

Algorithmus zur autarken netzdienlichen Steuerung von zeitlich flexiblen Lasten

Veronika Barta^{1*}, Sonja Baumgartner^{2*}, Stephanie Uhrig¹, Rolf Witzmann³

¹HM Hochschule München, Lothstraße 64, 80335 München, +49 89 1265 4481, veronika.barta@hm.edu, sites.hm.edu/ises

²LEW Verteilnetz GmbH, Schaezlerstr. 3, 86150 Augsburg, +49 821 328 1421, sonja.baumgartner@lew-verteilnetz.de, www.lew-verteilnetz.de/lew-verteilnetz

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

Kurzfassung:

Durch den Zubau volatiler Erzeugungsanlagen stehen Verteilnetze vor neuen Herausforderungen. Um starre Technologien wie Schaltuhren zu ersetzen, wird ein netzdienliches Lastmanagement-Konzept verfolgt. Der Ansatz basiert auf der dezentralen, autarken Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen abhängig von dem lokalen Netzzustand. Dabei werden die technologischen, regulatorischen und vertraglichen Rahmenbedingungen der steuerbaren Verbraucher in der Niederspannung, wie Wärmepumpen, elektrische Speicherheizungen oder Elektrofahrzeuge, berücksichtigt. Für den Prototypeneinsatz wurde ein eigener Algorithmus für die dezentrale Steuerung entwickelt und realisiert. Das am Hausanschluss eingebaute Modul misst Spannungen und Ströme und bestimmt intern daraus den wahrscheinlichen Netzzustand am Strang. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen der steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, werden individuelle Sperrzeiten vorgegeben. Der Kommunikationsaufwand ist auf Grund des dezentralen Ansatzes und der autarken Steuerung sehr gering. Ferner ist keine Übertragung von zentralen Fahrplänen und sensiblen Daten notwendig.

Keywords: Verteilnetz, Lastmanagement, Algorithmus, Steuerbare Verbraucher

1 Zielsetzung und Kontext

Eine aktuelle Herausforderung der Verteilnetzbetreiber ist die zunehmende Beanspruchung der Verteilnetze durch nicht planbare, volatile Einspeisung auf der einen und wachsendem Leistungsbezug auf der anderen Seite. Der bisher primär verfolgte Ansatz, dass durch die Regelung von Kraftwerken die Erzeugungslleistung dem Bedarf folgt, ist in der Niederspannungsebene nicht zu realisieren. Durch den Zubau regenerativer, wetterabhängiger Erzeugungsanlagen bietet sich das Lastmanagement im Sinne einer zeitlichen Laststeuerung als Regelmechanismus an.

Zur Regelung bestimmter Lasten im Netz sind bereits seit vielen Jahren Steuermöglichkeiten wie Schaltuhren oder die Tonfrequenz-Rundsteuertechnik im Einsatz. Über 90% der Verteilnetzbetreiber in Deutschland nutzen derzeit diese Technologien um steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, wie Wärmepumpen oder Nachtspeicherheizungen, feste Fahrpläne vorzugeben [1]. Dabei kommen die deutschen Verteilnetzbetreiber ihren gesetzlichen Verpflichtungen nach dem Energiewirtschaftsgesetz (§ 14 EnWG) nach [2]. Jedoch wird dabei der aktuelle, lokale Netzzustand nicht berücksichtigt. Eine zentrale Steuerung mit lokal

aufgelösten Fahrplänen bedeutet einen hohen Kommunikationsaufwand und ist anfällig gegenüber Störungen. Ein zentraler Fahrplan ist nicht zugeschnitten auf die individuelle Netzsituation. Eine Lösung hierfür ist eine netzzustandsbasierte und netzdienliche dezentral agierende Steuerungsmöglichkeit.

2 Dezentrales Lastmanagement-Konzept

Das hier vorgestellte Konzept basiert auf dezentral direkt in einem Steuer-Modul erstellten und optimierten Fahrplänen. Der dazu entwickelte Algorithmus nutzt aktuelle, lokale Messdaten am Hausanschluss. Gesteuert werden zeitlich flexible Lasten, sogenannte steuerbare Verbrauchseinrichtungen (stVE). Der Fokus liegt auf den am Verteilnetz angeschlossenen Haushaltskunden in der Niederspannung, welche mehr als 90 % der Anschlüsse bilden [1], und den hier vertretenen stVE. Der Kommunikationsaufwand ist auf Grund des dezentralen Ansatzes und der autarken Steuerung sehr gering. Ferner ist keine Übertragung von zentralen Fahrplänen und sensiblen Daten notwendig.

Das Lastmanagement-Konzept wird in einem Reallabor umgesetzt. Dazu werden in der Testphase im Reallabor zwei Komponenten benötigt. Die Steuerbox ist eine FNN-konforme Steuerungseinheit und übernimmt die Aufgaben der Schaltuhr, die hardwaretechnische Schaltung. Der Steuerdraht der stVE wird am entsprechenden Relais der Steuerbox angeschlossen. Ist das Relais angezogen, so ist die stVE freigegeben. Zu diesem Zeitpunkt kann die stVE bei Bedarf Leistung beziehen. Die zweite Komponente wird hier als Steuer-Modul bezeichnet. Das smarte Modul beinhaltet die Messeinheit, zeichnet die Messdaten auf und verarbeitet sie mit Hilfe des Algorithmus, um den aktuellen Netzzustand zu bestimmen. Der Schaltbefehl wird an die Steuerbox geleitet, welche die Relais entsprechend schaltet.

