

ENTWICKLUNG VON FÜNF ENERGIEVERSORGUNGSLEVELS FÜR HAUSHALTE ZUR BEWERTUNG VON RESILIENZ AUF QUARTIERSEBENE

Jakob Böhm*, Christian Doetsch

Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150 44801 Bochum, +49234/3226628,
jakob.boehm@rub.de , <https://www.ruhr-uni-bochum.de/is-ces/>

Kurzfassung: Robustheit, (modulare) Redundanz und intelligente Funktionslimitierung sind drei Strategien um Resilienz in Energiesystemen zu ermöglichen. Als Maßnahme zur Umsetzung intelligenter Funktionslimitierung dienen verschiedene, energetische reduzierte Versorgungslevel für Haushalte. Diese reduzierten Level tragen dazu bei, das Energiesystem temporär zu stabilisieren und so resiliente Energiesysteme auf Quartiersebene zu ermöglichen. Die Methodik zur Einteilung und Entwicklung der fünf energetischen Versorgungslevel wird ausführlich beschrieben. Die Level reichen von Normalversorgung (Level 5) bis zur maximal reduzierten Notversorgung (Level 1) und unterscheiden sich durch die verfügbaren spezifischen Dienstleistungen und maximalen Dauern. Um aggregierte Lastprofile für die Level 1-4 zu generieren werden Lastprofile mit Auflösungen von einer und 15 Minuten für vier ausgewählte Basishaushalte mit dem aktivitätsbezogenen Lastprofilgenerator LoadProfileGenerator 10.6 erstellt. Zur Validierung der Lastprofile der Normalversorgung (Level 5) dienen H0-Standardlastprofile. Mit der vorgestellten Methodik kann der Energiebedarf eines Haushalts an einem Sommertag um maximal ca. 80 % reduziert werden.

Keywords: Resilienz, Lastprofile, Versorgungslevel, Haushalte

1 Einleitung

Die Megatrends Energiewende und Digitalisierung führen zu starken Veränderungen in Energiesystemen, weg von zentraler top-down Versorgungs- und Regelungsstruktur hin zu einer äußerst dezentralen und auch zum Teil dezentral geregelten Energieversorgung. Hierdurch ergeben sich neue, weitergehenden Anforderungen an die Versorgungssicherheit, da die Systeme komplexer und störanfälliger werden. Außerdem kommen unvorhergesehene, dynamische Belastungen hinzu. Systeme, die diese Belastungen dynamisch abfangen können und wieder in einen stabilen Zustand zurückfinden, gelten als resiliente Systeme.[1] Da der Begriff Resilienz in unterschiedlichen Zusammenhängen verschieden ausgelegt wird, erfolgt zunächst eine kurze Definition und Einordnung was mit Resilienz gemeint ist, wenn von resilienten Energiesystemen die Rede ist. Anschließend wird die Methodenentwicklung für fünf energetischen Versorgungslevel für private Haushalte beschrieben und Lastprofile für vier Basishaushalte mit dem LoadProfileGenerator 10.6 erstellt. Die Basislastprofile werden zusätzlich zeitlich variiert. Aus den Einzelprofilen der verwendeten Geräte werden die Versorgungslevel konstruiert.

2 Resilienz im Energiesystem

Der Begriff Resilienz ist vielschichtig und wird in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen schon seit mehr als 100 Jahren verwendet, wie eine etymologische Begriffsbetrachtung von Alexander [2] zeigt. Seit Beginn der 2010er-Jahre steigt die Anzahl an Veröffentlichungen im Bereich von Energiesystemen mit Fokus auf Resilienz. [3]

In Abbildung 1 sind ein resilientes (— Kurve) und ein nicht resilientes (- - Kurve) Systemverhalten als Systemleistung $y(t)$ über der Zeit t dargestellt. Zum Zeitpunkt t_0 tritt ein Störereignis auf, das eine Störwirkung auf das System hat. Ereignisse, die und zu (Teil-)Ausfällen führen können, setzen sich aus vier Kategorien zusammen, die in Tabelle 1 aufgeführt sind. Die Störwirkung ist systemspezifisch, wobei unterschiedliche Störereignisse zum Teil zu gleichen oder ähnlichen Störwirkungen (z. B. defekte Stromleitungen) führen können. Nachfolgend liegt der Fokus auf den Wirkungen wodurch die zu betrachtenden Szenarien reduziert werden.

