

Praktische Umsetzung eines Reallabors für ein dezentrales Lastmanagement-Konzept

Sonja Baumgartner^{1*}, Veronika Barta^{2*}, Stephanie Uhrig², Rolf Witzmann³

¹ LEW Verteilnetz GmbH, Schaezlerstr. 3, 86150 Augsburg, +49 821 328 1421, sonja.baumgartner@lew-verteilnetz.de, <https://www.lew-verteilnetz.de/lew-verteilnetz>

² HM Hochschule München, Lothstr. 64, 80335 München, +49 89 1265 4481, veronika.barta@hm.edu, <https://sites.hm.edu/ises>

³ Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München, +49 89 289 22004, rolf.witzmann@tum.de, <https://www.tum.de>

Kurzfassung: Für Verteilnetzbetreiber ist das Lastmanagement eine mögliche Alternative zum Netzausbau, die zusätzliche Flexibilität bietet, die Minimierung von Lastspitzen ermöglicht und somit die Effizienz des Netzes erhöhen kann. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird ein Konzept zum dezentralen Lastmanagement insbesondere für E-Mobilität, Wärmepumpen und elektrische Speicherheizungen entwickelt. Darüber hinaus soll es die Hardware der Tonfrequenz-Rundsteueranlagen und Schaltuhren ersetzen. Ziel ist die Optimierung des lokalen Netzzustandes durch Minimierung von Lastspitzen vor Ort, ohne dass eine hochzuverlässige Kommunikationstechnologie erforderlich ist. Das Konzept ermöglicht es flexible Lasten, ohne jegliche Kommunikation mit dem Netz mittels einer Fail-Save-Option zu steuern. Für die Umsetzung des Reallabors ist ein bestehender technischer als auch regulatorischer Rahmen einzuhalten. Die Umsetzung des dezentralen Lastmanagement-Konzepts wird bereits jetzt von gesetzlicher Basis durch den §14a EnWG in Deutschland ermöglicht. Dieser erlaubt Verteilnetzbetreibern die netzdienliche Steuerung steuerbarer Verbrauchseinrichtung zu reduzierten Netzentgelten. Die Vertragslandschaft deutscher Verteilnetzbetreiber zur Steuerung dieser Verbraucher ist sehr heterogen. Um den technischen und vertraglichen Rahmen für das Reallabors umsetzen zu können, sind die Typen steuerbarer Verbrauchseinrichtungen in sogenannten Flex-Clustern zusammengefasst.

Keywords: Dezentrales Lastmanagement, Reallabor, EnWG §14a

1 Motivation und Zielstellung des Reallabors

Die zunehmende Anzahl dezentraler Erzeugungsanlagen (DEA) sowie steuerbarer Verbrauchseinrichtungen (stVE), insbesondere der E-Mobilität, führt zu neuen Herausforderungen für den effizienten Betrieb der Energienetze. Eine Herausforderung ist die Überlagerung der schwer vorhersehbaren Einspeisung von DEA und dem Verbrauch von flexiblen Lasten. Speichersysteme können Verschiebungen in Teilen kompensieren. Es kann jedoch zu lokalen und zeitlichen Versorgungs- oder Lastspitzen kommen, wenn die flexiblen Lasten nicht bzw. durch Preissignale gesteuert werden. Die Verteilnetzbetreiber (VNBs) sind gesetzlich verpflichtet (§14 EnWG) einen sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb zu ermöglichen [1]. Für VNBs ist das Lastmanagement eine mögliche Alternative zum Netzausbau, die zusätzliche Flexibilität

bietet, die Minimierung von Lastspitzen ermöglicht und somit die Effizienz des Netzes erhöhen kann. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird ein Konzept zum dezentralen Lastmanagement insbesondere für E-Mobilität, Wärmepumpen und elektrische Speicherheizungen entwickelt. Darüber hinaus soll es die Hardware der Tonfrequenz-Rundsteueranlagen und Schaltuhren ersetzen. Ziel ist die Optimierung des lokalen Netzzustandes durch Minimierung von Lastspitzen vor Ort, ohne dass eine hochzuverlässige Kommunikationstechnologie erforderlich ist. Das Konzept ermöglicht es, flexible Verbraucher ohne jegliche Kommunikation mit dem Netz mittels einer Fail-Save-Option zu steuern. Eine reduzierte Kommunikationstechnologie minimiert die Kosten für den Datentransport. Der Ansatz wird für Kunden, VNBs und andere Teilnehmer kostengünstiger. [2]

