

## Elektrische Leistungsbegrenzung für Gebäude – Herausforderungen und Strategien zur Umsetzung

Robert Haberl<sup>(1)</sup>, Michael Sattler<sup>(2)</sup>, Franz Sidler<sup>(3)</sup>, Artem Sotnikov<sup>(3)</sup>, Christof Biba<sup>(1)</sup>, David Zogg<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut für Solartechnik SPF, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, [roberthaberl@spf.ch](mailto:roberthaberl@spf.ch), [www.spf.ch](http://www.spf.ch)

<sup>(2)</sup> Ökozentrum

<sup>(3)</sup> Hochschule Luzern Technik & Architektur, Zentrum für integrale Gebäudetechnik

<sup>(4)</sup> Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Hochschule für Technik

### Zusammenfassung

### Résumé

### Abstract

Die Stabilität des Stromnetzes wird mit zunehmender Einspeisung von Strom aus neuen erneuerbaren Energien zu einer Herausforderung. Gebäude mit einer Begrenzung der elektrischen Bezugs- und Einspeiseleistung (16 A Absicherung) wären ein für die Stromnetzstabilität attraktiver Gebäudetyp. Zur Untersuchung dieses Konzeptes wurde eine Simulationsumgebung aufgebaut, die alle relevanten Komponenten umfasst. Dabei fanden die Programme IDA ICE (Gebäude), LoadProfileGenerator (Strombedarf Haushaltsgeräte) und TRNSYS (Heizsystem, PV und Batterie) Anwendung. Die Simulation einer Basisversion (ohne Lastmanagement, Batteriespeicher und PV-Anlage) zeigt, dass bei einem Einfamilienhaus die Ströme auf den 3 Stromphasen im Verlauf eines Jahres nur jeweils für wenige Stunden über dem maximalen Bezugswert liegen. Mit Hilfe einer üblichen Batterie kann diese Zeit auf wenige Minuten begrenzt werden, die wiederum über einen Lastabwurf der Wärmepumpe abgefangen werden können. Es zeigt sich also, dass ein sicherer Betrieb eines 16 A-Gebäudes mit bereits heute verfügbaren Mitteln ohne Komforteinbussen möglich ist.

The stability of the power grid becomes a challenge with the increasing supply of electricity from new renewable energies. Buildings with a limitation of the electrical supply and feed-in power (16 A protection) would be an attractive type of building for the stability of the power grid. To investigate this concept, a simulation environment was set up that includes all relevant components. The programs IDA ICE (building), LoadProfileGenerator (power consumption household devices) and TRNSYS (heating system, PV and battery) were used. The simulation of a basic version (without load management, battery storage and PV system) shows that in a single-family house, the currents in the three electricity phases are only a few hours above the maximum value over the course of a year. With the use of an usual battery, this time can be limited to a few minutes, which in turn can be absorbed by a load shedding of the heat pump. This shows that a safe operation of a 16 A building is possible with already available means without loss of comfort.

# 1. Ausgangslage

Die Stabilität des Stromnetzes wird mit zunehmender Einspeisung von Strom aus neuen erneuerbaren Energien zu einer Herausforderung. Das Bereitstellen von Regelenergie und der verstärkte Netzausbau verursachen Kosten für den Netzbetreiber. Daher ist das Thema Leistungstarif nun auch für kleine Verbraucher wie Einfamilienhäuser bei den Energieversorgern wieder auf der Agenda.

Gebäude mit einer Begrenzung der Bezugs- und Einspeiseleistung auf tiefstem Niveau (16 A-Absicherung) wären ein für die Stromnetzstabilität attraktiver Gebäudetyp. Die Begrenzung der Anschlussleistung würde eine deutliche Reduktion der Stromnetzbelastung bedeuten, da Last- und Einspeisespitzen von mehr als 16 A pro Phase und Gebäude ausgeschlossen werden.

Das Projekt „16A-Gebäude - Stromnetzstabilisierung und Nutzerbeeinflussung durch elektrische Leistungsbegrenzung für Gebäude“ untersucht die Anforderungen und die Auswirkungen einer Begrenzung der Bezugs- und Einspeiseleistung von Gebäuden. Das Konzept des 16A-Gebäudes wird mittels Simulationen für verschiedenste Varianten und Skalierungen untersucht und der technische Nutzen für die Stakeholder (Netzbetreiber, Gebäudebesitzer) dargestellt.

