

Erstellung temperaturabhängiger Lastprofile (TLP) für Speicherheizungen (N21) und Wärmepumpen (W21)

→ mit E-Mobilität (EM)

Quelle: Auf Grundlage einer Entwicklung der Bayernwerk AG

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund	3
2	Grundlagen	4
3	Annahmen und Ziele	5
4	Vorgehensweise zur Profilermittlung (NM/WM)	6
4.1	Erstellung eines temperaturabhängigen Profils mit E-Mobilität (NM/WM).....	6
4.2	Bestimmung des Anteils des E-Mobilitätsprofils	7
4.3	Bestimmung der Tagesenergiemenge.....	8
4.4	Stauchung der TMZ.....	9
4.5	Berechnung der finalen Profilschar mit E-Mobilität	10
4.6	Überprüfung der finalen Profilschar.....	10
5	Implementierung der finalen Profilschar	12
	Abkürzungs-, Symbol- und Indizesverzeichnis.....	13

1 Hintergrund

Auf Grundlage des §14a EnWG kann der Netzbetreiber vergünstigte Netzentgelte für steuerbare Verbrauchseinrichtungen und somit auch für Ladepunkte anbieten, wenn der Anschlussnehmer auch der Steuerung seiner Ladeeinrichtung zustimmt. Im Sinne der Kundenzufriedenheit und des Platzmangels im Zählerschrank ist es sinnvoll, mehrere steuerbare Verbrauchseinrichtungen über einen Zähler zu messen. Eine Änderung bzw. Erweiterung der bestehenden Verteilung ist in vielen Fällen nicht möglich und auch vom Kunden nicht erwünscht.

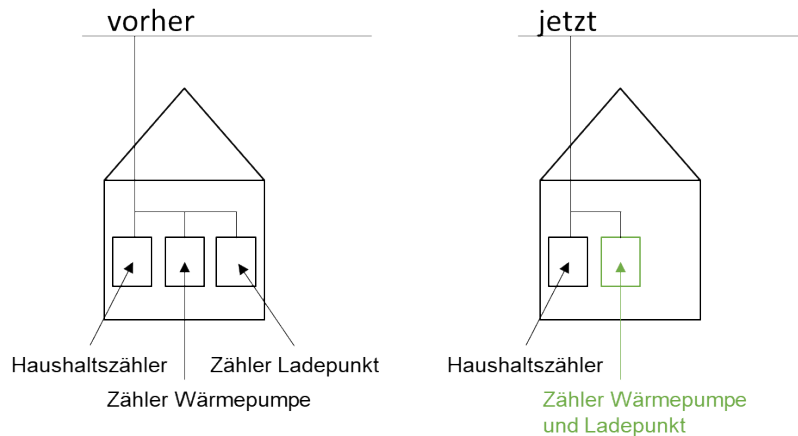


Abbildung 1: Zählernutzung für Ladepunkt und Wärmepumpe Lastprofile vorher (links) Zählernutzung mit dem neuen kombinierten Lastprofil jetzt (rechts)

Aus diesem Grund besteht der Bedarf für ein gemeinsames synthetisches Lastprofil aus Wärmestrom und Ladepunkt. Das gewöhnliche E-Mobilität-Profil wird bisher aufgrund fehlender Erfahrungswerte als konstantes Band mit den entsprechenden Schaltzeiten angenommen (Profil EM). Für den Wärmestrom existieren die temperaturabhängigen Profile N21 (Speicherheizungen) und W21 (Wärmepumpen). Das gesuchte Zielprofil pr_{Ziel} , welches die Kombination aus Wärmestrom und Ladeleistung abbilden soll, entsteht aus der Addition der beiden Profiltypen SLP und TLP und ist in Summe daher ebenfalls temperaturabhängig – wenn auch nicht so stark ausgeprägt.

Die Erstellung eines derartigen Profils steht nicht im Widerspruch zum Rollout intelligenter Messsysteme, welche perspektivisch für §14a-Kunden vorgesehen sind. Da der Zeitpunkt des flächendeckenden Rollouts (aufgrund fehlender Zertifizierung, Empfangsprobleme auf dem Land, ...) für diesen Anwendungsfall noch nicht absehbar ist und die Bedürfnisse des Kunden zum Zeitpunkt „jetzt“ anstehen, stellt dieses Verfahren eine adäquate und unkomplizierte Übergangslösung dar.

2 Grundlagen

Zur Lastprognose temperaturabhängiger Verbraucher wie Speicherheizungen und Wärmepumpen werden tagesparameterabhängige Lastprofile verwendet.

Die Grundlage zur Erstellung des temperaturabhängigen Lastprofils ist die Temperaturschar. Die Schar wird als Kurvenschar abgebildet, die in 1 °C-Schritten den Temperaturbereich zwischen -17 °C bis +17 °C darstellt. Für jede Temperatur ist eine Schar in K/h mit 96 Werten für jede Viertelstunde des Tages hinterlegt (Abbildung 2).