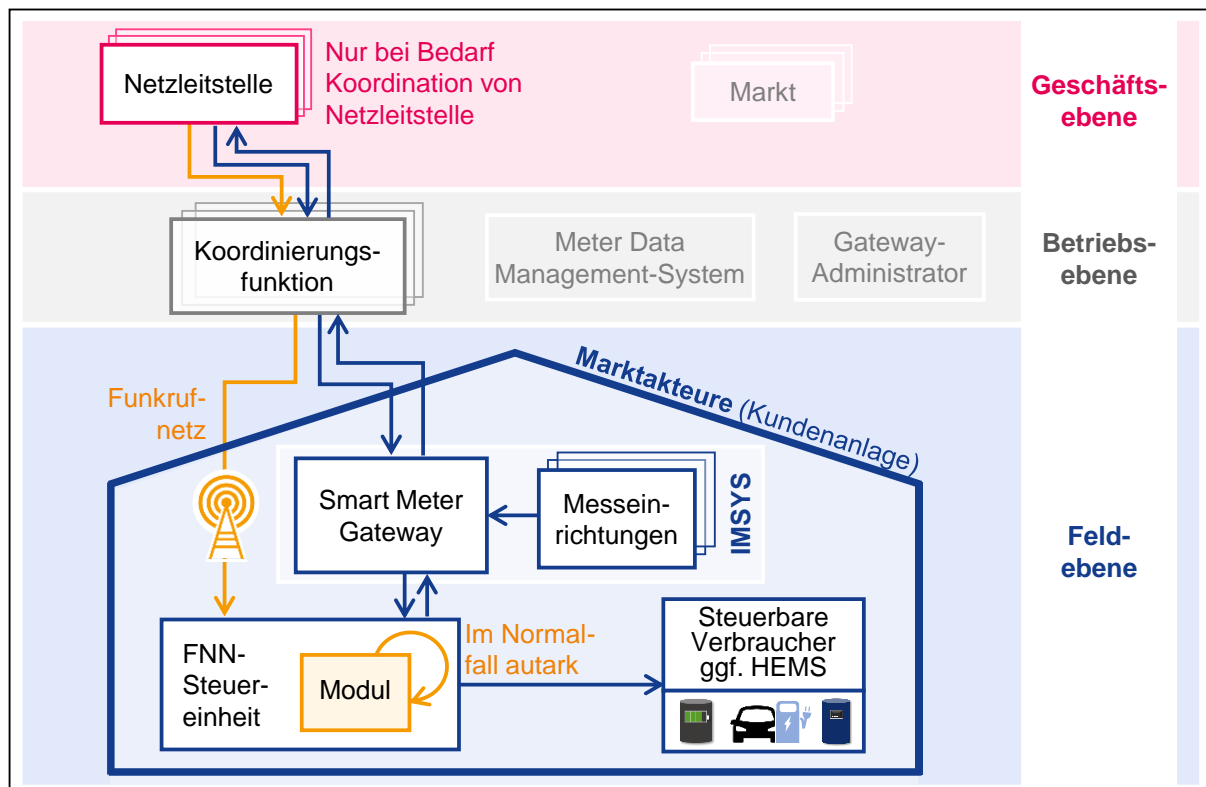


Abbildung 1: Konzeptbild nach VDE FNN [3].

Abbildung 1 zeigt das Konzept zum dezentralen Lastmanagement in Anlehnung an den VDE FNN [3]. Die Basis bildet die Feldebene mit den Kundenanlagen. Hier sind die steuerbaren Verbraucher über eine Steereinheit und ggf. dem intelligenten Messsystem (IMSYS) angeschlossen. Die Steuerbox ist eine kommerziell verfügbare, FNN konforme Steereinheit. Die Messtechnik und die intelligenten Steueralgorithmen werden in einem Zusatzmodul integriert. Das Zusatzmodul übermittelt die dezentral erstellten Fahrpläne an die Steereinheit. Die Feldebene kann über die Betriebs- von der Geschäftsebene gesteuert werden. Hierfür sind zwei Kommunikationswege möglich. Zum einen ermöglicht das Funkrufnetz einen unidirektionalen Steuerbefehl, zum anderen bildet das Intelligente Messsystem einen bidirektionalen Weg. Auf diese beiden Kommunikationswege wird nur bei Bedarf zurückgegriffen. Im Normalfall steuert die Steuerbox autark. Die im Rahmen des Gesamt-Konzepts entwickelten Module mit Steereinheiten werden in einem ländlichen und städtischen Niederspannungsnetz getestet, wobei bei der Umsetzung des Reallabors der bestehende technische als auch regulatorische Rahmen eingehalten werden.

2 Methodik

Das Reallabor setzt sich aus einer heterogenen gewachsenen Teilnehmer- und damit Verbraucherstruktur zusammen. Zu den unterschiedlichen technischen Voraussetzungen wird eine aktuelle Umsetzung des Reallabors durch die bestehende Vertragslandschaft geprägt. Daher ist neben den verschiedenen Vorbereitungsschritten für die technische Umsetzung die Betrachtung aktuell geltender regulatorischer Rahmenbedingungen notwendig.

2.1 Technische Rahmenbedingung für die Umsetzung eines Reallabors

Bei der Umsetzung eines Reallabors sind i.d.R. mehrere Stakeholder mit unterschiedlichen Interessen und Zielsetzungen beteiligt. In der beschriebenen Fallstudie dient das Reallabor dazu, das netzdienliche Potenzial eines dezentralen Lastmanagement-Konzepts mittels intelligenter Steuermodule zu ermitteln. Da es sich um ein Lastmanagement-Konzept handelt, sind zunächst die steuerbaren Verbrauchseinrichtungen der Fallstudie skizziert.

2.1.1 Definition von steuerbaren Verbrauchseinrichtung im Reallabor-Fallbeispiel

Im Gesetzesentwurf zu §3 Nummer 30a EnWG ist der Begriff „steuerbare Verbrauchseinrichtung“ definiert. Der Entwurf ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht verabschiedet, wird jedoch als Leitfaden für die Typen stVE herangezogen. Danach sind „Steuerbare Verbrauchseinrichtung - Ladepunkte für Elektromobile, Wärmepumpen, Nachtspeicherheizungen und Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie [...], die an ein Elektrizitätsversorgungsnetz der allgemeinen Versorgung angeschlossen sind und hieraus Elektrizität entnehmen können“ [4]. Der Begriff „Nachtspeicherheizung“ wird auf Basis des Positionspapiers des BDEW im Rahmen des Projekts durch „(elektrische) Speicherheizung“ ersetzt [5]. Des Weiteren werden auf Empfehlung des FNN Klimaanlage als Typ steuerbarer Verbraucher bei Bedarf mitberücksichtigt [6]. Die nachfolgende Tabelle 1 listet die Typen steuerbarer Verbraucher in Anlehnung an [7] und des oben beschriebenen Gesetzesentwurfs zum §3 Nr. 30a EnWG auf. Klein-Blockheizkraftwerke, Umwälz- bzw. Heizungspumpen, Notstromaggregate und sogenannte weiße Ware sind nicht in der Definition nach §3 Nr. 30a EnWG eingeschlossen und damit im Reallabor nicht als steuerbare Verbraucher berücksichtigt.

Tabelle 1: Typen steuerbarer Verbrauchseinrichtungen im Reallabor in Anlehnung an [6], [7], [8] und [9].

Typ stVE	Reallabor	Begründung
Wärmepumpe (WP)/ Direktheizung	Ja	- Definition Entwurf §3 Nr. 30a EnWG - 350.000 WP in Deutschland, Trend steigend
Elektrische Speicherheizung (ESH)	Ja	- Definition Entwurf §3 Nr. 30a EnWG - 970.000 ESH in Deutschland, Trend rückläufig
E-Mobilität (EMob)	Ja	- Definition Entwurf §3 Nr. 30a EnWG - 45.000 Ladepunkte in Deutschland, Trend steigend
Klimaanlage	Nicht im Fokus	- Definition nach VDE FNN
Speicher	Nicht im Fokus	- Definition Entwurf §3 Nr. 30a EnWG

2.1.2 Akquise von Reallabor-Teilnehmern

Für das Reallabor sind 120 Privathaushalte mit steuerbaren Verbrauchern vorgesehen, bei denen die Steuerbox inklusive des Zusatzmoduls installiert werden. Für die Betrachtung von möglichen netzseitigen Wechselwirkungen und eine hohe Aussagekraft wurde eine Bündelung von Modulen an einer Ortsnetzstation bzw. an einem Niederspannungsstrang angestrebt. Nachfolgend wird das für das Reallabor verwendete Konzept zur zielorientierten Auswahl von Netzabschnitten und angeschlossener Haushalte vorgestellt (Abbildung 2). Als Netzabschnitt ist im Projekt eine Ortsnetzstation mit deren Niederspannungs-Abgängen definiert.

