

Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis

Tjarko Tjaden, Joseph Bergner, Johannes Weniger, Volker Quaschnig

HTW Berlin - University of Applied Sciences

Forschungsgruppe Solarspeichersysteme

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, Germany

<http://pvspeicher.htw-berlin.de>

Abstract

Genauere und repräsentative elektrische Haushaltslastprofile sind eine wesentliche Grundlage für eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden im Bereich der Energieversorgung und -speicherung. Dieses Dokument beschreibt zunächst die Datengrundlage und Aufbereitung eines frei verfügbaren Datensatzes zeitlich hochaufgelöster und zugleich repräsentativer Lastprofile. Anschließend werden die Daten visualisiert und deren Repräsentativität für Einfamilienhäuser in Deutschland nachgewiesen.

Schlagworte: *Lastprofile, Messwerte, energetische Simulation, Energiemanagement*

1 Einleitung

Zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs steht in Einfamilienhäusern eine Vielzahl an konventionellen und erneuerbaren Technologien zur Verfügung. Hinsichtlich Systemdimensionierung und Performancebestimmung sind vielfach Simulationen der zeitlich aufgelösten Erzeugung und Verbräuche notwendig. Der Haushaltsstromverbrauch in seiner saisonalen und tagesmittleren Variabilität ist dabei häufig ausschlaggebend für die Simulationsergebnisse [1]–[3]. Zudem liegt auf der Hand, dass eine höhere zeitliche Auflösung der Daten auch prinzipiell zu aussagekräftigeren oder genaueren Ergebnissen führen können. Diese Ausarbeitung stellt einen frei verfügbaren Synthese-Datensatz vor, der phasenaufgelöste, 1-sekündige Jahreslastprofile der Wirk- und Blindleistung von 74 deutschen Einfamilienhaushalten beinhaltet.

2 Datengrundlage

Die nachfolgend vorgestellten Lastprofile basieren auf zwei verschiedenen Messkampagnen. Zum einen wurde auf Messdaten der über drei Phasen saldierend gemessenen Wirkleistung zurückgegriffen. Die Daten wurden im Rahmen des Praxistests „Moderne Energiesparsysteme im Haushalt“ durch das Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) in den Jahren 2008 bis 2011 durch Smart Meter in 15-minütiger Auflösung in 497 Haushalten gemessen (IZES-Datensatz) [4]. Zum anderen liegen zeitlich hoch aufgelöste Lastdaten der TU Wien vor, die im Forschungsprojekt „ADRES-Concept“ vom Verteilnetzbetreiber Energie AG Oberösterreich Netz GmbH erfasst sowie vom Austrian Institute of Technology (AIT) validiert wurden. Die Messungen wurden in 30 unterschiedlichen österreichischen Haushalten während einer Winter- sowie einer Sommerwoche mit einer Auflösung von 1 s durchgeführt und beinhalten Informationen zur dreiphasig aufgelösten Wirk- und Blindleistung (ADRES-Datensatz) [5].

3 Methodik

Aus den vorliegenden Messdaten des IZES-Datensatzes von 497 Haushalten wurden zunächst 74 Lastprofile ausgewählt, die für das Jahr 2010 in Summe weniger als einen Tag Datenlücken in der Aufzeichnung aufweisen. Alle gewählten Datensätze stammen dabei von einem einzigen Netzbetreiber, also von Haushalten in unmittelbarer räumlicher Nähe. Eventuelle Messlücken wurden mit Messdaten des gleichen Zeitraums des vorangegangenen gleichen Wochentages beseitigt. Die Lastprofile definieren in ihrer 15-minütigen zeitlichen Auflösung den jahres- und tageszeitlichen Verlauf der elektrischen Last und bilden die Grundlage für die Synthetisierung hin zu sekundlichen Jahresprofilen. Da die Lastprofile keine Dezimalstellen der viertelstündlich verbrauchten Energiemenge in Wh aufweisen, wurden diese durch eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen $\pm 0,5$ Wh ergänzt.