TMZ [K]		34	33	32	31	30	29	28	27	26
Temperatur [°C]		-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9
00:00:00	00:15:00	1,45604	1,41229333	1,36808	1,32778667	1,28396	1,24	1,19608	1,15608	1,11192
00:15:00	00:30:00	1,45604	1,41229333	1,36808	1,32778667	1,28396	1,24	1,20008	1,15608	1,11192
00:30:00	00:45:00	1,46004	1,41630667	1,37208	1,33178667	1,28796	1,244	1,20008	1,16008	1,11592
00:45:00	01:00:00	1,45604	1,41630667	1,37208	1,32778667	1,28796	1,244	1,20008	1,15608	1,11592
01:00:00	01:15:00	1,45604	1,41630667	1,37208	1,32778667	1,28396	1,244	1,20008	1,15608	1,11592
01:15:00	01:30:00	1,45204	1,40829333	1,36808	1,32378667	1,27996	1,24	1,19608	1,15208	1,11192
01:30:00	01:45:00	1,45204	1,40829333	1,36808	1,32378667	1,27996	1,24	1,19608	1,15208	1,11192
01:45:00	02:00:00	1,45604	1,41229333	1,37208	1,32778667	1,28396	1,244	1,20008	1,15608	1,11192
02:00:00	02:15:00	1,46004	1,41630667	1,37208	1,33178667	1,28796	1,244	1,20008	1,16008	1,11592
02:15:00	02:30:00	1,46004	1,41630667	1,37208	1,32778667	1,28796	1,244	1,20008	1,16008	1,11592

Abbildung 2: Ausschnitt einer Profilschar für Wärmepumpen

Die Bezugstemperatur T_{Bezug} für alle temperaturabhängigen Lastprofile beträgt 17 °C. Das Lastprofil bleibt oberhalb von +17 °C und unterhalb von -17 °C unverändert.

Die äquivalente Tagesmitteltemperatur $T_{m,\ddot{a}}$ wird mittels Gleichung (1) sowie den Temperaturwerten der vorangegangenen drei Tage ermittelt und stets aufgerundet.

$$T_{m,\ddot{a}} = 0,5 \cdot T_{m(d)} + 0,3 \cdot T_{m(d-1)} + 0,15 \cdot T_{m(d-2)} + 0,05 \cdot T_{m(d-3)} \quad (1)$$

Aus der Bezugs- sowie der äquivalenten Tagesmitteltemperatur wird die Temperaturmesszahl (TMZ) analog zu Gleichung (2) bestimmt.

$$TMZ = T_{Bezug} - T_{m,\ddot{a}} \quad (2)$$

Auf Basis der TMZ wird die Schar für den jeweiligen Tag ausgewählt (siehe Markierung in Abbildung 2). Eine Tagesmitteltemperatur von beispielsweise -12 °C entspricht einer TMZ von 29 K mit den zugehörigen Viertelstundenwerten. Die TMZ liegt stets im Bereich zwischen 1 und 34 und ist ganzzahlig. Die Summe der Viertelstundenwerte einer TMZ ist stets auf den vierfachen Wert der jeweiligen TMZ normiert. Grundsätzlich wird bei temperaturabhängiger Last das Lastprofil pr_0 in kWh aus der Profilschar PS_0 (z.B. Abbildung 2) und dem spezifischen Verbrauch a des Kunden über das Jahr berechnet

$$a = \frac{\text{Jahresverbrauch}}{\sum_{\text{Jahr}} TMZ} \quad (3)$$

$$pr_0[kWh] = 0,25h \cdot PS_0(TMZ) \left[\frac{K}{h} \right] \cdot a[kWh/K] \quad (4)$$

3 Annahmen und Ziele

Es wird angenommen, dass die E-Mobilität 50 % des Gesamtjahresverbrauchs der §14a-Zählung beträgt. Weist das Gesamtprofil beispielsweise 6000 kWh im Jahr auf, so beträgt der Verbrauch von Wärmestrom und E-Mobilität je 3000 kWh.

Außerdem gilt die Bedingung, dass der Anteil des Elektroautos am Lastprofil in den Sommermonaten höher ist als im Winter, da im Sommer nicht geheizt wird. Das Verhältnis von Wärmestrom zur Ladeleistung ist abhängig von der Jahreszeit. Im Sommer dominiert der Anteil der Elektromobilität, wobei im Winter der Wärmestrom den Verlauf des Gesamtprofils prägt.

Ziel ist es, eine neue Profilschar PS_{final} zu erzeugen, die im Jahresverlauf pr_{final} in kWh dem Summenprofil aus dem entsprechendem SLP und TLP entspricht. Abbildung 3 zeigt beispielsweise für diese Kombination die ursprünglichen Profile N21 bzw. W21 sowie EM. Die Summe aus den Profilen ergibt das Zielprofil NM bzw. WM.

