vereinbaren die Leistung temporär zu begrenzen,um Netzengpässe zu reduzieren und einen schnelleren Netzanschluss bei niedrigeren Kosten zu ermöglichen.
3. **Marktorientiert** zur Vermarktung von Flexibilität (z.B. durch Aggregatoren) bzw. zur Nutzung günstigerer Strompreise.

Die Möglichkeit der Netzbetreiber nach §13, bzw. §14EnWG im Systemnotfall eingreifen zu können, bleibt dabei von den verschiedenen Varianten des Lastmanagements unberührt.

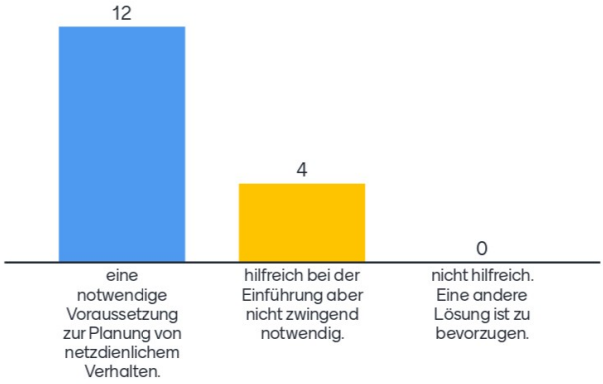
https://netz-elog.de/wp-content/uploads/2020/05/Netz_eLOG-Workshop1-Ergebnispapier_final.pdf

Netzseitiges Lastmanagement

Anforderungen:

- Technische Fähigkeit zur netzseitigen Steuerung als Standard
- Gewährleistung von Einsatz und Bereitschaft der Fahrzeuge zu jeder Zeit
- Schaffen von Anreizen

Die Einführung eines technischen Standards zur netzseitigen Steuerung von E-Pkw ist...



Welche anderen notwendigen Voraussetzungen sehen Sie, damit Elektrofahrzeuge netzdienlich eingesetzt werden können?

Rechtliche Grundlage	steuerbarkeit	Regulatorischen Rahmen
Zeitvariable Netzentgelte	Erfassbarkeit von Ladepunkten	Anreiz
Rechtliche RegulierungBidirektionales Laden	Rentabilität für EV Besitzer und EVSE Betreiber	Anreiz

16

Welche anderen notwendigen Voraussetzungen sehen Sie, damit Elektrofahrzeuge netzdienlich eingesetzt werden können?

Wirtschaftliche, dynamische Anreize

Kosten und Nutzen Steuerungstechnik

Anreizsystem

Auswirkung auf Fzg Batterie minimieren

Verbindlichkeit e Fahrzeug zum Zeitpunkt x zur Verfügung zu stellen damit der Vermarkter planen kann

Markttransparenz, Anreize,

Rechtlicher Rahmen

16

Vehicle-to-Grid

Begriffsklärung:
Vehicle-to-Grid (V2G) beschreibt die **bidirektionale** Integration von Elektroautos an das elektrische Versorgungsnetz. Dabei ist sowohl das Laden von E-Autos, als auch das bedarfsorientierte Rückeinspeisen in das Versorgungsnetz möglich.

Technische Voraussetzungen:

- Ladestandard **CHAdeMO** (japanischer Ladestandard)
  - Lade- und Entladevorgänge mit Gleichstrom
  - Datenkommunikation zwischen Auto und Ladesäule
  - Zur Zeit hauptsächlich bei japanischen Elektrofahrzeugen (Nissan Leaf, etc.), Citroen und Peugeot genutzt

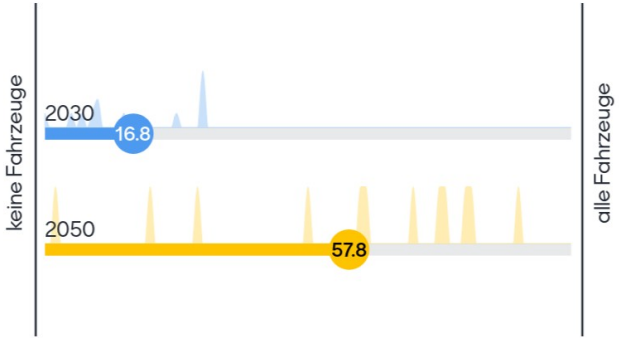
Vehicle-to-Grid

Notwendige **rechtlich**e Voraussetzungen für netzdienliche V2G-Anwendungen:
- V2G nur sinnvoll, wenn der im Fahrzeug gespeicherte Strom regenerativen Ursprungs ist
- Datenkommunikation zwischen Ladepunkt und Netzbetreiber