Zur weiteren Erstellung der hochaufgelösten Jahreslastprofile wurde zunächst aus dem ADRES-Datensatz durch eine 1-minütige Verschiebung eines 15-min-Zeitfensters ein Datenpool mit 604.786 Zeitreihen in 1-sekündiger Auflösung erstellt. Aus dem Datenpool wurde für jedes Haushaltslastprofil des IZES-Datensatzes in jedem Zeitschritt die 1-sekündige Zeitreihe ausgewählt, deren Energiemenge dem 15-Minuten-Messwert der IZES-Lastprofile am nächsten kommt. Die ursprünglichen 15-min-Messwerte wurden anschließend durch die ausgewählten 1-sekündigen Zeitreihen der phasenaufgelösten Wirk- und Blindleistung ersetzt.

Zur Vermeidung der Häufung einzelner Zeitreihen des Datenpools wurden die synthetisierten Lastprofile nochmals verändert. Für jedes der 74 Profile und jeden Tag des Jahres wurde das Tageslastprofil bestimmt durch eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen ± 450 s nochmals verschoben. Die fehlenden Messwerte am Anfang oder Ende des jeweiligen Tages wurden mit denen aufgefüllt, die durch die Verschiebung abgeschnitten wurden.

Das synthetisierte Lastprofil bildet die charakteristische Dynamik von Haushaltslastgängen mit ausgeprägten Lastspitzen aufgrund der höheren zeitlichen Auflösung besser ab. Gleichzeitig bleibt der individuelle tageszeitliche Verlauf der verschiedenen Haushaltslastprofile des IZES-Datensatz bestehen und wird durch das von taktenden Verbrauchern hervorgerufene fluktuierende Lastverhalten erweitert. Durch Anwendung dieser Lastprofilssynthese lassen sich somit aus Lastprofilen mit geringer zeitlicher Auflösung hoch aufgelöste Lastprofile mit typischen Lastfluktuationen erstellen.

4 Visualisierung

Um die Arbeit mit den Daten zu erleichtern und einen schnellen Zugang zu wesentlichen Informationen zu ermöglichen, werden im Folgenden die wesentlichen Eigenschaften des Datensatzes beschrieben

4.1 Beispieltag

Abb. 1 zeigt die 15-minütigen Ausgangsdaten der Wirkleistung des 03. Januars für Lastprofil Nr.1 und das sekundliche Lastprofil der Wirkleistung sowie der Blindleistung und den Leistungsfaktor. Es ist deutlich zu sehen, dass die synthetisierte Last im Haushalt stark fluktuiert und somit den 15-Minuten-Mittelwert häufig über- und unterschreitet. Diese Fluktuationen bilden den Stromverbrauch eines Haushalts realistisch ab und stellen eine große Herausforderung für viele Regelungsaufgaben dar.