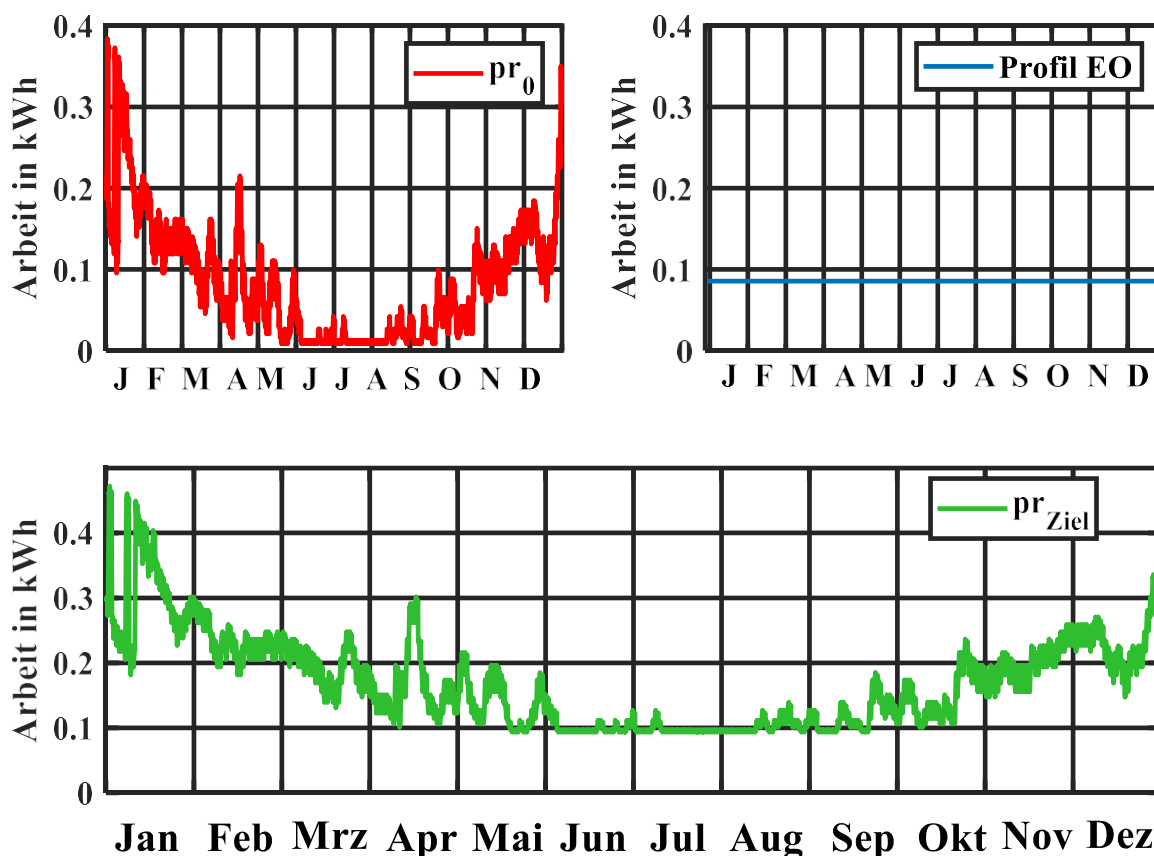


Abbildung 3: Heizungsprofil (oben links), Profil E-Mobilität (oben rechts),

Zielprofil pr_{Ziel} In Summe werden zwei neue Profilscharen benötigt. Diese sind in Tabelle

1 aufgelistet. **Tabelle 1: Zielprofile**

Profil	Definition	Anmerkung
NM	N21 + EM	Speicherheizung + E-Mobilität
WM	W21 + EM	Wärmepumpe + E-Mobilität

4 Vorgehensweise zur Profilermittlung (NM/WM)

Für die Integration des E-Mobilitäts-Offsets ist zu beachten, dass jede Kurve der Profilschar auf den vierfachen Wert ihrer entsprechenden TMZ normiert ist. Das bedeutet, dass der Tagessummenwert der Kurve für $TMZ=34$ größer sind, als für $TMZ=1$ – nämlich um den Faktor 34. Die Berechnung des Profils pr_0 in kWh (siehe Formel (4)) setzt zwingend voraus, dass die Tagessummenwerte der Kurve der zugrundeliegenden TMZ (welche Eingang in Formel (3) finden) entsprechen.

Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Zielprofilschar ist in Abbildung 4 beschrieben.

