

Neue Prosumerlastprofile als Alternative zur Lastgangzählung bei Kleinverbrauchern mit PV-Anlage

Rebecca Kächele, Christian Tomschitz, Ruben Rongstock, Jann Binder*
*Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW),
Meitnerstr. 1, 70563 Stuttgart, *jann.binder@zsw-bw.de, www.zsw-bw.de*

Zusammenfassung

Prosumer sind eine wachsende Kundengruppe in der Energiebranche. Durch den Eigenverbrauch von Solarstrom aus einer lokalen PV-Anlage ändert sich deren Verbrauchsprofil gegenüber dem Standardlastprofil (SLP). Dies erfordert neue Ansätze zur Bestimmung der Profile für den verbleibenden Energiebedarf, der vom Versorger für diese Kunden beschafft werden muss. Diese werden hier als Prosumerlastprofile (PLP) bezeichnet. Dieser Beitrag vergleicht verschiedene Ansätze, um Prosumerlastprofile abzuleiten. Aus dem Summenprofil von rund 100 Prosumern mit unterschiedlichen PV-Anlagen werden durch Mittelung wetterunabhängige und wetterabhängige Prosumerlastprofile erstellt. Die Anwendung der wetterabhängigen Prosumerlastprofile zeigt hierbei vergleichbar gute Ergebnisse wie die Anwendung der gängigen Standardlastprofile für Kunden ohne PV-Anlage.

1 Einleitung

Die Energiewende transformiert die gesamte Energiebranche in Deutschland. Die Energieversorgung wandelt sich von fossilen hin zu erneuerbaren Energien, das zentral orientierte System wird immer dezentraler und der passive Konsument wird zum aktiven Prosumer. Prosumer sind Stromerzeugungs- und Verbrauchseinheiten in einer Personenidentität, beispielsweise ein Einfamilienhaus mit PV-Anlage. Ein Prosumer kann mit Photovoltaikanlage und Wärmepumpen, sowie Batteriespeicher und Elektrofahrzeugen seinen Bedarf mittels Energiemanagementsystem steuern und so seine CO₂-Bilanz verbessern. Damit ändert sich der Lastgang des Prosumers durch die zusätzlichen sowie flexibel einsetzbaren Verbraucher und Stromspeicher im Vergleich zum Lastgang eines herkömmlichen Haushalts.

Die Veränderung des Prosumerlastprofils (PLP) und die damit verbundene Abweichung vom Standardlastprofil (SLP) stellt für Markt und Netz eine Herausforderung dar: Einerseits bildet die geplante Versorgung nicht mehr den realen Verbrauch ab und es muss ggf. kurzfristig Energie ein- oder verkauft werden. Andererseits stellt jede Abweichung zur Planung eine Herausforderung für die Netzstabilität dar und es muss ggf. steuernd eingegriffen werden.

Dieser Beitrag zeigt am Beispiel von Prosumern mit PV-Anlagen verschiedenen Möglichkeiten zur Vorhersage der Prosumerlast und diskutiert eine indikative Bewertung der Möglichkeiten anhand verschiedener quantitativer und qualitativer Bewertungskriterien. In Abschnitt 2 wird die spezielle Prosumerlast und ihre Auswirkungen erläutert. In Abschnitt 3 werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Vorhersage der Prosumerlast vorgestellt. In Abschnitt 4 wird die Umsetzung am konkreten Beispiel gezeigt, um anschließend anhand quantitativer und qualitativer Kriterien verglichen zu werden (s. Abschnitt 5). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 6.

2 Prosumerlast von Haushalten mit PV-Anlage

Der Beitrag fokussiert Haushalte, d.h. Kleinverbraucher, mit PV-Anlage. Diese werden nachfolgend Prosumer genannt. Sie zeichnen sich in erster Linie durch eine Nutzung des PV-Stroms für den Eigenverbrauch aus. Der reine Bedarf des Prosumers ist zunächst vergleichbar mit dem Bedarf von klassischen Haushaltskunden. Neu hinzu kommt die Energieerzeugung aus der eigenen PV-Anlage, welche anteilig eigenverbraucht wird. Damit ergibt sich die Prosumerlast $PL(t)$ für jeden Zeitpunkt t als Differenz aus Bedarf $B(t)$ und Eigenverbrauch $EV(t)$. Der Eigenverbrauch bezeichnet die Menge an Energie, die der Prosumer selbst verbraucht. Die überschüssige solare Erzeugung, die ins Netz eingespeist wird, wird an dieser Stelle nicht betrachtet.

$$PL(t) = B(t) - EV(t)$$

Schwankungen der Prosumerlast im Tagesverlauf ergeben sich sowohl aus dem tagesabhängigen Verhalten des Prosumers als auch aus den Schwankungen der solaren Erzeugung, also dem Wetter (s. Abb. 1). Bei sonnigem Wetter und einer somit hohen solaren Erzeugung ergibt sich ein im Vergleich zum SLP stark reduziertes Profil der Prosumerlast.

