

Entwicklung eines Planungsinstruments zur Bestimmung der Netzinteraktion von Gebäuden

Monika Hall, Bastian Burger, Achim Geissler
Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, St. Jakob Strasse 84, 4132
Muttenz, www.fhnw.ch/habg/iebau

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Es wird ein Planungsinstrument entwickelt, welches auf Stundenbasis den Eigenverbrauch, die Eigendeckung sowie den Netzbezug und die Netzeinspeisung bestimmt. Zum grössten Teil bilden SIA-Normen und Merkblätter die Grundlage für Bedarfswerte und Lastprofile. Mit dem Instrument wird der Einfluss verschiedener Parameter auf die Eigenverbrauchs- und Netzbezugsrate untersucht. Bislang können Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Verwaltungen und Schulen damit abgebildet werden.

Detaillierte Untersuchungen zur Beleuchtung zeigen, dass der Ansatz von SIA 2024 verbessert werden sollte. Es wird empfohlen, die Profile für Beleuchtung aus SIA 2024 mit einer Globalstrahlungsgrenze und einem Anteil an tageslichtunabhängiger Beleuchtung zu ergänzen. Beide Parameter haben einen grossen Einfluss auf den Eigenverbrauch und den Netzbezug. Zusätzlich sollten für die Nutzung „Wohnen“ die Beleuchtungsstunden in der Nacht von 18-21h auf 18-24h und 5-7h erweitert werden. Der Profilvergleich für Geräte und Beleuchtung von SIA 2024 und H0 zeigt ähnliche Ergebnisse. Die Ergebnisse für das Profil SIA 2024* mit den genannten Ergänzungen für die Beleuchtung sind anders, aber als realistischer einzustufen.

A design tool is developed to calculate the self-consumption and grid interaction on a hourly basis. Design values and load profiles are mainly based on SIA standards and guidelines. With this design tool the effects of different parameters regarding self-consumption and grid demand are evaluated. Up to the present single family houses, apartment buildings, offices and schools could be evaluated.

Further evaluations regarding lighting show that the methodic of SIA 2024 should be improved. It is suggested that the SIA 2024 profiles for lighting should be supplemented with a global solar radiation factor and with a daylight independent rate of lighting. Both parameters have a large impact on the self-consumption and grid demand. Additionally, the allowed range for lighting during night time should be increased from 18-21h to 18-24h and 5-7h for apartment buildings. The comparison of the devices and lighting profiles of SIA 2024 and H0 shows similar results. The results of SIA 2024* with the advanced lighting profile are different but more reasonable.

1. Ausgangslage

Der lokal an einem Gebäude erzeugte Strom wird i.d.R. nicht komplett zeitgleich konsumiert. Somit muss ohne lokale Speichermöglichkeit der ungenutzte Teil in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Bislang wird die Zeitgleichheit von Verbrauch und Erzeugung des Stroms vor Ort in der Energiebilanz eines Gebäudes nicht beachtet. Durch den zunehmenden Ausbau von erneuerbaren Energien und den damit verbundenen Diskussionen über volatile Verfügbarkeit, Speichermöglichkeiten und Netzausbau rückt die Thematik des Eigenverbrauchs immer stärker in den Fokus. In SIA 380 gibt es schon jetzt die Möglichkeit, den Eigenverbrauch mit der Momentan-Bilanzierung auf einfache Art zu berücksichtigen. In der Überarbeitung von Merkblatt SIA 2031 wird gefordert, den Eigenverbrauch stundenbasiert zu rechnen. Im Zuge der Diskussion um die Höhe des Eigenverbrauchs bzw. der Netzinteraktion ist ein Instrument wichtig, das den Planer in dieser Hinsicht bei der Bewertung und Optimierung schon in der Planungsphase unterstützt. Aus diesem Grund sollen dem Planer mit Hilfe des Planungsinstrumentes "Energetische Flexibilität von Gebäuden (EnerFlex)" verschiedene Kenngrößen zur Verfügung gestellt werden, um eine Einschätzung zu ermöglichen.

Folgende Definitionen werden verwendet:

Eigenverbrauch	Stromproduktion, die zeitgleich den Strombedarf deckt
Eigenverbrauchsrate (Eigenbedarfsrate)	Anteil des Eigenverbrauchs an der Jahresstromproduktion
Eigendeckung	Durch zeitgleiche Stromproduktion gedeckter Strombedarf
Eigendeckungsrate, (Autarkiegrad)	Anteil des Eigenverbrauchs am Jahresstrombedarf
Netzbezug	Aus dem Netz bezogene Energie (hier Strom)
Netzbezugsrate	Anteil des aus dem Netz bezogenen Stroms am Gesamtstrombedarf
Netzeinspeisung	In das Netz eingespeister Strom

2. Methodik des Planungsinstrumentes

2.1 Überblick

Üblicherweise werden Energiebilanzen für Gebäude auf Jahresbasis mit Hilfe aufsummierter Jahres- und/oder Monatswerte erstellt. Um den realen Eigenverbrauch nicht zu überschätzen, ist es jedoch notwendig, eine hohe zeitliche Auflösung abzubilden. Um die Tag-/Nachtproblematik abbilden zu können, muss die zeitliche Auflösung mindestens eine Stunde betragen (Abbildung 1). Da stündliche Werte für viele Parameter üblich sind, beruht das Planungsinstrument auf Stundenwerten. Die betrachtete Vorgehensweise ist jedoch auch für eine höhere Auflösung – kürzere Zeitschritte – anwendbar.

Das Planungsinstrument ist als Excel-Tool so aufgebaut, dass der Nutzer je nach Projektstand entweder aus Standardwerten wählen oder bekannte Jahres-/Monatswerte bzw. Stundenwerte eingeben kann. Die Jahres- und Monatswerte werden mit standardisierten Stundenprofilen und hinterlegten stündlichen Klimadaten so verteilt, dass die eigentliche Berechnung immer auf Stundenwerten basiert. Die Kenngrößen Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate, sowie Netzeinspeise- und Netzbezugsrate werden pro Stunde bestimmt und zu Monats-/Jahreswerten zusammengefasst und ausgegeben.

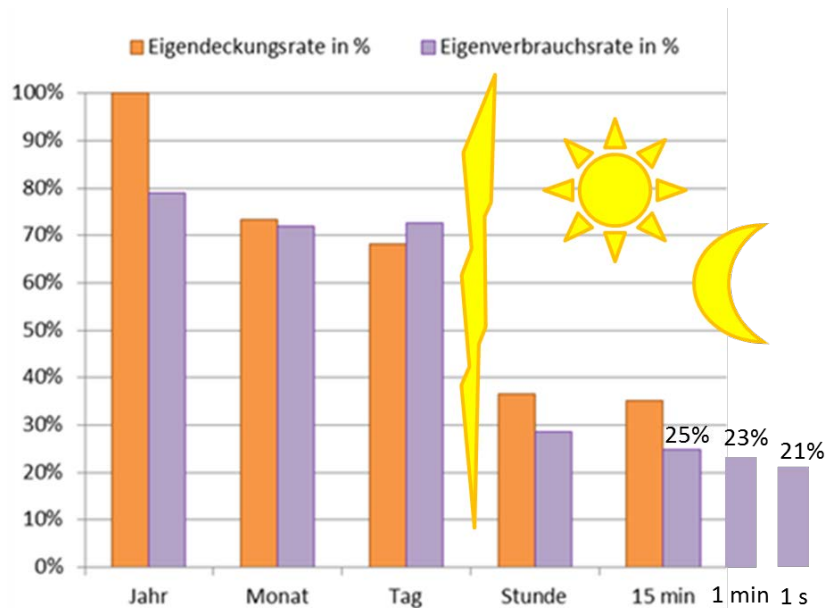


Abbildung 1: Jahresbilanz berechnet aus verschiedenen Zeitschritten [1] [2].