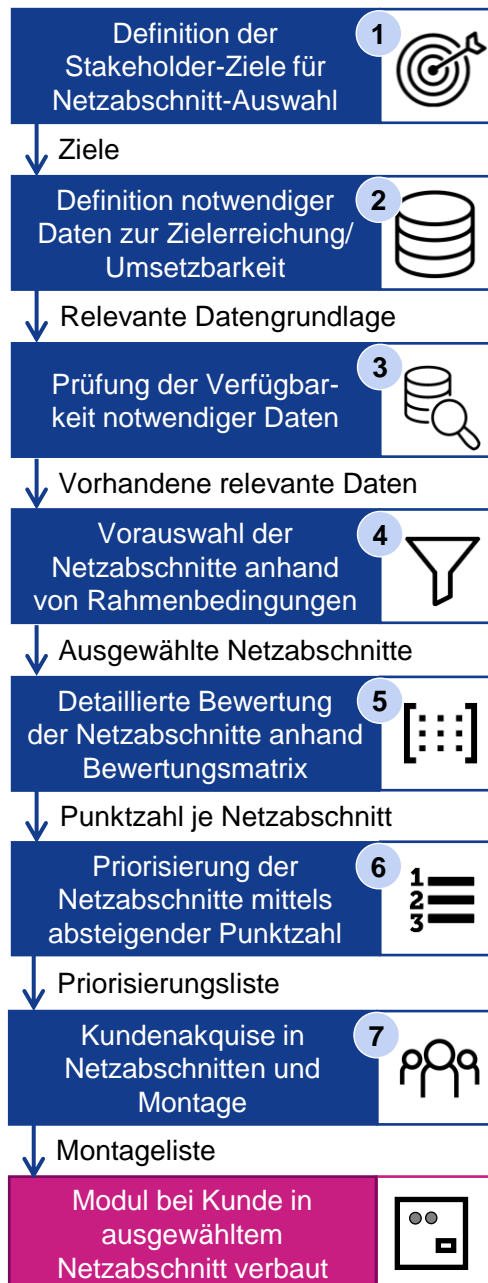


Abbildung 2: Ablaufdiagramm zur Auswahl der Reallabor-Teilnehmer.

Im Reallabor sind zunächst die Ziele der Netzbetreiber sowie der wissenschaftlichen Einrichtungen zur dezentralen Steuerungslösung im Fokus. Zielsetzungen weiterer Stakeholder werden hier nicht im Detail beschrieben (Schritt 1). Die Ziele der beteiligten Netzbetreiber sind vor allem die Optimierung des lokalen Netzzustands und die Entwicklung einer effizienten, kostengünstigen, sowie robusten Steuerungslösung als Nachfolge für u.a. Schaltuhren. Die wissenschaftliche Einrichtung fokussiert die Übertragbarkeit des Konzepts auf andere Netzgebiete sowie eine möglichst hohe Aussagekraft des Konzept-Nutzens in unterschiedlichen Netzen und Netzzuständen.

Nach der Definition der notwendigen Datengrundlage (Schritt 2) und dem Prüfen deren Verfügbarkeit (Schritt 3), werden für das Konzept ausschlaggebende Rahmenbedingungen getroffen (Schritt 4). KO-Kriterien für die Auswahl der Netzabschnitte sind u.a. die Zuständigkeit des Netzbetreibers für den Netzabschnitt oder das Vorhandensein steuerbarer Verbraucher. Wenn keine stVE im Netzabschnitt angeschlossen ist, kann das Lastmanagement-Konzept nicht angewandt werden. Neben einer steuerbaren Verbrauchseinrichtung ist ein separater Zählpunkt für die Abrechnung der reduzierten Netzentgelte nach EnWG §14a Teilnahme-Voraussetzung (siehe Kapitel 2.2). Weiter liegt der Fokus im Projekt und damit in der Netzabschnittsauswahl überwiegend auf privaten Haushalten und nicht Gewerbekunden. Das ist durch den Anteil Letztverbraucher bei VNBs in Deutschland bedingt (94% Haushaltskunden, 6% Industrie- und Gewerbekunden) [9].

Aus den unterschiedlichen oben beschriebenen Zielen der Beteiligten ergeben sich sechs verschiedene Netzkategorien, denen die Netzabschnitte zugeordnet werden können. Im Reallabor sollen möglichst alle Kategorien durch die

gewählten Netzabschnitte abgedeckt werden. Aufgrund der begrenzten Anzahl der Prototypen, findet keine weitere Untergliederung der Netz-Kategorien für den Feldversuch statt. Die Netz-kategorien unterscheiden sich anhand festgelegter Kennzahlen, die auf der vorhandenen Datengrundlage basieren. Der Fokus der Kennzahlen ist in der folgenden Abbildung 3 vereinfacht dargestellt.