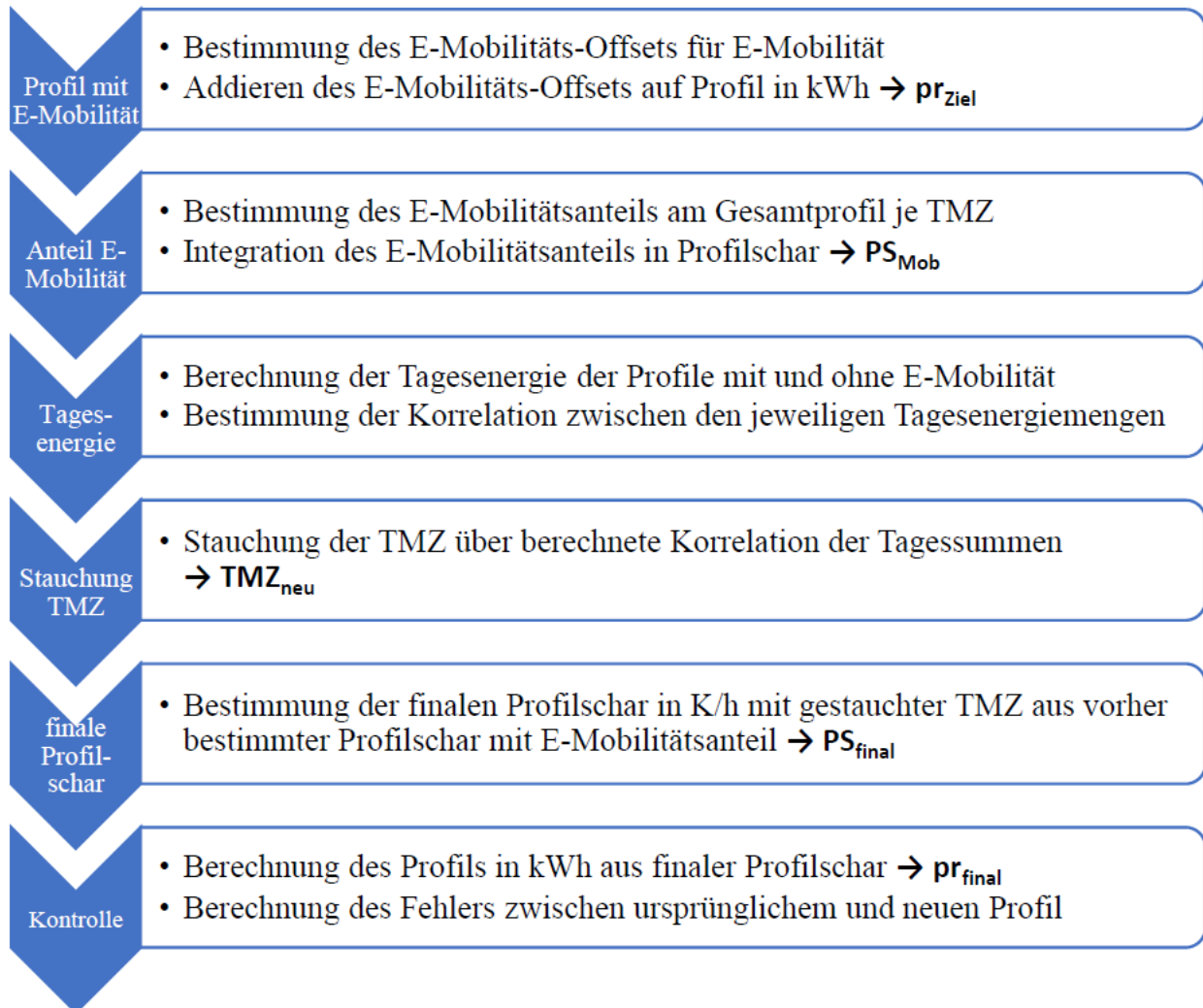


Abbildung 4: Vorgehensweise zur Bestimmung der neuen Profilschar

4.1 Erstellung eines temperaturabhängigen Profils mit E-Mobilität (NM/WM)

Als Datengrundlage dient die Profilschar PS_0 für N21 und W21 sowie ein Temperaturverlauf für ein Jahr, in dem jede TMZ mindestens ein Mal enthalten ist. Aus der Profilschar wird mittels des Temperaturverlaufs aus Gleichung (4) das Profil pr_0 in kWh errechnet. Es wird ein Jahresverbrauch von 3000 kWh angenommen. Das Profil besteht für ein Jahr aus 35040 15-Minutenwerten.

Anschließend wird der entsprechende E-Mobilitäts-Offset zu jedem Zeitpunkt hinzuaddiert, sodass das Zielprofil in kWh mit E-Mobilität pr_{Ziel} vorliegt. In Summe beträgt der Jahresverbrauch des Gesamtprofils nun 6000 kWh. Das Zielprofil ist in Abbildung 3 beispielhaft dargestellt.

4.2 Bestimmung des Anteils des E-Mobilitätsprofils

Zunächst wird der Anteil des E-Mobilitätsprofils am Gesamtprofil berechnet.

Der sich hieraus ergebende Anteil der E-Mobilität am Gesamtprofil pr_{Ziel} ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei der geringsten Temperatur (TMZ=34) ist der Einfluss der E-Mobilität erwartungsgemäß am geringsten (etwa 20 %). Bei steigender Temperatur erhöht sich der Einfluss der E-Mobilität dementsprechend (etwa 90 % bei TMZ=1).