Durch die Störwirkung wird die Systemleistung $y(t)$ reduziert. Das nicht resiliente System kollabiert und es kommt zu einem Blackout. Resilientes Systemverhalten zeichnet sich dadurch aus, dass über eine Absorbierungsphase eine Stabilisierung der Systemleistung auf niedrigerem Niveau erreicht wird. Die Systemleistung beider Systeme wird anschließend wiederhergestellt, wobei die Wiederherstellung im resilienten System früher erfolgt. Eine weitere Besonderheit von resilienten Systemen ist, dass diese aus einem Störfall zu lernen, sodass bei einem ähnlichen Störfall weniger Systemleistung verloren wird. [4]

Tabelle 1: Kategorisierung von möglichen Störereignissen. [4, 5]

Kategorie	Störereignisse
Physisch-menschlich	Vandalismus, menschliches Versagen
Physisch-natürlich	Starkwetterereignisse, Sonnenstürme
Cyber	Denial-of-Service, Bad Data
Technisch	Kaskadeneffekte

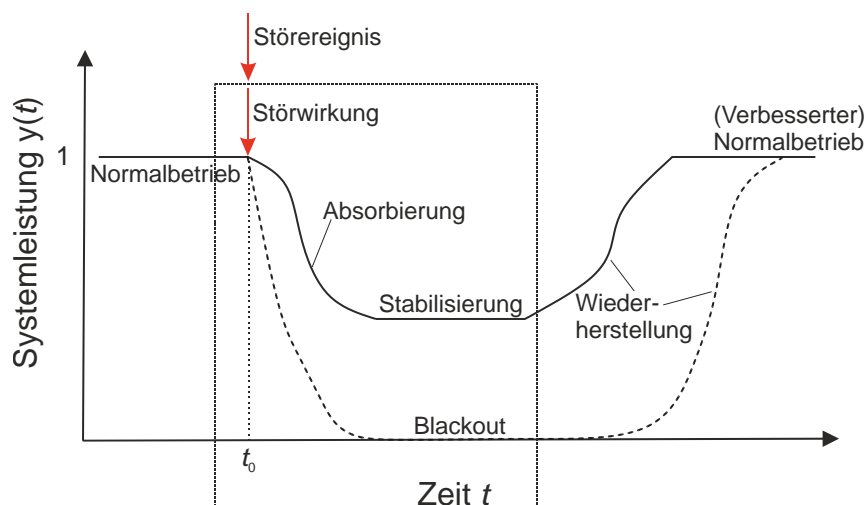


Abbildung 1: Übersicht Systemleistung $y(t)$ nach einem Störereignis: resilientes Verhalten (—) und nicht resilientes Verhalten (- -).

Um Resilienz im Energiesystem herzustellen, werden drei Strategien unterschieden. Diese drei Strategien sind aufsteigend in ihrer Komplexität:

- Resilienz durch Robustheit
- Resilienz durch modulare Redundanz
- Resilienz durch intelligente Funktionslimitierung

Resilienz durch Robustheit liegt vor, wenn die betrachteten Komponenten bekannte Schadensereignisse (z.B. Stürme) unbeschadet überstehen. Die Auslegung der Systeme erfolgt an Hand von Jahrhundertereignissen. Robustheitsstrategien wirken dem Schadensereignis direkt entgegen. In der schematischen Darstellung in Abbildung 1 liegen diese vor dem Zeitpunkt t_0 , da keine Minderung der Systemleistung entsteht.

Resilienz durch modulare Redundanz ist eine Erweiterung des N-1-Kriteriums, bei dem ein System weiter funktioniert, wenn ein Betriebsmittel ausfällt, hin zum N-X-Kriterium. Die Strategie wirkt insbesondere bei undefinierten Ereignissen mit bekannten Auswirkungen (z. B. spezifische Anlagen fallen aus). Zusätzliche Betriebsmittel werden vorgehalten um im Schadensfall die Funktion des ausgefallenen Betriebsmittels zu übernehmen. Werden viele kleinere Aggregate statt zwei großer verwendet kann die vorgehaltene Überkapazität verringert werden und gleichzeitig die Restkapazität im Schadensfall erhöht werden. [6]

Resilienz durch intelligente Funktionslimitierung ist eine Strategie, in der der Betriebsweise geändert wird, um die Systemleistung $y(t)$ zu stabilisieren. Dabei werden Limitierungen der Systemleistung und Ausfälle von Teilsystemen eingeplant um das Gesamtsystem zu stabilisieren. Ein Beispiel für systemstabilisierende Maßnahmen sind energetische Versorgungslevel, die eine stabile Systemfunktion auf unterschiedlichem Niveau erlauben. Die Methodik zur Ableitung und Entwicklung solcher Level wird in Abschnitt 3 beschreiben. In Abschnitt 4.2 werden erste Ergebnisse als Lastprofile eines generischen Quartiers vorgestellt.

3 Energetische Versorgungslevel für Haushalte

Die Methodik zur Festlegung dieser Versorgungslevel wurde der Arbeit von Bhatia und Angelou [7] entnommen. Sie erstellten einen Index, der beschreibt, wie Haushalte in Entwicklungsländern Zugang zu Energie erhalten. Der Zugang zu Elektrizität und Wärme wird in jeweils fünf Stufen klassifiziert. Die Methodik von Bhatia und Angelou wird hier übernommen und an private Haushalte in Deutschland angepasst. Die Anpassung erfolgte mit Hilfe der Ergebnisse eines TAB-Reports [8], in dem die Folgen eines lang anhaltenden und großflächigen Stromausfalls in Deutschland beschrieben werden.