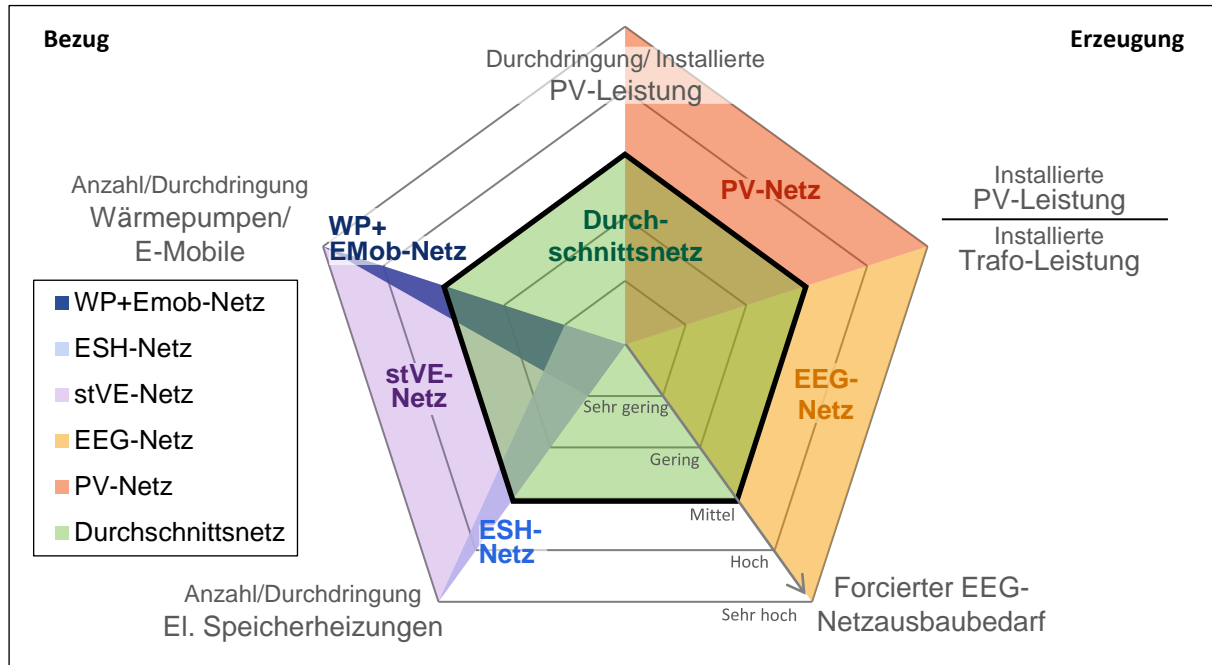


Abbildung 3: Auswahl Netzabschnitte nach Netz-kategorien für Reallabor.

Abbildung 3 zeigt ausgewählte Maxima der berücksichtigten Hauptkriterien je Netz-kategorie. Die Filterung nach Kriterien ist vereinfacht dargestellt. Die Achsen sind von innen nach außen von sehr gering bis sehr hoch gestaffelt. Das Durchschnittsnetz soll unabhängig der Grundannahmen einen Querschnitt der Netzstruktur in der Niederspannung abbilden. Prinzipiell werden Netzabschnitte, im Rahmen der gesetzten Filterkriterien, mit einer höheren Anzahl stVE einer geringeren bevorzugt. Es wird angenommen, je höher die Zahl stVE je Netzabschnitt ist, desto wahrscheinlicher ist die Teilnahme eines Haushaltes mit stVE.

In Schritt 5 erfolgt die konkrete Vorauswahl der Netzabschnitte für das Reallabor mittels Bewertungsmatrix auf Basis verschiedener Kennzahlen. Mithilfe der priorisierten Vorauswahl (Schritte 6) können die Netzbetreiber auf mögliche Teilnehmer in den Netzabschnitten zugehen (Schritt 7). Innerhalb der ausgewählten Netzabschnitte werden zielgruppenspezifische Kanäle z.B. Flyer, Social Media oder Presseartikel für die Akquise von möglichen Teilnehmern eingesetzt. Nach erfolgreicher Teilnehmerakquise werden die Steuereinheiten montiert. Abbildung 4 zeigt beispielhaft einen realen Netzabschnitt mit sechs Reallabor-Teilnehmern, die an einer Ortsnetzstation gebündelt sind.

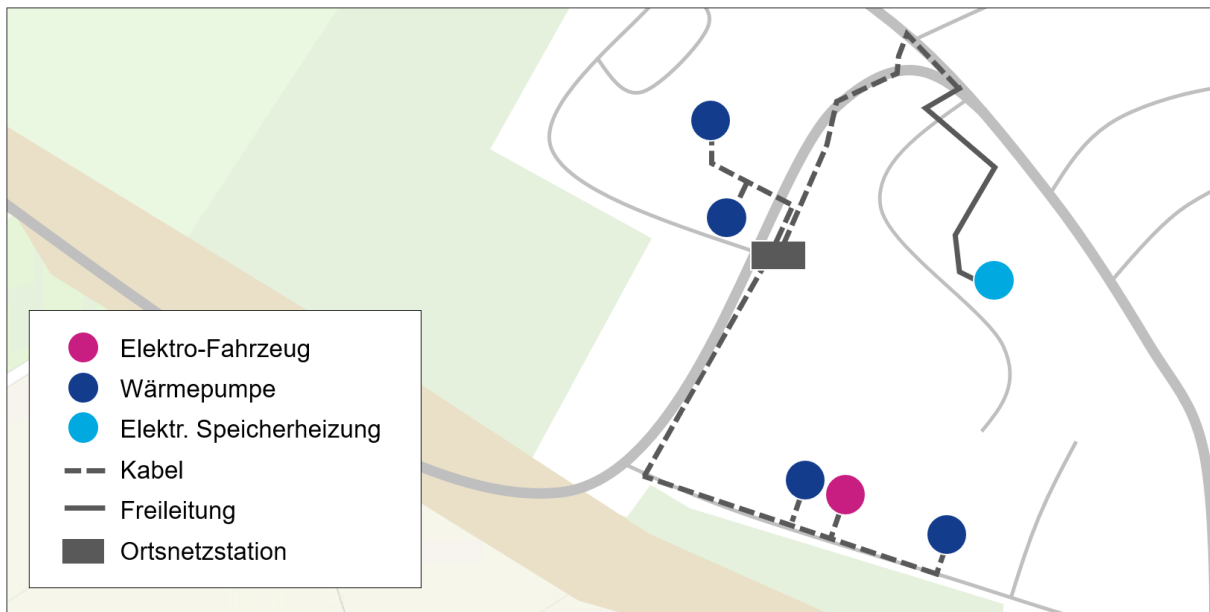


Abbildung 4: Reallabor-Teilnehmer mit steuerbaren Verbrauchern in einem realen Netzabschnitt.

2.1.3 Montageplanung und -durchführung

Nachdem der Aufbau und die Technologie von Zählpunkten heterogen gewachsen sind, ist bei der Montage der Steuermodule auf die verschiedenen Gegebenheiten vor Ort in Form eines Montage-Konzepts zu achten (siehe Tabelle 2). Insbesondere sind zwei Zählerfeld-Typen zu unterscheiden: zum einen das Zählerfeld mit Stecksystem für elektronischer Haushaltszähler zum anderen das Zählerfeld für Dreipunktbefestigungen.