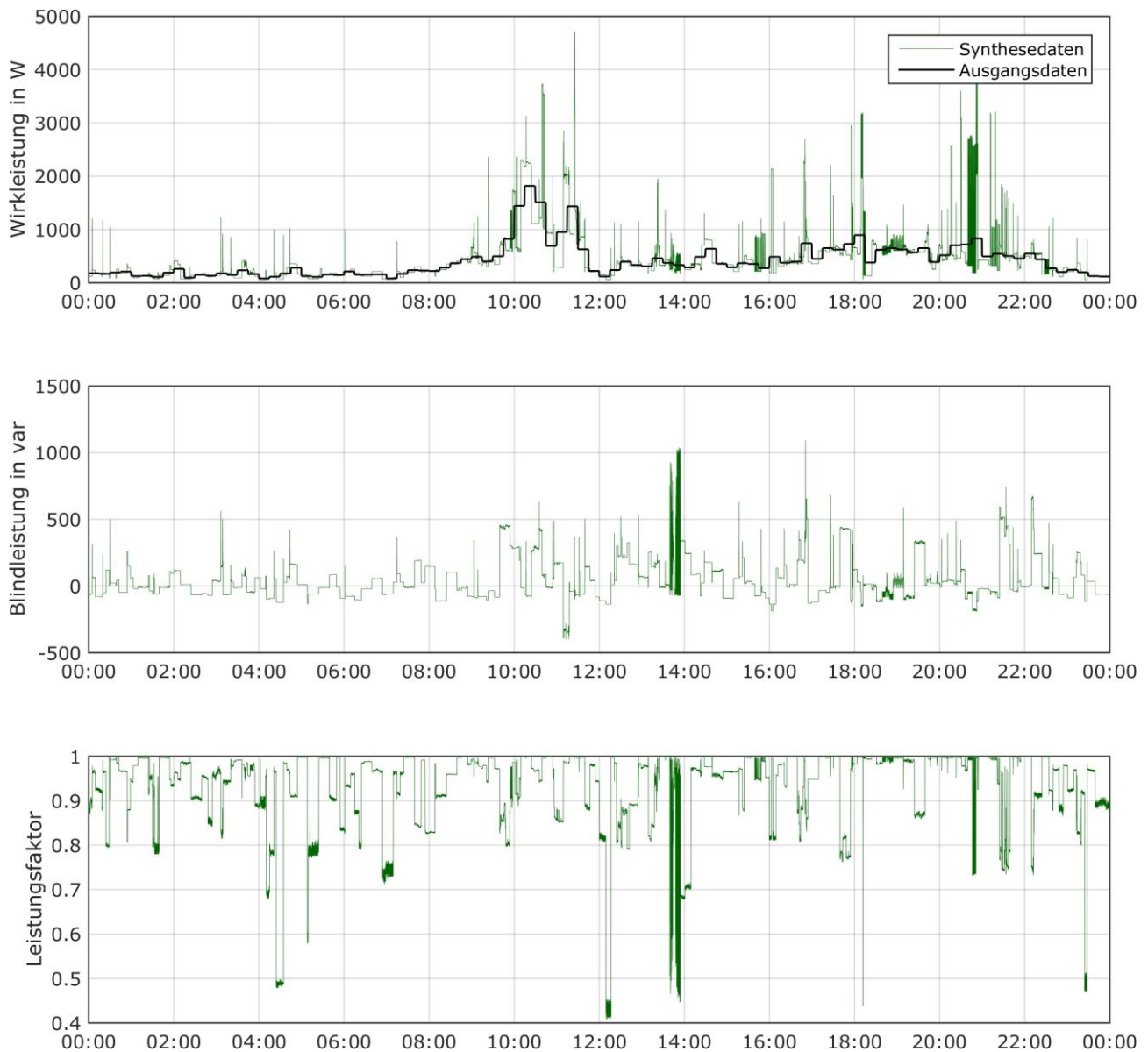


Abb. 1 Beispielhafter Tagesverlauf der Wirkleistung, Blindleistung und des Leistungsfaktors.

Starke Fluktuationen der Wirkleistung, die aufgrund der Darstellungsweise in der Abbildung flächig grün erscheinen, sind häufig Küchengeräte wie z.B. Herdplatten. Sowohl Induktionskochfelder als auch Ceranfelder weisen ein taktendes Verhalten auf, das im zeitlichen Bereich von wenigen Sekunden liegt.

4.2 Analyse: Jahresenergieverbräuche

Der jährliche Stromverbrauch der untersuchten Lastprofile liegt zwischen 1,4 bis 8,6 MWh bei einem Mittelwert von 4,7 MWh (Abb. 2). Unter Berücksichtigung mehrerer aktueller Studien entspricht dies in etwa dem Stromverbrauch eines 4-Personenhaushalts [6, S. 28]. Die unterschiedlichen Verbräuche sind annähernd normalverteilt. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass sich die Verbräuche in erster Näherung zu gleichen Teilen auf die drei Phasen aufteilen.

Der Blindleistungsbezug beträgt im Mittel über alle Lastprofile 2,91 Mvarh/a (Abb. 3). Er ist überwiegend induktiv (2,15 Mvarh/a), so dass die kapazitive Blindenergie nur einen geringen Anteil ausmacht (0,76 Mvarh/a).