## 2. Vorgehen

### 2.1 Übersicht

Zur Untersuchung des 16 A-Konzeptes wurde eine Simulationsumgebung aufgebaut, die den Wärme- und Strombedarf in einem Gebäude inklusive aller Verbraucher abbildet. Die Simulationen wurden mit Hilfe des Programmes TRNSYS [1] durchgeführt. Dazu werden verschiedene Lastprofile eingelesen: Die Raumheizungslast, ein Warmwasser (WW) - Zapfprofil sowie ein Haushaltsstrom - Profil. Diese Profile wurden mit Hilfe eines Programms namens Load Profile Generator (LPG) [2] sowie dem Simulationsprogramm IDA ICE [3] erstellt. Die Klimadaten wurden den Daten von Meteonorm für den Standort Zürich entnommen.

### 2.2 Lastprofile

Die elektrischen Verbraucher im Haushalt wurden mit dem LPG definiert. Dieses Programm erstellt Lastprofile basierend auf einer Verhaltenssimulation der Menschen in einem Haushalt. Dazu ist unter anderem eine Vielzahl verschiedener Geräte mit ihrem Verbrauch hinterlegt. Für das vorliegende Projekt wurden verschiedene 4-Personen Haushalte ausgewählt: Je zwei Familien mit der Charakteristik „Normal“ und „Sparsam“. Resultat dieser Simulation sind Profile für alle elektrischen Verbraucher sowie ein Profil mit dem WW-Bezug der Bewohner.

Die einzelnen Geräte aus den Profilen wurden auf die Phasen des Dreiphasennetzes aufgeteilt. Diese Verteilung erfolgte nach folgenden Regeln:

- Geräte die pro Phase über 370 Watt (10% von 16 A) brauchen, aber nicht in ein Lastmanagement eingebunden sind, wurden diskret auf eine Phase gelegt.
- Geräte mit einem Verbrauch unter 370 W wurden gleichmässig auf die 3 Phasen verteilt.
- Geräte mit einem möglichen Lastmanagement wurden mit Stromverbrauch pro Phase erfasst. Ein Lastmanagement kann auf folgende Verbraucher angewandt werden: Waschmaschine, Tumbler und Geschirrspüler.

In Tabelle 1 sind Informationen zu den Haushaltsstromprofilen „Normal“ mit einem Gesamtverbrauch von 3.64 MWh für Haushalt 1 bzw. 4.82 MWh für Haushalt 2 dargestellt.

Aus dem WW-Bezug der Personen wurden Zapfprofile zur Verwendung in der Gesamtsimulation in TRNSYS erstellt. Für Haushalt 1 resultiert so ein Verbrauch von 3.07 MWh, für Haushalt 2 ergeben sich 3.20 MWh an Wärmebedarf für WW.

Um den Heizenergiebedarf zu simulieren wurde ein Modell eines Einfamilienhauses in der Simulationsumgebung IDA ICE aufgebaut. Der Grundriss des Gebäudes mit den Aussenmassen 13.5 m x 7.5 m ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Simulation des Gebäudes beinhaltet folgende Gebäudetechnik: Lüftung (mechanische mit WRG oder konstante Infiltration), Wärmespeicher

Tabelle 1: Details zu den Haushaltsstromprofilen „Normal“.

		1	2
Anzahl der Geräte:			
Kleingeräte	[-]	30	36
Grossgeräte ohne Lastmanagement	[-]	11	14
Grossgeräte mit Lastmanagement	[-]	3	3
Verbrauch			
Fix belegte Komponenten	[MWh]	2.47	3.67
Variable Komponenten	[MWh]	1.17	1.14
Total	[MWh]	3.64	4.82

(technischer Speicher + 300 Liter BW-Speicher) und Beschattung (automatisch mit Storen). Die internen Lasten des Gebäudes (Anwesenheit der Personen und Abwärme aus verschiedenen Anwendungen) wurden mit Hilfe der Haushaltsstrom-Daten bestimmt und auf die entsprechenden Räume verteilt. Das Resultat dieser Simulation ist ein Lastprofil des Gebäudes (Heizlast in kW). Die Heizlast bei einer Aussentemperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  beträgt 5.3 kW. Der jährliche Heizwärmebedarf beträgt 8.6 MWh bei einer Energiebezugsfläche von  $220\text{ m}^2$ .

Wie im Fall der Haushaltsstrom-Profile wurden auch hier verschiedene Varianten als Lastprofil erstellt: Jeweils ein Einfamilienhaus (EFH) und ein Doppelhaus mit der Charakteristik „Normal“ und „Sparsam“.