Der Algorithmus teilt den Netzzustand modulspezifisch in vier Zonen ein. Je nach Zone erhalten die steuerbaren Verbraucher angepasste Sperrsignale über die Steuerbox. Die aktuelle Zone wird minütlich anhand des Netzzustands im Steuer-Modul ermittelt und an die Steuerbox zur Umsetzung an den Relais geleitet.

2.1 Zonen-Definition basierend auf Vorgaben der steuerbaren Verbraucher

Um die technologischen, regulatorischen und vertraglichen Rahmenbedingungen der flexiblen Lasten einzuhalten, werden diese definiert und geclustert. Die Auswahl der Verbraucher basiert auf der Definition der sogenannten „steuerbaren Verbrauchseinrichtungen“ nach dem Gesetzesentwurf des EnWG §3 Nummer 30a vom 22.12.2020. Darin werden „Ladepunkte für Elektromobile, Wärmepumpen, Nachtspeicherheizungen und Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie [...]“ benannt. [3] „Da die klassische Schwachlastzeit nicht mehr zwangsläufig nachts ist, ist aus [...] Sicht [des BDEW] der Begriff „Speicherheizung“ passender.“[4] Zur Umsetzung im Reallabor werden aus rechtlichen Gründen auch die vertraglichen Vorgaben beachtet. Der je nach Netzbetreiber variierende vertragliche Rahmen gibt primär die maximal erlaubten Sperrzeiten pro Tag vor.[5] Basierend auf diesen Vorgaben werden sogenannte Flex-Cluster (= Cluster stVE im Reallabor) definiert. Jedes Flex-Cluster hat eigene, definierte Sperrzeiten. [5]

In Abbildung 1 sind über 24 Stunden die aus den Sperrzeiten der Flex-Cluster resultierenden vier Zonen des entwickelten Algorithmus abgebildet. Die Abbildung 1 zeigt unten die jeweilige

Sperrzeit pro Flex-Cluster sowie die dazu geordneten steuerbaren Verbraucher. Darüber ist die aufsummierte Verteilung der vier Zonen (rot, orange, gelb, grün) über einen Tag eingezeichnet.

Die Rot-Zone darf zwei Stunden am Tag nicht überschreiten ($t_{max,r} = 2h$). Das zu Grunde liegende Flex-Cluster 1 sind Verbraucher, welche auf Grund eines Vertrags bzw. fest vorgegebenen Zeiten des Netzbetreibers pro Tag maximal zwei Stunden gesperrt werden dürfen. Während der Rot-Zone werden sie gemeinsam mit allen anderen steuerbaren Verbrauchseinrichtungen gesperrt.

Die Orange-Zone darf in Kombination mit der Rot-Zone maximal sechs Stunden ($t_{max,ro} = 6h$) pro Tag betragen. In der Orange-Zone werden Verbraucher des Flex-Clusters 2 und des Flex-Clusters 3 / 4 gesperrt. Flex-Cluster 1 ist freigegeben. Im Flex-Cluster 3 sind Wärmepumpen, Direktheizungen oder Ladestationen von Elektrofahrzeugen deren Vertrag eine Sperrzeit von bis zu sechs Stunden pro Tag erlaubt. Je nach technischer Ausführung ist eine einfach Ein- bzw. Ausschaltung oder eine Stufenschaltung möglich. Im Reallabor liegt der Fokus derzeit auf dem Betriebsmodus 1 (Kapitel 2.2), der Sperrung des Verbrauchers auf 0% bzw. der Freigabe mit 100% Bezug.

In der Gelb-Zone, welche bis zu 14 Stunden pro Tag betragen kann, werden nur die Verbraucher des Flex-Clusters 2 gesperrt. Die Vorgabe für (elektrische) Speicherheizungen (ESH) lautet, dass mindestens zehn Stunden pro Tag die Ladung möglich sein muss. Im Umkehrschluss dürfen die ESH bis zu 14 Stunden gesperrt werden.

Die Grün-Zone, in welcher alle stVE freigegeben sind, definiert somit die Mindestfreigabezeit der ESH von ($t_{min} = 10h$).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
max. 2h		max. 6h				max. 14h								min. 10h									
$t_{max,r}$		$t_{max,ro}$												t_{min}									

Sperrzeiten der Flex-Cluster																									
1																								Unabhängig (Vertrag / feste Zeiten)	An/Aus
2																								Elektrische Speicherheizungen	An/Aus
3																								Wärmepumpe, Direktheizung, Wallbox	An/Aus
4																								Wärmepumpe, Direktheizung, Wallbox	Stufen-schaltbar

Abbildung 1 Summenverteilung der Zonen sowie zugehörige Sperrzeiten pro Tag.

2.2 Betriebsmodi der eingesetzten Steuerbox

In der eingesetzten FNN konformen Steuerbox stehen zwei verschiedene Betriebsmodi zur Verfügung. Der Modus wird bei der Parametrierung des Geräts festgelegt. Die Steuerbox verfügt über vier Relais, zwei Schließer und zwei Wechsler, die je nach Betriebsmodus angesteuert werden. Auf Grund der technischen Anschlussmöglichkeit von stVE wird nicht zwischen Schließer und Wechsler unterschieden.