Tabelle 2: Montage-Konzept der Steuereinheiten im Reallabor.

Kategorie	Nr.	Schritt	
Planung	1	Überprüfung vorhandener Hardware-Komponenten z.B. nach Eichgültigkeit und Vorbereitung des Montage-Formulars sowie des Materials	
	2	Prüfung der Grundvoraussetzungen für die Montage am Zählerschrank	
Vorbereitung	3	ggf. Zähler- und Schaltuhrwechsel (Eichgültigkeit, Platz für Komponenten)	
		Stecksystem	Dreipunktbefestigung
Montage	4	Montage der einzelnen Komponenten im Zählerschrank	Montage der Adapterplatte inkl. Komponenten (siehe Abbildung 5)
		Verdrahtung und Anschluss des Steuerschützes der stVE	
Funktionstest	5	Funktionstest Kommunikationsverbindungen (Internet und Funkrufnetz)	
	6	Funktionstest Hardware-Komponenten	
Abschluss	7	Dokumentation (Foto, Besonderheiten) mittels Montage-Formular	
	8	Verplomben bzw. normgerechte Sicherung	

Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine Teilnehmer-Anlage mit den bestehenden Komponenten in Grau (Nr. 4 und 6), den Haupt-Komponenten in Orange (Nr. 2 und 3) sowie Zusatz-Komponenten in Weiß (Nr. 1, 5, 7 und 8). Der LTE-Stick dient im Reallabor-Zeitraum dazu, die generierten Messdaten zeitnah zur Auswertung bereitzustellen. Hier wurde eine Adapterplatte mit Dreipunktbefestigung montiert, die aufgrund der Hutschiene Platz für Einheiten schafft.

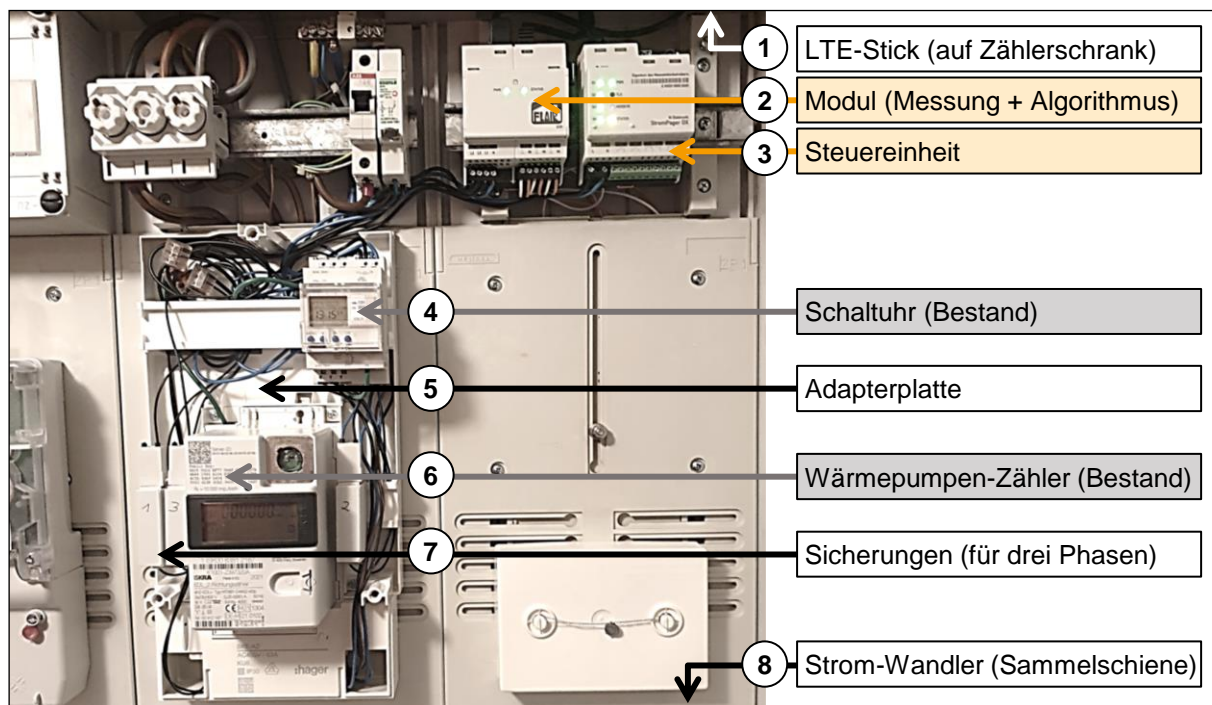


Abbildung 5: Montierte Komponenten in Teilnehmer-Anlage.

2.1.4 Störungsmanagement

Trotz einer vorausschauenden Planung des Reallabors, sind auftretende Störung nicht auszuschließen. Für den Fall möglicher Störungen wurde ein Leitfaden zur Ursachenermittlung sowie ggf. Störungsbehebung entwickelt. Dieser Störungsleitfaden beschreibt unter anderem die Bedeutung des Leuchtmusters des Moduls sowie der Steuereinheit (Abbildung 6). Für das Reallabor ist neben dem technischen zudem der regulatorische Rahmen zu beachten.