Hier werden beispielhaft fünf Versorgungslevel für Elektrizität vorgestellt, die als Hilfsmittel dienen um Störwirkungen abzumildern. Sie unterscheiden sich durch die jeweilige Verfügbarkeit spezieller Dienstleistungen und in deren maximal zulässiger Dauer. Die Wahl der Anzahl von fünf Leveln für diese Betrachtung erfolgte, um zum einen eine ausreichend feine Unterscheidung derselben zu ermöglichen, aber zugleich noch eine handhabbare und umsetzbare Anzahl zu haben. In weiteren Untersuchungen bzw. in praktischen Umsetzungen können auch mehr oder weniger Level betrachtet werden. Die Level reichen von Notversorgung (Level 1) bis Vollversorgung (Level 5). In Tabelle 2 sind die spezifischen verfügbaren Dienstleistungen und die jeweilige maximale Dauer aufgeführt. Die

Anforderungen bzw. Definitionen dieser Level ergeben sich aus der Betrachtung der Bedarfsseite, nicht auf Basis von Analysen von typischen Schadensereignissen.

Das Level 1 dient als finale Möglichkeit einen Blackout zu verhindern. Im TAB-Report [8] wird die zentrale Rolle von funktionierenden Kommunikationssystemen für die Wiederherstellung der Energieversorgung betont. Außerdem wird die Trinkwasserversorgung als kritisch eingeordnet. Daher werden diese Energiebedarfe priorisiert. Des Weiteren haben die Haushalte 50 % ihrer normalen Energie für Beleuchtung zur Verfügung. Aufgrund der schwerwiegenden Einschnitte die bei diesem Level bestehen, ist die maximale Dauer auf 24 h angesetzt.

Level 2 hat eine maximale Dauer von 48 h. Für diese Zeitspanne wird angenommen, dass die Haushalte Energie für Beleuchtung, Kühlung sowie einen reduzierten Betrag für Heizung, Warmwasser und Kochen zumindest benötigen.

In Level 3, der eine maximale Dauer von vier Tagen umfassen darf, wird die Leistung, die Kleinverbrauchern zur Verfügung steht, auf 75% begrenzt während die verfügbare Leistung für Großgeräte (z. B. Heizung, Warmwasser, Waschmaschine) auf 50% begrenzt werden.

Level 4 stellt den Übergang zur Normalversorgung dar. Durch die geringeren Einschränkungen kann dieses Level zwei bis vier Wochen genutzt werden. Darin sind die Großgeräte in der Häufigkeit und Gleichzeitigkeit ihrer Nutzung eingeschränkt um sowohl den Leistungs- als auch den Arbeitsbedarf zu senken.

Level 5 bildet die Normalversorgung der Haushalte ab. Ein gesondertes Level für einen Blackout wird nicht definiert, da hier keine Energieversorgung mehr stattfindet und dies dem nicht resilienten Verhalten des Systems entsprechen würde.

Tabelle 2 Übersicht der fünf Versorgungslevel mit verfügbaren Dienstleistungen und maximalen Dauern.

Level	Verfügbare Dienstleistungen	Max. Dauer
1	50 % Licht, IKT und anteilmäßig Quartiersaufwendungen (Trinkwasser & Kommunikation), Wasserkocher	24 h
2	Licht, Kühlschrank, eingeschränkter Kochbedarf sowie Heizung und Warmwasser zu 25 %	48 h
3	Kleinverbraucher (Licht, IKT, etc.) zu 75 % nutzbar, Großverbrauch zu 50 % nutzbar	Bis 4 d
4	Kleinverbraucher vollständig nutzbar, Großverbraucher in ihrer Gleichzeitigkeit und Häufigkeit (75 %) reduziert	2 – 4 Wochen
5	Normalversorgung	

3.1 Entwicklung der Basislastprofile

Zur Erstellung von aktivitätsbezogenen Lastprofilen von Haushalten wird der LoadProfileGenerator 10.6 [9] verwendet. Dabei werden zunächst Einzellastprofile von Haushaltstypen im Haustyp HT11 (20000 kWh Heizung und Warmwasser mit Wärmepumpe) mit zeitlichen Auflösungen von 1 min. und 15 min. erstellt. Eine Übersicht der verwendeten

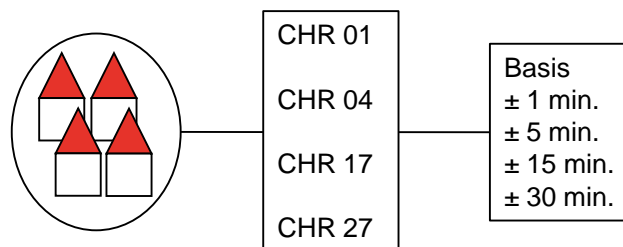
Haushaltstypen ist in Tabelle 3 zu finden. In den Berechnungseinstellungen des LoadProfileGenerators werden geografische und Wetterdaten für die Stadt Hamburg verwendet. Alle Haushalte haben eine Ausstattung an energiesparenden Geräten.