Der Betriebsmodus 1 ermöglicht eine Ein | Aus Schaltung. Dieser Modus trifft auf den Großteil der stVE im Reallabor, wie herkömmliche Wärmepumpen, zu. Pro Relais wird ein steuerbarer Verbraucher eines Flex-Clusters angesteuert. Dieser erhält, analog zur Steuerung mit

Schaltuhr, über seinen Steuereingang ein Freigabesignal (100 %) oder keine Freigabe (0 %). In Abbildung 2 ist der Betriebsmodus 1 mit den vier Relais der Steuerbox skizziert. An dem ersten Schließer S1 sind Verbraucher des Flex-Clusters 1 vorgesehen. Das Verhalten an S1 ist, dass der Ausgang nur bei der Rot-Zone sperrt und ansonsten ist der Verbraucher freigegeben. Am Schließer S2 werden Verbraucher des Flex-Clusters 2 angeschlossen. Diese haben die längste mögliche Sperrzeit. Das Relais S2 ist nur bei der Grün-Zone geschlossen und gibt den Verbraucher frei. Die Relais W3 und W4 verhalten sich gleich. An beiden können Verbraucher des Flex-Clusters 3 angeschlossen werden. Diese werden in der Rot- und Orange-Zone gesperrt.

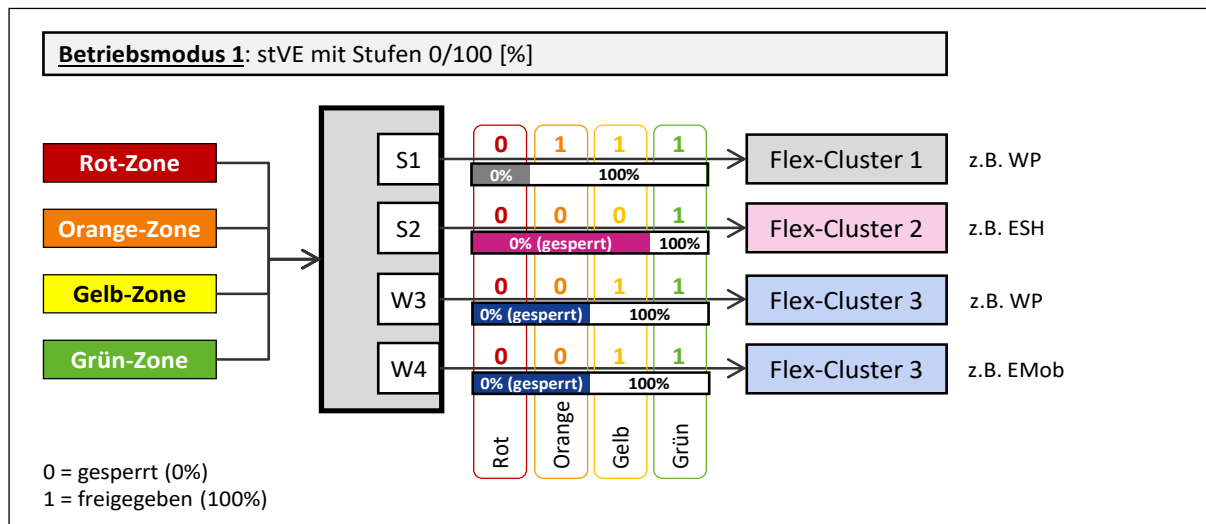


Abbildung 2 Umsetzung der Zonen im Betriebsmodus 1 des Steuermoduls

Der Betriebsmodus 2 bietet die Möglichkeit einen Stufenbetrieb der bezogenen Leistung zu realisieren. Anstatt Ein $\hat{=}$ 100 % oder Aus $\hat{=}$ 0 % kann der Leistungsbezug auch auf 30 % oder 60 % gedrosselt werden. Bei welchen stVE dieser Betriebsmodus zum Einsatz kommt, hängt maßgeblich von den Steuereingängen und -möglichkeiten der stVE ab. Im Betriebsmodus 2 ist pro Zone nur ein Relais aktiv. Wie im Betriebsmodus 1, werden über die Relais die Zonen abgebildet. Ist S1 aktiv, liegt die Rot-Zone vor und die stufenbare stVE soll 0 % Leistung beziehen. In der Orange-Zone kann 30 % Leistung bezogen werden. In der Gelb-Zone ist ein Leistungsbezug von 60 % vorgesehen, bis hin zu 100 % Leistungsbezug in der Grün-Zone. Dieser Betriebsmodus bietet zukünftig die Möglichkeit neben in Stufen schaltbare stVE wie Flex-Cluster 4 auch Home Energy Management Systeme (HEMS) anzusteuern. Dabei gibt der Netzbetreiber den maximalen Bezug an Netzanschlusspunkt vor. Die Priorisierung der Verbraucher selbst liegt beim Kunden und wird vom HEMS umgesetzt.

