

Analyse von Energiefluss und 2nd-Life Batterie der Alterssiedlung «Drei Brunnen»

Schlussbericht



© Emil Landsrath

Muttenz, 16.10.2019

Auftraggeber

Gemeindeverwaltung Riehen
Abteilung Bau, Mobilität und Umwelt
Wettsteinstrass 1
4125 Riehen

Auftragnehmer

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Institut Energie am Bau IEBAu
Hofackerstrasse 30
4132 Muttenz
www.fhnw.ch/habg/iebau/

Autor/in

Dipl.-Ing. Simon Altwegg
Wissenschaftlicher Assistent
Dr.-Ing. Monika Hall
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Prof. Dr.-Ing. Achim Geissler
Leiter Gruppe Bau

Projektpartner

Dreifels AG
Rebgasse 17
4460 Gelterkinden

Inhaltsverzeichnis

I.	Zusammenfassung	4
II.	Bildverzeichnis	6
III.	Tabellenverzeichnis	7
IV.	Abkürzungen	7
V.	Definitionen	8
1	Einleitung/Zielsetzung	9
1.1	Energiefluss.....	9
1.2	2 nd -Life Batterie.....	9
1.3	Zielsetzung	10
2	Resultate	11
2.1	Datensammlung	11
2.2	Stromverbrauch (Bezugsleistung)	13
2.3	Solarertrag PV-Anlage.....	16
2.4	Netzleistung.....	17
2.4.1	Netzbezug	17
2.4.2	Netzeinspeisung	20
2.5	Monitoring Batterie	22
2.6	Stabilität Batterie	25
3	Literatur	27
Anhang A.	Ganglinie Energiefluss, Nov. 18 bis Sep. 19	28
Anhang B.	SOC Batterie	31

I. Zusammenfassung

Auf der Alterssiedlung «Drei Brunnen» wird 2018 eine PV-Anlage installiert. Diese wird durch einen Speicher aus sogenannten 2nd-Life Batterien ergänzt. Den ersten Lebenszyklus haben die Batterien im Mobilitätssektor verbracht. Die PV-Anlage besteht aus monokristallinen Siliziumzellen und hat auf zwei Dächern verteilt eine Nennleistung von insgesamt 256 kWp. Die 78 kWp-PV-Anlage speist entweder die 60 kWh Batterie oder versorgt direkt die Alterssiedlung, während die 178 kWp-PV-Anlage nur die Alterssiedlung direkt versorgt. Der überschüssige Strom wird in das IWB-Netz geleitet. Reicht der PV-Ertrag nicht aus, um den Verbrauch der Alterssiedlung zu decken, wird die Batterie entladen, bzw. das IWB-Netz belastet.

Das Forschungsprojekt hat zum Ziel, die Daten des Energieflusses dieser Anlage zu analysieren und auf der Grundlage der Erkenntnisse die Steuerungstechnik der Batterie so anzupassen, dass Spitzen bei der Netzleistung geglättet werden können. Weiter soll die Analyse der Daten Möglichkeiten aufzeigen, wie die Energiemenge, die ins Netz eingespeist oder aus dem Netz bezogen wird, reduziert werden kann. Dies führt einerseits zur Entlastung des IWB-Netzes und andererseits zu Kostenersparnis. Die durch das Pilotprojekt gewonnenen Erkenntnisse sollen auch auf andere Gebäude übertragen werden können. Es wird die Periode von November 2018 bis September 2019 untersucht.

Die Bezugsleistung der Alterssiedlung ist über den Tag konstanter als bei einem gewöhnlichen Wohngebäude. Die Standby-Bezugsleistung während der Nacht liegt zwischen 7 – 10 kW. Ab 6 Uhr steigt die Bezugsleistung an und um die Mittagsstunden treten Spitzenwerte von bis zu 25 kW auf. Anschliessend sinkt sie wieder ab. In den Sommermonaten bleibt der Bezug nach 14 Uhr bis zum nächtlichen Absinken auf die Standby-Bezugsleistung relativ konstant, während sie in den Wintermonaten abends erneut deutlich ansteigt. Am Wochenende wird in der Alterssiedlung weniger Energie pro Tag benötigt als unter der Woche. Die Standby-Bezugsleistung ist jedoch über die Wochentage ziemlich übereinstimmend. Die Batterie deckt über die gesamte Datenerfassungsdauer 13 % des Verbrauchs.

Der Solarertrag wird deutlich durch saisonale Gegebenheiten beeinflusst. Der Solarertrag im Monat Juli liegt mit 34 MWh beim 9-Fachen des Monats Dezember. Im Sommer treten Solarleistungsspitzen bis knapp 200 kW auf, während im Winter die monatlichen Spitzenwerte teilweise unter 100 kW liegen. Da die Batterie an einem sonnigen Tag nur einen Teil des Solarertrags aufnehmen kann, ist die Netzeinspeisung im Sommer deutlich höher als im Winter. Der Netzbezug ist durch den geringeren Solarertrag im Winter höher als im Sommer. Für die Netzbezugsleistung lässt sich in der angepassten Steuerungstechnik eine Netzbezugs Grenze einstellen. Fällt die Bezugsleistung der Alterssiedlung unter die eingestellte Netzbezugs Grenze, wird die Batterie bei verbleibender Ladekapazität mit der verbleibenden Leistung direkt vom Netz geladen. Dies geschieht hauptsächlich bei einer hohen Netzbezugs Grenze, welche in den Wintermonaten eingestellt wird. Die Netzbezugs Grenze muss den saisonalen Bedingungen angepasst werden.

Der Netzbezug wird durch die Batterie um 20.4 % reduziert und die maximalen Netzbezugsleistungen werden im Schnitt über die Monate um 5.1 kW (16.8 %) reduziert. Maximale Einspeisleistungen können durch die Batterie mit 5.5 % (5.6 kW) (über die gesamte Betrachtungsdauer)

nur bedingt reduziert werden. Jedoch wird die Netzeinspeisung über die gesamte Dauer durch die Batterie um 5.3 % reduziert. Die Netzleistungsspitzen könnten durch eine langsamere Lade- und Entladeeinstellung minimiert werden, was allerdings zu einem Absinken des Eigenverbrauchsanteils führen würde. Durch die 2nd-Life Batterie steigert sich über die gesamte Beobachtungsdauer, verglichen mit dem System ohne Batterie, der Eigenverbrauchsanteil um 6.4 % und der Autarkiegrad um 8.8 %.

Die gesamte 2nd-Life Batterie zeigt am Ende der Datenerfassung eine Reduktion der Speicherkapazität von 9 %, was eine Restspeicherkapazität von knapp 55 kWh ergibt. Dies liegt im Rahmen der erwarteten Performance von einer Reduktion von 8-12 % pro Jahr. Die Batterie ist, um die geplante Nennkapazität zu erreichen, aus neun einzelnen Batterien zusammengesetzt. Einzelne dieser Batterien zeigen eine deutlich höhere Reduktion (bis zu 34 %). Um eine ausreichende Speicherkapazität der gesamten Batterie zu garantieren, ist es sinnvoll, die Speicherkapazität der einzelnen Batterien weiter zu beobachten.