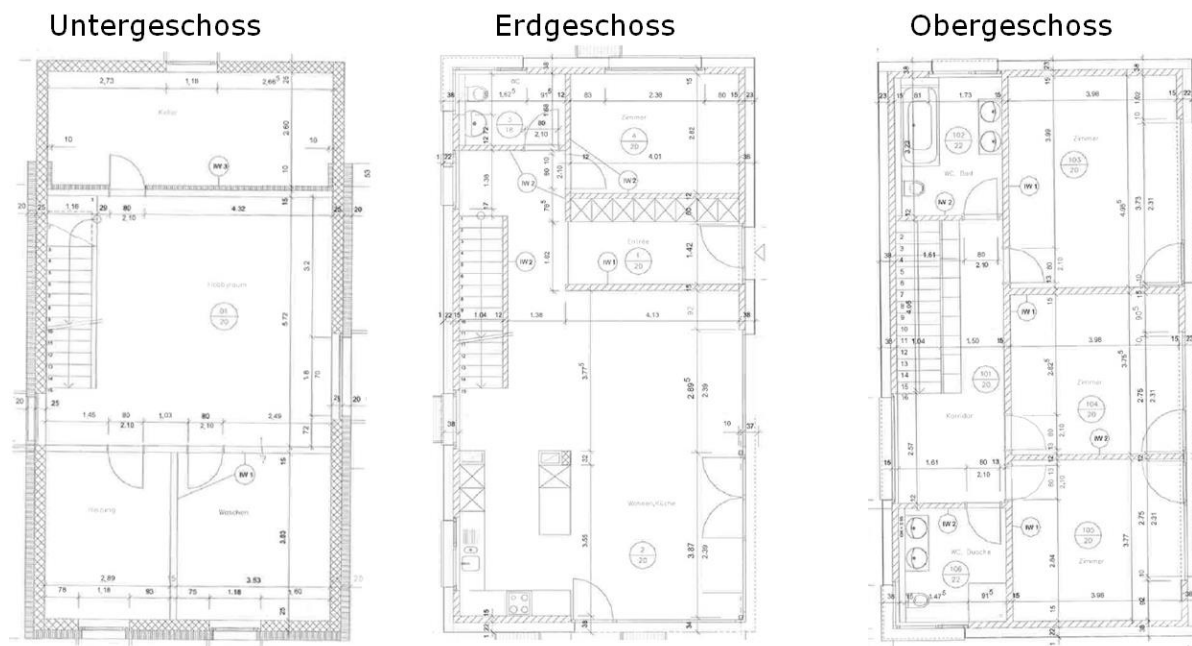


Abbildung 1: Grundrisse der Variante Neubau auf deren Basis die Gebäudesimulation erstellt wurde.

### 2.3 Gesamtsystem

In der Simulationsumgebung TRNSYS wurden das Heizsystem, eine PV-Anlage, Batterien und ein übergeordneter Regler abgebildet um den Bedarf an Wärme und Strom aus den Lastprofilen zu decken.

Das Heizsystem besteht aus einer Luft-Wasser Wärmepumpe (WP), einem WW-Speicher und einem technischen Speicher für die Raumheizung.

Das Modell für die WP beinhaltet eine detaillierte Modellierung der thermodynamischen Eigenschaften des Kältemittels sowie ein Kennfeld der Kompressorleistung [4]. Die WP kann die

elektrische Leistungsaufnahme des Kompressors bis auf 30 % der maximalen Kompressorleistung einstellen. Für die Simulation im EFH wurde das Modell entsprechend einer WP mit einer Leistung von  $7 \text{ kW}_{\text{therm}}$  bei A7/W35 parametrisiert.

Um die Simulation des Gebäudes in IDA ICE und des Heizsystems in TRNSYS voneinander zu entkoppeln wurde in der Simulation ein technischer Speicher mit einem Volumen von  $0.3 \text{ m}^3$  eingesetzt. Die in TRNSYS simulierte Wärmepumpe belädt diesen technischen Speicher entsprechend der Heizkurve. Die Wärme für die Raumheizung nach dem Lastprofil aus IDA ICE wird aus diesem Speicher entnommen. Um eine passende Rücklaufemperatur der Raumwärmeverteilung zu erhalten wurde zusätzlich in TRNSYS eine Fussbodenheizung modelliert.

Die elektrische Batterie ist einer herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterie nachempfunden. Es wird ein konstanter Wirkungsgrad über den gesamten Bereich der möglichen Lade- und Entladeleistungen und bei allen Ladezuständen (SOC) angenommen. Dies ist eine starke Vereinfachung, da der Wirkungsgrad umso geringer sein kann, je weiter die Ladeleistung vom optimalen Wert entfernt ist. Der Wirkungsgrad wird als Zykluswirkungsgrad dargestellt, der sowohl das Laden und Entladen der Energieverluste des AC/DC-Wechselrichters als auch den Ladevorgang der Batterie umfasst. Dieser Zykluswirkungsgrad beträgt 80 %.