2.3 Messdatenbasierter Algorithmus des Steuer-Moduls

Der Algorithmus ermittelt die jeweils aktuelle Zone basierend auf dem Netzzustand. Das Grundprinzip des Algorithmus ist, dass ein minütlicher Abgleich zwischen den aktuellen Messdaten und tagesaktuellen Schwellwerten stattfindet. Der aktuelle Vergleichswert ist der gleitende Mittelwert der Spannung der ersten Phase über die jeweils letzten 15 Minuten. Durch die Mittelung werden kurzfristige Ausreißer geglättet. Die tagesaktuellen Schwellwerte werden basierend auf den historischen, lokalen Messdaten ermittelt (Kapitel 2.4). Neben der Spannung am Hausanschluss werden Leistungsspitzen des Haushaltes berücksichtigt. Dazu

wird der gleitende Mittelwert der Scheinleistung ($S_1 = U_1 * I_1$) mit dem tagesaktuellen Leistungsschwellwert verglichen. In der ersten Version des Algorithmus wird auf wenige Messdaten des Vorgängerprojekts zurückgegriffen, um das Prinzip zu testen und erste Abschätzungen zu treffen. Im Laufe der Prototypenphase werden die Daten des Reallabors detailliert ausgewertet und der Algorithmus optimiert werden. In Abbildung 3 ist der minütlich durchgeführte Algorithmus als Ablaufdiagramm dargestellt.

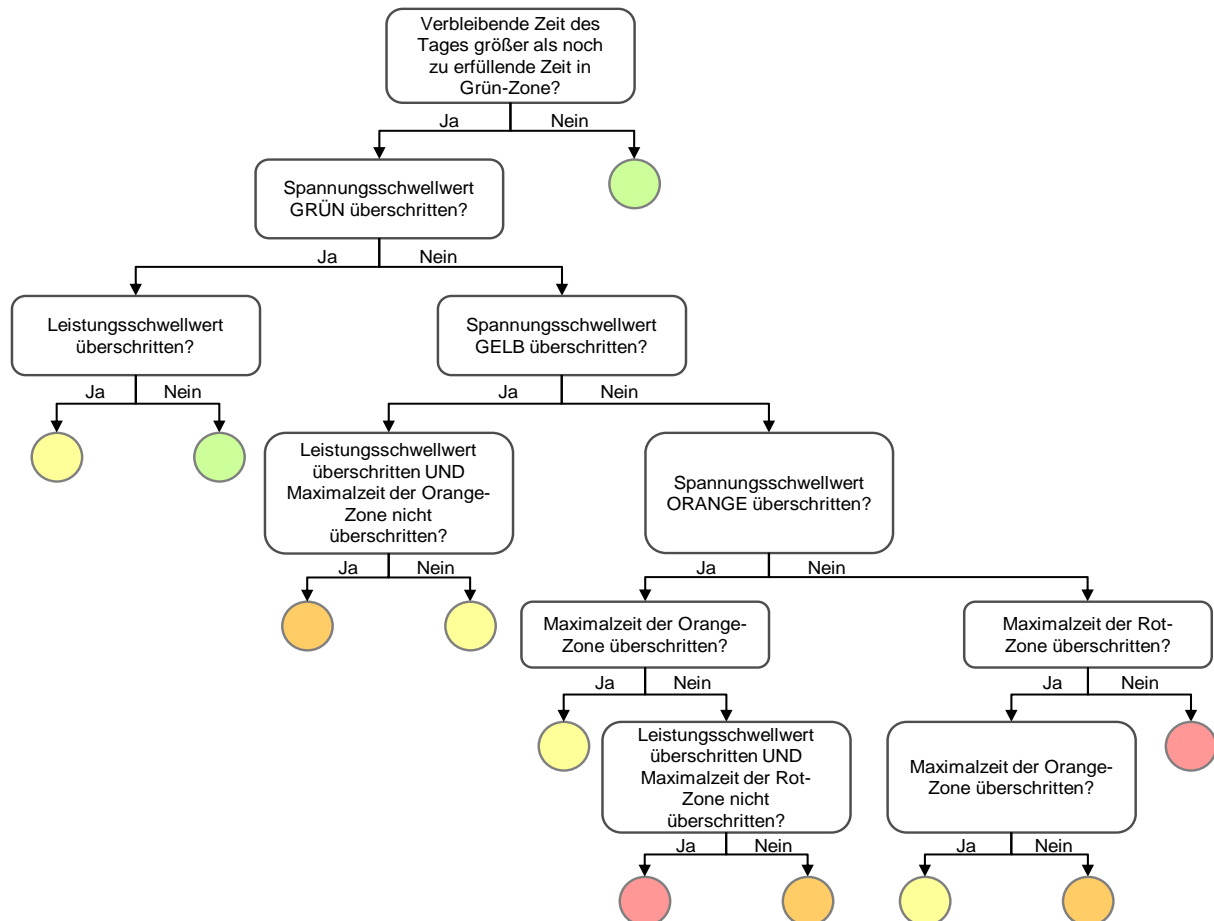


Abbildung 3 Ablaufdiagramm des Algorithmus.