Um ein generisches Quartier mit einer größeren Haushaltszahl abzubilden, werden zeitliche Variationen der vier Basisprofile durchgeführt. Das Schema für die neun jeweiligen Variationen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Variationen um ± 15 min und ± 30 min. dienen, dazu die Extremwerte zeitlich zu verbreitern. Mit den Verschiebungen um ± 1 min. und ± 5 min. ändern sich zusätzlich die aggregierten 15 min.-Werte und die Charakteristika der Zeitreihen. Insgesamt werden aus den vier Basishaushalten über die vorgestellten Variationen 36 Haushalte dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht und Beschreibung der verwendeten Haushaltstypen. [10]

Kennung	Beschreibung	Personen <i>N</i>
CHR 01	Paar, beide arbeiten	2
CHR 04	Paar, 1 arbeiten und 1 zuhause	2
CHR 17	Paar, beide in Schichtarbeit	2
CHR 27	Familie, beide arbeiten plus 2 Kinder	4

Um spezifische Effekte des Jahresverlaufs zu analysieren werden für alle Haushalte repräsentative Wochen im Winter (01.02. bis 07.02.2021) und Sommer (01.06. bis 07.06.2021) ausgewählt und die entsprechenden Zeitreihen erstellt. Die Validierung des so erstellten generischen Quartiers erfolgt über einen Vergleich mit H0-Standardlastprofilen [11]. Level 5 stellt die Normalversorgung dar und ist der Ausgangspunkt der Berechnungen. Die weiteren Level sind Adaptionen davon.



$$36 \text{ Haushalte} = 4 \text{ Basishaushalte} \times 9 \text{ Zeitvariationen}$$

Abbildung 2: Übersicht der generischen Quartierserstellung.

3.2 Entwicklung Lastprofile der Versorgungslevel

Die Grundlagen zur Entwicklung der Lastprofile der fünf energetischen Versorgungslevel werden in Abschnitt 3.1 vorgestellt. Für die berechneten Haushalte liegen Zeitreihen der haushaltsspezifischen Geräte vor. Diese werden den in Tabelle 2 aufgeführten Leveln zugeordnet und anschließend für die unterschiedlichen Level addiert. Für den Quartiersbetrieb benötigte Energiemengen zur Trinkwasserversorgung und für Kommunikationssysteme, fallen aber nicht in den Haushalten an. Sie werden deshalb gesondert betrachtet.

Insbesondere für Level 3 und 4 ist eine spezifische Betrachtung von Arbeit und Leistung wichtig. Die Verschiebung von Dienstleistungen zu anderen Zeitpunkten verringert die abgerufene Leistung, aber nicht die benötigte Energiemenge. Eine Leistungsverschiebung ist daher nur sinnvoll, wenn im System Generatoren oder eine (reduzierte) externe Energieversorgung besteht. Falls nur Speicher vorhanden sind, ist die Reduzierung der verfügbaren Energie wichtiger als die Leistungsreduzierung.

4 Ergebnisse und Validierung

4.1 Basislastprofile

In Abbildung 3 sind die vier Basislastprofile der Haushalte für einen beispielhaften Tag im Winterzeitraum dargestellt. Die einzelnen Haushaltstypen haben unterscheidbare Tagescharakteristika. Erwartungsgemäß ist der Energiebedarf vom Haushalt CHR 27 als simulierte Familie mit vier Personen im Haushalt am höchsten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier darauf verzichtet, einen beispielhaften Tagesverlauf zu zeigen. Im Winter sind die Energiebedarfe der Haushalte durch die vorgegebene Nutzung der Wärmepumpe erhöht. Dies übertrifft Effekte, die durch die Menge an Tageslicht entstehen.