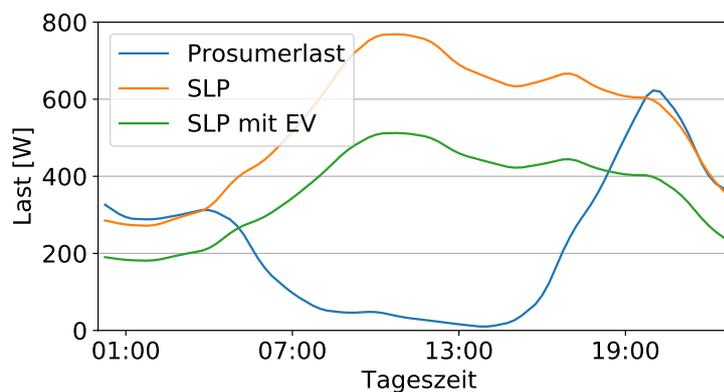


Abb. 1: Verlauf von Prosumerlast, SLP für den Bedarf sowie das SLP mit EV, d.h. das SLP korrigiert um die Summe des Eigenverbrauchs.

Für die Energieversorgung des Prosumers bedeutet dies bei Nacht eine vollständige Deckung seines Bedarfs aus dem Stromnetz. Tagsüber kann bei ausreichend Sonneneinstrahlung und entsprechender Dimensionierung der PV-Anlage der Bedarf fast vollständig über die PV-Anlage gedeckt werden. Kleine Differenzmengen können jederzeit aus dem Netz bezogen werden. In der täglichen Übergangszeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang und der (beinahe) vollständigen Deckung entspricht die Prosumerlast dem Bedarf reduziert um den momentanen Eigenverbrauch.

Für seine Energieversorgung ist der Prosumer mit seinem Energielieferanten, dem Direktvermarkter und Netzbetreiber verknüpft. Der Energielieferant ist dafür verantwortlich den Prosumer entsprechend seiner Prosumerlast zu versorgen, d.h. in Zeitpunkt und Menge exakt zu synchronisieren. Der Direktvermarkter nimmt dem Prosumer die nach Eigenverbrauch verbleibende Menge an erzeugter Solarenergie ab. Der Netzbetreiber benötigt die Kenntnis über die Prosumerlast, um mittels Lastberechnungen den Betrieb des örtlichen Stromnetzes sicherzustellen. Für alle diese Aufgaben ist eine Vorab-Aufstellung der zu erwartenden Prosumerlast notwendig.

Für die Vorab-Aufstellung der Last von normalen Haushaltskunden werden die Standardlastprofile (SLP) verwendet [1]. Diese SLP ermöglichen für eine Gruppe von Kunden eine hinreichend genaue Abschätzung des Lastprofils im Viertelstundentakt. Sie ermöglichen einen Überblick über die Kundenlast, ohne den Lastgang dieser Kunden exakt zu messen. Die SLP sind eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse und die Funktionalität der SLPs ist nur für eine Gruppe mit ähnlichem Verhalten gegeben [2].

3 Optionen für die Vorhersage der Prosumerlast

Für die Vorab-Aufstellung der Prosumerlast sind verschiedene Optionen denkbar: Eine erste Option ist die Anwendung des SLP, wobei der Eigenverbrauch beachtet oder ignoriert werden kann. Eine Alternative ist die Entwicklung von PLP, welche unabhängig oder abhängig vom Wetter ausgeprägt werden können.

Als Datengrundlage für PLP werden viertelstündige Messzeitreihen von repräsentativen Prosumern in ausreichend großer Menge benötigt. Die Auswahl der zu messenden Prosumer kann für jedes Netzgebiet individuell erfolgen, setzt jedoch Kenntnis der vorliegenden Prosumerstruktur voraus. So können mit Vergangenheitswerten der repräsentativen Gruppe neue Profile entwickelt werden. Für die Vorab-Aufstellung der Prosumerlast sind dann keine zusätzlichen aktuellen Messwerte nötig.