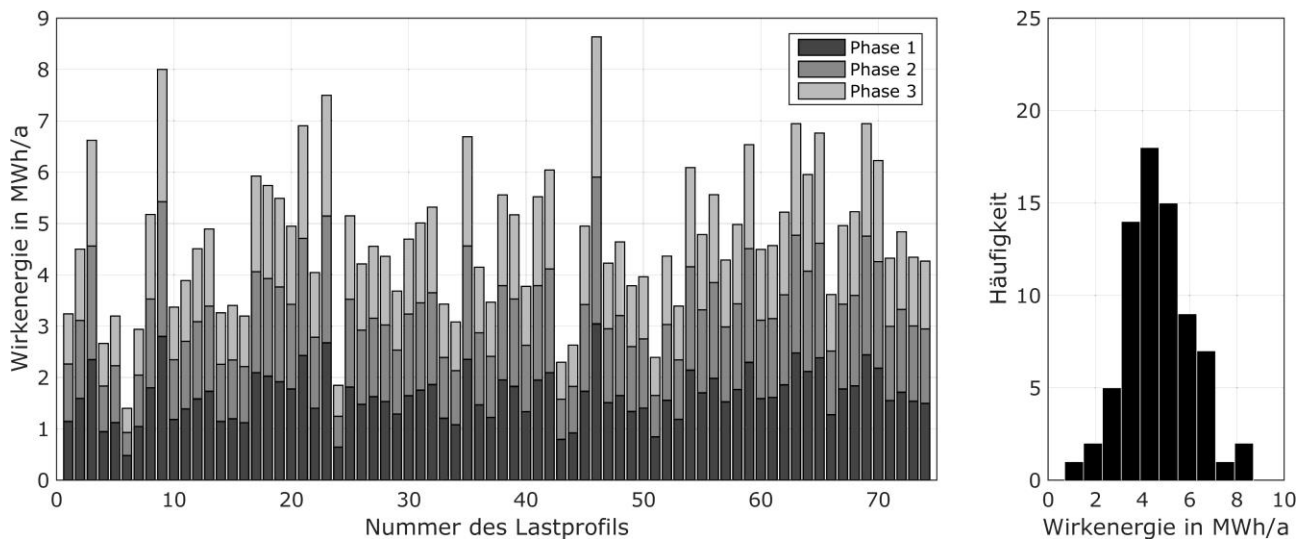


Abb. 2 Phasenaufgelöste Summe der Wirkenergie der 74 Lastprofile und zugehöriges Histogramm.