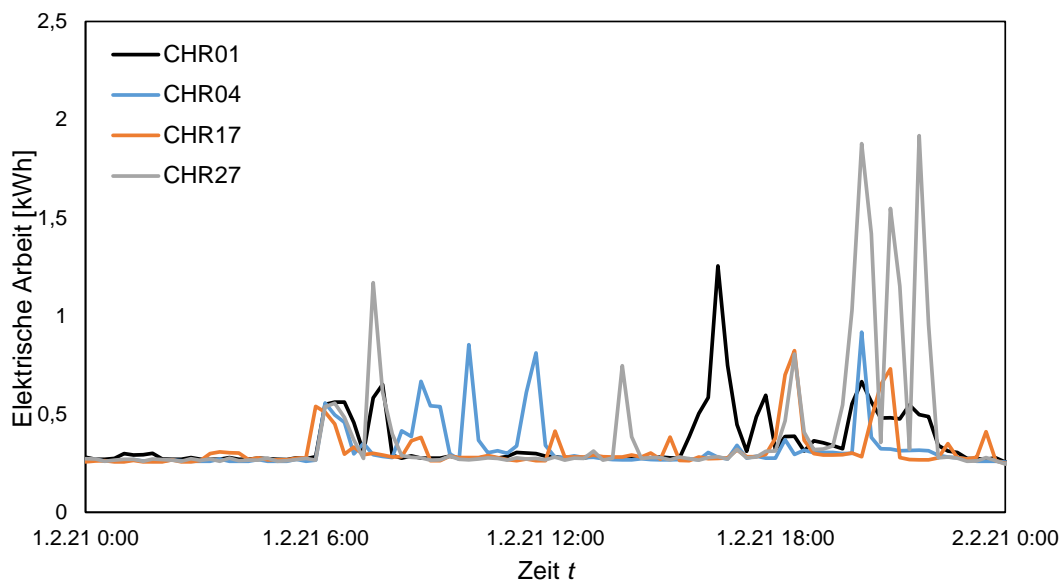


Abbildung 3: Lastprofile der vier Basishaushalte an einem beispielhaften Wintertag.

Die zeitlichen Verschiebungen der Lastprofile sind in Abbildung 4 für einen Wintertag des Haushaltstyps CHR 01 dargestellt. Dabei sind die einzelnen Kurven nicht ideal unterscheidbar, aber die erwünschte Spreizung der Hochpunkte am Morgen und Abend wird deutlich. So wird das Verhalten unterschiedlicher Personen gleicher Haushaltstypen dargestellt.

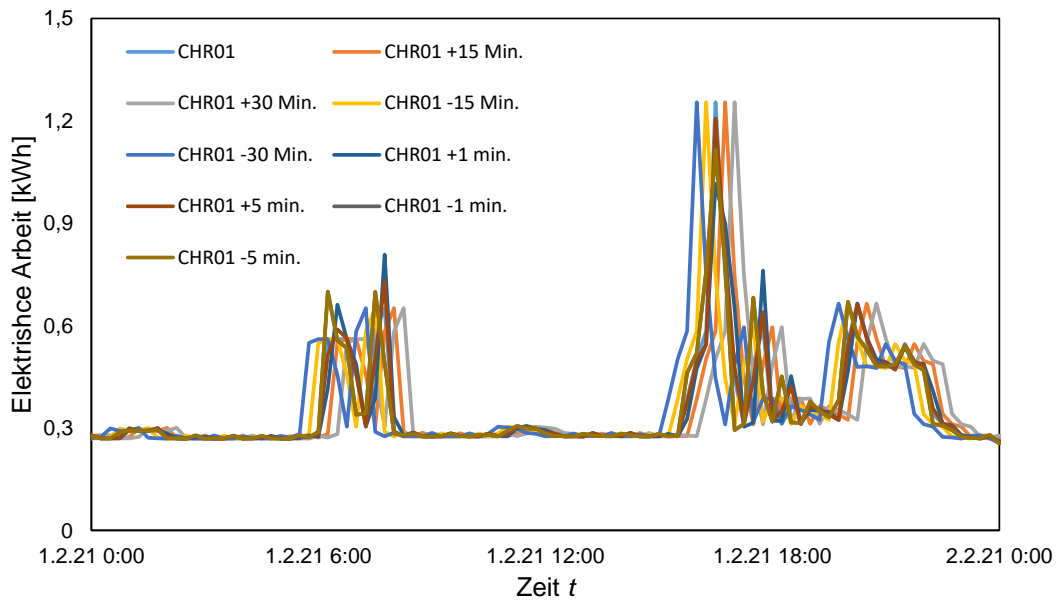


Abbildung 4: Lastprofilschar der zeitlichen Verschiebungen für den Haushalt CHR 01 an einem Wintertag.

Zur Validierung der vorgestellten Ergebnisse werden die aggregierten Lastprofile des Quartiers in der Konfiguration Normalversorgung (Level 5) mit H0-Standardlastprofilen für Haushalte [11] verglichen. Die Vergleiche der aggregierten Lastprofile des Quartiers mit einem, auf die elektrische Arbeit normierten, H0-Standardlastprofil der Stadtwerke Groß-Gerau [12] sind in Abbildung 5 für die Winterwoche und in Abbildung 6 für die Sommerwoche dargestellt.