Im ersten Schritt wird geprüft, ob es zum aktuellen Zeitpunkt noch möglich ist die Mindestfreigabezeit der Grün-Zone am verbleibenden Tag zu erreichen. Dazu wird die verbleibende Zeit des Tages (24h, Startuhrzeit variabel) mit der noch zu erfüllenden Zeit in der Grün-Zone verglichen. Die noch zu erfüllende Zeit in der Grün-Zone ergibt sich durch die Mindestfreigabezeit (10h, vgl. Kapitel 2.1) abzüglich der bereits freigegebenen Zeit in der Grün-Zone an diesem Tag. Entspricht die verbleibende Zeit des Tages der verbleibenden Zeit zur Erreichung der Mindestfreigabezeit, so wird die sogenannte Zwangsfreigabe aktiv. Das bedeutet ungeachtet der Netzsituation liegt die Grün-Zone vor, alle steuerbaren Verbraucher werden freigegeben.

Andernfalls wird der gleitende Mittelwert der Spannung U_{float} mit den tagesaktuell geltenden Schwellwerten verglichen. Liegt U_{float} über dem grünen Schwellwert, so liegt die Grün-Zone vor. Überschreitet jedoch der gleitende Mittelwert der Leistung S_{float} den Leistungsschwellwert, wird zur Gelb-Zone herabgestuft.

Liegt U_{float} zwischen dem grünen und gelben Schwellwert, liegt regulär die Gelb-Zone vor. Ist der Leistungsschwellwert überschritten und ist die maximal erlaubte Zeit in der Orange- und Rot-Zone noch nicht erreicht, wird in die Orange-Zone herabgestuft.

Liegt U_{float} zwischen dem gelben und orangenem Schwellwert, liegt regulär die Orange-Zone vor. Ist jedoch die maximal erlaubte Zeit der Orange- und Rot-Zone bereits erreicht, wird ungeachtet der Einordnung nach der Spannung die Gelb-Zone aktiv. Ist der Leistungsschwellwert überschritten und die maximal erlaubte Zeit in der Rot-Zone noch nicht erreicht, wird in die Rot-Zone herabgestuft.

Liegt U_{float} unter dem orangenem Schwellwert, liegt regulär die Rot-Zone vor. Falls die maximal erlaubte Zeit der Rot-Zone überschritten ist, wird in die Orange-Zone hochgestuft. Ist auch die Zeit der Orange- und Rot-Zone überschritten, wird die Gelb-Zone aktiv.

Einige steuerbaren Verbraucher erlauben technisch bedingt eine eingeschränkte Anzahl an Schalthandlungen pro Stunde. Daher wird zudem eine Mindestzeit pro Zone vorgegeben. Erst nach Ablauf dieser Zeit kann nach Prüfung des aktuellen Netzzustands ein Wechsel der Zone stattfinden. Weitere regulatorische und technische Vorgaben werden im Laufe des Reallabors implementiert.

2.4 Verhalten der modulspezifischen, tagesaktuellen Schwellwerte

Das Lastmanagement-Konzept ist darauf ausgelegt sich dem Netzzustand direkt am einzelnen Modul anzupassen. Zu Beginn jeden Tages werden die für diesen Tag geltenden Schwellwerte spezifisch für den Einbauort errechnet. Dadurch werden einheitliche zu setzende Parameter vermieden. Die individuellen Schwellwerte führen zur optimierten Verteilung der Zonen über den Tag.

In der folgenden Abbildung 4 wird das Verhalten anhand des grünen Schwellwertes an drei verschiedenen Modulen im ländlichen Netzgebiet gezeigt. Der Beginn des Tages ist auf 05:00 Uhr definiert (blaue Vertikale). Abbildung 4 zeigt den gleitenden Mittelwert der Spannung L1 U_{float} über mehrere Wochen. Im Hintergrund sind die vom Algorithmus ermittelten Zonen (Rot, Orange, Gelb, Grün) eingefärbt. Der grüne Spannungsschwellwert $U_{th,g}$ ist eingezeichnet. Modul (a) ist in der selben Gemeinde wie Modul (b) installiert. Die beiden Haushalte sind an jedoch an unterschiedlichen Ortsnetzstationen angeschlossen. Die Spannungsverläufe sind nicht gleich. Allerdings sind Ähnlichkeiten im Verlauf erkennbar, die durch eine Vermaschung über einen Verteilerschrank und mögliche Mittelspannungseinflüsse erklärbar sind (z. B. Spannungserhöhung abends 27./28.12., Spannungssenkung 02.01.). Während Modul (a) einen Spannungshub von 14,5 V in diesem Zeitraum zeigt, liegt dieser bei Modul (b) bei deutlich geringeren 8,7 V. Der Schwellwert passt sich je Modul pro Tag dem Spannungsniveau an, um die Verteilung der Zonen zu optimieren. Während der Schwellwert bei Modul (a) in größeren Sprüngen ($U_{th,g \min} = 227,4 \text{ V}$, $U_{th,g \max} = 231,5 \text{ V}$) auf die Änderungen des mittleren Spannungsniveaus reagiert, werden in der gleichen Gemeinde an Modul (b) nur geringfügige Anpassungen ($U_{th,g \min} = 232,6 \text{ V}$, $U_{th,g \max} = 230,9 \text{ V}$) vorgenommen. Damit können die steuerbaren Verbraucher individuell pro Anschlusspunkt netzdienlich geschaltet werden. Modul (c) ist in einer anderen Gemeinde, mehrere Kilometer von den Modulen (a) und (b) entfernt, installiert. An diesem Anschlusspunkt ist das Mittel der Spannung vergleichsweise konstant. Der Schwellwert ändert sich mit einem Delta von maximal 1 V geringfügig. Begründet

durch das Spannungsniveau oberhalb der Nennspannung sowie den geringen Schwankungen, wird hier primär die Grün- und Gelb-Zone genutzt. Der Netzzustand benötigt keine höhere Beschränkung des Leistungsbezugs von steuerbaren Verbrauchern.