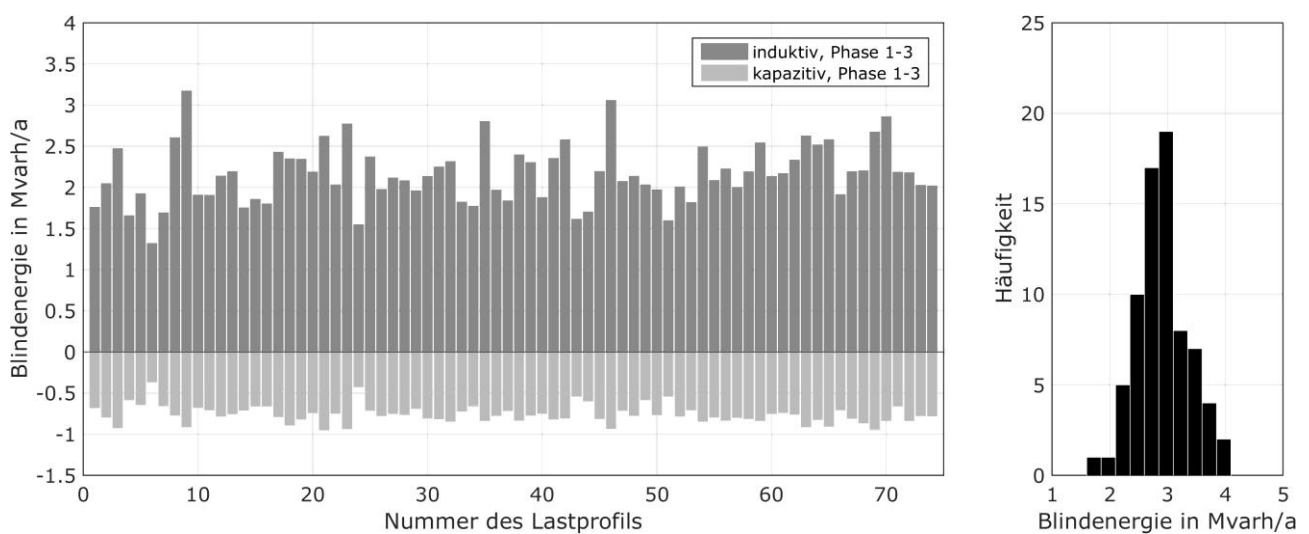


Abb. 3 Phasensaldiierte Summe des Blindenergie der 74 Lastprofile und zugehöriges Histogramm.

4.3 Analyse: Repräsentativität anhand des Standardlastprofils

Um allgemeingültige Aussagen zu Energiesystemen in Einfamilienhäusern treffen zu können, muss sichergestellt sein, dass es sich bei den vorliegenden Daten um eine repräsentative Auswahl handelt. Zur Validierung soll daher der Mittelwert der 74 ausgewählten Lastprofile mit dem Standardlastprofil (SLP) für Haushalte verglichen werden. Hierzu wurde auf Daten der Stromnetz Berlin GmbH für das Jahr 2010 zurückgegriffen [7]. Für den saisonalen Verlauf zeigt Abb. 4 (links) einen gute Übereinstimmung der gemessenen Daten mit dem Standardlastprofil. Während der wöchentliche Strombedarf in den Wintermonaten 20 bis 25 kWh je MWh Jahresstrombedarf beträgt, wird in den Sommermonaten wöchentlich 15 bis 20 kWh/MWh verbraucht. Deutlicher als beim Standardlastprofil fällt bei den gemessenen Daten der Sommer- und Herbsturlaub durch geringere Verbräuche auf, wohingegen der Stromverbrauch in den ersten und letzten Wochen des Jahres etwas höher ausfällt.

Der Vergleich des tagesmittleren Verlaufs der Last, vgl. Abb. 4 (rechts), ist in weiten Teilen nahezu identisch mit dem Standardlastprofil. Insgesamt ist die Dynamik der Synthese-Profile, gekennzeichnet durch einen niedrigeren Strombedarf in der Nacht und höheren Strombedarf am Abend, gegenüber dem Standardlastprofil etwas ausgeprägter.