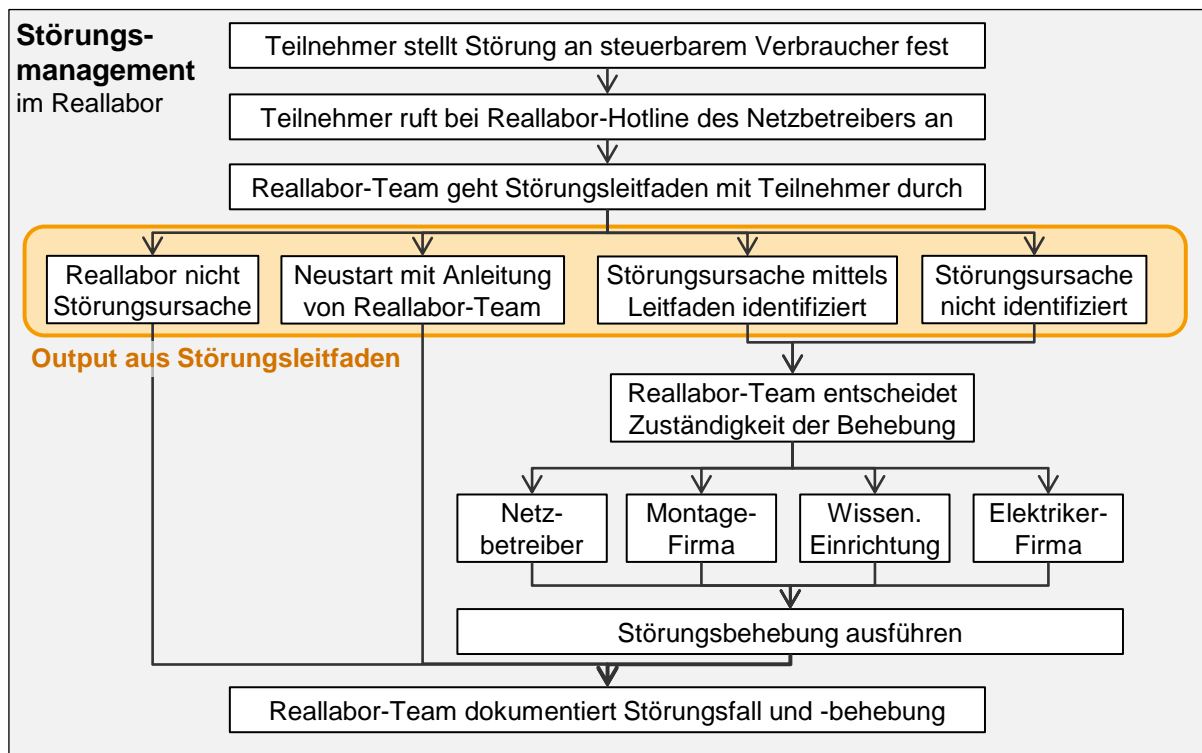


Abbildung 6: Störungsmanagement während des Reallabors.

2.2 Regulatorische Rahmenbedingung für die Umsetzung des Reallabors

2.2.1 Gesetzliche Grundlage zur Steuerung von stVE

Die Umsetzung des dezentralen Lastmanagement-Konzepts wird bereits jetzt von gesetzlicher Basis durch den §14a EnWG in Deutschland ermöglicht. Dieser erlaubt Verteilnetzbetreibern die netzdienliche Steuerung steuerbarer Verbrauchseinrichtung zu reduzierten Netzentgelten (siehe Abbildung 7).

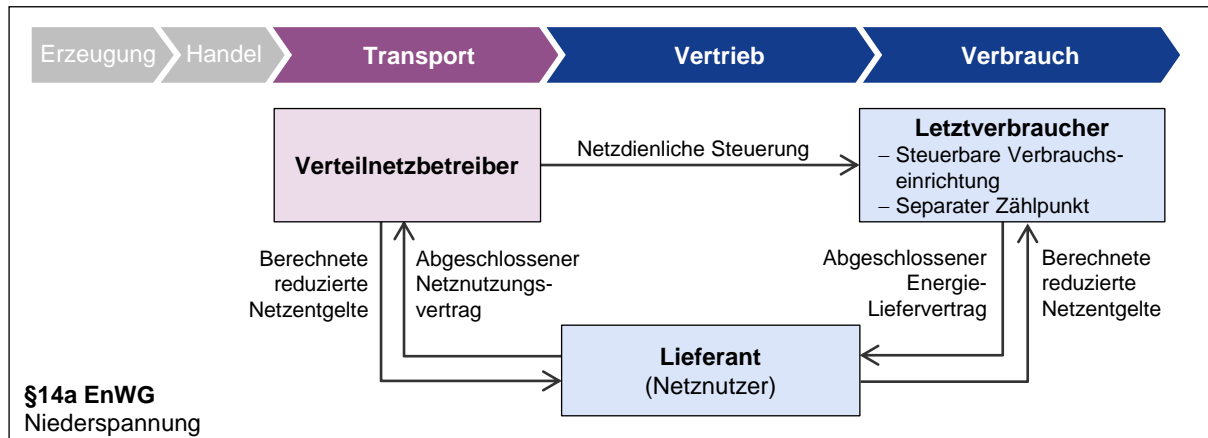


Abbildung 7: Rechte und Pflichten zwischen VNB, Lieferant und Letztverbraucher im Rahmen des §14a EnWG.

Die regulatorischen Voraussetzung für die Teilnahme am EnWG §14a sind neben der steuerbaren Verbrauchseinrichtung ein separater Stromzähler und die Zuständigkeit des betroffenen Netzbetreibers. Die durch den EnWG §14a ermöglichten Steuerungshandlung in Form von Sperrzeiten sind nicht nur vom Typ der steuerbaren Verbrauchseinrichtung, sondern auch vom zuständigen Netzbetreiber abhängig. Die Länge der Sperrzeiten ist in den existierenden Kundenverträgen verankert und muss berücksichtigt werden.

2.2.2 Aktuelle vertragliche Rahmenbedingungen ausgewählter Netzbetreiber im Rahmen des EnWG §14a

Die Netzbetreiber in Deutschland haben z.T. sehr heterogene Lösungen von vertraglichen Rahmenbedingungen wie tägliche Sperrzeiten steuerbarer Verbrauchseinrichtungen entwickelt. Der Unterschied liegt u.a. in der Veröffentlichung, der Dauer und der Spezifikation auf Basis unterschiedlicher Typen stVE. Elektro-Fahrzeuge werden beispielsweise zu täglich festen Sperrzeiten, in gewissen Tageszeiträumen oder max. sechs Stunden am Tag gesperrt. Auch Wärmepumpen werden in Abhängigkeit des Verteilnetzbetreibers heterogen gesteuert. Neben festen Sperrzeiten, sind auch hier max. sechs Stunden am Tag zu jeweils 3 Blöcken mit maximal zwei Stunden am Stück möglich. [10] [11]

Im Rahmen der Verträge sind aufgrund personenbezogener Daten zudem IT-Sicherheits- und Datenschutzaspekte relevant. Diese werden hier nicht weiter ausgeführt. Um die technische und vertragliche Komplexität für die Umsetzung des Reallabors handhabbar zu gestalten, sind die involvierten Typen steuerbarer Verbrauchseinrichtungen in sogenannten Flex-Clustern zusammengefasst.