→ Bisher noch keine rechtliche Grundlage bei diesen Fragestellungen

Anwendungsfälle von V2G:
- Bereitstellung Systemdienstleistungen
  - Primärregelleistung schwer vorstellbar, da geforderte Mindestleistung 1 MW und Leistungsbereitstellung von 24h am Stück notwendig
- Optimierte Eigenstromversorgung mit Erneuerbaren Energien
  - Elektrischer Speicher für Heim-PV-Anlagen
- Peak-Shaving bei Großkunden

Welchen Anteil der elektrischen Pkw sehen Sie V2G-fähig?

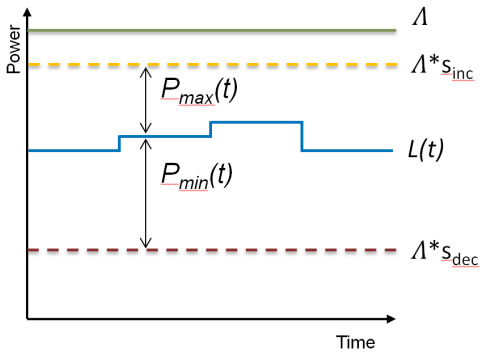


Demand Side Management

Ilka Cußmann
Hochschule Flensburg

Wilko Heitkötter
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),
Institut für Vernetzte Energiesysteme

DSM Modellkonzept - Leistung



Input DSM Potentialberechnung:
L(t) = geplante Last
Λ = installierte Leistung
s_{inc} bzw. s_{dec} = max. Anteil Lasterhöhung bzw. –absenkung

Output DSM Potentialberechnung:
$P_{max}(t)$ = maximale Lasterhöhung
$P_{min}(t)$ = maximale Lastabsenkung

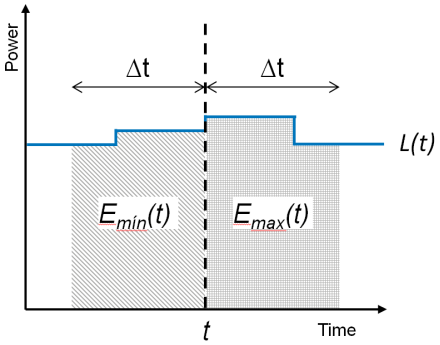
Definition Ladeleistung P(t):
$P(t) = R(t) - L(t)$
Mit R(t) = realisierte Last

Randbedingung für Optimierung:
$P_{min}(t) \leq P(t) \leq P_{max}(t)$

(P_{min} (t) als negativer Wert definiert)

Quelle: Heitkoetter, et al. (2020). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. arXiv preprint arXiv:2009.05122.

DSM Modellkonzept - Energie



Input DSM Potentialberechnung:
L(t) = geplante Last
Δt = maximaler Verschiebezeitraum

Output DSM Potentialberechnung:
$E_{max}(t)$ = maximale vorziehbare Energiemenge
$E_{min}(t)$ = maximale verzögerbare Energiemenge

Definition gespeicherte Energiemenge E(t):

$$E(t) = \int_0^t R(t) - L(t)\, dt$$

Randbedingung für Optimierung:
$E_{min}(t) \leq E(t) \leq E_{max}(t)$

($E_{\min}$ (t) als negativer Wert definiert)

Quelle: Heitkoetter, et al. (2020). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. arXiv preprint arXiv:2009.05122.