Für die PV-Anlage wurden monokristalline Module mit einer Nennleistung von 240 W definiert. Die Ausrichtung der Module entspricht einer Ost-West Ausrichtung mit einem Neigungsgrad von  $15^\circ$ . Bei einer optimalen Ausnutzung der vorhandenen Dachfläche (Flachdach) resultiert eine Anlage mit 9.6 kWp.

### 3. Simulationsresultate

#### 3.4 Basisversion

Der gesamte thermische Energiebedarf des Gebäudes in der Basisversion beträgt 11.65 MWh. Zur Deckung dieses Wärmebedarfes benötigt das Heizsystem 3.87 MWh el. Energie. Somit beträgt die Jahresarbeitszahl des Heizsystems nach Formel 1 (inklusive aller Verluste) 3.0.

$$JAZ = \frac{Q_{\text{Raumheizung}} + Q_{\text{Warmwasser}}}{W_{\text{el, Heizsystem}}} \quad \text{Formel 1}$$

Zusammen mit dem el. Energiebedarf der Haushaltsgeräte ergibt sich ein Netzbezug von 7.51 MWh pro Jahr.

In Abbildung 3 ist ein Histogramm dieses Netzbezuges dargestellt. Die Darstellung erfolgt aufgeteilt auf die drei Phasen mit einer logarithmischen Ordinatenachse.

Es zeigt sich, dass auf jeder Phase der Bezug in über 90 % der Zeit unterhalb von 1 kW liegt.

In Gelb hinterlegt ist der Bereich mit einem Bezug von mehr als 3.7 kW. Bei einer Spannung von 230 V ist in diesem Bereich der Strom also grösser als 16 A und somit über der in diesem Projekt definierten Grenze. Die Grenze von 16 A wird insgesamt über 16.4 Stunden überschritten. Auffällig dabei ist, dass der Bezug  $> 16 \text{ A}$  auf Phase 1 (L1) am häufigsten ist (12.5 h).

Der maximale Bezug auf einer Phase liegt mit 5.5 kW um weniger als 2 kW über der Grenze von 16 A.

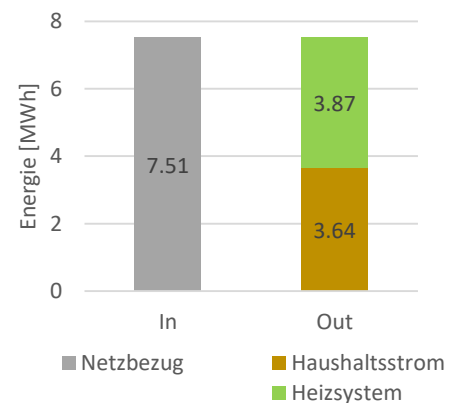


Abbildung 2: Elektrischer Energiebedarf der Basisversion (ohne PV-Anlage und ohne Batterie).