Mit der PV-Anlage und dem Batteriespeicher trägt die Gemeinde Riehen zur Energiewende bei. Zum einen wird der Netzbezug reduziert, was das Netz entlastet und zum anderen können durch den grossen Stromüberschuss im Sommer andere Gebäude profitieren. Der Einsatz der 2nd-Life Batterie erhöht auf umweltfreundliche Weise den Eigenverbrauch. Die Batterien zeigen über den Betrachtungszeitraum eine gute Leistungsfähigkeit. Das System kann auch auf andere Gebäude übertragen werden.

II. Bildverzeichnis

Abbildung 1	Prinzipschema Energiefluss Alterssiedlung «Drei Brunnen»	9
Abbildung 2	Datendarstellung der gesamten Betrachtungsperiode. Energieflusssummen, Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad. Die Energiewerte sind jeweils Monatssummen.....	12
Abbildung 3	Tagesverlauf der monatlich durchschnittlichen Bezugsleistung der erfassten Monate.....	13
Abbildung 4	Tagesverlauf des monatlich durchschnittlichen Stromverbrauches der erfassten Monate in Energie pro Minute.....	14
Abbildung 5	Tagesverlauf der gesamtjährlich durchschnittlichen Bezugsleistung der einzelnen Wochentage	14
Abbildung 6	Tagesverlauf des gesamtjährlichen durchschnittlichen Stromverbrauches der einzelnen Wochentage in Energie pro Minute.....	15
Abbildung 7	Prozentualer Anteil der Energiequellen am Verbrauch, System mit und ohne Batterie	15
Abbildung 8	Boxplots der Solarleistung der erfassten Monate.....	16
Abbildung 9	Boxplots der Netzbezugsleistung der erfassten Monate mit Netzbezugsgrenzen (kW).....	17
Abbildung 10	Summenkurve (oben) und Histogramm der Minutenwerte (unten) mit Netzbezugsspitzen, Netzbezug System mit und ohne Batterie und Bezugsleistung (Verbrauch), gesamte Datenerfassungsdauer	18
Abbildung 11	Boxplots der Netzbezugsleistung der erfassten Monate, System mit und ohne Batterie	19
Abbildung 12	Boxplots der Netzeinspeiseleistung der erfassten Monate, System mit und System ohne Batterie	20
Abbildung 13	Summenkurve (oben) und Histogramm der Minutenwerte (unten), Netzeinspeiseleistung System mit und ohne Batterie, gesamte Datenerfassung	21
Abbildung 14	Datenübersicht Beispielwoche 4. - 10. Feb. 2019, Energiefluss in Energie pro Minute, Verlauf SOC und Be- und Entladung der Batterie in Energie pro Minute. Bezug (Entladung) ist negativ dargestellt.	22
Abbildung 15	Netzleistung Februar 2019 mit erkennbaren Spitzenwerten der Netzeinspeisung (blau) sowie des Netzbezuges (rot) (Einspeisung/Bezug: pos./neg Werte).....	23
Abbildung 16	Boxplots des SOC der gesamten Batterie der untersuchten Monate. Die Daten November bis Mai beruhen auf dem SOC der Batterie 109, die Daten Juni bis September auf dem Mittelwert des SOC aller Batterien.....	25
Abbildung 17	Boxplots des SOC der Batterie 109 der untersuchten Monate.....	26
Abbildung 18	Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Nov. 18 – Jan. 19.....	28
Abbildung 19	Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Feb. 19 – Mai 19.....	29

Abbildung 20	Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Jun. 19 – Sep. 19	30
Abbildung 21	Boxplots des SOC der Batterien 254; 255; 723; 724 mit maximaler Entladetiefe.....	31
Abbildung 22	Boxplots des SOC der Batterien 728; 729; 730; 731 mit maximaler Entladetiefe.....	32

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Daten Energiekreislauf der gesamten Datenerfassungsdauer. Vergleich des realen Systems inklusive Batterie und des fiktiven Systems exklusive Batterie, welches aus den Messdaten simuliert wird.	11
Tabelle 2	Durchschnittlicher Tagesverbrauch nach Monat	13
Tabelle 3	Durchschnittlicher Tagesverbrauch nach Wochentag	14
Tabelle 4	Protokoll Batteriesteuerung	24

IV. Abkürzungen

PV	Photovoltaik
SOC	State of Charge

V. Definitionen

Autarkiegrad	Der Autarkiegrad (Eigenverbrauch / Verbrauch) gibt den Anteil des Stromverbrauchs an, der durch das PV-Speichersystem gedeckt wird. Hierzu trägt entweder der zeitgleiche Direktverbrauch des erzeugten Solarstroms oder die Entladung des Batteriespeichers bei. Je höher der Autarkiegrad ist, desto weniger Energie wird aus dem Stromnetz bezogen (Swissolar, 2016).
Eigenverbrauch	Summe der vor Ort in Eigenproduktion zeitgleich verbrauchten oder gespeicherten elektrischen Energie
Eigenverbrauchsanteil	Der Eigenverbrauchsanteil (Eigenverbrauch / Solarertrag) beschreibt den Anteil des erzeugten Solarstroms, der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder zur Ladung des Batteriespeichers genutzt wird (Swissolar, 2016).
Entladetiefe	Tiefster zulässiger Entladepunkt der Batterie
Netzeinspeisung	Summe der ins Netz eingespeisten Energie
Netzbezug	Summe der aus dem Netz bezogenen Energie
Netzbezugsgrenze	Die angestrebte maximale Netzbezugsleistung
State of Charge (SOC)	Ladezustand der Batterie im Verhältnis zur nominellen Speicherkapazität (0=0%, 1=100%)
Verbrauch	Energiemenge, welche über eine gewisse Zeit verbraucht wird
Bezugsleistung	Leistung, welche um den Verbrauch zu decken bezogen wird

1 Einleitung/Zielsetzung

1.1 Energiefluss

Auf dem Dach der Alterssiedlung «Drei Brunnen» in Riehen wird 2018 eine Indach-Photovoltaikanlage erstellt. Die PV-Anlage besteht aus Monokristallinen Siliziumzellen und hat auf zwei Dächern verteilt eine Nennleistung von 256 kWp. Die Dächer sind mit 35° Neigung Ost/West ausgerichtet. Die 78 kWp-PV-Anlage (Oberdorfstrasse 25) speist entweder die 60 kWh 2nd -Life Batterie oder versorgt direkt die Alterssiedlung, während die 178 kWp-PV-Anlage (Oberdorfstrasse 21) nur die Alterssiedlung direkt versorgt. Der überschüssige Strom wird in das IWB-Netz geleitet. Reicht der PV-Ertrag nicht aus, um den Verbrauch der Alterssiedlung zu decken, wird die Batterie entladen, bzw. das IWB-Netz belastet (Abbildung 1). Die Batterie kann auch direkt aus dem Netz geladen werden.