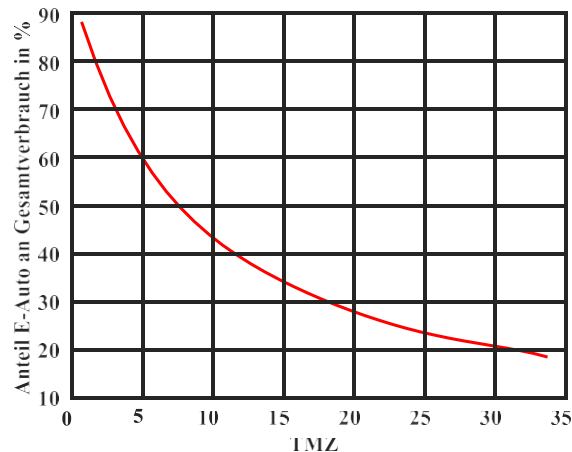


Abbildung 5: Anteil der E-Mobilität am Gesamtprofil

Der prozentuale Anteil wurde für jeden Zeitpunkt und jede TMZ in die Profilschar PS_0 integriert, sodass die Profilschar PS_{Mob} vorliegt. Anschließend wird die Profilschar auf die jeweilige TMZ zurücknormiert.

Innerhalb eines Tages wird nun zwar der Anteil der E-Mobilität am Energieverbrauch richtig abgebildet, allerdings besteht weiterhin folgendes Problem: Die Ladeenergie an kalten Tagen ist deutlich höher als an warmen Tagen und variiert in Abhängigkeit der TMZ. Dies entspricht nicht der Realität. Diese Tatsache ist für drei verschiedene Tage mit unterschiedlicher TMZ in Abbildung 6 dargestellt. Die Profile sind je mit einer Jahresenergie von 6000 kWh abgebildet. Das Verhältnis aus Abbildung 5 ist für die TMZ jeweils erkennbar. Der im Lastgang pr_{Mob} resultierende E-Mobilitäts-Offset wird zugunsten der gestauchten Spitzenleistung erzielt, um das prozentuale Verhältnis von Wärmestrom zu Ladestrom abzubilden.

Allerdings nimmt der E-Mobilitäts-Offset mit zunehmender TMZ zu. Bei kalten Temperaturen weist der E-Mobilitäts-Offset höhere Werte auf als an warmen Tagen. Dies entspricht nicht dem temperaturunabhängigen Bandverlauf.

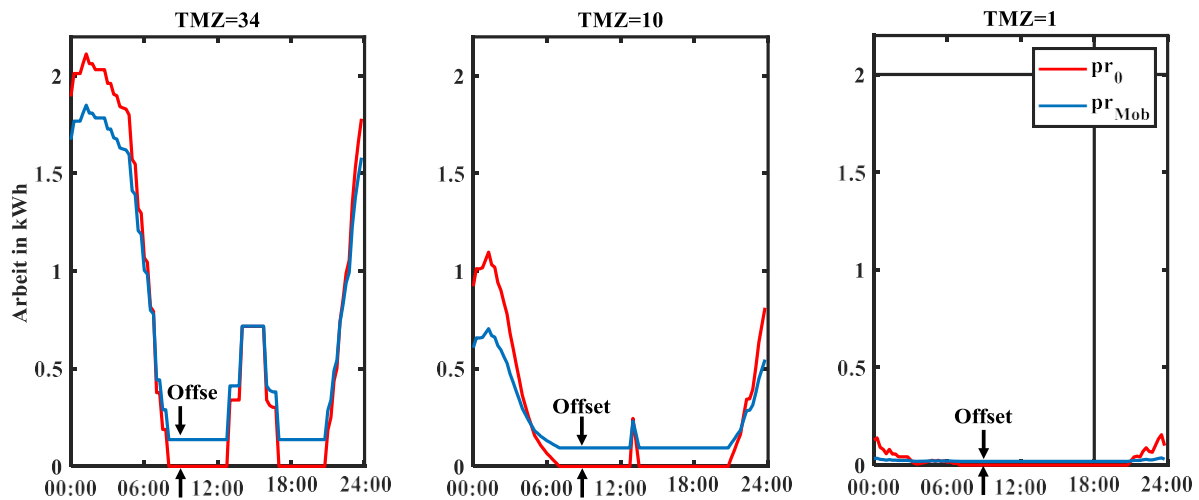


Abbildung 6: Änderung des E-Mobilitätsoffsets in Abhängigkeit der TMZ für $pr_0=6000$ kWh und $pr_{Mob}=6000$ kWh

Auch der Jahresverlauf in Abbildung 7 zeigt den variierenden E-Mobilitäts-Offset in Abhängigkeit der Temperatur. Beide Profile sind zur besseren Vergleichbarkeit mit dem identischen Verbrauch von 6000 kWh dargestellt.

Da der E-Mobilitäts-Offset über das gesamte Jahr als konstant angenommen wird, ist ein weiterer Schritt zur Bestimmung der finalen Profilschar PS_{final} notwendig.