Das Instrument ist momentan für die Gebäudekategorien Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Verwaltung und Schulbauten anwendbar. Ein Grossteil der Standardwerte, Berechnungsmethodik und der Lastprofile beruht auf SIA Normen und Merkblättern. Fehlende Daten, Auswahlmöglichkeiten oder Methoden werden durch andere Literaturstellen ergänzt, wie z.B. die Berechnung des Batteriespeichers oder verschiedene Möglichkeiten für den Strombedarf von Haushaltsgeräten. Das Instrument bietet das Potential, den Eigenverbrauch als Nachweis für Behörden oder Gebäudelabels zu bestimmen oder als Berechnungswerkzeug für verschiedene SIA Normen und Merkblätter zu dienen.

2.2 Eingabemöglichkeiten und Flexibilität

Entsprechend dem Kenntnisstand in unterschiedlichen Projektphasen können Eingaben unterschiedlich detailliert getätigt werden. So ist das Instrument flexibel in allen Planungsphasen und von allen Nutzergruppen einsetzbar. In der Entwurfsphase wird mit wenigen Eingaben die Wirkung verschiedener Varianten abgeschätzt, während im Bauprojekt mit detaillierten Eingaben z.B. die Wirkung eines zusätzlichen elektrischen Speichers berechnet wird. Grundsätzlich ist die Eingabe so, dass der Nutzer nur Daten einsetzen muss, die er sowieso für seine Planung verwendet, d.h. die Eingabedaten sind vorhanden und müssen nicht mit zusätzlichem Aufwand ermittelt oder berechnet werden.

Entsprechend der Zunahme der Genauigkeit der Eingaben im Projektverlauf, nimmt auch die Genauigkeit der Ausgabe zu. Es sind folgende Stufen bei der Eingabe wählbar:

1. Standardwert
Die hinterlegten Standardwerte basieren auf SIA Normen und Merkblättern, Studien oder Erfahrungswerten.
2. Extern berechneter Jahresbedarf
Der Nutzer ermittelt den Jahresbedarf durch eine eigene, externe Berechnung oder hat einen Erfahrungswert (z.B. Bedarf Beleuchtung nach SIA 384/3).
3. Extern berechneter Monatsbedarf
Der Nutzer ermittelt die monatlichen Werte durch eine eigene, externe Berechnung oder hat Erfahrungswerte (z.B. Heizwärmebedarf nach SIA 380/1).
4. Extern ermittelte Stundenwerte
Der Nutzer ermittelt Werte auf Stundenbasis, z.B. aus Messungen oder Simulationen.

Die Verteilung des Bedarfs auf die Jahresstunden erfolgt anhand von hinterlegten Profilen, z.B. gemäss Merkblatt SIA 2024 [3] oder in Abhängigkeit von den Klimadaten (Globalstrahlung und Aussentemperatur). Manche Profile werden angepasst, z.B. bei der Beleuchtung wird das Profil von Merkblatt SIA 2024 mit einem Grenzwert der Globalstrahlung ergänzt, so dass bei hohen Einstrahlungswerten kein Bedarf für Beleuchtung besteht.

Entsprechend dem Kenntnisstand über die Nutzung können Profile individuell angepasst werden. Ebenso können bei gewissen Berechnungen Bezugsgrössen (z.B. Kühlgrenze bei Kühlung oder Vereisungsgrenze bei Vereisungsschutz) verändert werden.

Die Methodik des Planungsinstruments ist in Abbildung 2 skizziert. Die Eingabedaten werden in Abhängigkeit von ihrer Granularität auf die Jahresstunden verteilt. Anschliessend wird der elektrische Bedarf und der PV-Ertrag berechnet. In einem weiteren Schritt erfolgt die Bilanzierung von Bedarf und PV-Ertrag mit/ohne Berücksichtigung eines Batteriespeichers. Als letzter Schritt werden die stündlichen Ergebnisse zusammengefasst und der Eigenverbrauch, die Eigendeckung, der Netzbezug und die Netzeinspeisung als Monats- und Jahreswerte sowohl graphisch als auch als Zahlenwerte dargestellt. Durch die Wahl der Betriebszeiten der Wärmepumpe (Tag/Nacht/24h), der Wahl effizienter Geräte, dem Einsatz eines thermischen Kollektors oder eines Batteriespeichers kann der Eigenverbrauch optimiert werden. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen eine Auswahl der Ergebnisse.

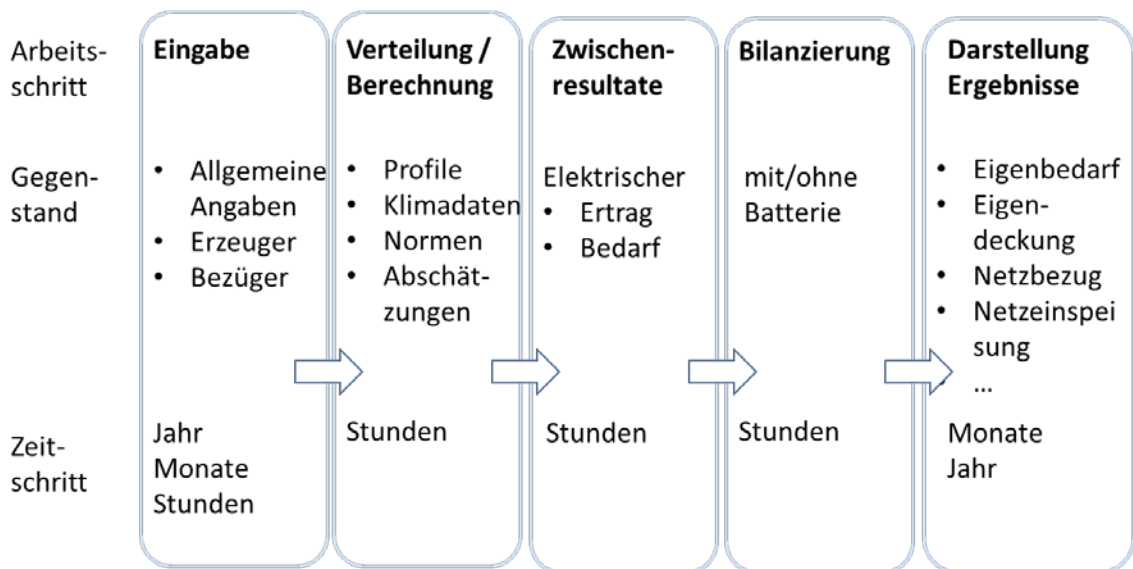


Abbildung 2: Methodik des Planungsinstruments.

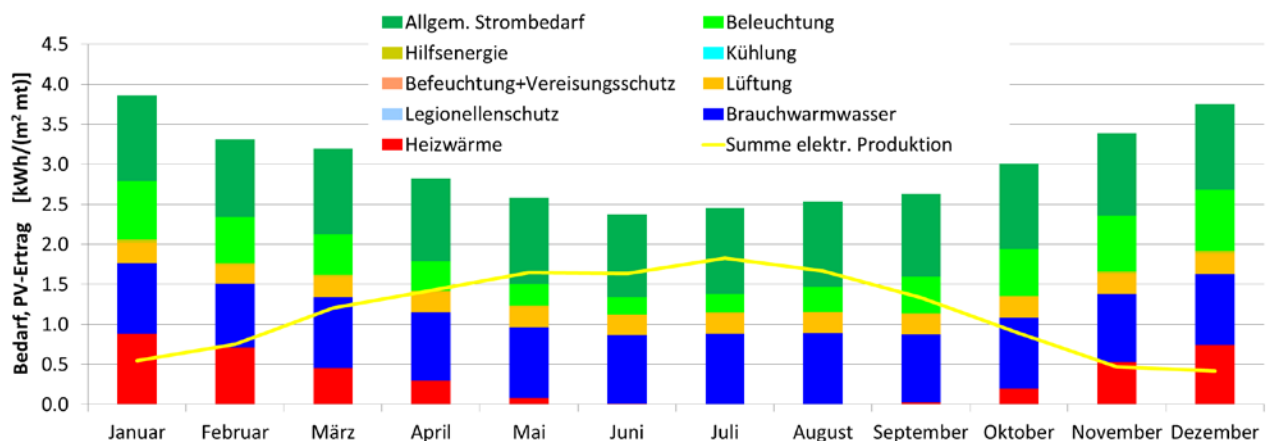


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung des Bedarfs und der PV-Ertrags als Monatswerte.