3 Clusterung stVE für die Umsetzung des Reallabors

Die bestehenden Verträge zu den stVE können im Reallabor nicht außer Acht gelassen werden, da sonst aus rechtlichen Gründen kein Rahmenvertrag mit den Teilnehmenden geschlossen werden kann. Die Anzahl der sogenannter Flex-Cluster (= Cluster stVE im Reallabor) ist durch die beiden Betriebsmodi der Steuereinheit begrenzt [12]. Ursache für die Begrenzung sind die Kombinations- und Anschlussmöglichkeiten der Steuereinheit-Relais. Kriterien wie die Anzahl Schaltungen pro Tag sind nicht ausschlaggebend für die Clusterung, werden aber für die einzelnen Flex-Cluster berücksichtigt.

Die Clusterung der Typen stVE für das Reallabor erfolgt nach technischen Voraussetzungen der Typen stVE (Kapitel 2.1.1) sowie vertraglich vorgegebenem Rahmen v.a. der Länge der Sperrzeit (Kapitel 2.2.2). Die Länge der maximalen Sperrzeit hängt vom Vertrag des Kunden mit dem Netzbetreiber ab. Der 2h-Grenzwert basiert auf [4] und der bisher geltenden Sperrzeitlänge verschiedener Netzbetreiber. Ob eine Stufenschaltung möglich ist, ist u.a. von der Bauweise der stVE abhängig. Ist eine stVE nicht in Stufen schaltbar, kann diese lediglich ein oder aus geschaltet werden, Zwischenstufen sind hier nicht möglich.

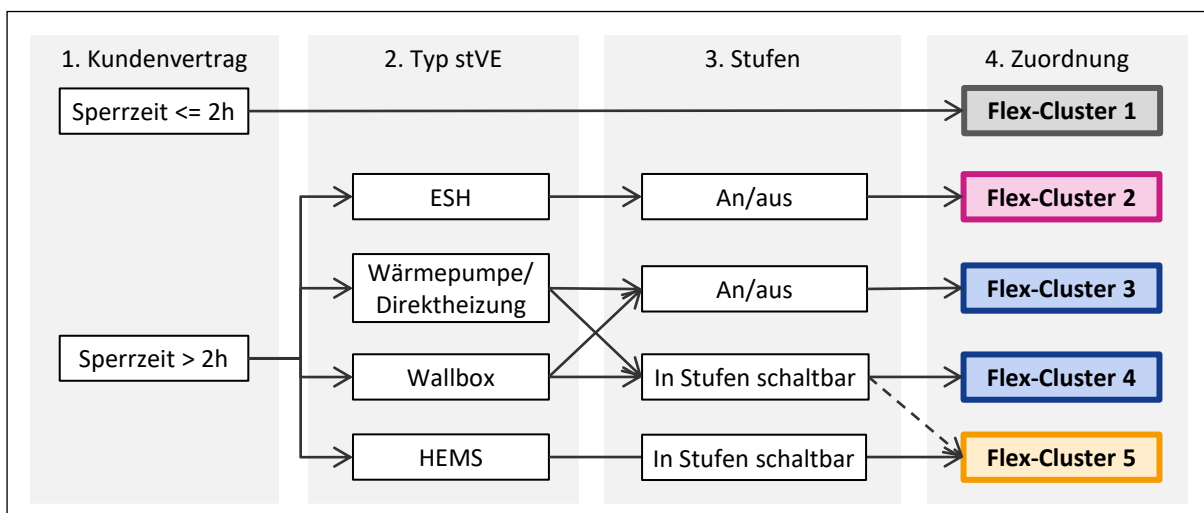


Abbildung 8: Empfehlung Zuordnung der Typen stVE in Flex-Cluster.

Abbildung 8 beinhaltet die Annahme, dass die Speicherheizungen in den Feldversuchsgebieten nicht in Stufen schaltbar sind. Zudem wird davon ausgegangen, dass Home Energy Management Systeme (HEMS) zukünftig, analog zur Normung von Erzeugungsanlagen, in Stufen schaltbar sein werden [13]. Das Flex-Cluster 5 wird voraussichtlich im Reallabor nicht betrachtet, denn HEMS müssen beim Netzbetreiber bisher nicht angemeldet werden. Die genaue Anzahl ist demnach nicht bekannt, es wird jedoch von einer bisher geringen Durchdringung ausgegangen. Perspektivisch soll das Lastmanagement-Konzept mit HEMS kombiniert werden können.

Abbildung 9 zeigt die fünf definierten Flex-Cluster in Abhängigkeit der angenommenen Länge der maximal vertraglich festgelegten Sperrzeit und der technisch bedingten Schalt-Flexibilität, welche im Algorithmus berücksichtigt werden. Weitere vertragliche Einschränkungen, wie eine maximale Sperrzeit von zwei Stunden am Stück, sind in Planung. Im Projekt wird die Annahme getroffen, dass Wärmepumpen und Wallboxen aufgrund des zunehmenden Trends durch ihre stetig weiterentwickelte Funktionsweise und einer möglichen Stufenschaltbarkeit eine höhere

Schalt-Flexibilität aufweisen als Speicherheizungen [9]. Deshalb wird die Schalt-Flexibilität des Flex-Clusters 2 geringer eingestuft als bei Flex-Cluster 3-5.