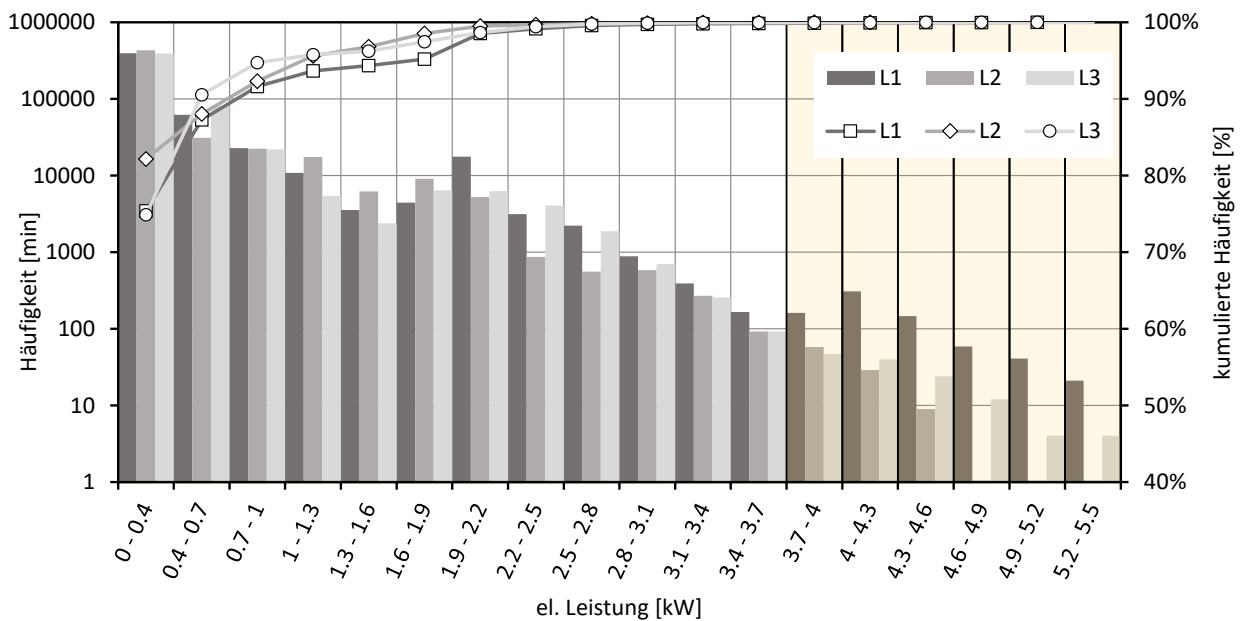


Abbildung 3: Resultate der Simulation in der Basisversion (ohne PV-Anlage, ohne Batterie). Gezeigt wird ein Histogramm des Netzbezuges eines Jahres, aufgeteilt auf drei Phasen (L1, L2 und L3). Farblich hinterlegt ist der Bezug mit einer Leistung von > 3.68 kW (> 16 A).

### 3.5 Varianten

#### EFH

Neben der Basisvariante ohne PV und ohne Batterie (V00) werden in diesem Beitrag drei Varianten im EFH mit PV-Anlage und Batterie vorgestellt. In Tabelle 2 sind die Rahmenbedingungen der Varianten dargestellt. In Abbildung 4 sind einige der Resultate zu sehen.

Tabelle 2: Rahmenbedingungen der vorgestellten Varianten im Einfamilienhaus.

Variante:	PV-Anlage	Batterie		
	[kWp]	Kapazität [kWh]	Lade- Entladeleistung [kW]	Strategie Entladung
V00	-	-	-	-
V01	9.6	8.6	4.3	Immer wenn Bedarf WP+HH > Angebot PV
V02	9.6	8.6	4.3	50 % der nutzbaren Kapazität werden reserviert für Bedarf WP+HH > 16A
V07	4.8	5	6	50 % der nutzbaren Kapazität werden reserviert für Bedarf WP+HH > 16A

V01: Neben einer 9.6 kWp PV-Anlage wurde auch eine Batterie ergänzt. Wegen der Verluste des Batteriespeichers erhöht sich in dieser Variante der gesamte Bedarf an elektrischer Energie von 7.5 MWh auf 8.1 MWh. Davon werden allerdings nur noch 3.5 MWh ab Netz bezogen. Von den 9.5 MWh des photovoltaisch erzeugten Stromes wurden 4.9 MWh in das Stromnetz gespiesen. Das Eigenverbrauchsverhältnis (Formel 2) beträgt 48 %. Der Bezug ab Netz mit über 16 A reduziert sich auf nur noch 5.2 h im gesamten Jahr.

$$R_{eig} = \frac{W_{el,gesamt} - W_{el,Netzbezug}}{W_{el,PV}} \quad \text{Formel 2}$$

V02: Die Batterie wurde in V01 immer dann Beladen, wenn durch die PV-Anlage mehr Strom erzeugt als gleichzeitig im Haushalt verbraucht wurde. Ebenso erfolgte die Entladung immer dann, wenn der Bedarf für die Haushaltsgeräte plus Heizsystem grösser als die PV-Produktion war. Auf

diese Weise wird fast täglich ein Be- und Entladezyklus der Batterie umgesetzt. Allerdings steht auf diese Weise nicht immer genügend Kapazität zum Abdecken der Lastspitzen im Strombedarf zur Verfügung. Deshalb wurden in der Variante V02 50 % der nutzbaren Kapazität der Batterie für das Decken der Lastspitzen reserviert. Durch diese Massnahme erhöht sich der Bezug ab Netz auf 4.2 MWh, der Eigenverbrauchsquotient fällt mit 40 % um 8 %-Punkte tiefer aus als in Variante V01. Der Bezug ab Netz mit über 16 A beträgt insgesamt noch 0.4 h.

V07: In dieser Variante wurde eine kleinere PV-Anlage (4.8 kWp statt 9.6 kWp) mit einer Batterie kombiniert, die eine höhere Be- und Entladeleistung hat. Durch die höhere Entladeleistung konnte der Bezug von Strom mit über 16 A auf 0 reduziert werden. Bei einem Bezug ab Netz von 5.2 MWh ergibt sich ein Eigenverbrauchsquotient von 56 %.