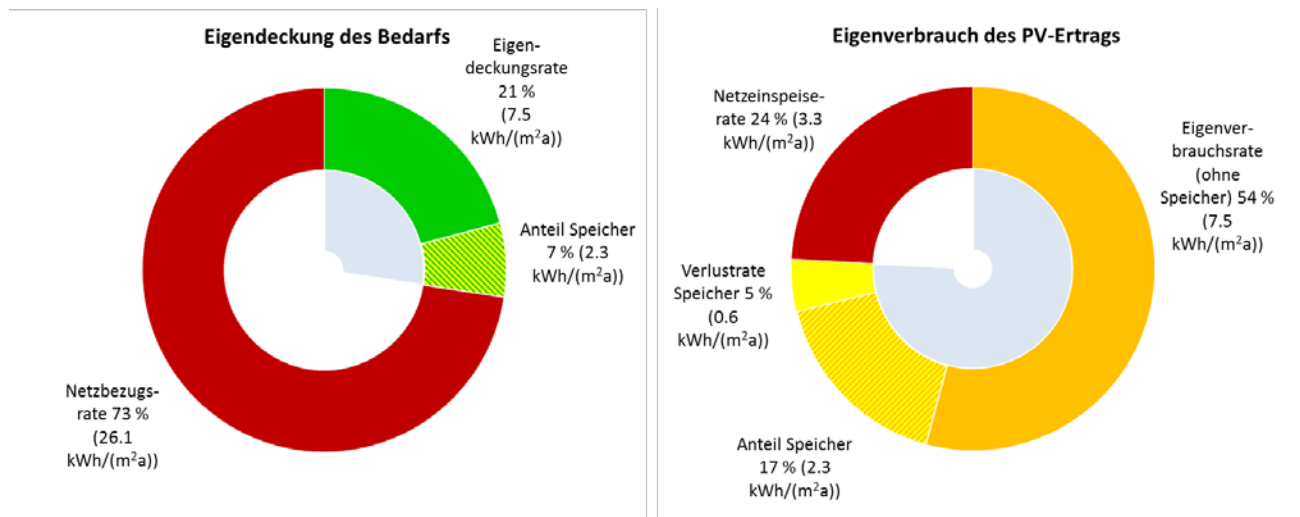


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse für die Eigendeckungs-/Eigenverbrauchsrate als Jahreswert.

3. Varianten und Beispielgebäude

3.1 Varianten

Mit dem Planungsinstrument werden verschiedene Parameter auf ihren Einfluss auf den Eigenverbrauch untersucht. Es wird ein Mehrfamilienhaus (MFH) und eine Schule betrachtet. Folgende Parameter werden variiert:

- Photovoltaik- und Speichergrossen (MFH)
- Lastprofile (MFH)
- Globalstrahlungsgrenze für Beleuchtung (MFH)
- tageslichtunabhängiger Anteil der Beleuchtung (Schule)

3.2 Randbedingungen

Bei dem Speicher wird von einer nutzbaren Kapazität von 80% der Nennkapazität ausgegangen. Be- und Entladeverluste sowie Standverluste werden berücksichtigt. Die Be- und Entladeleistung ist nicht limitiert. Die Speichergrosse ist immer als Nennkapazität angegeben.

Alle Varianten sind für den Standort Zürich berechnet. Der verwendete Photovoltaikertrag (PV-Ertrag) gilt für eine nach Süden ausgerichtete, um 30 Grad geneigte, unverschattete Photovoltaikanlage. Der monatliche Ertrag ist mit Polysun berechnet.

3.3 Beispielgebäude

Ausgehend von einem realen Mehrfamilienhaus werden fehlende Daten durch Standardwerte ergänzt. Es handelt sich um ein kompaktes, 4-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 26 Wohneinheiten. Der effektive Heizwärmebedarf beträgt 15 kWh/(m²a) (Niveau Minergie-P). Das Schulgebäude ist fiktiv. Die Datengrundlage wird bei beiden Gebäuden durch Standardwerte für Profile und Bedarf nach [3] (Raumnutzungen gemäss Anhang E, Tabelle 15) ergänzt. Die Kenngrössen der Beispielgebäude sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Kenngrössen der Beispielgebäude.

Beschreibung	MFH	Schule	Einheit
Energiebezugsfläche	3'500	4'000	m ²
Effektiver Heizwärmebedarf, zusätzlich 10% Verluste für Speicher und Verteilung, Eingabe als Jahresbedarf	15	25	kWh/(m ² a)
Wärmebedarf Brauchwarmwasser BWW (Standardwert SIA 380/1), zusätzlich 40% Verluste für Speicher und Verteilung, Eingabe als Jahresbedarf	20.8	6.9	kWh/(m ² a)
JAZ Heizung (Erdsonden-WP), 24h-Betrieb	4.2	3.1	-
JAZ BWW (Erdsonden-WP), 24h-Betrieb	2.8	2.7	-
Elektrischer Bedarf Lüftung	3	4	kWh/(m ² a)
Elektrischer Bedarf Hilfsenergie	900	4'000	kWh/a
Elektrischer Bedarf Beleuchtung (Standardwert [3])	5.7	18.25	kWh/(m ² a)
Elektrischer Bedarf Geräte (Standardwert [3])	12.6	4.65	kWh/(m ² a)
Elektrischer Jahresbedarf (alle Bezüger)	35.9	40.3	kWh/(m ² a)
Photovoltaikertrag	variabel	18.1	kWh/(m ² a)

4. Resultate

4.1 Variation der installierten Photovoltaikleistung und der Speichergösse beim MFH

Das Mehrfamilienhaus wird mit verschiedenen PV-Leistungen ergänzt (Abbildung 5):

- 35 kWp, entspricht mit $10 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$ der Anforderung gemäss MuKE 2014
- 50 kWp, reicht nicht ganz für den Jahresbedarf von Wärmeerzeugung und Lüftung
- 100 kWp, Dach nahezu vollständig belegt und
- 150 kWp, positive Jahresbilanz ("Plus-Energie-Gebäude").

Den Einfluss der unterschiedlich grossen PV-Anlagen unter Berücksichtigung verschiedener Speichergössen auf die Eigenverbrauchsrate zeigt Abbildung 6.