DSM Prozessparameter

Sector	Technology, c	Δt^c [h]	s^c_{util} [–]	s^c_{dec} [–]	s^c_{inc} [–]	s^c_{flex} [–]
Residential	Washing,drying	6[7]	0.01[14]	0.0025†	0.025†	0.4[14]
	Cooling,freezing	2[7]	0.33[10]	0[14]	1[14]	0.4[14]
CTS	Cooling,ventilation,AC	1[7]	0.67[7]	0[14]	1[14]	0.5[14]
Industry	Air separation	4[10]	0.86[14]	0.4[14]	0.95[14]	0.3[10]
	Cement	4[10]	0.65[14]	0[14]	0.95¶	0.61[14]
	Pulp	2[10]	0.83[14]	0[14]	0.95[14]	0.7[14]
	Paper	3[7]	0.86[14]	0[14]	0.95[14]	0.15[14]
	Recycled paper	3[7]	0.85[14]	0[14]	0.95[14]	0.7[14]
	Cooling	2[7]	0.67[7]	0.5[7]	0.9[7]	0.63[14]
	Ventilation	1[7]	0.8[7]	0.5[7]	1[7]	0.5[14]
PtH	Process heat (ind)	3¶	0.8¶	0.2¶	0.95¶	0.5¶
	Heat pumps (res)	3[14]	0.22[23]	0[14]	0.75[14]	0.4[14]
	Resistive sh. (res)	12[7]	0.22[23]	0[14]	0.75[14]	0.4[14]
	Resistive dhw. (res)	12[7]	0.03[7]	0[14]	0.17[14]	0.25[12]
	PtH in district heating	12§	0.22[23]	0§	0.95¶	0.4§
	Heat pumps (cts)	3[14]	0.22[23]	0[14]	0.75[14]	0.4[14]
PtG	Power-to-methane	24[51]	0.23[50]	0¶	0.95¶	1*
	Power-to-hydrogen	24§§	0.44[50]	0¶	0.95¶	1*
E-mobility	E-mobility	5[13]	0.07[29,38]	0*	0.25*	1*

Technologieklassen im eGon Projekt abweichend; Beispiele aus : Heitkoetter, et al. (2020). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. arXiv preprint arXiv:2009.05122.

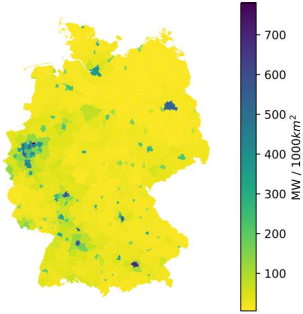
DSM Kosten für die Flexibilisierung

Sector	Technology, c	$c^c_{inv}[€/MW]$	$c^c_{fix}[€/MW/a]$	$c^c_{var}[€/MWh]$
Residential	Washing,drying	220000*:[13]	42000*:[13]	50[7]
	Cooling,freezing	220000*:[13]	42000*:[13]	50*:[7]
CTS	Cooling,ventilation,AC	10000[7]	300[7]	5[7]
Industry	Air separation	200[14]	100[14]	150[14]
	Cement	1500[14]	19100[14]	200[14]
	Pulp	2300[14]	2000[14]	250[14]
	Paper	2300[14]	2000[14]	200[14]
	Recycled paper	2300[14]	2000[14]	100[14]
	Cooling	5000[7]	150[7]	20[7]
	Ventilation	10000[7]	300[7]	5[7]
PtH	Process heat (ind)	3500¶	3600¶	100¶
	Heat pumps (res)	62000*:[13]	12000*:[13]	10*:[7]
	Resistive sh. (res)	39200*:[13]	7000*:[13]	10*:[7]
	Resistive dhw. (res)	155000*:[13]	29500*:[13]	10*:[7]
	PtH in district heating	200‡	100‡	10¶
	Heat pumps (cts)	20000*:[7]	600*:[7]	10*:[7]
PtG	Power-to-methane	200‡	100‡	150‡
	Power-to-hydrogen	200‡	100‡	150‡
E-mobility	E-mobility	84000*:[13]	16000*:[13]	10[7]

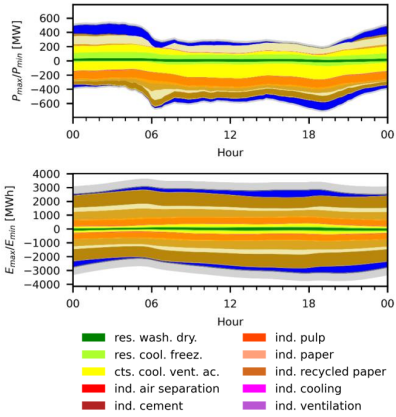
Technologieklassen im eGon Projekt abweichend; Beispiele aus: Heitkoetter, et al. (2020). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. arXiv preprint arXiv:2009.05122.