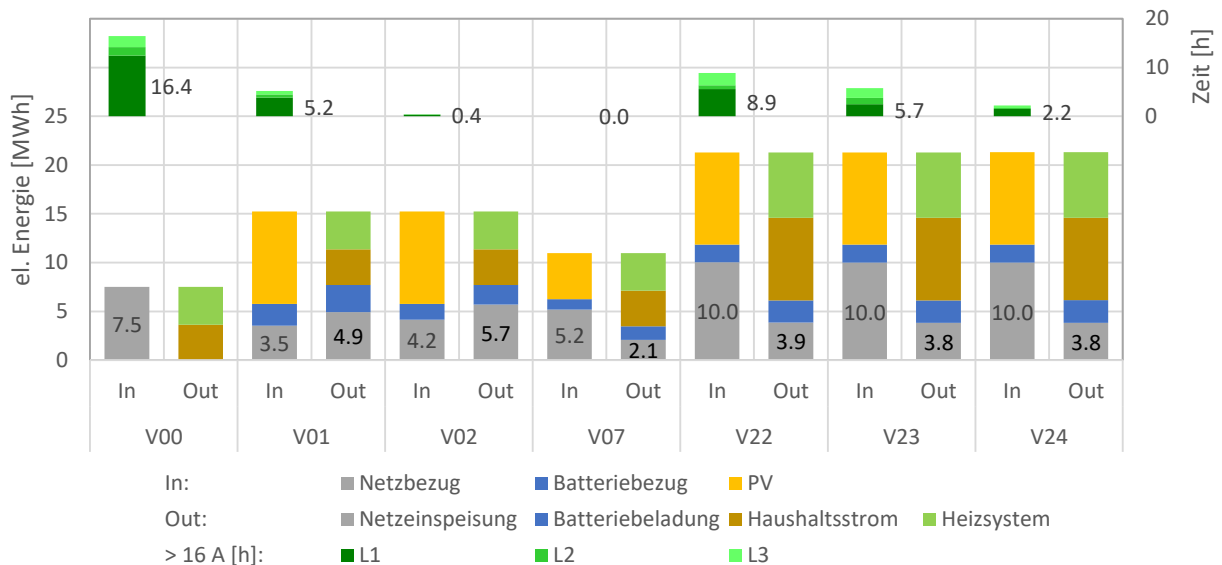


Abbildung 4: Resultate ausgewählter Simulationsvarianten.

### Doppel-EFH

Als Ausgangspunkt für die Simulationen im Doppel-EFH wurde die Anlage aus der Variante V02 verwendet: Eine 9.6 kWp PV-Anlage und eine Batterie mit 8.6 kWh nutzbarer Kapazität. 50 % der Kapazität werden zur Deckung der Lastspitzen aus dem Haushaltsstrom und dem Heizsystem reserviert.

Der Wärmebedarf im Doppel-EFH ist nahezu verdoppelt: Es werden 15.9 MWh für die Raumheizung und 6.3 MWh für WW benötigt. Das Heizsystem wurde entsprechend angepasst: Die Nennleistung der Luft-Wasser WP beträgt 11 kW, das Volumen der Wasserspeicher wurde verdoppelt. Die elektrische Leistungsaufnahme des Heizsystems beträgt 6.7 MWh im Jahr. Somit resultiert eine Jahresarbeitszahl von 3.3.

Tabelle 3: Daten zur Be- und Entladestrategie der Batterie in den Simulationsvarianten mit Doppel-EFH.

Variante	Ladeleistung [kW]	Entladeleistung [kW]	Strategie Beladung	Strategie Entladung
V22	4.3		PV-Überschuss	50 % der nutzbaren Kapazität werden reserviert für Bedarf WP+HH > 16A
V23	6		PV-Überschuss	50 % der nutzbaren Kapazität werden reserviert für Bedarf WP+HH > 16A
V24	6		PV-Überschuss + Netzstrom um einen Mindestladezustand von 20% zu halten.	50 % der nutzbaren Kapazität werden reserviert für Bedarf WP+HH > 16A

V22: Der gesamte el. Energiebedarf im Doppel-EFH beträgt 15.2 MWh ohne die Verluste der Batterie und 15.6 MWh inklusive der Batterieverluste. Der Netzbezug beträgt 10.0 MWh, das Eigenverbrauchsverhältnis beträgt 59 %. Der Bezug ab Netz mit über 16 A tritt in 8.9 h auf.

V23: In dieser Variante wurde die maximale Be- und Entladeleistung der Batterie auf 6 kW (je 2 kW pro Phase) erhöht. Durch diese Massnahme reduziert sich die Zeit mit einer Überschreitung der 16 A von 8.9 h auf 5.7 h. Die sonstigen Kennzahlen bleiben nahezu unverändert: Das Eigenverbrauchsverhältnis erhöht sich um 0.6 Prozent-Punkte auf 60 %, der Netzbezug reduziert sich um 50 kWh pro Jahr.