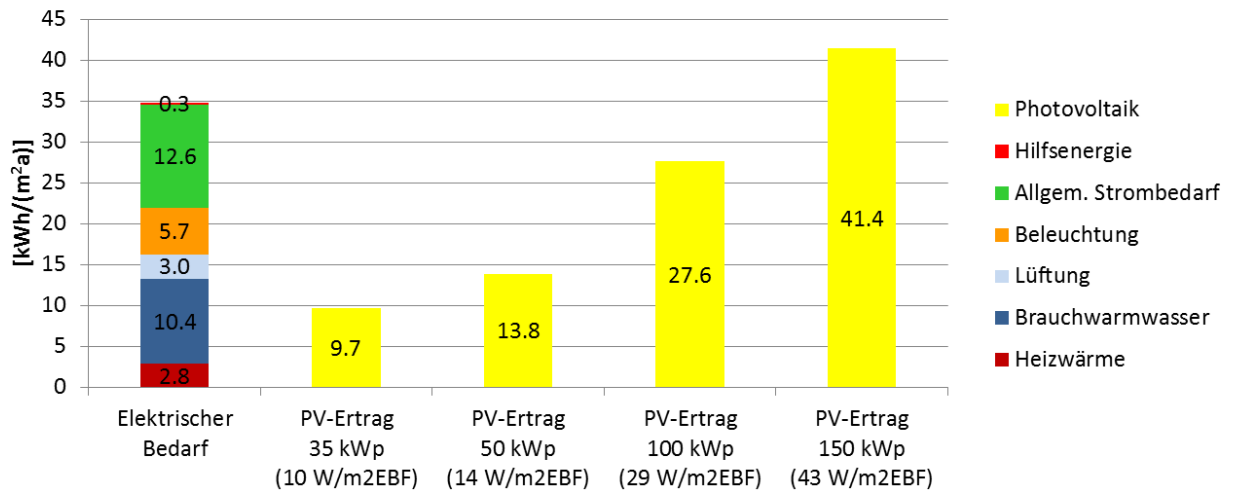


Abbildung 5: Elektrische Jahresenergiebilanz des Mehrfamilienhauses

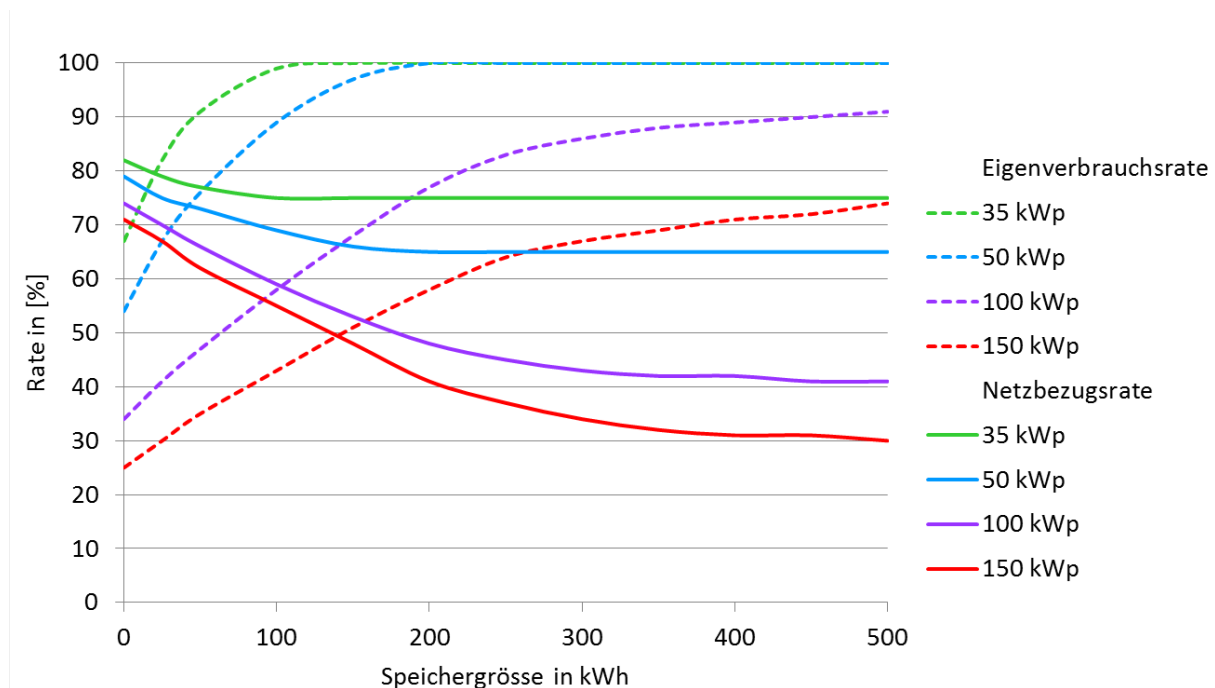


Abbildung 6: Eigenverbrauchs- und Netzbezugsraten bei Variation PV-Leistung und Speicher im MFH.

Wie zu erwarten, weist die kleinen PV-Anlagen die grösste Eigenverbrauchsrate auf. Bei einer PV-Anlage mit 35 kWp ist mit einem 100 kWh-Speicher der ganze PV-Ertrag nutzbar, bei einer 50 kWp PV-Anlage ist dies bei einem 200 kWh-Speicher der Fall.

Bei den PV-Anlagen mit 100 kWp und 150 kWp ist der stündliche Ertrag öfters viel grösser als der Bedarf, was sich in den tiefen Eigenverbrauchsrate ohne Speicher zeigt. Bei einer Speichergösse von etwa 250-300 kWh flacht die Eigenverbrauchsrate ab. Die Wirkung von zusätzlicher Speicherkapazität nimmt ab, weil der nutzbare PV-Ertrag nicht linear mit der Speicherkapazität ansteigt.

Abbildung 6 zeigt weiter, dass ab einer gewissen, von der PV-Leistung abhängigen Speichergösse die Netzbezugsrate konstant bleibt. Netzautarkie wird im Rahmen der betrachteten Grössen der PV-Anlagen und Speichern nicht erreicht.

Eigenverbrauchs- und Eigendeckungsrate nach [4] als Funktion von der PV-Leistung und der Speichergösse im Verhältnis zum Jahresstrombedarf ist in Abbildung 7 dargestellt. Die im Rahmen dieser Untersuchung vorgenommenen Berechnungen von Abbildung 6 sind entsprechend

umgerechnet und als Zahlenwerte in Abbildung 7 eingefügt. Beide Instrumente zeigen eine sehr gute Übereinstimmung, nur bei grossen Speichern werden grössere Eigenverbrauchsraten als bei [4] berechnet. Dies ist vermutlich auf höher angenommene Verluste für die Be- und Entladungen des Speichers zurückzuführen.

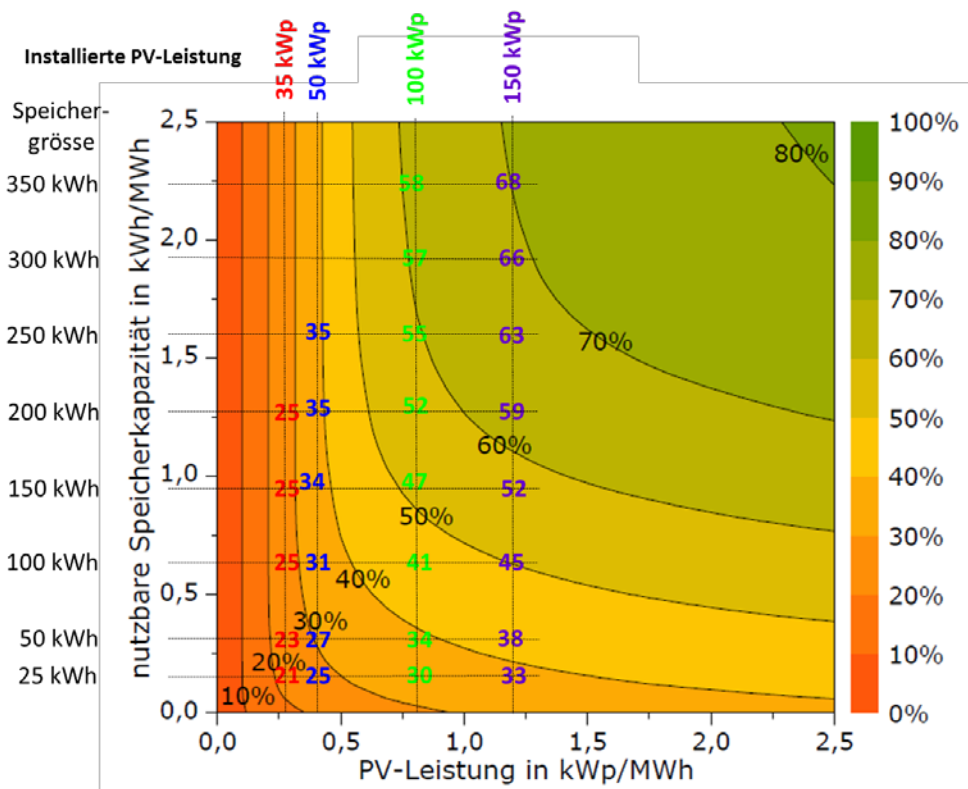
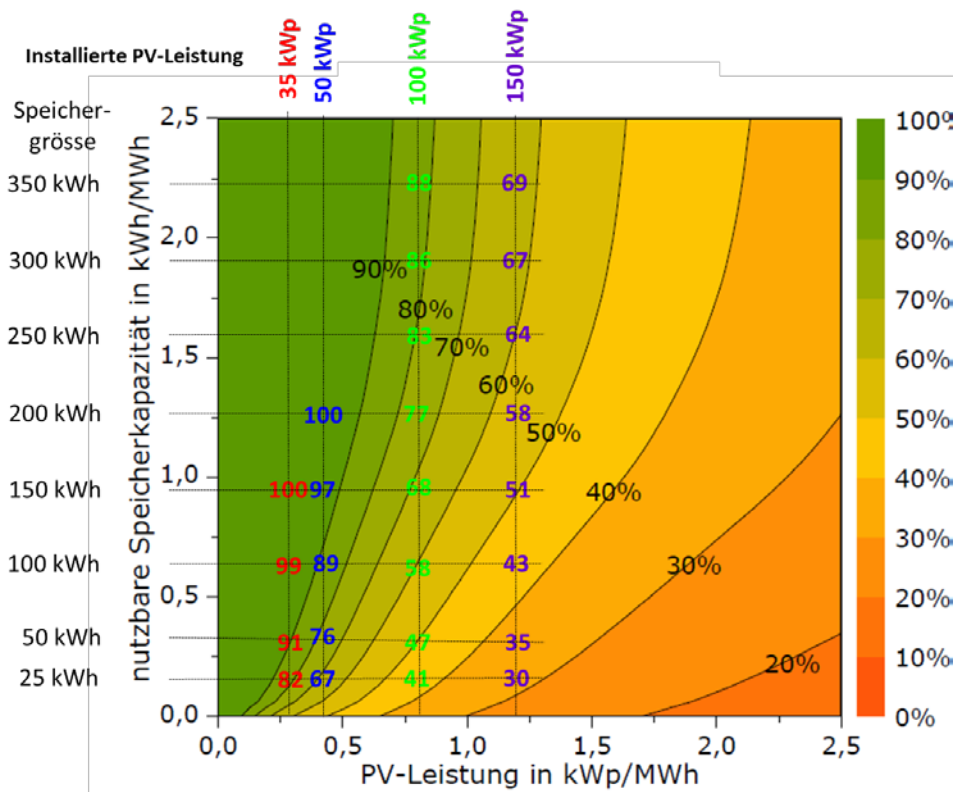