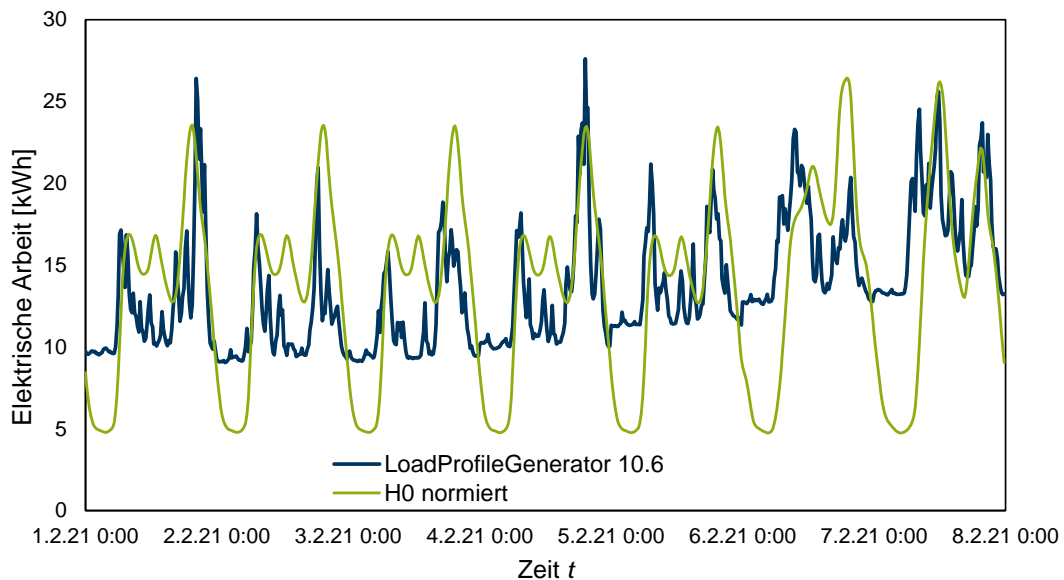


Abbildung 5: Vergleich des mit dem LoadProfileGenerator 10.6 erzeugten, aggregierten Lastprofil mit einem normierten H0-Standardlastprofil für die Winterwoche.

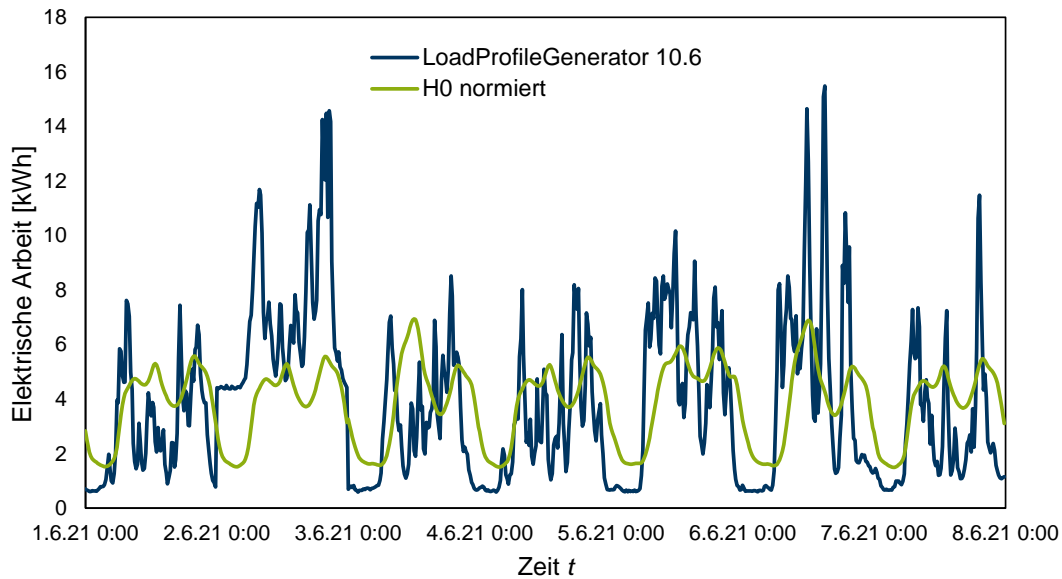


Abbildung 6: Vergleich des mit dem LoadProfileGenerator 10.6 erzeugten, aggregierten Lastprofil mit einem normierten H0-Standardlastprofil für die Sommerwoche.

Die Maximalwerte des Standardlastprofils für die Winterwoche stimmen zeitlich und auch von der Intensität mit denen des LoadProfileGenerators überein. Allerdings treten in den Nächten größere Abweichungen auf, in denen die Werte des LoadProfileGenerators über denen des Standardlastprofils liegen. Diese Abweichungen sind durch die Normierung des Standardlastprofils auf die spezifische Woche zu begründen. Ein zusätzlicher Effekt tritt durch die ausschließliche Nutzung von Wärmepumpen zur Wärme- und Warmwasserbereitstellung auf. Der Energiebedarf der Heizung wird von den Standardlastprofilen nicht vollumfänglich abgebildet. Für das mit dem LoadProfileGenerator berechnete Quartier treten mehr Extremwerte auf als im stetigeren Standardlastprofil. Dies ist explizit erwünscht, da mit Standardlastprofilen Verbrauchsspitzen und -senken von Einzelhaushalten und kleinen Quartieren nicht abgebildet werden können.

Auch für die Sommerwoche liegen Standardlastprofile für die meisten Tage im Trend. Für den 2.6.2021 sind die mit dem LoadprofileGenerator berechneten Daten jedoch deutlich höher, da dort in allen Basishaushalten die Wärmepumpe Leistung gezogen hat. Dieser Effekt kann von den Standardlastprofilen nicht abgebildet werden. Dies führt dann auch zu den Abweichungen der normierten Daten. Die genauen Effekte werden noch analysiert.