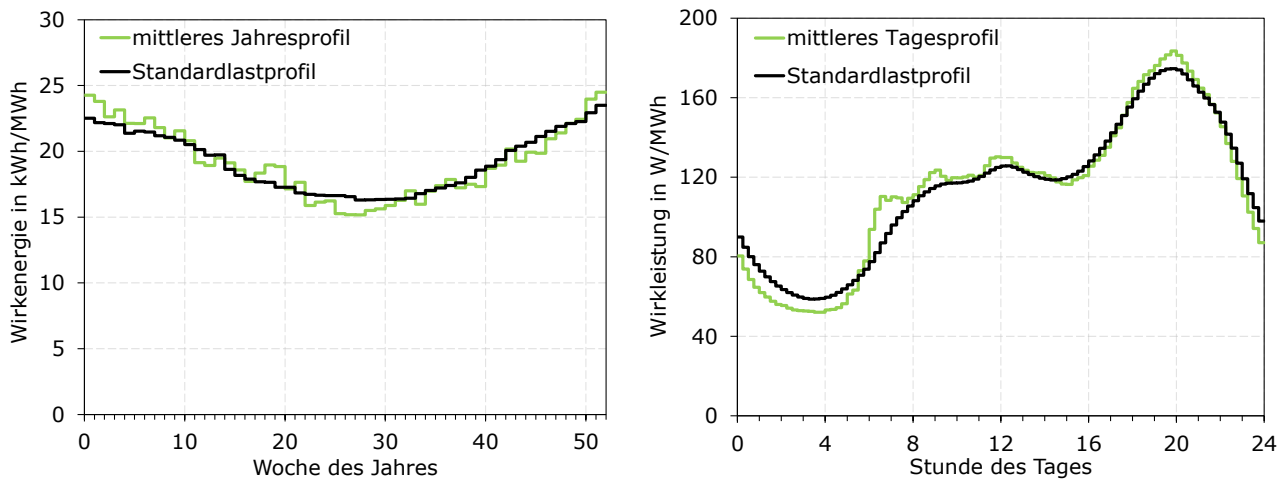


Abb. 4 Vergleich des saisonalen (links) und tageszeitlichen (rechts) Verlaufs der spezifischen mittleren Last der 74 Lastprofile mit einem Standardlastprofil. (Aus Darstellungsgründen wurde in der rechten Darstellung das mittlere Tagesprofil der sekundlichen Lastprofile auf 15-min-Mittelwerte umgerechnet)

Hinweis

Nicht zu unterschätzen ist der Daten- und Rechenaufwand, wenn mit sekundlichen Lastprofilen gerechnet wird. Soll nur mit einem Lastprofil gerechnet werden, aber trotzdem möglichst repräsentative Ergebnisse erzeugt werden, so empfiehlt sich

- Lastprofil 31 hinsichtlich einer guten Übereinstimmung des jahreszeitlichen Verlaufs zum SLP
- Lastprofil 17 hinsichtlich einer guten Übereinstimmung des tageszeitlichen Verlaufs zum SLP

4.4 Analyse: Tages- und jahreszeitlicher Verbrauch

Hinsichtlich der energetischen Simulation von Energiesystemen, bei dem es auf die Gleichzeitigkeit von Erzeugung und Verbrauch ankommt, spielt die saisonale und tageszeitliche Verteilung des Stromverbrauchs eine wichtige Rolle. So können die Lastprofile nach dem sogenannten Vormittags-, Sommer- und Nachtanteil charakterisiert werden (Abb. 5). Die Abb. 6 stellt die Ergebnisse der drei Charakterisierungsmethoden für die 74 Lastprofile dar.

- Der Vormittagsanteil beschreibt, welcher Anteil des täglichen Stromverbrauchs eines Lastprofils im Jahresmittel bis zum Mittag (12:00 Uhr MEZ) verbraucht wurde. Je kleiner der Wert, desto größer der abendliche Stromverbrauch und damit beispielsweise eine vorteilhaft Ausrichtung einer PV-Anlage nach Westen.
- Der Sommeranteil beschreibt, welcher Anteil des jährlichen Stromverbrauchs eines Lastprofils in den sechs Sommermonaten verbraucht wird. Je kleiner der Wert, desto höher ist der relative Anteil des Stromverbrauchs in den Wintermonaten (z.B. durch eine Wärmepumpe).
- Der Nachtanteil beschreibt, welcher Anteil des täglichen Stromverbrauchs eines Lastprofils im Jahresmittel zwischen Sonnenunter- und Sonnenaufgang verbraucht wird. Je kleiner der Wert, desto besser die Korrelation beispielsweise zwischen PV-Erzeugung und Verbrauch.

Im Mittel ergeben sich ein Vormittagsanteil von 39%, ein Sommeranteil von 45% und ein Nachtanteil von 48%.