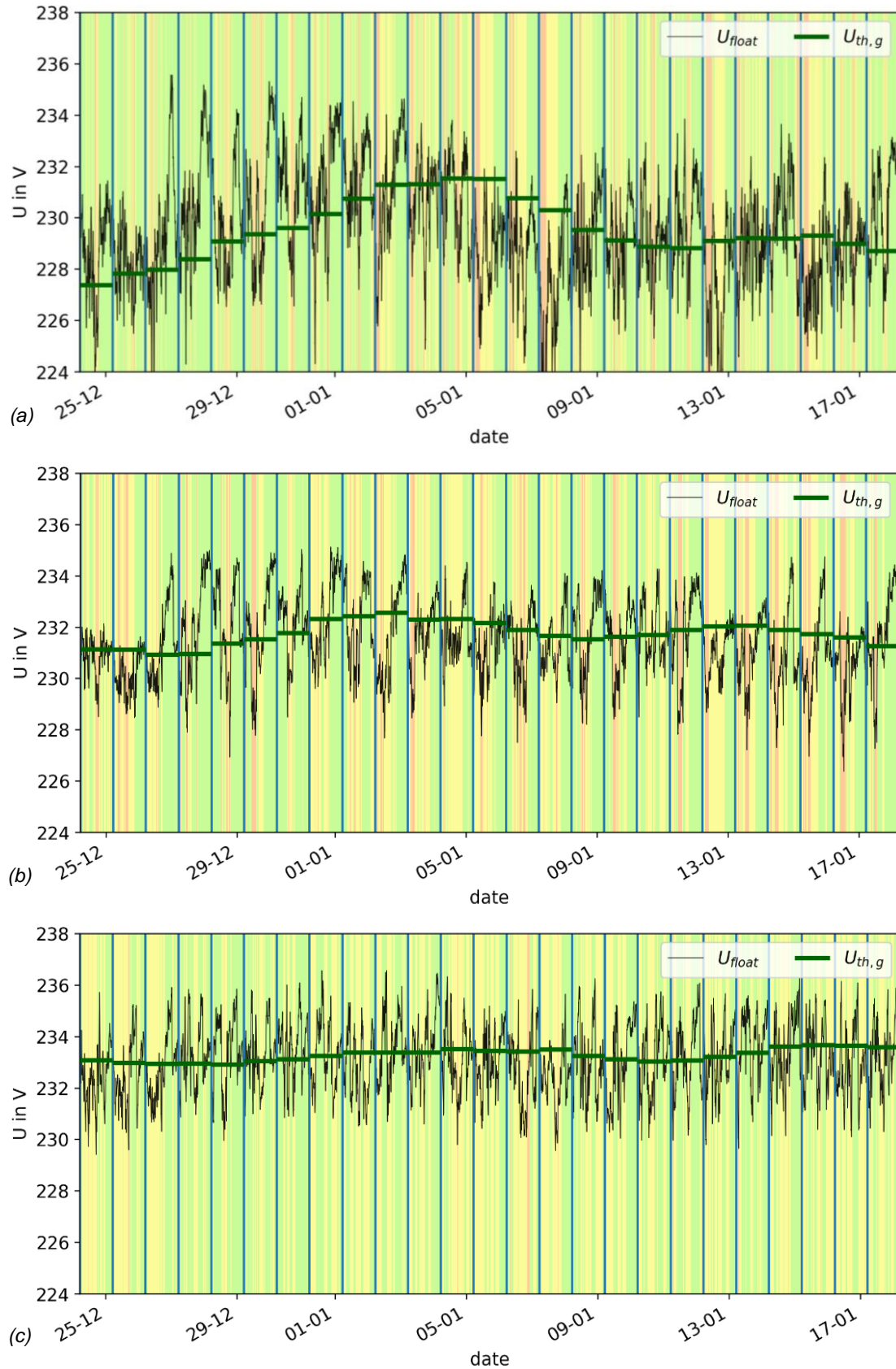


Abbildung 4 Vergleich des modulspezifischen Spannungsschwellwert anhand der Messdaten dreier Module.

2.5 Funktionsweise des Algorithmus anhand zweier Beispiele

Abbildung 5 zeigt den minütlichen und gleitenden Spannungsverlauf (L1) eines privaten Haushalts im Reallabor. Der Start des Tages ist auf 05:00 Uhr festgelegt. Es ist zu sehen, wie sich der gelbe und grüne Schwellwert im Vergleich zum Vortag nach oben hin korrigieren, basierend auf der Spannungsmessung der letzten Tage. Sobald der gleitende Mittelwert U_{float} unter den grünen Schwellwert fällt, liegt die Gelb-Zone vor. Fällt die Spannung U_{float} unter den gelben Schwellwert, liegt die Orange-Zone vor. An diesen Tag liegt die Leistung S_{float} durchgängig unter dem Leistungsschwellwert, hat dementsprechend keinen Einfluss auf die Verteilung der Zonen. Während den Spannungshochs werden alle steuerbaren Verbraucher freigegeben. An diesen Netzanschlusspunkt bricht die Spannung tagsüber vergleichsweise ein. In dieser Zeit werden je nach Zustand mehr oder weniger steuerbare Verbraucher gesperrt.