4.2 Energetische Versorgungslevel

Die Lastprofile der fünf energetischen Versorgungslevel für den Haushalt CHR 01 an einem Tag im Sommerzeitraum sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Reduktion im Peak am Morgen ist insbesondere auf die Limitierung der Warmwasserbereitstellung zurückzuführen. Diese ist, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, über die unterschiedlichen Level skaliert. Kleinere Effekte treten über die Priorisierung der Küchengeräte auf. Bei den Peaks am Vorabend (vor 18 Uhr) zeigen sich die gleichen Effekte. Nach 18 Uhr treten zusätzliche Effekte wie die ermöglichte Entertainmentnutzung ab Level 3 und die Energie für Waschen und Spülen in Level 4 auf.

Für die Notversorgung in Level 1 kann so die benötigte Energie des Haushalts um 80,2 % reduziert werden. Die Reduktionen der weiteren Level betragen 64,31 % in Level 2, 45,52 % in Level 3 und 20,7 % in Level 3.

Für den in Abbildung 8 dargestellten Winterzeitraum dominieren die Einflüsse aus der Skalierung der Heizung und Warmwasserbereitstellung. Durch die Limitierung der Nutzung dieser Geräte kann sowohl die bezogene Leistung als auch die Arbeit des Haushalts stark reduziert werden. Dies spiegelt sich auch in den reduzierten Energiebedarfen der Level wieder. Diese weichen aufgrund der Skalierung kaum von den voreingestellten Werten ab. Hier ist eine zusätzliche gesonderte Betrachtung ohne die Heizenergie sinnvoll, um die Effekte der Limitierung der anderen Dienstleistungen besser bewerten zu können.

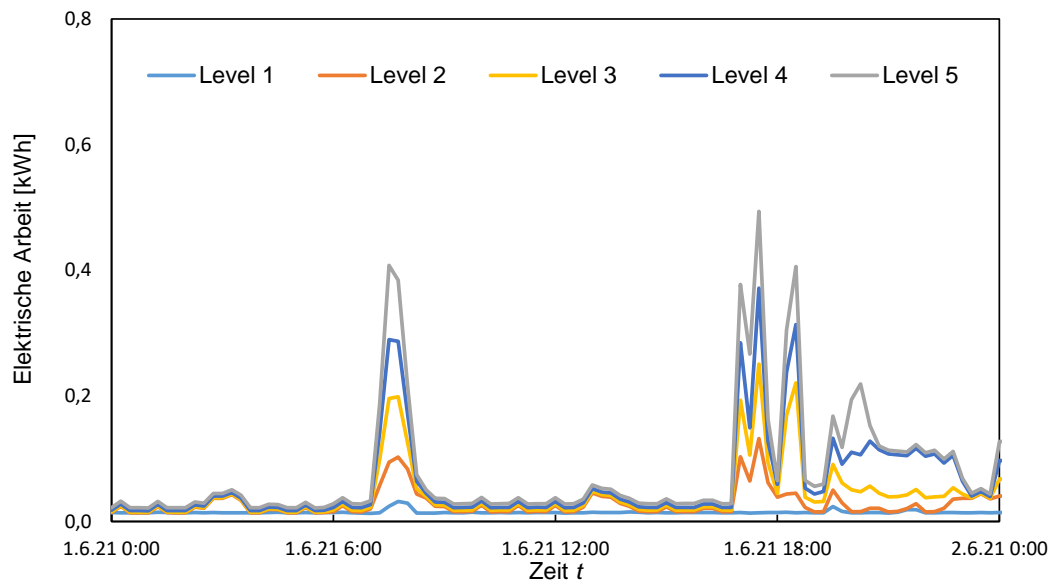


Abbildung 7: Fünf energetische Versorgungslevel für den Basishaushalt CHR 01 an einem Tag im Sommerzeitraum.