Beispielergebnisse DSM Potentiale

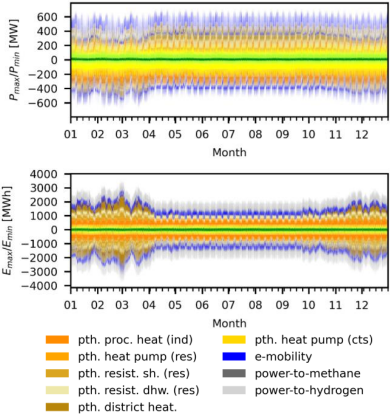
Potential Lasterhöhung P_{max} je Landkreis (Jahresdurchschnitt, 2030)



Zeitlicher Verlauf DSM-Potential (Wintertag, Berlin, 2030)



Zeitlicher Verlauf DSM-Potential (Berlin, 2030)



Technologieklassen im eGon Projekt abweichend; Beispiele aus : Heitkoetter, et al. (2020). Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset. arXiv preprint arXiv:2009.05122.

Auswahl DSM Potentiale für eGo^n

Unterscheidung verschiedener Arten von Lastmanagement/DSM basierend auf dem aktuellen Szenariorahmenentwurf der Übertragungsnetzbetreiber zum Netzentwicklungsplan Strom 2035

- Lastabschaltung
- Lastverschiebung
- Wechsel zu Eigenerzeugung

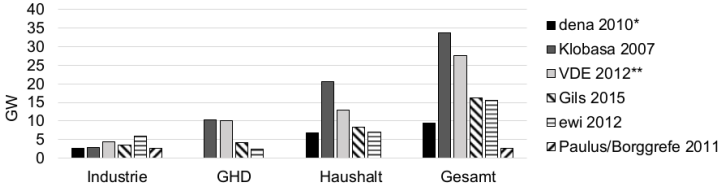
Auswahl DSM Potentiale für eGo^n

Unterscheidung verschiedener Arten von Lastmanagement/DSM basierend auf dem aktuellen Szenariorahmenentwurf der Übertragungsnetzbetreiber zum Netzentwicklungsplan Strom 2035

- ~~Lastabschaltung~~
- Lastverschiebung
- ~~Wechsel zu Eigenerzeugung~~

→ Ausschließliche Betrachtung von Lastverschiebung in unseren Modellen

Auswahl DSM-Potentiale nach Verbrauchssektoren



* dena 2010 weist ein positives und negatives Potential aus. In der Abbildung wird das Positive dargestellt.
** VDE unterscheidet in technisches und theoretisches Potential, das für Sommer und Winter ausgewiesen wird. Die Abbildung zeigt das technische Potential im Winter

Abbildung: DSM-Potential für Deutschland in verschiedenen Studien aus [3]

- Deutliche Unterschiede in der Potentialabschätzung für DSM
- Hebung der Potentiale ist je Verbrauchsektor unterschiedlich wahrscheinlich

→ In eGo^n Berücksichtigung von Lastverschiebepotentialen aus Industrie und GHD ohne konventionelle HH-Anwendungen

Datenquelle Industrie

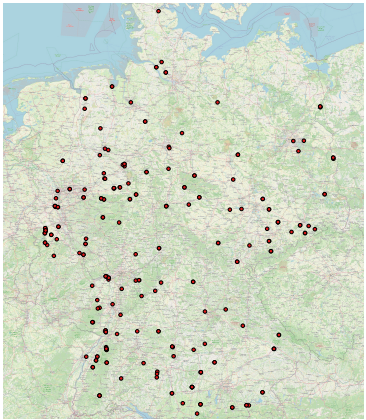


Abbildung: Geographische Verteilung Industriestandorte mit Lastverschiebepotential nach [4]

- Berücksichtigung spezifischer Industriestandorte aus den Sektoren:
  - Zementherstellung
  - Holzfaser- und Papierherstellung
  - Papierrecycling
  - Luftzerlegung
- Standortspezifische Daten aus [4]
- Eigene Recherche zur Georeferenzierung der Standorte

Datenquelle GHD

- DSM Potentiale ergeben sich in den Bereichen Belüftung, Klimatisierung und Kälteanwendungen
- Stromverbrauch GHD basierend auf Daten aus dem Projekt DemandRegio auf NUTS-3 Ebene
- Höhere geographische Verteilung auf Landuse-Flächen aus openstreetmap
- Bestimmung der lokalen Lastverschiebepotentiale nach Methoden aus [5]