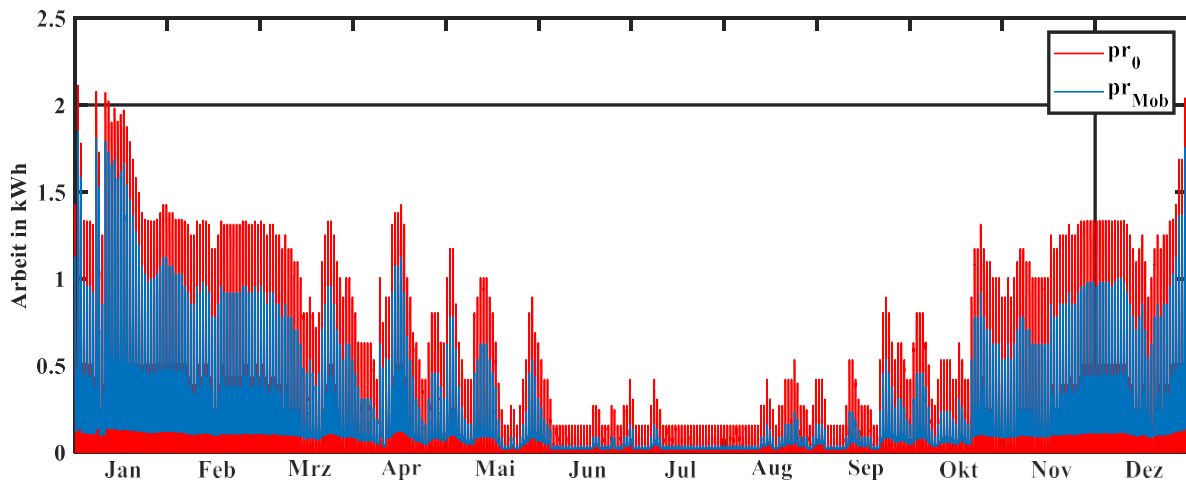


Abbildung 7: Profilverlauf pr_{Mob} aus berechneter Schar PS_{Mob} mit E-Mobilitätsanteil am Gesamtprofil mit je 6000 kWh

4.3 Bestimmung der Tagesenergiemenge

Die Darstellung der normierten Tagessumme der Energiemengen mit und ohne E-Mobilität in Abbildung 8 zeigt folgenden Sachverhalt: Die rote Kurve sagt aus, dass die in den Wintermonaten verbrauchte Tagesenergie bis um den Faktor 34 größer ist als am Tag mit dem niedrigsten Energieverbrauch (Normierung auf 1). Die blaue Kurve zeigt die Verhältnisse beim gesuchten Summenprofil auf. An den kältesten Tagen ist der Energieverbrauch hier nur noch um den Faktor 5 höher.

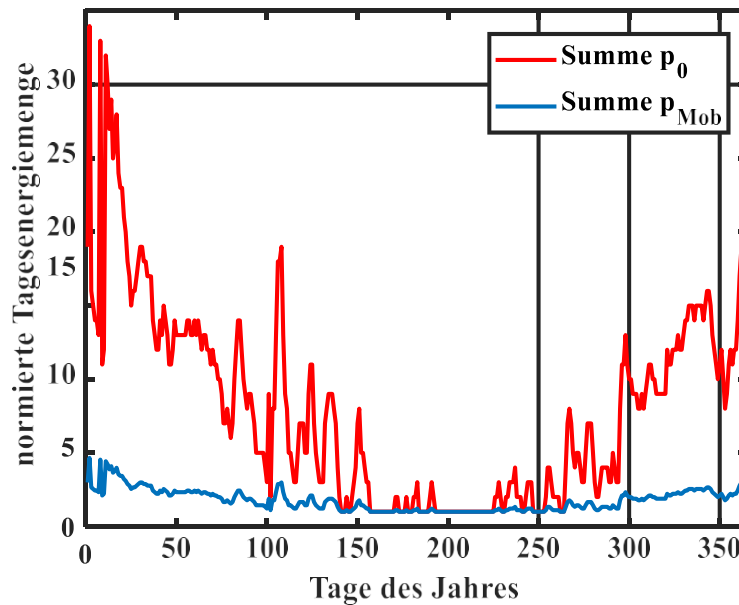


Abbildung 8: Vergleich der Tagesenergiemenge mit und ohne E-Mobilität

4.4 Stauchung der TMZ

Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang der Tagesenergien auf. Das Ziel in diesem Schritt ist es, die Profilschar PS_{Mob} so anzupassen, dass die Tagessummen nicht mehr in einem Bereich zwischen 1 und 34 variieren. Der Bereich muss auf das Intervall 1 – 5 gestaucht werden. Über eine Geradengleichung (rote Kurve) werden die Tagessummen ins Verhältnis gesetzt und darüber TMZ_{neu} berechnet.

Über die Geradengleichung (5) wird die ursprüngliche TMZ gestaucht.