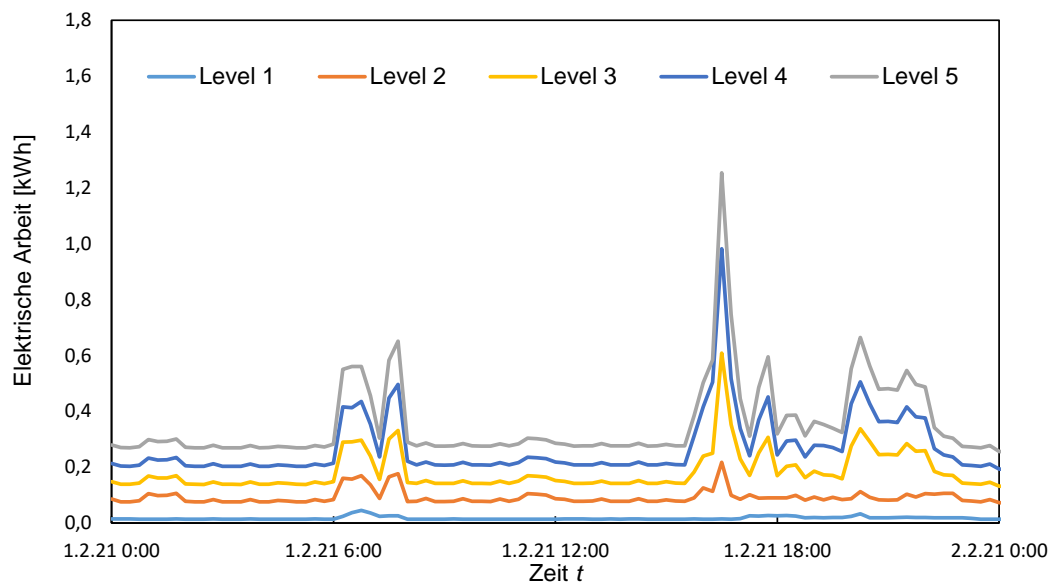


Abbildung 8: Fünf energetische Versorgungslevel für den Basishaushalt CHR 01 an einem Tag im Winterzeitraum.

5 Ausblick

Die vorgestellte Methodik zur Untersuchung energetische Versorgungslevel von Haushalten eignet sich zur Entwicklung von Resilienzstrategien auf Quartiersebene. Die zeitlich begrenzte Reduzierung des Energiebedarfs der Haushalte im Störfall kann dazu dienen das Gesamtsystem temporär zu stabilisieren für einen darauf folgenden Wiederaufbau. Im Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen, wie z. B. zusätzlichen Speichern oder des bidirektionalen Ladens von Elektroautos sollen so großflächige Stromausfälle verhindert werden. Gleichzeitig gilt es, die Einschränkungen so gering und kurz wie möglich zu halten.

Die erstellten Lastprofile für das generische Quartier sollen in einem anschließenden Schritt in ein Energiesystemmodell übernommen werden. In dem Modell werden Störwirkungen der Energieversorgung vorgegeben. So wird geprüft, inwieweit energetische Versorgungslevel von Haushalten dazu beitragen können, nicht nur den Energiebedarf des Quartiers zu senken, sondern auch das Systems stabilisieren und zu seiner Resilienz beitragen.

Förderhinweis

Dieses Projekt wird gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen und ist im Rahmen der Doctoral School *Closed Carbon Cycle Economy* entstanden.

6 Referenzen

- [1] IEA, *Ensuring Energy Security*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/areas-of-work/ensuring-energy-security> (Zugriff am: 12. Oktober 2021).
- [2] D. E. Alexander, „Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey“, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Jg. 13, Nr. 11, S. 2707–2716, 2013, doi: 10.5194/nhess-13-2707-2013.
- [3] B.-J. Jesse, H. U. Heinrichs und W. Kuckshinrichs, „Adapting the theory of resilience to energy systems: a review and outlook“, *Energ Sustain Soc*, Jg. 9, Nr. 1, S. 1, 2019, doi: 10.1186/s13705-019-0210-7.
- [4] acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Hg., *Das Energiesystem resilient gestalten: Maßnahmen für eine gesicherte Versorgung*. München, Halle (Saale), Mainz: acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. - Nationale Akademie der Wissenschaften; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften e.V., 2017. [Online]. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:3:2-106010>
- [5] S. Mishra, K. Anderson, B. Miller, K. Boyer und A. Warren, „Microgrid resilience: A holistic approach for assessing threats, identifying vulnerabilities, and designing corresponding mitigation strategies“, *Applied Energy*, Jg. 264, S. 1–17, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114726.
- [6] F. Weber, „Redundanz - Modularität - Skalierbarkeit“, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Bonn, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Empfehlungen-nach-Angriffszielen/Hochverfuegbarkeit/Redundanz->

- Modularitaet-Skalierbarkeit/Redundanz-Modularitaet-Skalierbarkeit.html. Zugriff am: 2. Dezember 2021.
- [7] M. Bhatia und N. Angelou, *Beyond Connecitons: Energy Access Redefined: ESMAP Technical Report: 008/15*. Washington, DC: World Bank, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24368>
- [8] T. Petermann, H. Bradke, A. Lüllmann, M. Poetzsch und U. Riehm, *Was bei einem Blackout geschieht: Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls*, 2. Aufl. Berlin: Edition Sigma, 2013.
- [9] *LoadProfileGenerator*. 10.6, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.loadprofilegenerator.de/download/>
- [10] N. D. Pflugradt, „Modellierung von Wasser und Energieverbräuchen in Haushalten“. Dissertation, Professur Technische Thermodynamik, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-209036>
- [11] C. Fünfgeld und R. Tiedemann, „Anwendung der Repräsentativen VDEW-Lastprofile: Step-by-step“, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 2000.
- [12] Stadtwerke Groß-Gerau Versorgungs GmbH, *GGV SLP 1000MWH 2021.xlsx*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ggv-energie.de/cms-wAssets/docs/stadt/netz/netzbilanzierung/download-aller-profile/GGV_SLP_1000_MWh_2021_01-2020-09-24.xlsx (Zugriff am: 20. Januar 2022).