Modellierung DSM

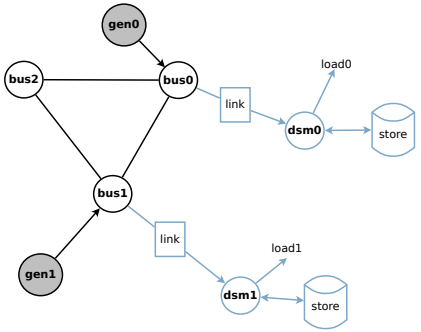


Abbildung: eigene Darstellung: Komponenten zur Modellierung von DSM

- Minimalbeispiel zur Abbildung von DSM in eTraGo/PyPSA
- Pro DSM-fähiger Last zusätzliche Link-, Bus- und Store-Komponente
- Link: p_max, p_min als maximale Lasterhöhung bzw. -absenkung
- Store: e_max, e_min als maximal vorziehbare bzw. verzögerbare Energiemenge
- Auswirkungen auf die Rechenzeit noch unklar

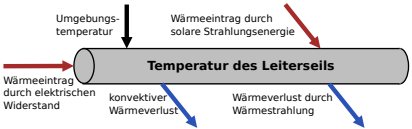
Freileitungsmonitoring

Clara Büttner
Hochschule Flensburg

Hintergrund

- Belastbarkeit elektrischer Leitungen u.a. abhängig von Temperatur der Leitung
- Im Fall von Freileitungen wiederum abhängig von der Witterung
- Normbedingungen:
  $\theta_U = 35°\text{C};\ v_w = 0,6\frac{m}{s};\ E = 900\frac{W}{m^2}$
- Berücksichtigung der witterungsabhängen Belastbarkeit von Freileitungen kann Übertragungskapazität erhöhen
- Je höher die Windgeschwindigkeit und geringer die Temperatur und solare Einstrahlung, desto höher die mögliche Auslastung

→ Gute Kombination mit Windenergieanlagen



Aktuelle Anwendung und zukünftige Potentiale

- Anwendung vor allem im Übertragungsnetz, da viele Freileitungen
- Mehr als 900 km Höchstspannungsleitungen im TenneT-Netz ermöglichen bereits FLM [2]
- Berücksichtigung in aktueller Netzausbauplanung der ÜNB (**NO**VA-Prinzip)
- Geringe Kosten im Vergleich zum Neubau von Leitungen
- Änderung in Netzbetrieb ohne große bauliche Veränderungen (Akzeptanz)
- Technische Entwicklungen und regulatorische Rahmenbedingungen vorhanden

→ Hohes Potential, insbesondere im Übertragungsnetz
→ Umsetzung wahrscheinlich, bereits begonnen

Geplante Umsetzung in eGo^n

Methodik aus *Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes* [1]

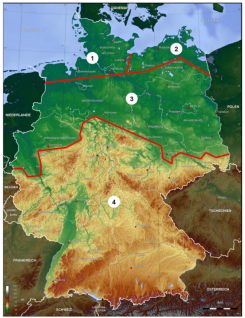
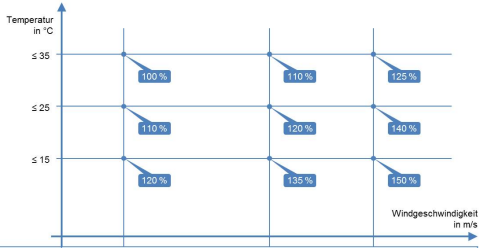


Abbildung: Einteilung in Zonen, Quelle: [1]



	schwach	mittel	stark
gemessen	< 4	≥ 4	≥ 6
berücksichtigt	**0,6**	**2**	**3**
Anströmwinkel in °	90	30	30

Abbildung: Auslastungen nach Witterungsbedingungenn, Quelle: [1]

Zusammenfassung und abschließende Diskussion

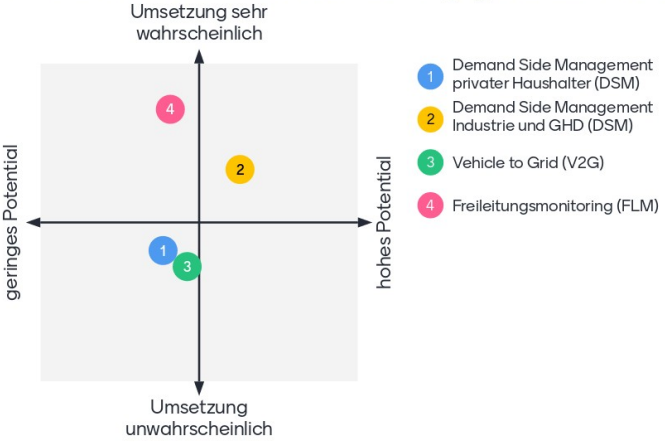
Welches Potential und Umsetzungswahrscheinlichkeit haben die folgenden elektrischen Flexibilitäten?