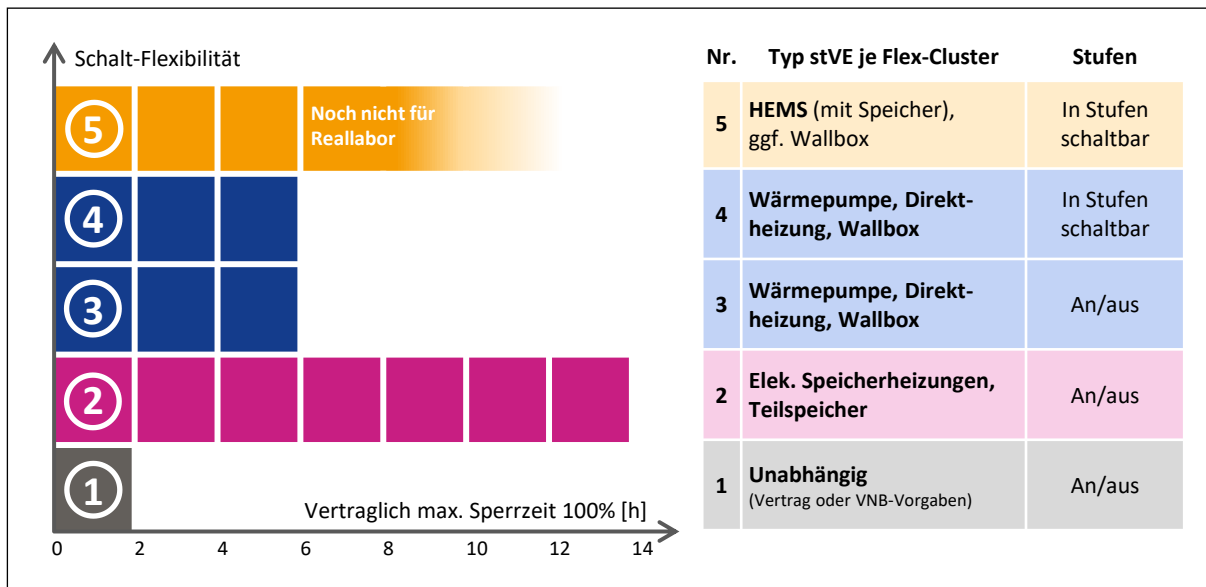


Abbildung 9: Flex-Cluster im Reallabor.

Prinzipiell kann eine Wallbox dem Flex-Cluster 2 zugeordnet werden, das hat jedoch zur Folge, dass diese bis zu 14h täglich vom Modul gesperrt werden kann. Das entspricht nicht den aktuellen Verträgen am Reallabor teilnehmenden Netzbetreiber. Aus diesem Grund wurde die Zuordnung entsprechend Abbildung 9 empfohlen. Die Flex-Cluster werden über den Algorithmus unterschiedlich angesteuert [12].

4 Schlussfolgerung

Das beschriebene dezentrale Lastmanagement-Konzept kann ein Baustein zur optimierten Überlagerung der schwer vorhersehbaren Einspeisung von DEA und dem Verbrauch von flexiblen Lasten werden. Die Analyse der technischen als auch regulatorischen Rahmenbedingungen ermöglicht erste Erkenntnisse. Ein dezentrales Lastmanagement ist prinzipiell bereits heute unter den gegebenen Rahmenbedingungen möglich. Das theoretische netzdienliche Potential kann durch die Anpassung der bestehenden Kundenverträge im Vergleich zur aktuellen Situation erhöht werden. Nicht alle Verteilnetzbetreiber erlauben derzeit in ihren Kundenverträge eine Flexibilisierung der bestehenden Fahrpläne. Wie hoch das tatsächliche Potential des dezentralen Konzepts ist, wird die Auswertung der generierten Messdaten aus dem Reallabor zeigen.

Danksagung

Der vorgestellte Ansatz wird im Rahmen des Projektes FLAIR² ausgearbeitet. Ein spezieller Dank gilt hierbei den Projektpartnern LEW Verteilnetz GmbH, Stromnetz Berlin GmbH und e*Message Wireless Information Services Deutschland GmbH.

Referenzen

- [1] Bundesministerium der Justiz, "Energiewirtschaftsgesetz - EnWG," Bundesministerium der Justiz, Berlin, 2021.
- [2] S. Uhrig, S. Schramm, S. Baumgartner, G. Kerber und S. Hartmann, „Field testing of a local and automatic control for flexible loads,“ in *CIREC 2020 Berlin Workshop*, Berlin, 2020.
- [3] VDE FNN, „FNN-Konzept zum koordinierten Steurzugriff in der Niederspannung über das intelligente Messsystem,“ VDE FNN, Berlin, 2018.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Entwurf eines Gesetzes zur zügigen und sicheren Integration steuerbarer Verbrauchseinrichtungen in die Verteilernetze und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften,“ Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2020.
- [5] BDEW, „Referentenentwurf Steuerbare-Verbrauchseinrichtungen-Gesetz (SteuVerG),“ 15 01 2021. [Online]. Available: https://www.bdew.de/media/documents/20210115_Stn_SteuVerG.pdf. [Zugriff am 25 03 2021].
- [6] VDE FNN, „Grundsätzliche Zustimmung, jedoch Klarstellung zu SteuVerG nötig,“ 15 01 2021. [Online]. Available: <https://www.vde.com/resource/blob/2014892/b042f028ae75c8e4b3eb9f603e21991a/2021-01-15-vde-fnn-position-steuerbare-verbrauchseinrichtungen-data.pdf>. [Zugriff am 25 03 2021].
- [7] A. Liebe und M. Wissner, „Der flexible Verbraucher – Potenziale zur Lastverlagerung im Haushaltsbereich,“ WIK - Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef, 2015.
- [8] Bundesnetzagentur, „Monitoringbericht 2021,“ Bundesnetzagentur, Bonn, 2021.
- [9] Bundesnetzagentur, „Monitoringbericht 2019,“ Bundesnetzagentur, Bonn, 2020.
- [10] Lechwerke AG, „Voraussetzungen für LEW Wärmestrom,“ Lechwerke AG, [Online]. Available: <https://www.lew.de/fuer-zuhause/waerme/voraussetzung-waermestrom>. [Zugriff am 24 09 2021].
- [11] Bayernwerk GmbH, „Steuerbare Verbrauchseinrichtungen,“ Bayernwerk GmbH, 2021. [Online]. Available: <https://www.bayernwerk-netz.de/de/bayernwerk-netz-gmbh/netzinformation/steuerbare-verbrauchseinrichtungen.html>. [Zugriff am 25 03 2021].
- [12] V. Barta, S. Baumgartner, S. Uhrig und R. Witzmann, „Algorithmus zur autarken netzdienlichen Steuerung von zeitlich flexiblen Lasten,“ in *17. Symposium Energieinnovation, Graz, 2022*.
- [13] LEW Verteilnetz GmbH, „Einspeisemanagement,“ LEW Verteilnetz GmbH, 2021. [Online]. Available: <https://www.lew-verteilnetz.de/lew-verteilnetz/fuer-einspeiser/vorgabentechnik/einspeisemanagement>. [Zugriff am 25 03 2021].