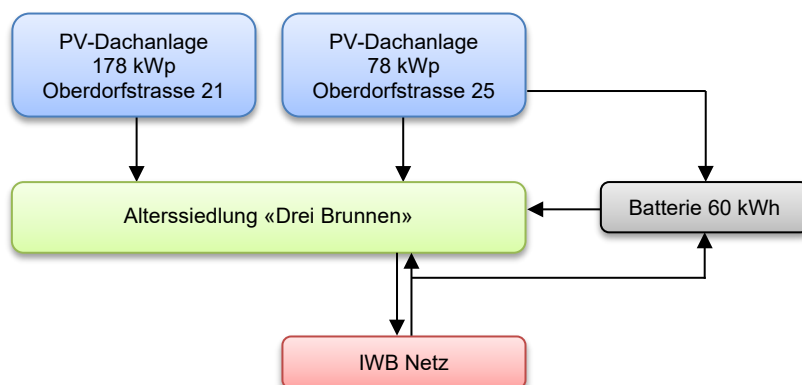


Abbildung 1 Prinzipschema Energiefluss Alterssiedlung «Drei Brunnen»

1.2 2nd -Life Batterie

Als Batterie werden neun 2nd -Life Lithium Batterien aus Twike Elektromobilen installiert. Diese erreichen Dank optimierter Chemie und Gehäusebauart sowohl eine hohe Sicherheit als auch eine enorme Energiedichte. Da der Bestand an Elektrofahrzeugen mit Lithium basierter Batterietechnologie in der Schweiz jährlich wächst, steigen auch die Mengen an ausser Verkehr gesetzter Batterien. Zurzeit werden Batterien nach der Nutzung in Elektrofahrzeugen in der Regel einem energetischen Recycling zugeführt. Die Produktion sowie das Recycling von Lithium basierten Batterien sind energie- und rohstoffintensiv. Mit der Nachnutzung von gebrauchten Batterien aus der Elektromobilität als 2nd -Life Stromspeicher in Wohngebäuden kann diese Umweltbelastung reduziert werden (Geissler et al., 2016). Die installierten Batterien haben eine Nennkapazität von 60 kWh, wobei die nutzbare Speicherkapazität aufgrund des Lebensendes einzelner Zellen um etwa 3-5 % pro Jahr und durch die alterungsbedingte Abnahme der Kapazität um 5-7 % pro Jahr zurückgeht. Dies ergibt eine laufende Abnahme der Kapazität von 8-12 % pro Jahr. Durch eine Revision der Batterien kann die Nutzkapazität wieder auf den Startwert gebracht werden (Schneider, 2018).

1.3 Zielsetzung

Es ist das Ziel, die Spitzen der Netzeinspeisung bzw. des Netzbezugs zu kappen und dadurch die Netzbelastung zu reduzieren sowie die Bezugs- bzw. die Einspeiseleistung möglichst konstant zu halten. Dies würde einerseits zu Kostenersparnis führen und andererseits das IWB-Netz entlasten. Die installierte Kapazität der Batterie soll beurteilt und eine Steuerungsstrategie für die Batterie erstellt werden. Die Performance der 2nd-Life Batterien wird untersucht.

2 Resultate

2.1 Datensammlung

Die Datenerfassung des Energieflusses der Alterssiedlung «Drei Brunnen» in Riehen beginnt im November 2018 und dauert bis September 2019. Für die Beurteilung des Einflusses der Batterie wird auf Grundlage des realen Systems mit Batterie das fiktive System ohne Batterie simuliert. Dadurch kann die Systemoptimierung durch die Batterie berechnet werden. In Tabelle 1 sind die Energiedaten aufgelistet. Effektiv gemessene Daten sind die Bezugsleistung, die Solarleistung, die Netzleistung und der SOC der Batterie. Die Werte sind im Minutenintervall gemessen. Weitere genannte Werte sind aus den gemessenen Werten berechnet. Die Daten werden per Server von der Firma Dreifells zur Verfügung gestellt. Die Bezugsleistung, die Solarleistung sowie die Netzbezugs- bzw. Netzeinspeiseleistung werden in der Einheit Watt [W] bereitgestellt. Für die Umrechnung von Leistung [W] auf Energie [kWh/1 min.] werden die Werte durch 60 min./h und durch 1000 W/kW geteilt.

Um die vorgesehene Speicherkapazität von 60 kWh zu erreichen, werden neun, einzeln austauschbare, 2nd-Life Batterien mit folgenden Bezeichnungen verwendet:

- 109; 254; 255; 723; 724; 728; 729; 730; 731

Da sich das Lade-/Entladeverhalten sowie die Lade-/Entladegrenzen der neun verwendeten 2nd-Life Batterien unterscheiden kann, werden beim SOC die Daten der einzelnen Batterien separat auf den Server geladen. Um einen SOC-Wert für die gesamte Batterie zu erhalten, wird der Durchschnittswert der neun Batterie berechnet. Da es beim Datendownload zu Komplikationen kommt, wird dieser Durchschnittswert für den SOC erst ab dem Monat Juni verwendet. In den vorhergehenden Monaten gilt der SOC-Wert der Batterie 109 für die gesamte Speicherkapazität der Batterie.

Tabelle 1 Daten Energiekreislauf der gesamten Datenerfassungsdauer. Vergleich des realen Systems inklusive Batterie und des fiktiven Systems exklusive Batterie, welches aus den Messdaten simuliert wird.

Datenübersicht	2018		2019									Ges.
	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	
System inklusive Batterie												
Verbrauch [kWh]	10'349	11'155	11'115	9'775	10'496	10'262	9'855	8'766	9'209	9'163	9'243	109'388
Solarertrag [kWh]	6'776	3'841	5'244	13'230	18'892	22'059	28'311	32'367	33'999	28'369	21'038	214'126
• Direkt Verbrauch	3'276	2'466	2'882	4'151	4'987	5'736	6'340	5'969	6'255	5'643	4'819	46'788
• Einspeisung Batterie	1'023	613	710	962	1'172	1'150	1'295	1'126	1'270	1'658	1'519	12'498
Netzeinspeisung	2'478	762	1'652	8'117	12'733	15'173	20'676	25'271	26'473	21'067	14'700	149'102
Eigenverbrauch [kWh]	4'299	3'079	3'592	5'113	6'159	6'886	7'635	7'095	7'526	7'301	6'338	65'023
Eigenverbrauchsanteil [%]	63.4	80.1	68.5	38.6	32.6	31.2	27.0	21.9	22.1	25.8	30.1	40.2
Netzbezug [kWh]	6'342	8'388	7'841	4'928	4'457	3'401	2'220	1'673	1'685	1'862	2'911	45'708
• Direkt Verbrauch	6'057	8'083	7'529	4'668	4'338	3'378	2'219	1'673	1'685	1'861	2'909	44'400
• Einspeisung Batterie	285	305	311	259	119	23	1.2	0	0	1.1	2.5	1'307
Ges. Einspeisung Batterie [kWh]	1'308	918	1'022	1'222	1'291	1'173	1'296	1'126	1'270	1'660	1'521	13'807
Bezug aus Batterie [kWh]	1'196	875	923	1'048	1'143	1'058	1'183	1'001	1'132	1'560	1'408	12'527