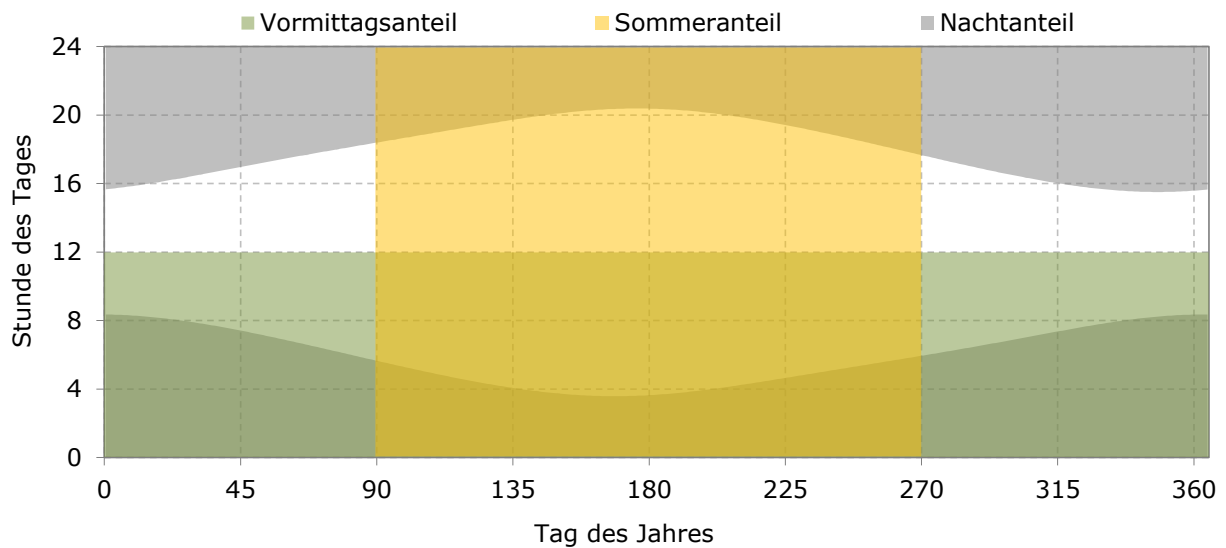


Abb. 5 Qualitative Darstellung des Vormittags-, Sommer und Nachtanteils des Stromverbrauchs.