3.1 Standardlastprofil mit und ohne Eigenverbrauch

Für die Anwendung des SLP wird ein für den Datensatz spezifisches Profil entsprechend des Jahresenergiebedarfs gebildet. Dazu werden neun Profile (drei Tagesarten pro drei Jahreszeiten – Winter, Übergang und Sommer) auf Basis der Messpunkte des Bedarfs B entwickelt. Von einer Dynamisierung wird aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Prosumerlastprofilen abgesehen. Zur Beachtung des Eigenverbrauchs erfolgt eine proportionale Reduktion des SLP um die jährliche Eigenverbrauchsmenge (s. SLP mit EV in Abb. 1). In Konsequenz stimmt der Energieverbrauch zwar bilanziell, aber die Profile geben nicht den tatsächlichen Verlauf über den Tag wieder.

3.2 Wetterunabhängige Prosumerlastprofile

Analog zur Entwicklung der SLP können PLP auf Basis der Prosumerlast PL entwickelt und angewendet werden. Dabei kann eine Gruppierung nach Jahreszeiten oder nach Monaten erfolgen. Die Entwicklung der wetterunabhängigen Prosumerlastprofile erfolgt in zwei Schritten:

1. Gruppierung der Messpunkte nach Jahreszeit (Variante 1) bzw. Monat (Variante 2) und Tagesart (Werktag, Samstag, Sonn-/ Feiertag)
2. Berechnung des durchschnittlichen Prosumerlastprofils einer Tagesgruppe mit einer Auflösung von 15 Minuten

Auf diese Weise wurden nach Variante 1 neun Profile (3 Jahreszeiten und 3 Tagesarten, PLP 3x3) und nach Variante 2 zum Vergleich 36 Profile (12 Monate und 3 Tagesarten, PLP 12x3) erstellt. Durch die Unterteilung in Monate anstatt in Jahreszeiten wird der Zeitpunkt des Sonnenauf- und -untergangs unkompliziert integriert und so der Zeitraum mit Eigenverbrauch besser abgeschätzt.

3.3 Wetterabhängige Prosumerlastprofile

Alternativ zu den wetterunabhängigen Prosumerlastprofilen, kann zusätzlich die Abhängigkeit zur solaren Erzeugung integriert werden. Die Entwicklung der wetterabhängigen Prosumerlastprofile erfolgt in vier Schritten:

1. Gruppierung der Messpunkte nach den Jahreszeiten Sommer, Winter und Übergangszeit analog der Definition für die SLP [2]
2. Innerhalb der Jahreszeiten wurde die Solarerzeugung in 3 Gruppen eingeteilt, unterschieden nach hohem, mittlerem und niedrigem Tagesertrag (Tagesertrag im oberen, mittleren und unteren Drittel, sodass nahezu gleich große Gruppen von Tagen entstehen).
3. Zusätzliche Gruppierung nach Tagesarten (Wochentag, Samstag, Sonntag/Feiertag)
4. Berechnung des durchschnittlichen Prosumerlastprofils einer Tagesgruppe mit einer Auflösung von 15 Minuten

Es ergeben sich 27 Profile, d.h. eines für jede Kombination aus Jahreszeit, solarem Ertrag und Tagesart (PLP 3x3x3). Im Vergleich zur wetterunabhängigen Option, kann mit diesen Profilen kein Einkauf von Energie für ein ganzes Jahr im Voraus erfolgen. Es kann jedoch schon mit einer groben Wetterprognose am Vortag festgelegt werden, welches Profil für den Folgetag eingekauft wird.

4 Umsetzung der Optionen am konkreten Beispiel

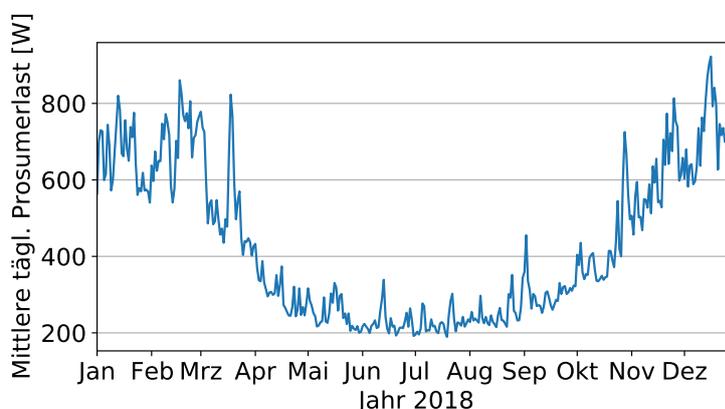


Abb. 2: Verlauf der mittleren täglichen Prosumerlast im Jahr 2018.