Verlust Batterie [kWh]	111	43	98	173	148	115	113	125	138	99	113	1'276
Autarkiegrad [%]	41.5	27.6	32.3	52.3	58.7	67.1	77.5	80.9	81.7	79.7	68.6	60.8
System exklusive Batterie												
Netzeinspeisung [kWh]	3'238	1'259	2'231	8'888	13'506	15'856	21'493	26'132	27'462	22'474	15'946	157'485
Netzbezug [kWh]	7'240	8'930	8'541	5'958	5'563	4'424	3'382	2'721	2'879	3'442	4'335	57'415
Eigenverbrauch [kWh]	3'538	2'582	3'013	4'342	5'387	6'203	6'818	6'234	6'537	5'895	5'093	55'642
Eigenverbrauchsanteil [%]	52.2	67.2	57.5	32.8	28.5	28.1	24.1	19.3	19.2	20.8	24.2	34.0
Autarkiegrad [%]	34.2	23.1	27.1	44.4	51.3	60.4	69.2	71.1	71.0	64.3	55.1	52.0

In Abbildung 2 sind die Werte von Tabelle 1, System inklusive Batterie, grafisch zusammengefasst. Der Verbrauch setzt sich aus dem Eigenverbrauch und dem Netzbezug zusammen, während sich der Eigenverbrauch durch das subtrahieren der Netzeinspeisung vom Solarertrag ergibt. Es ist zu erkennen, dass besonders in den Sommermonaten der Solarertrag im Verhältnis zum Verbrauch hoch ausfällt und entsprechend auch die Netzeinspeisung hoch ist, sich aber der Netzbezug deutlich verringert. Dies führt zu einem hohen Autarkiegrad. In den Wintermonaten ist der Solarertrag geringer. Um den Verbrauch zu decken wird mehr aus dem Netz direkt bezogen und wenig Energie ins Netz eingespeist, was zu einem höheren Eigenverbrauchsanteil führt.

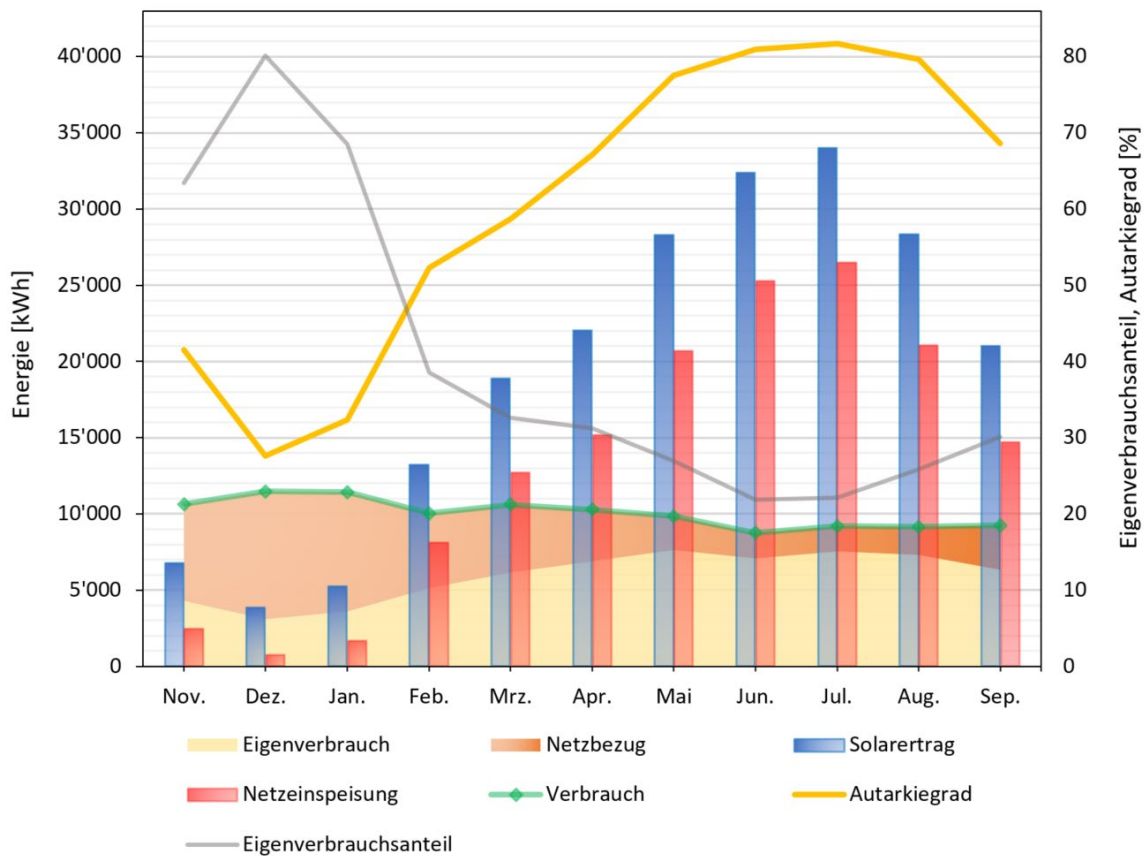


Abbildung 2 Datendarstellung der gesamten Betrachtungsperiode. Energieflusssummen, Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad. Die Energiewerte sind jeweils Monatssummen.

2.2 Stromverbrauch (Bezugsleistung)

Die monatlichen Verbrauchssummen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Diese sind jedoch von der Anzahl Tage des Monats abhängig. Die durchschnittlichen Tagesverbräuche der jeweiligen Monate sind in Tabelle 2 aufgelistet. Der Tagesverbrauch nimmt tendenziell im Sommer leicht ab. Im Juni wird durchschnittlich 18 % weniger pro Tag verbraucht als im Dezember.

Tabelle 2 Durchschnittlicher Tagesverbrauch nach Monat

	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Ø.
Energie / Tag [kWh/d]	345	360	359	349	339	342	318	292	297	296	308	328

In den nächsten Abbildungen sind die Tagesverläufe der monatlich durchschnittlichen Bezugsleistung (Abbildung 3) sowie des monatlich durchschnittlichen Stromverbrauchs (Abbildung 4) aller untersuchten Monate aufgeführt. Zu erkennen ist, dass in den Wintermonaten in den Abendstunden, in der Standby-Bezugsleistung während der Nacht, sowie den Morgenstunden etwas mehr Strom bezogen wird als in den Sommermonaten. Die Standby-Bezugsleistung liegt zwischen rund 7-10 kW. Die Mittagsbezugsspitze tritt in allen Monaten zwischen 11-12 Uhr auf. Sie liegt bei 20-25 kW. In den Nachmittags-/Abendstunden (16:00 bis 22:00) ist die Bezugsleistung in den Wintermonaten deutlich höher als im Sommerhalbjahr.