Abbildung 7: Eigenverbrauchsrate (oben) und Eigendeckungsrate (unten): eigene Berechnung im Vergleich zu [4].

Die Diagramme aus [4] wurden auf Basis eines Einfamilienhauses mit einem Jahresstrombedarf von 4'000 kWh erstellt. Durch die Normierung ist es für den Typ "Wohnen" für eine rasche Abschätzung anwendbar. Für kleine Wohngebäude kann hierfür ein Online Tool [5] genutzt werden. Optimierungen, Detailbetrachtungen und Gebäudetypen mit anderen Lastprofilen sind jedoch mit [4] bzw. [5] nicht abbildbar. Für eine vertiefte Analyse und zum Ausloten von Optimierungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung von spezifischen Projektwerten braucht es ein flexibles Tool, wie z.B. das hier vorgestellte Planungsinstrument.

4.2 Einfluss einer Globalstrahlungsgrenze für die Beleuchtung

Bei der Bedarfsverteilung für Beleuchtung nach [3] wird der Einfluss des Tageslichts nicht berücksichtigt. Die Nutzungsstunden wenden bei einem MFH durch die Raumnutzungen Wohnen MFH (90% der Fläche) und Treppenhaus (10% der Fläche) bestimmt:

- Wohnen MFH: Tag: 4 h zwischen 7-18 h, Nacht: 3 h zwischen 18-21 h
- Treppenhaus: Tag: 11 h zwischen 7-18 h, Nacht: 2 h zwischen 18-7 h

Der Bedarf für die Beleuchtung wird als Bandlast gemäss [3] über die erlaubten Nutzungsstunden verteilt (Tabelle 2). Klar sichtbar sind die Abendstunden zwischen 18 - 21 h, in denen gemäss Profil Wohnen MFH nahezu der gesamte Bedarf der Nachtperiode anfällt. Da die Verteilung nicht realistisch ist, wird ein Grenzwert von 20 W/m² Globalstrahlung für die Beleuchtung eingeführt. Dieser Grenzwert wurde eingeführt, um Sonnenauf- und -untergang zu definieren. Oberhalb dieses Grenzwertes ist die Beleuchtung ausgeschaltet, es liegt kein Bedarf vor. Da der Jahresbedarf für Beleuchtung gleich bleibt, muss der Bedarf für die Beleuchtung auf die verbleibenden Stunden verteilt werden. Dies verschiebt und erhöht den Bedarf in Stunden ohne PV-Ertrag (Tabelle 3). Das neue Profil spiegelt die Tageslängen in Abhängigkeit der Jahreszeiten und die Verteilung von Stunden mit Tageslicht im Tagesverlauf wider. Dies zeigt sich im Mehrbedarf für Beleuchtung in der Nacht und im Winter. Der Vergleich beider Tabellen zeigt, dass die Einführung eines Grenzwertes für die Globalstrahlung als zusätzlicher Parameter für die Beleuchtungssteuerung sinnvoll ist.

Ausgehend von dieser Erkenntnis wird der Grenzwert der Globalstrahlung variiert und der Einfluss auf die Eigenbedarfs- und Netzbezugsrate bestimmt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 8 dargestellt (MFH, 50 kWp, kein Speicher).

Tabelle 2: Bedarfsverteilung MFH: Beleuchtung ohne Globalstrahlungsgrenze.

Tagesstunde	Monat												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
7	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
8	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
9	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
10	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
11	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
12	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
13	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
14	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
15	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
16	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
17	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
18	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
19	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
20	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
21	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
22	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
23	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
24	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bedarf [kWh/(m2*mt)]	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Anteil am Jahresbedarf in %	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabelle 3: Bedarfsverteilung MFH: Beleuchtung mit Globalstrahlungsgrenze von 20 W/m².

Tagestunde	Monat											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
2	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
3	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
4	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
5	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
6	0.003	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003
7	0.073	0.066	0.043	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.047	0.071	0.073
8	0.071	0.033	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.073
9	0.014	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.017
10	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.007
11	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002
15	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.012
16	0.031	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.040	0.054
17	0.073	0.024	0.007	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.009	0.045	0.071	0.073
18	0.157	0.142	0.106	0.020	0.010	0.005	0.005	0.015	0.096	0.157	0.152	0.157
19	0.157	0.142	0.157	0.142	0.056	0.010	0.015	0.091	0.152	0.157	0.152	0.157
20	0.157	0.142	0.157	0.152	0.157	0.147	0.157	0.157	0.152	0.157	0.152	0.157
21	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
22	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
23	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
24	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Bedarf kWh/(m2*mt)	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8
Anteil am Jahresbedarf in %	13	10	9	6	4	3	4	5	8	10	13	14

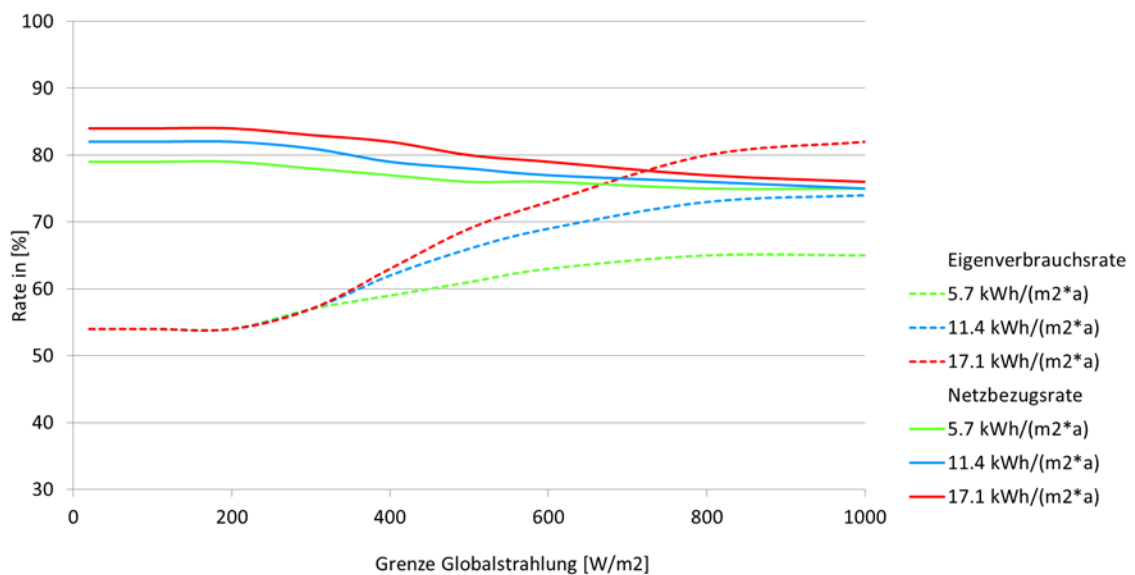


Abbildung 8: Einfluss der Globalstrahlungsgrenze bei unterschiedlichem Bedarf für Beleuchtung für das Mehrfamilienhaus mit 50 kWp und ohne Speicher.