Für das Jahr 2018 liegt ein Datensatz mit Viertelstunden-Messungen von insgesamt 118 Prosumern vor, wobei stets mindestens drei Prosumer aggregiert sind. Der mittlere Jahresenergieverbrauch der Prosumer beträgt in diesem Jahr $E_{\text{Prosumer}} = 3.784 \text{ kW h}$ bei einem mittleren Jahresenergiebedarf von $E_{\text{Bedarf}} = 5.677 \text{ kW h}$. Es ergibt sich ein repräsentativer Verlauf der Prosumerlast über das gesamte Jahr (s. Abb. 2). Der Jahresenergieertrag der PV-Anlagen variiert zwischen 4.400 kW h und 9.900 kW h , wobei das Mittel bei rund 7.300 kW h liegt. Die durchschnittliche Kapazität der Speicher liegt bei $7,3 \text{ kW h}$, mit ähnlicher Varianz wie bei dem Jahresenergieertrag der PV Anlagen.

Dieser Datensatz wurde verwendet, um beispielhaft die Vorgehensweise zu erproben und eine erste Indikation der Vorhersagegenauigkeit zu erhalten. Eine Auswertung mit einer höheren Anzahl an Messreihen ist im Nachgang zu dieser Studie anzustreben.

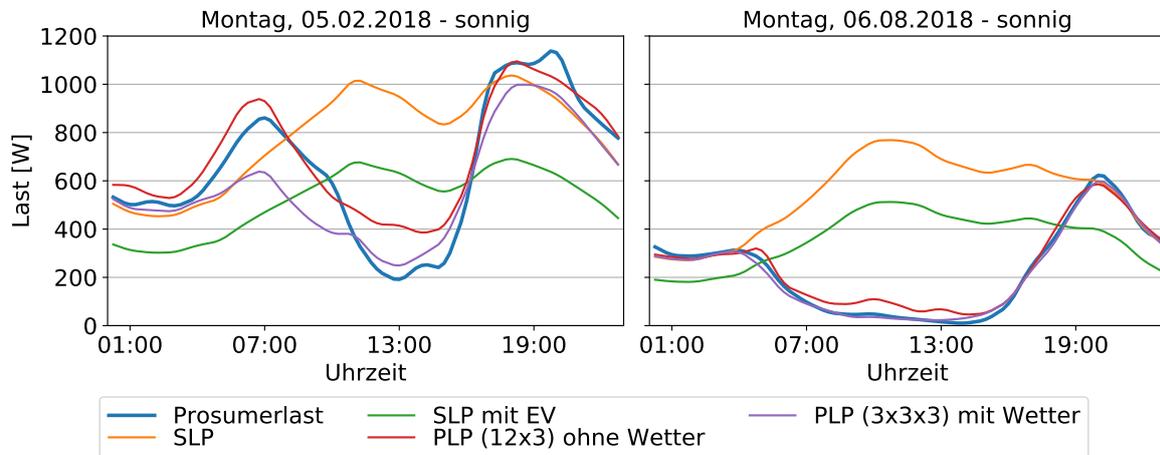


Abb. 3: Gemessene durchschnittliche Prosumerlast im Vergleich zum SLP sowie PLP-Optionen für zwei beispielhafte Tage im Vergleich.

Auf dieser Datenbasis wird ein SLP mit und ohne Eigenverbrauch berechnet (s. Abb. 3). Die Umsetzung der wetterunabhängige Prosumerlastprofile ergibt neun bzw. 36 Profile (PLP 12x3), von denen in Abb. 4 beispielhaft die Monate Februar und August gezeigt sind. Die Umsetzung der wetterabhängigen Profile je Jahreszeit ergibt 27 Profile (PLP 3x3x3), von denen in Abb. 5 Beispiele für Werktage im Sommer und Winter gezeigt sind.

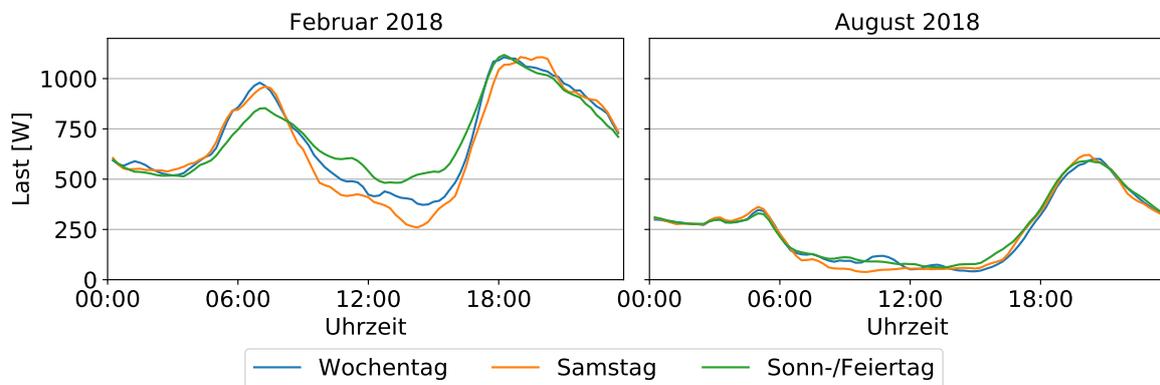


Abb. 4: Wetterunabhängige Prosumerlastprofile, Februar und August im Vergleich.