V24: In den bisherigen Varianten wurde die Batterie jeweils durch PV-Strom beladen. Im Doppel-EFH reichen die 4.3 kWh, die zur Deckung der Lastspitzen reserviert waren nicht aus, wenn über mehrere Tage kein nennenswerter PV-Ertrag vorhanden ist. In der Variante V24 wurde deshalb eine Beladung der Batterie über Netzstrom erlaubt: Ein Mindestladezustand von 20 % der nutzbaren Kapazität wird auch über Strom ab Netz aufrechterhalten. Diese Massnahme führt zu einer weiteren Reduktion der Zeit mit Überschreitung der 16 A auf noch 2.2 h pro Jahr.

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Einfamilienhaus die Ströme auf den 3 Stromphasen im Verlauf eines Jahres nur jeweils für wenige Stunden über dem maximalen Bezugswert von 16 A bzw. 3.68 kW liegen.

Mit einer PV-Anlage und einer handelsüblichen Batterie kann die 16 A-Grenze während des gesamten Jahres sicher eingehalten werden. Im Gegensatz zu einem auf maximalen Ertrag ausgelegten System muss dazu ein Teil der Kapazität als Reserve für Spitzenbezüge freigehalten werden. Die ökonomischen Nachteile dieser Vorgehensweise halten sich dabei in engen Grenzen.

Ein Lastmanagement der Wärmepumpe oder von Geräten wie Geschirrspüler, Waschmaschine oder Trockner müsste erst bei einem deutlich höheren Bezug als demjenigen der simulierten Varianten eingesetzt werden.

Im Doppel-EFH genügt der Einsatz einer Batterie mit einer Be- und Entladeleistung von 6 kW hingegen nicht, um die 16 A-Grenze sicher einzuhalten. In Abbildung 5 ist das Histogramm der Simulationsvariante V24 dargestellt. Trotz der Batterie, die über Netzstrom auf einem Mindestladezustand von 20 % gehalten wird, wird die 16 A-Grenze über insgesamt 2.2 h überschritten. Um diese Zeit sicher abdecken zu können müsste die Batterie eine maximale

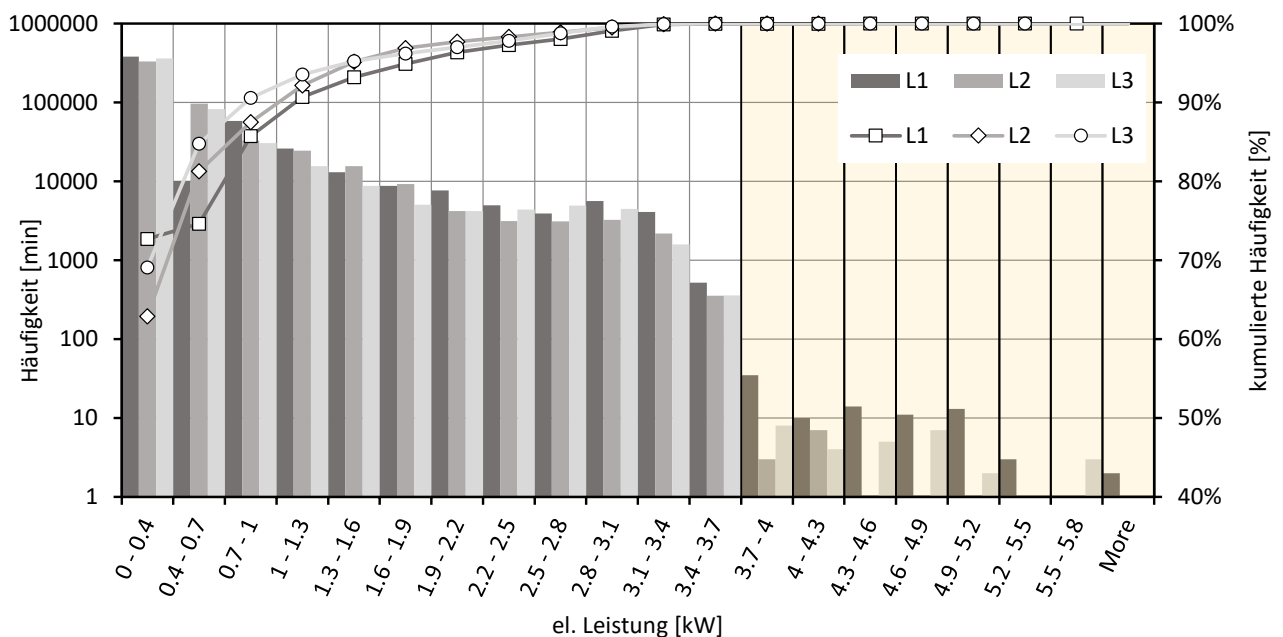


Abbildung 5: Resultate der Simulation mit Doppel-EFH, Batterie und PV-Anlage (V24). Gezeigt wird ein Histogramm des Netzbezuges eines Jahres, aufgeteilt auf drei Phasen (L1, L2 und L3). Farblich hinterlegt ist der Bezug mit einer Leistung von > 3.68 kW (> 16 A).