Bei einer tiefen Globalstrahlungsgrenze liegt der gesamte Bedarf für Beleuchtung in Zeiten ohne PV-Ertrag (vgl. Tabelle 3). Der Netzbezug nimmt entsprechend zu. Die maximale horizontale Globalstrahlung am Gebäudestandort Zürich beträgt 920 W/m², d.h. bei einer Globalstrahlungsgrenze von 1'000 W/m² ist die Beleuchtung über die erlaubten Nutzungsstunden immer an. Die Netzbezugsrate sinkt, weil ein Teil der Beleuchtung am Tag zeitgleich mit dem PV-Ertrag stattfindet (vgl. Tabelle 2). Da sich die Netzbezugsrate auf den Gesamtbedarf bezieht und dieser mit dem Bedarf für Beleuchtung steigt, nimmt der Unterschied zwischen den betrachteten Bedarfswerten für Beleuchtung bei steigender Globalstrahlungsgrenze ab.

Die Eigenverbrauchsrate sind bei allen Varianten in dem Bereich der Globalstrahlungsgrenze von 20 - ca. 200 W/m² gleich und konstant, nehmen dann etwas zu und unterscheiden sich erst bei

Grenzwerten ab ca. 400 W/m² nennenswert. Dies kommt daher, dass in Stunden mit Globalstrahlung unter 200 W/m² der gesamte PV-Ertrag für andere Bezüger verwendet werden kann. In diesem Fall ist der Eigenverbrauch unabhängig vom Bedarf für die Beleuchtung. Zwischen 200 und 300 W/m² deckt der PV-Ertrag zusätzlich einen kleinen Teil des Beleuchtungsbedarfs. Dies führt bei allen Varianten zu einer gleichgrossen Erhöhung der Eigenbedarfsrate. Ab ca. 400 W/m² kann mit zunehmendem Bedarf für Beleuchtung tagsüber mehr gleichzeitig gedeckt werden. Dies führt zu höheren Eigenverbrauchsrate bei grösserem Bedarf.

Da Schulhäuser andere Raumnutzungen d.h. Lastprofile als der Gebäudetyp Wohnen aufweisen, wird auch für das Schulhaus die Globalstrahlungsgrenze betrachtet. Bei einem Schulhaus sind gemäss [3] die Nutzungsstunden für die Beleuchtung wie folgt verteilt:

- 75% der Fläche (Schul-, Lehrerzimmer, Bibliothek, Hörsaal, Schulfachraum, WC): Tag: 11 h zwischen 7-18 h, Nacht: keine kein Bedarf zwischen 18-7 h
- 25 % der Fläche (Verkehrsfläche, Treppenhaus und Nebenraum): Tag: 11 h zwischen 7-18 h, Nacht: 2 h zwischen 18-7 h

Ergänzend zum Profil nach [3] wird die Nutzung nach Wochentagen und Wochenenden unterschieden (kein Bedarf am Samstag und Sonntag). Tabelle 4 und zeigen die Verteilung des Bedarfs für Beleuchtung beim Schulhaus ohne/mit Globalstrahlungsgrenze von 20 W/m². Tabelle 4 zeigt im Gegensatz zu Tabelle 2 unterschiedliche Monatswerte. Im Unterschied zu Wohnbauten ist die Monatsgleichzeitigkeit bei Schulbauten nicht konstant, da Feiertage und Ferien berücksichtigt werden. Grundsätzlich scheint auch bei Schulbauten die Einführung einer Globalstrahlungsgrenze sinnvoll.

Tabelle 4: Bedarfsverteilung Schule: Beleuchtung ohne Globalstrahlungsgrenze.

Tagesstunde	Monat											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.006	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
2	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
3	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
4	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
5	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
6	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
7	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
8	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
9	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
10	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
11	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
12	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
13	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
14	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
15	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
16	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
17	0.147	0.110	0.167	0.110	0.153	0.172	0.042	0.126	0.164	0.121	0.159	0.115
18	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
19	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
20	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
21	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
22	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
23	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
24	0.006	0.004	0.006	0.004	0.006	0.007	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.004
Bedarf [kWh/(m2*mt)]	1.7	1.3	1.9	1.3	1.8	2.0	0.5	1.5	1.9	1.4	1.8	1.3
Anteil am Jahresbedarf in %	9	7	10	7	10	11	3	8	10	8	10	7

Tabelle 5: Bedarfsverteilung Schule: Beleuchtung mit 20 W/m² Globalstrahlungsgrenze.

Tagesstunde	Monat											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
2	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
3	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
4	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
5	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
6	0.04	0.03	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03
7	0.93	0.69	0.64	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.49	1.01	0.73
8	0.88	0.35	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.73
9	0.17	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.24
10	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10
11	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17
16	0.38	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.55	0.62
17	0.93	0.24	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.45	1.01	0.73
18	0.04	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.04
19	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03
20	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
21	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
22	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
23	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
24	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
Bedarf kWh/(m ² *mt)	3.7	1.7	1.5	0.4	0.4	0.4	0.1	0.3	0.8	1.4	3.8	3.7
Anteil am Jahresbedarf in %	21	9	8	2	2	2	1	2	5	7	21	20

4.3 Einfluss des Anteils tageslichtunabhängigen Bedarfs für Beleuchtung in einer Schule

Bei Wohnbauten wird davon ausgegangen, dass nur bei geringem Tageslicht künstliche Beleuchtung eingesetzt wird. Bei Schulen und Verwaltungsbauten besteht wegen Räumen ohne Tageslicht und auch aufgrund von künstlicher Verschattung (z.B. Blendschutz bei Arbeiten am Bildschirm aber auch Schutz vor Überhitzung) auch bei genügend Tageslicht ein gewisser Bedarf an künstlicher Beleuchtung. Aus diesem Grund wird zusätzlich ein Anteil an tageslichtunabhängiger Beleuchtung eingeführt. Dieser wird entsprechend den Profilen nach [3] verteilt. Um den Einfluss der Globalstrahlungsgrenze und dem Anteil des tageslichtunabhängigen Beleuchtungsbedarfs abzuschätzen zu können, werden beide Grössen für ein Schulhaus mit einer PV-Anlage von 75 kWp variiert (Abbildung 9).