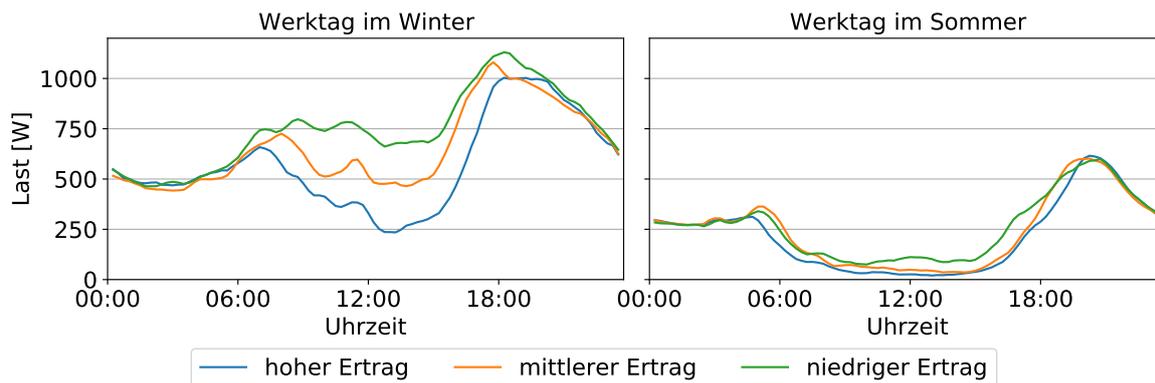


Abb. 5: Wetterabhängige Prosumerlastprofile, Winter und Sommer im Vergleich.

5 Bewertungskriterien und indikative Auswertung der Optionen

Die Optionen werden anhand von zwei quantitativen und drei qualitativen Kriterien bewertet. Die Kriterien sollen helfen eine geeignete Option zur Vorab-Aufstellung der Prosumerlast zu treffen. Eine Gewichtung der einzelnen Kriterien hängt von den örtlichen Gegebenheiten und konzern-spezifischen Präferenzen ab.

- **nRMSE:** Mit Hilfe des normalized Root Mean Square Error kann die relative, durchschnittliche Abweichung berechnet werden:

$$nRMSE = \frac{1}{\bar{x}_{\max}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - x_i)^2}{n}}$$

wobei \bar{x} die mittlere Prosumerlast für den Zeitpunkt i in einer Gruppe (Wochentag, Saison, etc.) und x_i die tatsächliche Last ist. Bezogen wird der RMSE auf \bar{x}_{\max} , den maximalen Leistungsbezug des Jahres. Als Bezugspunkt wird das $q = 0,99$ -Quantil mit $\bar{x}_{\max} = 1.172,9 \text{ W}$ verwendet. In die Summe fließen alle $n = 35040$ Viertelstunden-Werte des Jahres 2018 ein. Das Fehlermaß des nRMSE gibt Auskunft darüber wie gut die Profile die tatsächlichen Messwerte abbilden. Dabei fallen größere Abweichungen stärker ins Gewicht.

- **nMAE:** Der normalized Mean Absoulut Error stellt den normierten, absoluten Fehler dar und spiegelt damit die durchschnittlich zusätzlich benötigte Ausgleichsenergie wider:

$$nMAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x}_i - x_i|}{n \cdot PL_{\text{avg}}}$$

Hier wird der Betrag der Abweichung zwischen Messpunkt und Profil aller Zeitpunkte aufsummiert und auf die durchschnittliche Prosumerlast $PL_{\text{avg}} = 432 \text{ W}$ bzw. Konsumentenbedarf $B_{\text{avg}} = 648 \text{ W}$ bzw. Prosumerlast mit Batterie $PL_{\text{avg,Bat.}} = 295,3 \text{ W}$ bezogen.

- **Nachprüfbarkeit:** Das qualitative Kriterium soll bewerten, wie gut die Logik verstanden und auch im Nachhinein plausibel erklärt werden kann. Das Kriterium basiert auf dem Verständnis, dass eine einfache Nachprüfbarkeit für die Vorab-Aufstellung der Prosumerlast Spekulationen vermeidet.