Demand Side Management bietet je nach Verbrauchssektor signifikante und bisher wenig genutzte Potentiale zur Lastverschiebung. Wir gehen von einer schnelleren Hebung der Potentiale in den Sektoren Industrie und GHD aus.

Vehicle to Grid ist im Bereich der Eigenstromversorgung in Kombination mit privaten PV-Anlagen schon heute einsetzbar. Für netzdienliche Anwendungen fehlen bisher die regulatorischen Rahmenbedingungen. Durch die zunehmende Elektrifizierung des Verkehrssektors ist ein Potential vorhanden.

Freileitungsmonitoring kann insbesondere im Übertragungsnetz Flexibilität bereitstellen. Technische und organisatorische Rahmenbedingungen sind vorhanden, mit der Umsetzung wurde bereits begonnen.

Welches Potential bieten DSM, V2G, FLM und mit welcher Wahrscheinlichkeit können sie zukünftig genutzt werden?



Diskussion I

- MH: Planungsaspekte - probabilistische Ansätze die gesicherte Flex. aufzeigen sind für Netzplanung relevant
- RK: V2G - nicht attraktiv für Privatpersonen, sondern Haushaltsspeicher kostengünstiger - sollte bei Szenarien berücksichtigt werden
- AH: Werden zukünftige Temperaturentwicklungen berücksichtigt?
  - Klimawandel wird nicht berücksichtigt; als Wetterjahr wird 2011 verwendet, was leicht überdurchschnittliche Temperaturen aufweist und für Temperaturentwicklungen bis 2011 evtl. schon ausreichend ist
- SW: Inwiefern kann eine räumliche höher aufgelöste Methodik zum FLM höhere Potentiale im Zieljahr 2050 bringen?
  - Prüfung mehrerer Methoden, bisheriger Anhaltspunkt: derzeitige Netzplanung, ggf. Sensitivität für 100% EE-Szenario

Diskussion II

- Einsatz von Flexibilitäten wird hauptsächlich lokal und kurzfristig gesehen, ebenso wie Chancen und Herausforderungen
- Größtes Potenzial aber auch größte Hürde wird bei netzdienlich gesteuertem Laden gesehen
- Für die Netzplanung sind gesicherte Erkenntnisse zu nutzbaren Flexibilitäten notwendig, wofür die Betrachtung eines Jahres nicht ausreichend ist, sondern probabilistische Betrachtungen notwendig sind.

Kontaktdaten

Ilka Cußmann
Hochschule Flensburg
+49 (0)461 805 3017
ilka.cussmann@hs-flensburg.de

Clara Büttner
Hochschule Flensburg
+49 (0)461 805 3008
clara.buettner@hs-flensburg.de

Tim Röpcke
Reiner Lemoine Institut
+49 (0)30 1208 434 31
Tim.Roepcke@rl-institut.de

Wilko Heitkötter
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Vernetzte Energiesysteme
+49 (0)441 99906 113
Wilko.Heitkoetter@dlr.de

Literaturverzeichnis I

[1] Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes
50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, Tennet TSO GmbH, TransnetBW GmbH; Stand Juli 2018

[2] Das deutsche Höchstspannungsnetz: Technologien und Rahmenbedingungen.
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); Juni 2014

[3] Demand Side Management in Deutschland zur Systemintegration erneuerbarer Energien
Ladwig, Theresa; Mai 2018

[4] Supplementary material to the masters thesis: NUTS-3 Regionalization of Industrial Load Shifting Potential in Germany using a Time-Resolved Model [Data set]. Zenodo.
Schmidt, Danielle; November 2019

Literaturverzeichnis II

[5] Assessment of the regionalised demand response potential in Germany using an open source tool and dataset
Heitkötter, et al.; September 2020