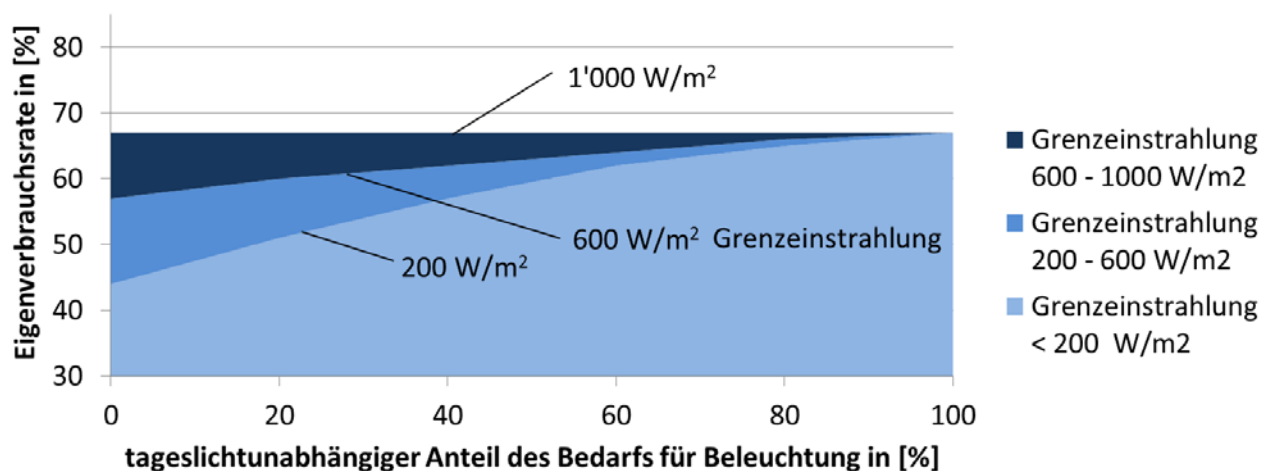


Abbildung 9: Einfluss der Globalstrahlungsgrenze und des tageslichtunabhängigen Anteil des Bedarfs für Beleuchtung bei einer Schule (75 kWp PV-Anlage, kein Speicher).

Weist die Beleuchtung keinen tageslichtunabhängigen Anteil auf, dann ist die Eigenverbrauchsrate bei jeder Grenzeinstrahlung am geringsten, da weniger Beleuchtungsbedarf in den Tagesstunden besteht. Ist die Beleuchtung zu 100 % tageslichtunabhängig, dann hat die Grenzeinstrahlung keinen Einfluss auf die Eigenverbrauchsrate, da die Beleuchtung immer "an" ist. Die Eigenverbrauchsrate ist maximal, da am Tag der maximale Beleuchtungsbedarf anfällt.

Insbesondere Raumanteile mit tageslichtunabhängigem Beleuchtungsbedarf unter 50% haben einen grossen Einfluss auf die Eigenverbrauchsrate, oberhalb nimmt die Sensitivität deutlich ab. Je grösser der Anteil des tageslichtunabhängigen Beleuchtungsbedarfs ist, desto grösser wird die Eigenverbrauchsrate, da der Bedarf für Beleuchtung zu Zeiten des PV-Ertrags anfällt.

Wie hoch der Anteil des tageslichtunabhängigen Beleuchtungsbedarfs ist, muss für jedes Gebäude berechnet werden. Allenfalls könnte, anhand der Raumzusammensetzung nach Tabelle 15 gemäss [3] und der für die Nutzungen hinterlegten, beleuchtungsrelevanten Standardwerte wie Glasflächenindex und Beleuchtungsstärke eine Standardwert für den tageslichtunabhängigen Anteil der Beleuchtung festgelegt werden.

In Abbildung 10 wird bei einer konstanten Globalstrahlungsgrenze von 200 W/m^2 die Netzbezugs- und Eigenverbrauchsrate in Abhängigkeit von dem Anteil des tageslichtunabhängigen Bedarfs für Beleuchtung und verschiedenen Speichergrossen gegenübergestellt.

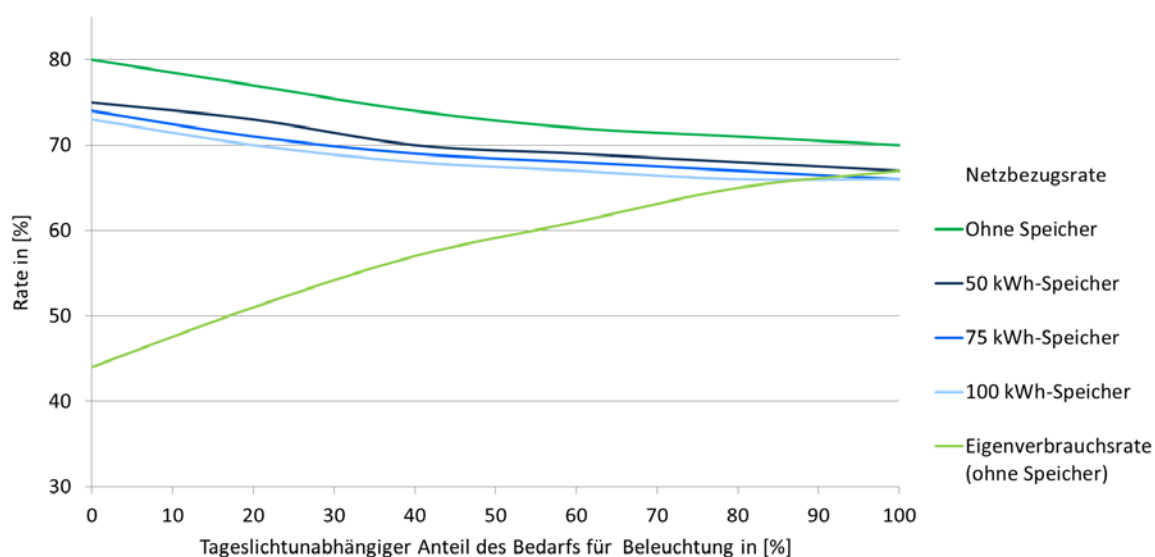


Abbildung 10: Einfluss Anteil tageslichtunabhängiger Bedarf für Beleuchtung bei einer Schule mit variablen Speichern auf die Netzbezugs- und Eigenverbrauchsrate.

Die Eigenverbrauchsrate entspricht Abbildung 9 bei der Globalstrahlungsgrenze 200 W/m^2 . Die entsprechende Netzbezugsrate sinkt mit zunehmendem Anteil des tageslichtunabhängigen Bedarfs, da der in den Tagesstunden steigende Bedarf durch PV-Ertrag gedeckt werden kann.

Es zeigt sich, dass die Netzbezugsrate durch den Einsatz eines 50 kWh-Speichers um 3 - 5 % oder 1 - 1.9 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ gesenkt werden kann. Zusätzliches Speichervolumen reduziert den Netzbezug nur noch geringfügig (im Vergleich zu 50 kWh: -1 % bei 75 kWh und -2 % bei 100 kWh). Aufgrund der Grösse der PV-Anlage (75 kWp) limitiert der PV-Ertrag die Wirkung des Speichers.

4.4 Einfluss verschiedener Lastprofile beim Mehrfamilienhaus

Im Folgenden wird bei dem Mehrfamilienhaus (50 kWp-PV-Anlage, ohne Speicher) der Einfluss drei unterschiedlicher Profile für den Bedarf von Geräten und Beleuchtung auf die Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate untersucht. Alle anderen Parameter bleiben unverändert. Es wird das Standardprofil SIA 2024 nach [3], das durch die Tageslichtabhängigkeit (Globalstrahlungsgrenze

20 W/m²) ergänzte Profil SIA 2024 (im Folgenden als SIA 2024* gekennzeichnet) und das Profil H0 (Haushalt) des BEDW [6] verglichen. H0 zeigt in den Wintermonaten einen höheren Bedarf als in den Sommermonaten, ähnlich wie das Profil SIA 2024*. Da das Profil H0 nicht zwischen Beleuchtung und Geräten unterscheidet, wird der Gesamtbedarf (5.7+12.6 kWh/(m²a)) auf das Profil verteilt. Das Profil H0 wird in Deutschland und in der Schweiz von den Energieversorgern zur Prognose und Bilanzierung von Kunden ohne registrierende Leistungsmessung eingesetzt. Die resultierenden stundenbasierten Jahreswerte für die Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate bei unterschiedlichen Bedarfsprofilen für Geräte und Beleuchtung im MFH (50 kWp, kein Speicher).

	SIA 2024	SIA 2024*	H0
Eigendeckungsrate [%]	25	21 (-16%)	27 (+8%)
Eigenverbrauchsrate [%]	65	54 (-17%)	69 (+6%)

Die Unterschiede zwischen SIA 2024 und H0 sind gering. Mit dem Profil H0 wird eine etwas höhere Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate als mit dem Profil nach SIA 2024 erzielt.