- **Einkauf:** Das Kriterium spiegelt wider, wie gut die Option für den frühzeitigen Einkauf geeignet ist und hier insbesondere, ob der Jahreseinkauf von Energie zur Deckung des Bedarfs von Haushaltskunden möglich ist.
- **Umsetzungsaufwand:** Das qualitative Kriterium spiegelt, wie viel Aufwand in Form von Kommunikation, Datenhaltung sowie im Betrieb erwartet wird.

Eine erste Indikation der quantitativen und qualitativen Bewertung kann somit erfolgen und wird nachfolgend diskutiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 festgehalten. In der nachfolgenden Diskussion wird auf die erste Spalte der Tabelle referenziert. Die qualitative Bewertung erfolgt mittels Harvey Balls, wobei ein leerer Harvey Ball für *einfach* und ein ausgefüllter Harvey Ball für *aufwändig* steht.

Im Folgenden werden die Differenzfehler zwischen den gemessenen Tagesprofilen der 118 Prosumer mit verschiedenen Profilen verglichen. Von den Prosumern ist sowohl das Jahresverbrauchsprofil ohne PV-Anlage und Jahresverbrauchsprofil mit PV-Anlage, also nach Abzug des Eigenverbrauchs, bekannt.

Als Referenzwert für den reinen Bedarf wird das SLP der betrachteten 118 Prosumer gebildet (*Fall 1*). Wird die Summe der gemessenen Bedarfs-Tagesprofile mit den SLP-Referenzprofilen verglichen, so entsteht ein Fehler von 7,2 % für den nRMSE und 9,3 % für den nMAE. Würde ein Einkäufer also basierend auf den SLP-Referenzprofilen Energie einkaufen, so kauft er 9,3 % der Energie zum falschen Zeitpunkt ein.

Wird im *Fall 2* die Prosumerlast der 118 Prosumer, d.h. der Bedarf abzüglich Eigenverbrauch aus der PV-Anlage, unverändert mit dem zuvor gebildeten SLP verglichen, dann werden 59,3 % des reduzierten Bedarfs, d.h. der Prosumerlast, zum falschen Zeitpunkt eingekauft. Korrigiert man im *Fall 3* das SLP durch proportionale Absenkung aufgrund des jährlich reduzierten Energiebedarfs, so werden immer noch 54,9 % der Energie zum falschen Zeitpunkt eingekauft.

Werden dagegen neun Referenzprofile für die Prosumerlast erzeugt (*Fall 4*), also neue Prosumerlastprofile (PLP 3x3), dann reduziert sich der nMAE auf 20,8 %. Diese Fehlerreduktion erfolgt ohne Betrachtung der täglichen Änderungen der Einstrahlung aufgrund des Wetters. Diese PLP erlauben Energie für ein Jahr im Voraus mit 2,6-fach (Verhältnis nMAE: $54,9/20,8 \approx 2,6$) höherer Korrelation bezüglich des viertelstündlichen Bedarfs einzukaufen. Dazu muss der Lieferant lediglich wissen, ob sein Kunde eine PV-Anlage besitzt oder nicht. Er summiert alle Kunden mit PV-Anlage auf, und beschafft für die Energie entsprechend des neuen PLP 3x3.

Eine weitere Verbesserung des nMAE auf 18,1 % wird im *Fall 5* durch die Nutzung von 36 Profilen erreicht, wobei Gruppen für alle 12 Monate und 3 Tagesarten gebildet werden.

Der *Fall 6* baut auf *Fall 4* auf, indem für die drei Jahreszeiten und drei Tagesarten noch drei Ertragsgruppen eingeführt werden. Dieses PLP 3x3x3 erfordert eine Vorhersage für die Erzeugung für den Folgetag in einer solaren Ertrags-Kategorien „hoch“, „mittel“ und „niedrig“ und liefert einen nMAE = 17,1 %. Damit wird nur eine kleine Verbesserung zu den Prosumerlastprofilen ohne Wettervorhersage und einer Gruppierung nach Monat erreicht.

Um den Gewinn einer viertelstundenscharfen Erzeugungsprognose abzuschätzen, wurde abschließend im *Fall 7* angenommen, dass für jede Viertelstunde die Einteilung in eine der drei Gruppen „hoher, mittlere und niedriger Solarertrag“ für diese Tageszeit vorgenommen wird. Es ergibt sich eine Verbesserung von nMAE = 17,1 % der Tagesprognose auf nMAE = 11,5 % bei der Viertelstundenprognose. Vereinfachend wurde jeweils mit einer „idealen Prognose“ oh-