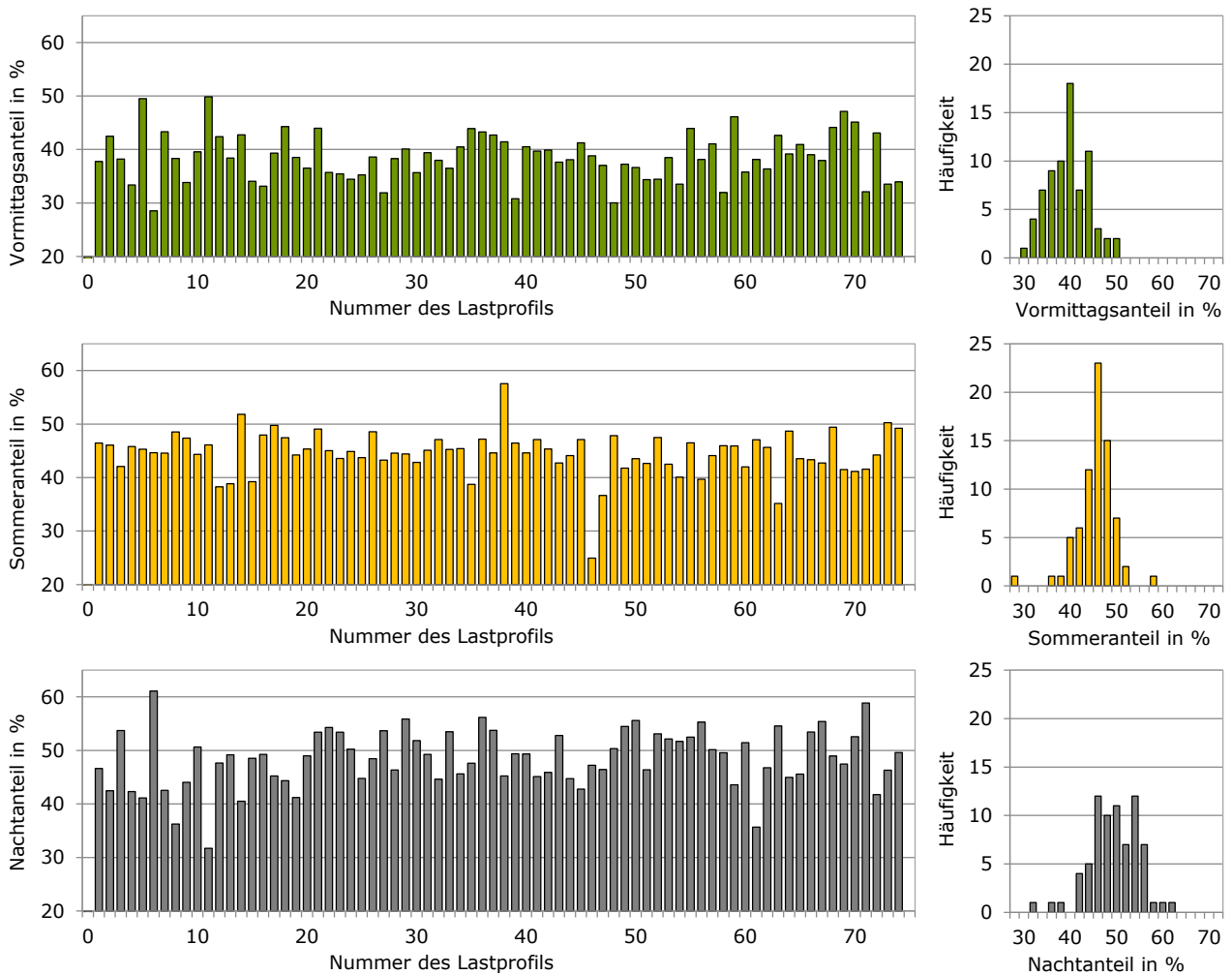


Abb. 6 Vormittags-, Sommer- und Nachtanteile der 74 Lastprofile und zugehörige Histogramme.

5 Download

Bei Interesse an dem Datensatz, können Sie diesen unter folgendem Link anfragen:

<https://pvspeicher.htw-berlin.de/veroeffentlichungen/daten/lastprofile/>

Anschließend erhalten Sie einen Download-Link zum Datensatz, wahlweise als komprimierte CSV Dateien (ca. 5 GB gepackt, 45 GB entpackt) oder im Matlab Format (ca. 4 GB).

Bei Verwendung der Daten wird um folgende Zitation gebeten:

Tjaden, T.; Bergner, J.; Weniger, J.; Quaschnig, V.: „*Repräsentative elektrische Lastprofile für Einfamilienhäuser in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis*“, Datensatz, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, 2015.

6 Danksagung

Die Autoren danken dem Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) und der TU Wien für die Bereitstellung der Rohdaten und vor allem für die Möglichkeit die synthetisierten Daten zu veröffentlichen und damit einer Vielzahl weiterer Forschungen eine Grundlage für detaillierte Simulationen und Untersuchungen zu bieten.

7 Literatur

- [1] T. Tjaden, J. Weniger, J. Bergner, F. Schnorr, und V. Quaschnig, „Einfluss des Standorts und des Nutzerverhaltens auf die energetische Bewertung von PV-Speichersystemen“, in *29. Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Bad Staffelstein, 2014.
- [2] T. Tjaden, J. Weniger, J. Bergner, F. Schnorr, und V. Quaschnig, „Impact of the PV Generator's Orientation on the Energetic Assessment of PV Self-Consumption Systems Considering Individual Residential Load Profiles“, in *29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Amsterdam, 2014.
- [3] J. Weniger, J. Bergner, T. Tjaden, J. Kretzer, F. Schnorr, und V. Quaschnig, „Einfluss verschiedener Betriebsstrategien auf die Netzeinspeisung räumlich verteilter PV-Speichersysteme“, in *30. Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Bad Staffelstein, 2015.
- [4] P. Hoffman, G. Frey, M. Friedrich, S. Kerber-Clasen, J. Marschall, und M. Geiger, „Praxistest ‚Moderne Energiesparsysteme im Haushalt‘“, IZES, Saarbrücken, März 2012.
- [5] A. Einfalt, A. Schuster, C. Leitinger, D. Tiefgraber, M. Litzlbauer, S. Ghaemi, D. Wertz, A. Frohner, und C. Karner, „Konzeptentwicklung für ADRES - Autonome Dezentrale Erneuerbare Energie Systeme“, Wien, Endbericht, Aug. 2012.
- [6] M. Bost, B. Hirschl, und A. Aretz, „Effekte von Eigenverbrauch und Netzparität bei der Photovoltaik“, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin, 2011.
- [7] Stromnetz Berlin GmbH, „Informationen für Stromversorger, SLP und TLP - Stromnetz Berlin“, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.stromnetz-berlin.de/de/stromversorger.htm>. [Zugegriffen: 01-Okt-2013].