$$TMZ_{neu} = TMZ \cdot \frac{3,7}{33} + \frac{29,3}{33} \tag{5}$$

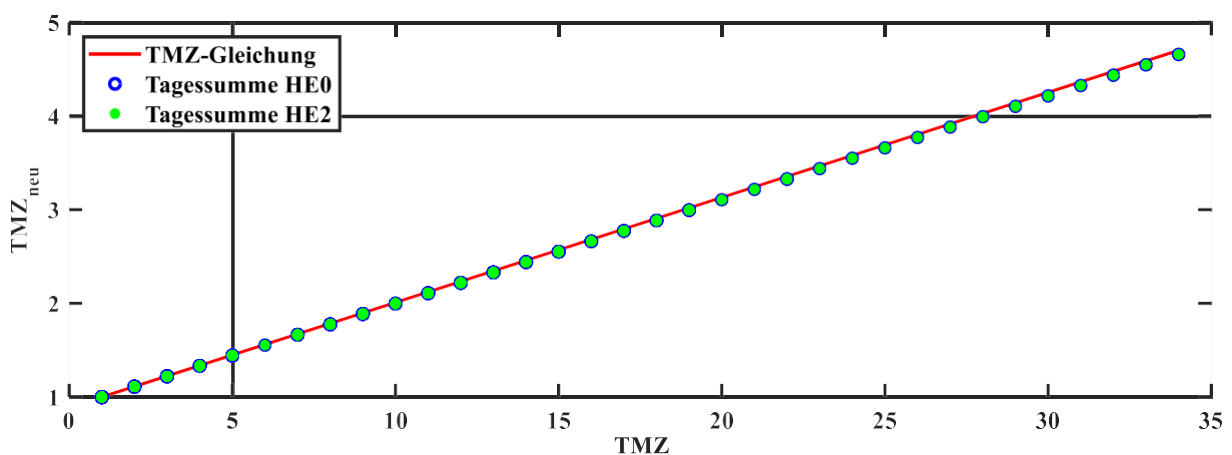


Abbildung 9: Darstellung der TMZ-Gleichung sowie der Tagessummen für HE0 und HE2

Da die Gleichung eine Näherung darstellt, können nicht alle TMZ exakt wiedergegeben werden. Niedrige TMZ liegen noch exakt auf der Geraden, aber je größer die TMZ wird, desto mehr nimmt die Diskrepanz zur Gleichung zu.

4.5 Berechnung der finalen Profilschar mit E-Mobilität

Über TMZ_{neu} wird anschließend die finale Schar berechnet. Der Faktor 4 wird aufgrund der Normierung auf die vierfache TMZ berücksichtigt.

$$PS_{final}(TMZ_{neu}) = 4 \cdot PS_{Mob}(TMZ) \cdot \frac{TMZ_{neu}}{TMZ} \quad (6)$$

4.6 Überprüfung der finalen Profilschar

Zur Überprüfung der Profilschar PS_{final} wird diese nach Gleichung (3) mit TMZ_{neu} in kWh umgerechnet und mit dem Profil pr_0 sowie dem Zielprofil pr_{Ziel} verglichen. In Abbildung 10 lässt sich der gewünschte, durch das SLP-Profil für Elektromobilität verursachte, E-Mobilitäts-Offset sehr gut erkennen. Der E-Mobilitäts-Offset ist über das Jahr konstant und der Anteil der Ladeenergie am Tagesenergiebedarf wird über die Monate korrekt abgebildet.

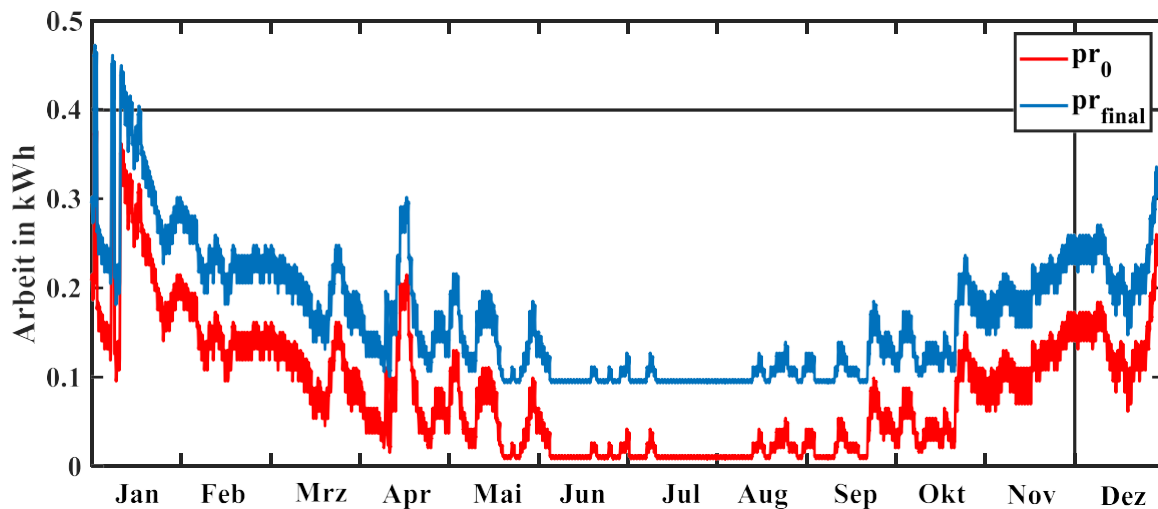


Abbildung 10: Vergleich des Jahresverlaufs mit und ohne E-Mobilität für HZ2, $pr_0=3000$ kWh, $pr_{Mob}=6000$ kWh

In Abbildung 11 werden das Zielprofil und das mit der entwickelten Profilschar PS_{final} erzeugte finale Profil miteinander verglichen. Die Profile liegen nahezu exakt übereinander, sodass von einer sehr guten Übereinstimmung ausgegangen werden kann.