Fall	Referenzprofil	nRSME	nMAE	Nachprüfbarkeit	Einkauf	Umsetzung
Konsument ohne PV, verglichen mit Referenzprofil						
1	SLP	7,2 %	9,5 %			
Prosumer mit PV, ohne Batterie, verglichen mit Referenzprofil						
2	SLP	31,1 %	59,3 %	○	○	○
3	SLP mit EV	23,6 %	54,9 %	○	○	○
4	Prosumerlastprofil (3x3) ohne Wetter	11,3 %	20,8 %	○	○	◐
5	Prosumerlastprofil (12x3) ohne Wetter	10,2 %	18,1 %	○	○	◐
6	PLP (3x3x3) mit Wetter (täglich)	9,2 %	17,1 %	◐	◐	◐
7	PLP (3x3x3) mit Wetter (15min)	6,9 %	11,5 %	●	●	●
Prosumer mit PV und Batterie, verglichen mit Referenzprofil						
4b	Prosumerlastprofil (3x3) ohne Wetter	13,4 %	34,2 %	○	○	◐
5b	Prosumerlastprofil (12x3) ohne Wetter	12,4 %	30,5 %	○	○	◐
6b	PLP (3x3x3) mit Wetter (täglich)	9,5 %	24,0 %	◐	◐	◐
7b	PLP (3x3x3) mit Wetter (15min)	7,3 %	15,9 %	●	●	●

Tab. 1: Mittlerer Fehler zwischen dem gemessenen Durchschnittsprofil der 118 Prosumern im Testset und verschiedenen Referenzprofilen, sowie Bewertung der Optionen:

○ einfach und ● aufwändig

ne Prognosefehler gearbeitet. Insofern stellen die angegebenen Werte eine Abschätzung des minimal erreichbaren nMAE dar. Dennoch liefern die Werte eine gute Abschätzung, denn die Einteilung der Einstrahlung in die drei Gruppen „hoch“, „mittel“ und „niedrig“ ist wenig herausfordernd, da gute PV-Prognosen in eigenen Untersuchungen einen Fehler in der Größenordnung von $nRMSE \approx 12\%$ bis 15% je Viertelstundenwert über 36 Stunden aufweisen [3].

Im *Fall 7* wurde für das PLP (3x3x3, 15min) mit einem Wert von $nMAE = 11,5\%$ die Einkaufsgüte für den reinen Bedarf ($nMAE = 9,5\%$) fast erreicht. Dies wird erreicht, obwohl die installierte Leistung der individuellen PV-Anlage nicht betrachtet wird, sondern eine repräsentative Prosumergruppe mit einer Mischung von PV-Anlagengrößen mit im Mittel rund 7.300 kWh Jahresertrag und 3.784 kWh Jahresbezug aus dem Netz verwendet wurde.

Folglich kann für Kunden mit PV-Anlage auch ohne Smart Meter der Energieeinkauf ähnlich verlässlich erreicht werden wie für Kunden ohne PV-Anlagen. Dazu muss lediglich das bisher verwendete SLP ohne PV-Anlage durch ein neues PLP inklusive der PV-Anlage ersetzt werden. Vergleichbare Fehlermaße können mit wetterabhängigen Prosumerlastprofilen erreicht werden, wobei zusätzlich zu den drei Jahreszeiten und drei Tagesarten noch drei verschiedene Einstrahlungsgruppen pro Saison definiert werden. Die prognostizierten Prosumerlasten können dann je nach gewünschter Genauigkeit bzw. Einkaufssituation (Day-Ahead oder kurzfristiger) tagesscharf oder viertelstundenscharf eingekauft und geliefert werden.

Betrachtet man den Verlauf des $nRMSE$ für wetterabhängige Prosumerlastprofile über einen Tag im Sommer und Winter im Vergleich, so wird die Herausforderung für die Vorab-Aufstellung der Prosumerlast deutlich (s. Abb. 6). Ist der Bedarf des Prosumers größer als der Eigenverbrauch ($B(t) > EV(t)$), steigt der $nRMSE$ da sich dann Verbrauchsschwankungen und Schwankungen der solaren Erzeugung summieren. Im Gegenzug ist sowohl in der Nacht, wenn keine Sonne scheint und kein Eigenverbrauch möglich ist, und sobald der Eigenverbrauch den Bedarf (überwiegend) deckt (also $EV(t) \gtrsim B(t)$), die Prosumerlast gut absehbar.