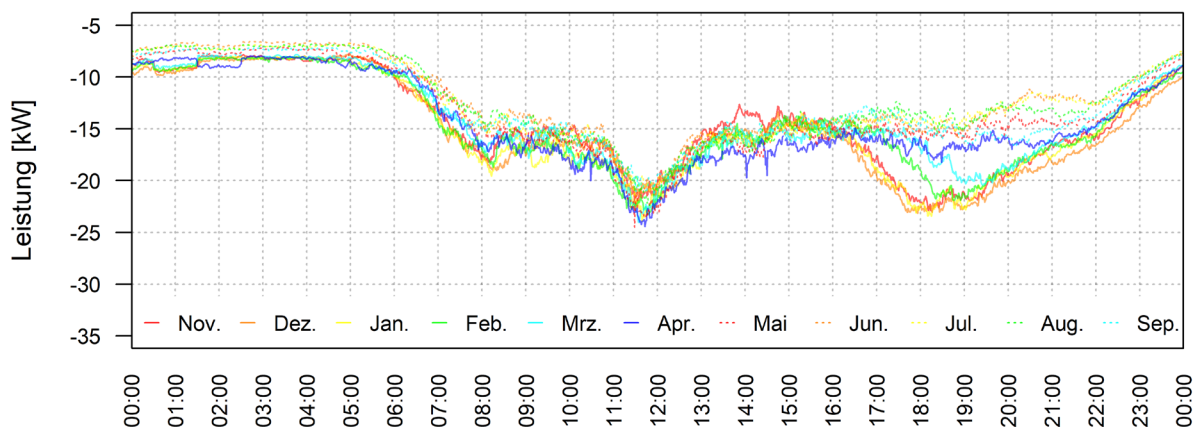


Abbildung 3 Tagesverlauf der monatlich durchschnittlichen Bezugsleistung der erfassten Monate

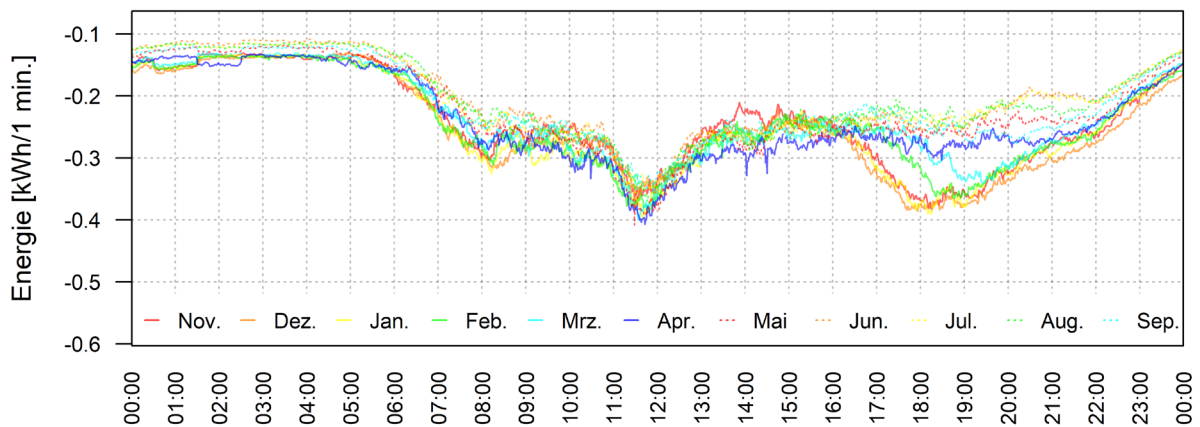


Abbildung 4 Tagesverlauf des monatlich durchschnittlichen Stromverbrauches der erfassten Monate in Energie pro Minute

In Tabelle 3 ist der gesamtjährliche durchschnittliche Stromverbrauch der einzelnen Wochentage aufgeführt. Sonntags ist der Verbrauch am geringsten. An einem Sonntag wird durchschnittlich 11 % weniger Strom benötigt als an einem Wochentag.

Tabelle 3 Durchschnittlicher Tagesverbrauch nach Wochentag

	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
Energie / Tag [kWh/d]	334	334	335	331	328	313	296

In Abbildung 5 ist der Tagesverlauf der durchschnittlichen Bezugsleistung der einzelnen Wochentage abgebildet. Ersichtlich ist, dass unter der Woche die Bezugsleistung der Alterssiedlung in den Morgenstunden höher ausfällt und die Spitzen früher auftreten als am Wochenende. In den Abend- sowie Nachtstunden (17:00 bis 07:00) gibt es jedoch keinen relevanten Unterschied zwischen den Wochentagen.

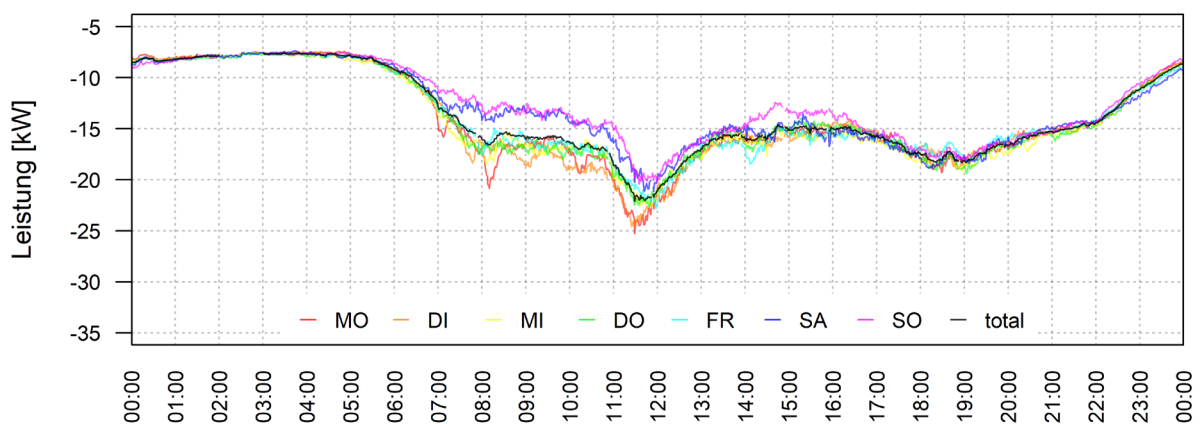


Abbildung 5 Tagesverlauf der gesamtjährlich durchschnittlichen Bezugsleistung der einzelnen Wochentage

Abbildung 6 zeigt den selben Verlauf als Verbrauch (Energie).