Die Eigendeckungs- und Eigenverbrauchsrate von Profil SIA 2024* ist deutlich geringer als von den beiden anderen Profilen. Dies liegt an der Globalstrahlungsgrenze. Bei H0 und SIA 2024 fällt ein wesentlicher Teil des Bedarfs für Beleuchtung tagsüber an.

Abbildung 11 zeigt exemplarisch für den Monat Januar den gemittelten Stundenbedarf für Geräte und Beleuchtung der drei Profile. Die SIA-Profile unterscheiden sich in zwei Faktoren vom Profil H0:

- Bedarfsspitzen der Geräte Morgens, Mittags und Abends
- Spitzen des Bedarfs für Beleuchtung zwischen 18 - 21 h

Es stellt sich die Frage, welches Profil der Realität am besten gerecht wird. Das Profil H0 unterscheidet nicht zwischen den Lastgängen für Geräte und Beleuchtung. Das Gesamtprofil hat einen stark geglätteten Tageslastgang, was gerade für die Beleuchtung unrealistisch erscheint. Auf der anderen Seite, weist das H0-Profil saisonale Unterschiede auf. Dadurch ist der Bedarf im Winter höher als im Sommer, was für die Beleuchtung realistisch ist.

Die SIA-Profile für Wohnen MFH sind über das Jahr konstant und haben die Einschränkung der Betriebsstunden der Beleuchtung in der Nacht auf 18-21 h, was ebenfalls als nicht realistisch angesehen wird. Sowohl die Berücksichtigung einer Globalstrahlungsgrenze für die Beleuchtung als auch die Erweiterung der Beleuchtungsstunden auf die Zeiträume zwischen 18-24 h und 5-7 h können die Realitätsnähe zu verbessern. Da bei SIA 2024 es je ein Lastprofil für Geräte und Beleuchtung gibt, erscheint SIA 2024 flexibler und unter Berücksichtigung der genannten Ergänzungen für die Beleuchtung realistischer als das Profil H0 zu sein.

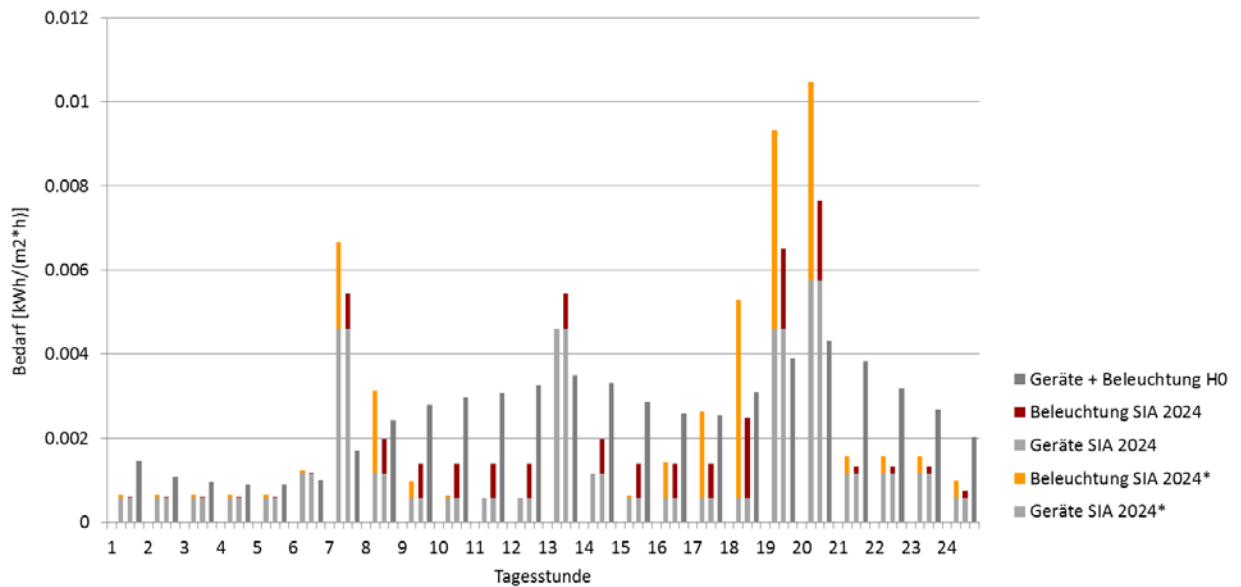


Abbildung 11 Tagesverlauf des Bedarfs von Geräten und Beleuchtung im Januar

5. Zusammenfassung

Es wird ein Planungsinstrument entwickelt, welches beruhend auf SIA Normen und Merkblättern auf Stundenbasis den Eigenverbrauch, die Eigendeckung, sowie den Netzbezug und die Netzeinspeisung bestimmt. Der Planer hat die Möglichkeit mit detaillierten Eingaben das Projekt sehr spezifisch abzubilden zu analysieren und zu optimieren. Bislang können Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Verwaltungen und Schulen abgebildet werden.

Das Instrument wird dazu verwendet, den Einfluss verschiedener Parameter auf den Eigenverbrauch und den Netzbezug zu zeigen. Es können folgende Resultate zusammengefasst werden:

- Die Einführung einer Globalstrahlungsgrenze für die Tageslichtabhängigkeit der Beleuchtung führt bei dem Profil nach SIA 2024 zu einer realistischeren Verteilung des Beleuchtungsbedarfs im Tages- aber auch im Jahresverlauf. Dadurch steigt in den Nachtstunden und im Winter der Bedarf an Beleuchtung. Als Folge hiervon sinkt die Eigenverbrauchsrate, während die Netzbezugsrate steigt.
- Bei Verwaltungen und Schulen kann tageslichtunabhängige Beleuchtung auftreten. Die Zwangsbeleuchtung am Tag erhöht die Eigenverbrauchsrate, während der Netzbezug sinkt.
- Die Einschränkung der Nutzungsstunden für die nächtliche Beleuchtung auf 18-21 h bei dem MFH nach SIA 2024 wirkt sich stark auf den Eigenverbrauch aus und widerspiegelt vermutlich nicht die reale Situation.
- Das Standardlastprofil von H0 und SIA 2024 führt zu sehr ähnlichen Eigendeckungs- und -verbrauchsrate. Wird das Profil SIA 2024 um eine Globalstrahlungsgrenze für Beleuchtung ergänzt, reduziert sich die Eigendeckungs- und -verbrauchsrate.

Es wird empfohlen, das Merkblatt SIA 2024 zu ergänzen mit

- der Einführung einer Grenzwerteinstrahlung für Beleuchtung,
- einer Festlegung eines Anteils von tageslichtunabhängiger Beleuchtung und
- einer Erweiterung der Nachtstunden mit Bedarf für Beleuchtung auf 18-24h und 5-7h für den Typ Wohnen.

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekts "Energetische Flexibilität von Gebäuden" erarbeitet, welches das Bundesamt für Energie BFE (Schweiz) unter dem Kennzeichen SI/501240-01 fördert.

6. Literatur

- [1] M. Hall, F. Dorusch, and A. Geissler, "Optimierung des Eigenverbrauchs, der Eigendeckungsrate und der Netzbelastung von einem Mehrfamiliengebäude mit Elektromobilität," *Bauphysik*, vol. 36, no. 3, pp. 117–129, Jun. 2014.
- [2] T. Staudacher and S. Eller, "Dezentrale Stromversorgung eines Einfamilienhauses," *www.ffe.de, BWK*, vol. 4, no. 6, pp. 66–72, 2012.
- [3] Merkblatt SIA 2024, "Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik." 2015.
- [4] J. Weniger, J. Bergner, T. Tjaden, and V. Quaschnig, "Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende," Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, <http://pvspeicher.htw-berlin.de>, 2015.
- [5] Hochschule für Wirtschaft und Technik Berlin, "Unabhängigkeitsrechner." [Online]. Available: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner>. [Accessed: 15-Jul-2016].
- [6] "Stromlastprofil H0, BEDW." www.new-netz-gmbh.de.