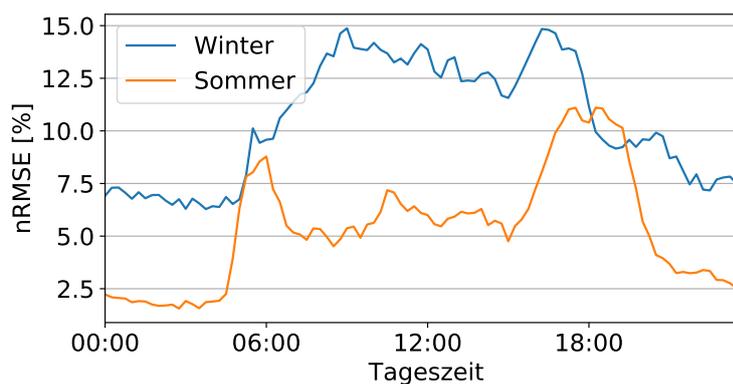


Abb. 6: Verlauf des $nRMSE$ über den Tag für Sommer und Winter im Vergleich.

Die Fehlerwerte für Prosumer mit PV-Anlage und Batterie sind im Vergleich zum Prosumer ohne Batterie etwas schlechter (s. Tabelle 1), da eine höhere Abhängigkeit von der täglichen Einstrahlungsmenge sowie eine gekoppelte Verzerrung in die Nacht erfolgt. Zusätzlich sind Prosumerlastprofile mit Batterie auch von der Batteriegröße abhängig.

Die qualitativen Kriterien Nachprüfbarkeit, Einkauf und Umsetzung werden für die Anwen-

dung der SLP als einfach und für die Prosumerlastprofile einfach sowie zunehmend aufwändiger bewertet, wenn Wetterprognosen mit zunehmenden Detailgrad hinzugenommen werden. So ist der Einkauf bei wetterabhängigen Prosumerlastprofilen auch im Day-Ahead-Markt oder untertäglich möglich, sowie für die Nachprüfbarkeit ggf. eine zusätzliche Dokumentation nötig.

6 Fazit

Es gibt verschiedenen Optionen das Lastprofil eines Prosumers vorab aufzustellen: Die Anwendung der Standardlastprofile mit oder ohne Betrachtung des Eigenverbrauchs sowie die Entwicklung und Anwendung von Prosumerlastprofilen mit und ohne Berücksichtigung des Wetters, d.h. hier der solaren Einstrahlung. Diese Arbeit realisiert eine Umsetzung der Optionen am konkreten Beispiel und gibt eine erste quantitative sowie qualitative Bewertung.

Prosumerlastprofile können basierend auf Vergangenheitswerten in der wetterunabhängigen sowie wetterabhängigen Form entwickelt und dann ohne zusätzliche aktuelle Messwerte angewendet werden. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Verbesserung der Differenzfehler durch die hinzukommende Integration von Erkenntnissen über das Wetter. So erreichen die wetterabhängigen Prosumerlastprofile (drei Jahreszeiten, drei Tagesarten, drei solare Ertragsgruppen) vergleichbar gute Ergebnisse wie die Anwendung der SLPs für Konsumenten.

Ähnlich wie bei der Ableitung der Standardlastprofile ist eine Untersuchung mit einer hinreichend hohen Zahl von Prosumern anzustreben, um die Streuung der Ergebnisse beurteilen zu können und Prosumerlastprofile ggf. in Abhängigkeit der PV-Anlagengrößen zu standardisieren. Auf Grund der Ergebnisse in diesem Beitrag wird erwartet, dass diese Prosumerlastprofile einen ähnlichen genauen Energieeinkauf ermöglichen, wie er auf der Basis von SLPs bei Kunden ohne PV-Anlage längst erfolgt. Auf Basis von historischen Zeitreihen einer begrenzten Anzahl an Prosumern und von Wetterprognosen wird damit der Energieeinkauf für Prosumer möglich, ohne jeden Prosumer mit einer Messeinrichtung oder einem Smart Meter ausstatten zu müssen. Sollten jedoch in Zukunft über Smart Meter variable Strompreise angeboten werden und sich dadurch das Verbrauchsverhalten signifikant und dynamisch ändern, so ist eine Neuanpassung sowohl der SLPs für Kunden ohne PV-Anlagen also auch von PLPs für Kunden mit PV-Anlagen in Abhängigkeit der Preise notwendig.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich für die Förderung der Arbeiten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03SIN133 im Rahmen des Verbundvorhabens C/sells.

Literatur

- [1] Hermann Meier, Christian Fünfgeld, Thomas Adam, Bernd Schieferdecker. Rrepresentative VDEW-Lastprofile. *VDEW*, 1999.
- [2] Vereinigung Deutscher Elektrizittswerke. Umsetzung der Analytischen Lastprofilverfahren. *VDEW*, 2000.
- [3] Christian Tomschitz, Marcel Zoll, Martin Felder, Tobias Lngle, Katja Schulze, Peter Breuning, und Jann Binder. PV-Prognosen fur die Netzleitwarte Schwabisch Hall – Methoden und technische Umsetzung. *PV-Symposium Bad Staffelstein*, 2020.