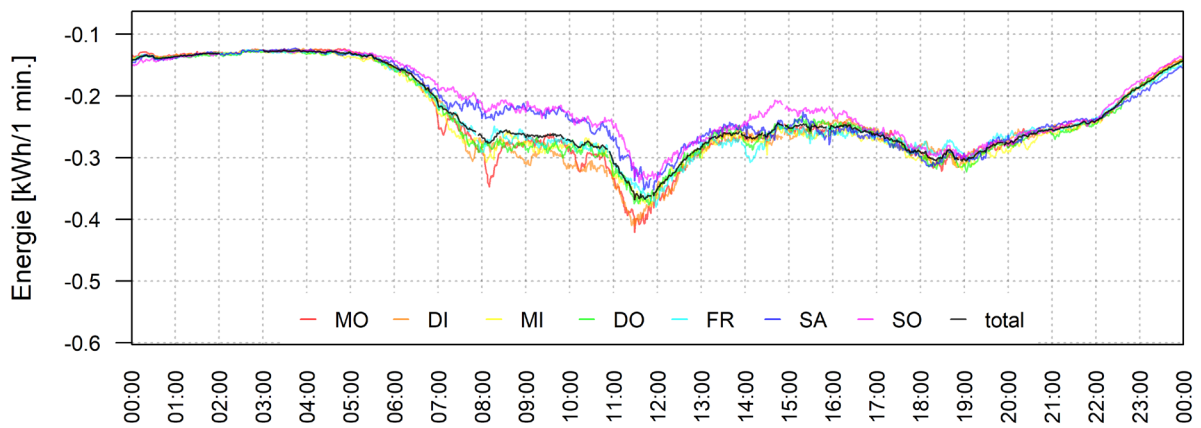


Abbildung 6 Tagesverlauf des gesamtjährigen durchschnittlichen Stromverbrauches der einzelnen Wochentage in Energie pro Minute

In einer Alterssiedlung wird tagsüber Strom konstanter verbraucht als in normalen Wohnungen. Deshalb kann bei einer Alterssiedlung mehr vor Ort produzierter Strom selber genutzt werden, als dies sonst üblich ist.

In Abbildung 7 ist die Energiequelle des Verbrauchs ersichtlich. Die Batterie deckt 13 % des Verbrauchs. Diese Prozentzahl bezieht sich auf die Batterieladung sowohl durch die Solaranlage (11.8 %) als auch durch das Netz (1.2 %).

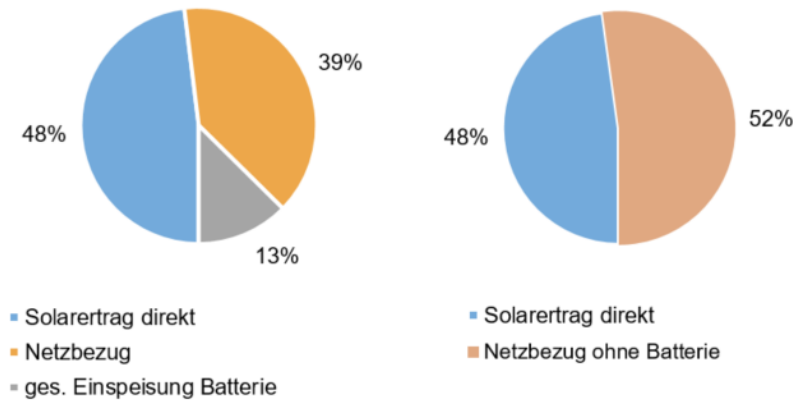


Abbildung 7 Prozentualer Anteil der Energiequellen am Verbrauch, System mit und ohne Batterie

2.3 Solarertrag PV-Anlage

Der Solarertrag der PV-Anlage der Alterssiedlung «Drei Brunnen» variiert stark übers Jahr. In den Wintermonaten von November bis Februar wird vergleichsweise wenig Strom erzeugt (Abbildung 2). In einem Sommermonat wird bis um das Achtfache eines Wintermonats produziert und es treten, wie in Abbildung 8 ersichtlich, Leistungsspitzen von bis zu 200 kW auf.

Bei den Boxplots handelt es sich um Box-Whisker-Plots. Die Rechtecke sind begrenzt durch das 1. sowie 3. Quartil der Daten. Ein Quartil umfasst 25% des Datensatzes (bezogen auf die Anzahl Datenpunkte). Die dicke Linie zeigt den Median (2. Quartil). Die Whisker (Antennen) zeigen den 1.5-fachen Interquartilsabstand (Abstand zwischen 1. und 3. Quartil) oder den äussersten Ausreisser, falls dieser näher liegt (Wikibooks, 2019).

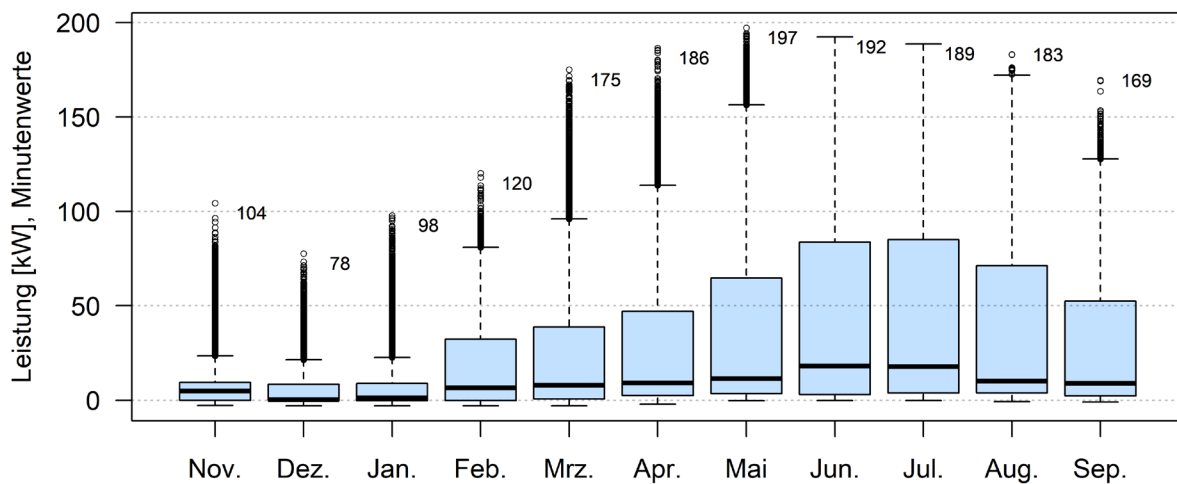


Abbildung 8 Boxplots der Solarleistung der erfassten Monate

2.4 Netzleistung

Die Netzleistung wird nach Netzbezugsleistung und Netzeinspeiseleistung getrennt betrachtet. Die maximalen Bezugs- bzw. Einspeisewerte, werden Bezugs- sowie Einspeisespitzen genannt. Ziel ist es, diese durch den Einsatz der Batterie zu kappen und somit die Netzbelastung zu reduzieren. Strom wird entweder in das Netz eingespeist oder von dem Netz bezogen, gleichzeitig können sie nicht auftreten.