Entladeleistung von 12 kW (4 kW je Phase) haben. Alternativ zu einer solchen Lösung müsste ein Lastmanagement auf einzelne Geräte angewendet werden.

In Abbildung 6 ist dargestellt, wie häufig die Geschirrspüler aus den Haushaltsstromprofilen 1 und 2 zu jeder Tageszeit laufen. Beide Geräte sind in den jeweiligen Profilen auf Phase 1 angeordnet. Durch den regelmässigen Betrieb der Geräte fallen die Betriebszeiten häufig zusammen. Mit einer maximalen Leistungsaufnahme der Geräte von 2090 W wird bei gleichzeitigem Betrieb die 16 A-Grenze überschritten.

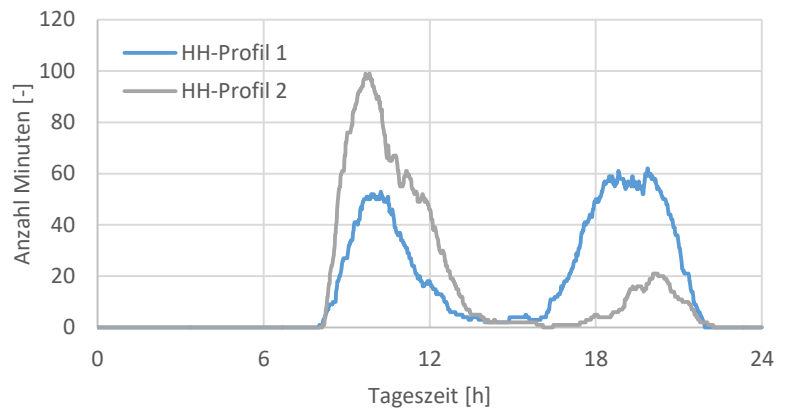


Abbildung 6: Verteilung der Laufzeit der Geschirrspüler aus den Haushaltsstromprofilen 1 und 2.

Gleiches gilt für die Geräte Wäschetrockner (mit 1635 W in Profil 1 bzw. 1540 W in Profil 2) und Waschmaschine (2825 W / 2890 W). Mit einer Verteilung der Geräte auf verschiedene Phasen in den beiden Haushalten könnte die 16 A-Grenze auch mit der simulierten Batterie eingehalten werden.

Von einer Umsetzung des Konzepts des 16 A-Gebäudes profitiert eine breite Öffentlichkeit in Form von stabilen Stromnetzen und mehr erneuerbarer Energie im Strommix bei tiefen Kosten für Netzausbau und Systemdienstleistung.

Weiter profitieren verschiedene Branchen von den Erkenntnissen einer Leistungsbegrenzung bei PV-Wechselrichter oder von klaren Anforderungen bei der Umsetzung von Gebäuden mit minimaler Anschlussleistung. Für folgende Branchen sind die Projektergebnisse von Interesse: Netzbetreiber/EVU, Elektroplaner, Gebäudeautomation, Haushaltsgerätehersteller, PV-Anlageplaner.

## 5. Ausblick

Im BFE-geförderten Forschungsprojekt „16 A-Gebäude – Stromnetzstabilisierung durch elektrische Leistungsbegrenzung für Gebäude“ (Vertragsnummer SI/501519-01) wird Ende diesen Jahres ein Abschlussbericht veröffentlicht. Darin werden weitere Simulationsergebnisse sowie Erkenntnisse zu ökonomischen Zusammenhängen und technische Informationen zum Thema Leistungsbegrenzung enthalten sein.

### Literatur

- [1] Klein, S.A. et al, 2010. TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA. Available at: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- [2] Pflugradt, N., Load Profile Generator: Available at: <https://www.loadprofilegenerator.de/> [Zugegriffen Januar 25, 2017].
- [3] O A, IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Available at: <https://www.equa.se/de/ida-ice>.
- [4] Heinz, A. & Haller, M., 2013. Appendix A3 - Description of TRNSYS Type 877 by IWT and SPF. In: Models of Sub-Components and Validation for the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 - Part C: Heat Pump Models - FINAL - A technical report of subtask C Report C2 Part C.