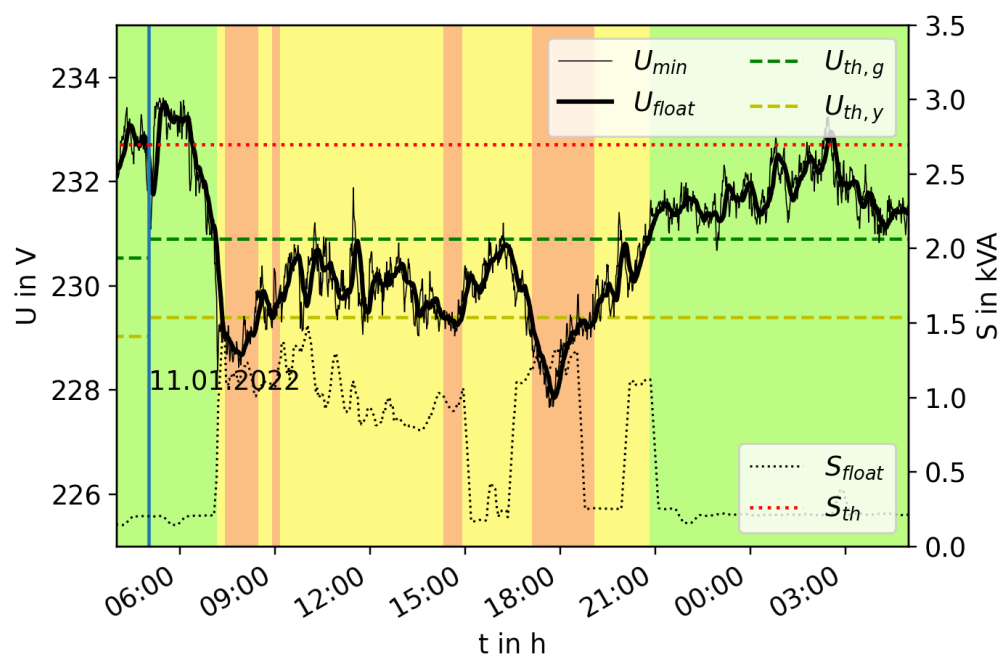


Abbildung 5 Zonen des Algorithmus in einem privaten Haushalt.

Die Betrachtung der täglichen Verteilung der Zonen über einen längeren Zeitraum, gibt Aufschluss darüber, ob Muster hinsichtlich der Sperrung der steuerbaren Verbraucher auftreten. Abbildung 6 zeigt die Zonen eines im Reallabor verbauten Moduls im Zeitraum vom 22.12.2021 bis zum 22.01.2022 (y-Achse, oben nach unten). Auf der x-Achse sind die Zonen in Minuten-Auflösung über einen Tag, beginnend um 05:00 Uhr, aufgetragen. Detaillierte Analysen werden über einen längeren Messzeitraum sowie eine Vielzahl der Module erfolgen. In diesem Beispiel sind trotz der enthaltenen Feiertage erste Auffälligkeiten zu erkennen, welche Interpretationen ermöglichen. Die Sperrung der steuerbaren Verbraucher erfolgt dem Lastmanagement-Konzept nach vermehrt in den Morgen- und Abendstunden. Über den Nachmittag hinweg können die Verbraucher, abhängig vom Netzzustand, wieder Leistung beziehen. In der Nacht werden die stVE an diesem Modul meist freigegeben. Entweder auf Grund des Netzzustands oder um die Mindestfreigabezeit einzuhalten, falls die stVE über den Tag maximal gesperrt wurden. Die bisherigen festen Sperrzeiten scheinen basierend auf dem schwankenden Netzzustand wenig geeignet.