2.4.1 Netzbezug

Die Netzbezugsleistung deckt ergänzend zur Solarleistung und der Leistung aus der Batterie die benötigte Bezugsleistung der Alterssiedlung. Vom Netz wird vor allem nachts, sobald die Batterie entleert ist und tagsüber, bei nicht genügen Kapazität aus der Batterie und tiefem Solarertrag, bezogen. Bei der Netzbezugsleistung kann eine (weiche) Netzbezugsgrenze eingestellt werden. Eine harte Grenze ist nicht vorgesehen. Liegt die Bezugsleistung über der Solarleistung, wird sie bis zur Netzbezugsgrenze aus dem Netz gedeckt. Reicht das nicht aus, wird die Batterie entleert. Sollte diese wiederum leer sein oder die benötigte Leistung, durch Erreichen der maximalen Entladeleistung, nicht bereitstellen können, wird mehr Leistung aus dem Netz bezogen und somit die angestrebte Netzbezugsgrenze überschritten. Liegt die Bezugsleistung unter der Netzbezugsgrenze, wird die Batterie mit der Differenz direkt durch das Netz geladen, was hauptsächlich nachts geschieht. Dies wird in Kapitel 3.5 anhand einer Beispielwoche vertieft erläutert.

In Abbildung 9 sind monatliche Boxplots der Netzbezugsleistungen mit den jeweiligen Netzbezugsgrenzen abgebildet. Die Netzbezugsgrenze wird nach dem variierendem PV-Ertrag angepasst, wodurch die Batterie täglich vollständig geladen und wieder entladen werden soll. Dabei wird ersichtlich, dass im Februar, Mai, Juni und Juli es besonders gut gelungen ist, die Netzbezugsleistung genau um den definierten Wert zu konzentrieren. Im November, Dezember, Januar und März wird der Schwellenwert eher überschritten, im April eher unterschritten. Die Bezugsspitze ist im Winter doppelt so hoch wie im Sommer.

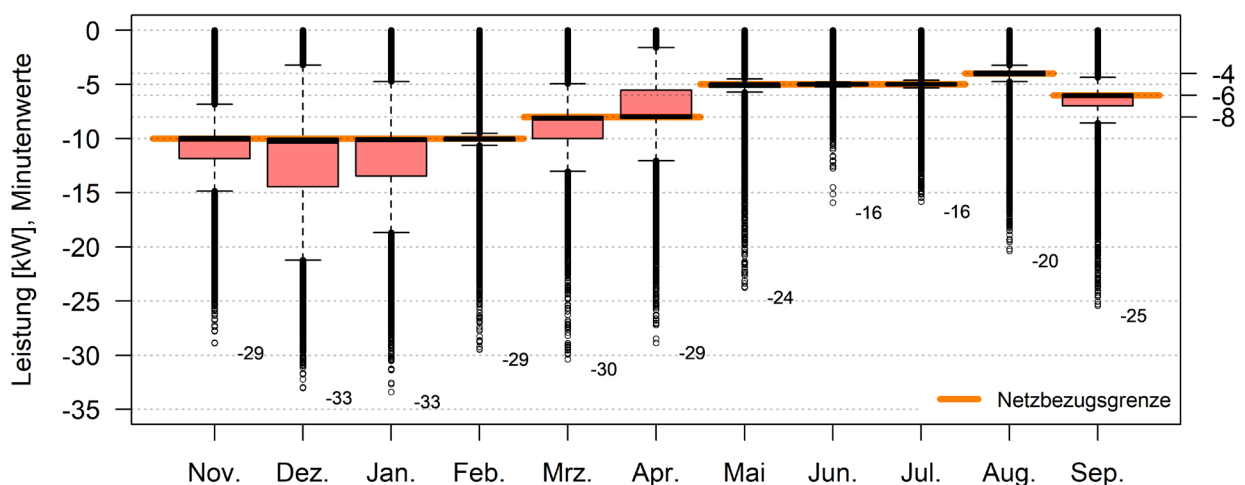


Abbildung 9 Boxplots der Netzbezugsleistung der erfassten Monate mit Netzbezugsgrenzen (kW)

In Abbildung 10 ist oben die Summenkurve der Netzbezugsleistung der Systeme mit und ohne Batterie und der Bezugsleistung (Verbrauch) ersichtlich. Ergänzend dazu ist unten das Histogramm, mit der Häufigkeit der Minutenwerte, derselben Daten ersichtlich. Die Netzbezugsleistung des realen Systems mit Batterie wird deutlich durch den Netzbezugsgrenzwert gesteuert (grüne Summenkurve). Der monatlich eingestellte Wert ist in Abbildung 9 vermerkt. Die Bezugsleistung (Verbrauch) zeigt zwei Erhebungen, die durch die Tagesganglinie der Bezugsleistung zu erklären sind. Die maximale Netzbezugsleistung liegt bei 33.4 kW (05.01.2019, 17:53:00), ohne Batterie wäre sie bei 40.1 kW gelegen. Die Streuung der Bezugsleistung (Verbrauch) um die 8 kW ist durch die Standby- Bezugsleistung in der Nacht zu erklären