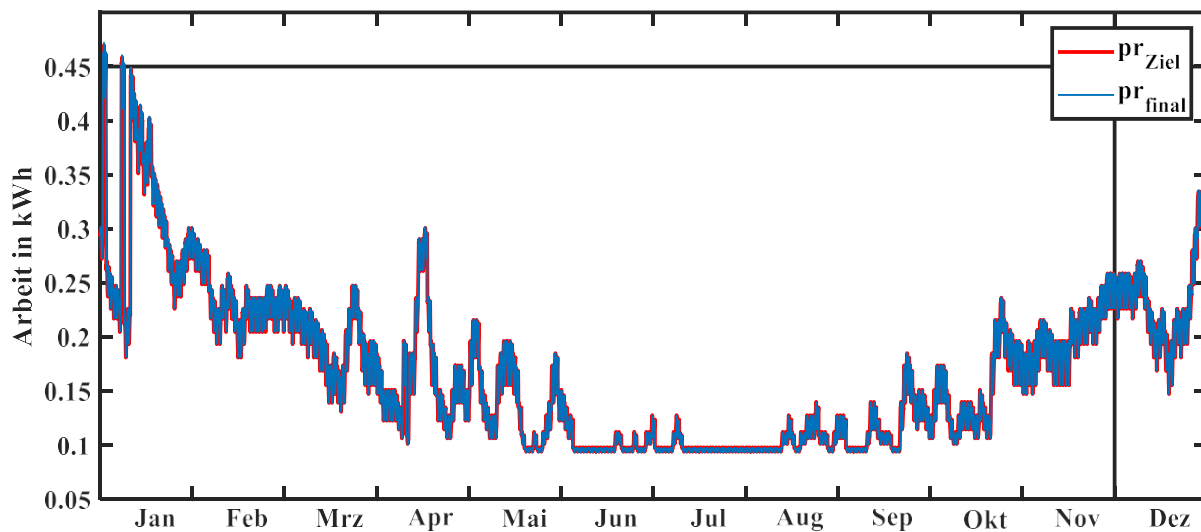


Abbildung 11: Vergleich pr_{Ziel} mit pr_{final}

Als letztes wird der Fehler zwischen dem Zielprofil und dem aus der finalen Profilschar berechneten Profil bestimmt.

$$rRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \left(\frac{pr_{Ziel} - pr_{final}}{pr_{Ziel}} \right)^2} \quad (7)$$

Der Fehler zwischen den Profilen pr_{Ziel} und pr_{final} beträgt für die Jahre 2014 – 2018 zwischen 0,2 – 3,2 %.

Der Fehler variiert in Abhängigkeit der Anzahl der verschiedenen TMZ. Der Grund hierfür ist in Abbildung 9 dargestellt. Bei kleinen TMZ ist die Diskrepanz der Tagessumme zur TMZ-Geradengleichung sehr gering. Die Diskrepanz nimmt mit steigender TMZ zu. Ist das Jahr sehr kalt steigt somit der Fehler, da mehr große TMZ im Jahresverlauf vorhanden sind.

5 Implementierung der finalen Profilschar

Zur Implementierung der finalen Profilschar gilt folgende Vorgehensweise:

- Die Berechnung der bisherigen TMZ bleibt unverändert.
- Die Auswahl der entsprechenden Schar zur Abbildung des Tagesverlaufes anhand der bisherigen TMZ bleibt unverändert.
- Zur Berechnung der spezifischen Arbeit wird über einen Zwischenschritt die TMZ in TMZ_{neu} umgerechnet. Die Formel zu Erstellung des gesuchten Profils in kWh bleibt unverändert. Gleichung (9) verdeutlicht beispielhaft für WM das Vorgehen.

$$TMZ_{neu} = TMZ \cdot \frac{3,7}{33} + \frac{29,3}{33} \quad (8)$$

$$pr_{WM1}[kWh] = 0,25h \cdot WM1(TMZ) \left[\frac{K}{h} \right] \cdot \frac{Jahresverbrauch [kWh]}{\sum_{Jahr} TMZ_{neu}[K]} \quad (9)$$

Abkürzungs-, Symbol- und Indizesverzeichnis

Abkürzungen

EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EM	Elektromobilitätsprofil
N21	Lastprofil für Speicherheizung
W21	Lastprofil für Wärmepumpe/Direktheizung
NM	Lastprofil für Speicherheizung mit E-Mobilität
WM	Lastprofil für Wärmepumpe/Direktheizung mit E-Mobilität
SLP	Standardlastprofil
TLP	Temperaturabhängiges Lastprofil
TMZ	Temperaturmesszahl in K

Symbole

a	spezifischer Jahresverbrauch in kWh/K
pr	Profil in kWh
PS	Profilschar in K/h
T	Temperatur in °C

Indizes

0	Lastprofil HZ0/HZ2 in kWh
m,ä	äquivalente Tagesmitteltemperatur in °C
final	finale Profil / Profilschar
Bezug	Bezugstemperatur in °C
Mob	E-Mobilität
Ziel	Summenprofil aus Lastprofil N21/W21 und EM in kWh