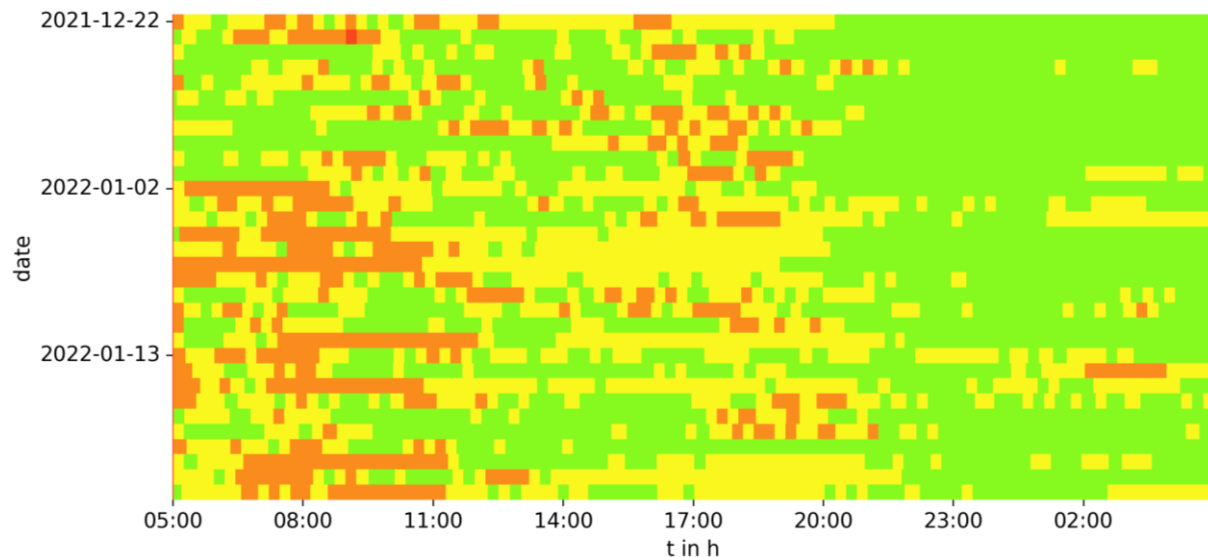


Abbildung 6 Verteilung der Zonen (Rot, Orange, Gelb, Grün) eines Moduls pro Tag über einen Monat.

3 Zusammenfassung

Das vorgestellte Lastmanagement-Konzept zur Steuerung flexibler Lasten in der Niederspannung konzentriert sich auf die im Gesetzesentwurf des EnWG definierten steuerbaren Verbrauchseinrichtungen [3] unter deren Vorgaben eine lokale, autarke Steuerung bereits heute möglich ist. Mit Hilfe eines Steuer-Moduls und einer Steuerbox wird am Hausanschluss eines privaten Haushalts der Netzzustand bestimmt und der steuerbare Verbraucher netzdienlich geschaltet. Ein Algorithmus im Steuer-Modul errechnet basierend auf den lokal erfassten Messdaten den aktuellen Netzzustand. Aufgrund des autarken Ansatzes wird die Übertragung sensibler Daten vermieden. Die ersten Messdaten aus dem Reallabor zeigen, wie sich der modulspezifische Schwellwert zur Ermittlung des Netzzustands tagesaktuell anpasst.

4 Ausblick - Umsetzung im Reallabor

Im Rahmen eines Reallabors wird das Lastmanagement-Konzept mit dem vorgestellten Algorithmus über mindestens ein Jahr erprobt. Der Einbau der Steuerboxen und -Module erfolgt seit Herbst 2021 in bis zu 120 ausgewählten Haushalten im ländlichen und urbanen Raum. Die gezeigten Messdaten stammen von bereits eingebauten Modulen. Über den gesamten Zeitraum des Reallabors muss sichergestellt sein, dass der zuständige Verteilnetzbetreiber weiterhin Eingriffsmöglichkeiten im Notfall behält. Dies wird über einen vom Mobilfunk unabhängigen Kommunikationskanal sichergestellt. Über ein Funkrufnetz sendet der Netzbetreiber seinen regulären Fahrplan direkt an die Steuerbox. Dieser Fahrplan wird in der Aktiv-Phase des Reallabors von den Berechnungen des Algorithmus überschrieben. Sendet der Netzbetreiber jedoch einen priorisierten Schaltbefehl aus, hat dieser immer die oberste Priorität und wird am Relais umgesetzt.

Zur Auswertung des Algorithmus, Detailanalyse der Netzzustände und nachfolgende Simulationen werden die in Abbildung 7 skizzierten Daten täglich die wissenschaftliche Einrichtung gesendet.

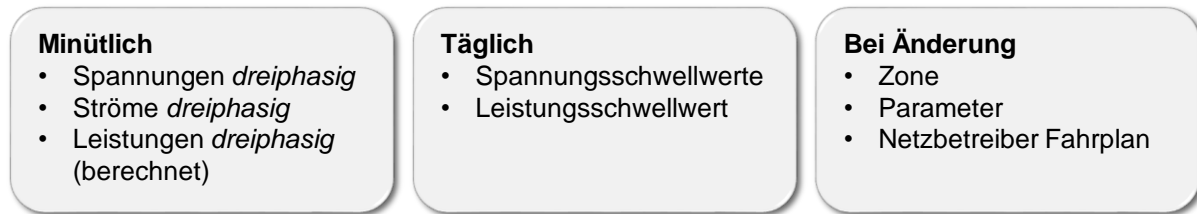


Abbildung 7 Im Reallabor erfasste Mess- und Algorithmus-Daten.

Basierend auf den Messdaten wird das Konzept in Simulationen ausgiebig getestet und auf zukünftige Anforderungen, wie beispielsweise in Stufen steuerbare Verbraucher und HEMS, ausgelegt. Einflüsse und Rückwirkungen auf das Stromnetz und die Verbraucher werden analysiert.

5 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.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesnetzagentur and Bundeskartellamt, "Monitoringbericht 2020", 2021.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, "Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621)." zuletzt geändert Art. 84 G v. 10.8.2021 I 3436.
- [3] BMWi Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, "Entwurf eines Gesetzes zur zügigen und sicheren Integration steuerbarer Verbrauchseinrichtungen in die Verteilernetze und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften.", 2020.
- [4] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., "Stellungnahme: Referentenentwurf Steuerbare-Verbrauchseinrichtungen-Gesetz (SteuVerG).", 2021.
- [5] S. Baumgartner, V. Barta, S. Uhrig, and R. Witzmann, "Praktische Umsetzung eines Reallabors für ein dezentrales Lastmanagement-Konzept", 2022.