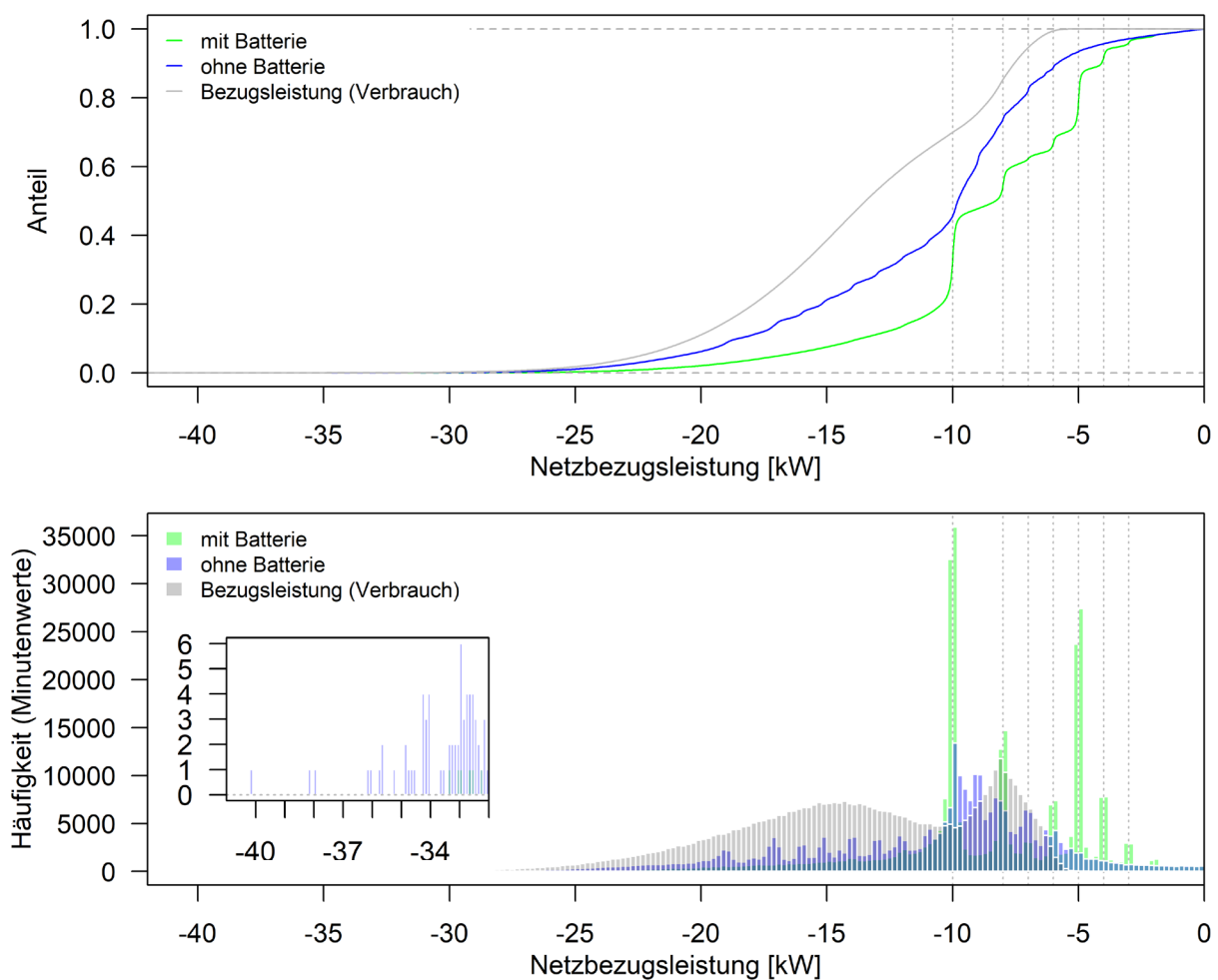


Abbildung 10 Summenkurve (oben) und Histogramm der Minutenwerte (unten) mit Netzbezugsspitzen, Netzbezug System mit und ohne Batterie und Bezugsleistung (Verbrauch), gesamte Datenerfassungsdauer

Abbildung 11 veranschaulicht die Netzbezugsleistung zwischen den beiden Systemen mit und ohne Batterie. Bis auf die Monate März und April sind die Bezugsspitzen bei allen Monaten beim realen System mit Batterie tiefer als beim System ohne Batterie. Im Monat Juni fällt die Netzbezugsspitze durch den Einsatz der Batterie um über 40 % geringer aus. In Anhang A (Monat: Jun. 19) ist zu erkennen, dass im Juni die Batterie so gut wie nie vollständig entladen wird. Dadurch

werden Netzbezugsspitzen durch die Batterie geglättet und es muss nicht die volle Strommenge aus dem Netz bezogen werden. In den Monaten März und April gibt es jeweils eine Phase mit nur sehr geringem Solarertrag, wodurch die Batterie tagsüber kaum geladen werden kann und die Verbrauchsspitzen direkt durch den Netzbezug gedeckt werden müssen. Bei den Spitzenwerten tritt durch die Batterie eine, über die gesamte Datenerfassungsdauer gesehenen, durchschnittlichen monatliche Reduktion von 16.8 % (5.1 kW) der Netzbezugsleistung auf.

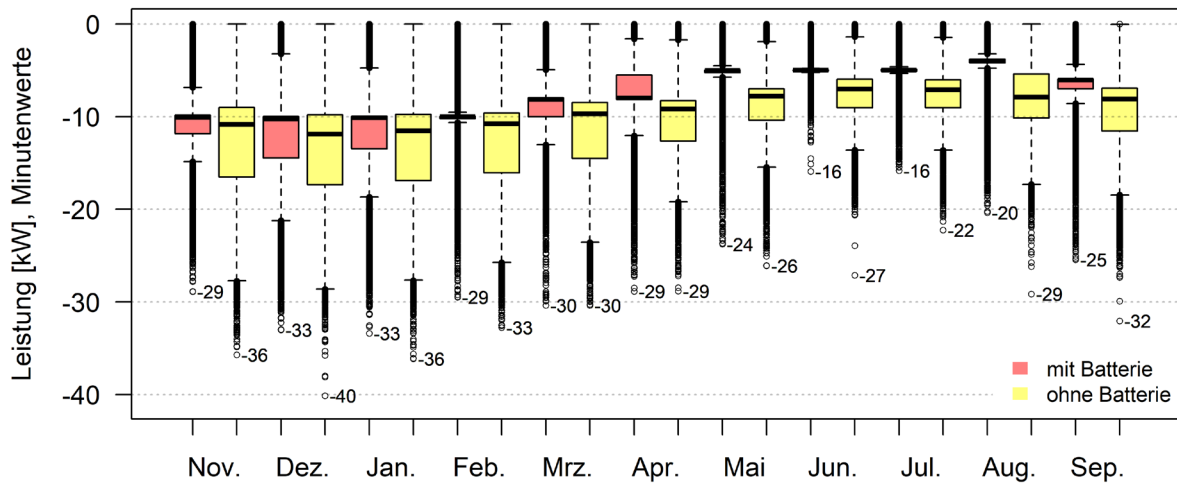


Abbildung 11 Boxplots der Netzbezugsleistung der erfassten Monate, System mit und ohne Batterie

2.4.2 Netzeinspeisung

Bei hohem Solarertrag, der nicht durch den Verbrauch und die Batterie (maximale Batterieladeleistung oder bereits vollständig geladene Batterie) aufgenommen werden kann, wird überschüssige Energie in das IWB-Netz eingespeist. Da die PV-Anlage mit gesamthaft 256 kWp (78 kWp speisen Batterie) im Verhältnis zu der Batterie mit 60 kWh Speicherkapazität ziemlich gross ist, wird entsprechend viel ins Netz eingespeist.

In Abbildung 12 sind monatliche Boxplots der Netzeinspeiseleistungen des Systems mit und ohne Batterie abgebildet. Die Netzeinspeiseleistung verhält sich in etwa synonym zur Solarleistung. In den Wintermonaten wird verhältnismässig wenig und im Sommer viel Leistung in das Netz eingespeist. Der Einfluss der Batterie auf die Einspeisespitzen fällt im Vergleich mit dem Netzbezug deutlich geringer aus. Speziell bei den Leistungsspitzen tritt durch die Batterie mit einer, über die gesamte Datenerfassungsdauer gesehenen, durchschnittlichen monatliche Reduktion von 5.5 % (5.6 kW) nur eine geringe Verminderung der Einspeiseleistung auf.

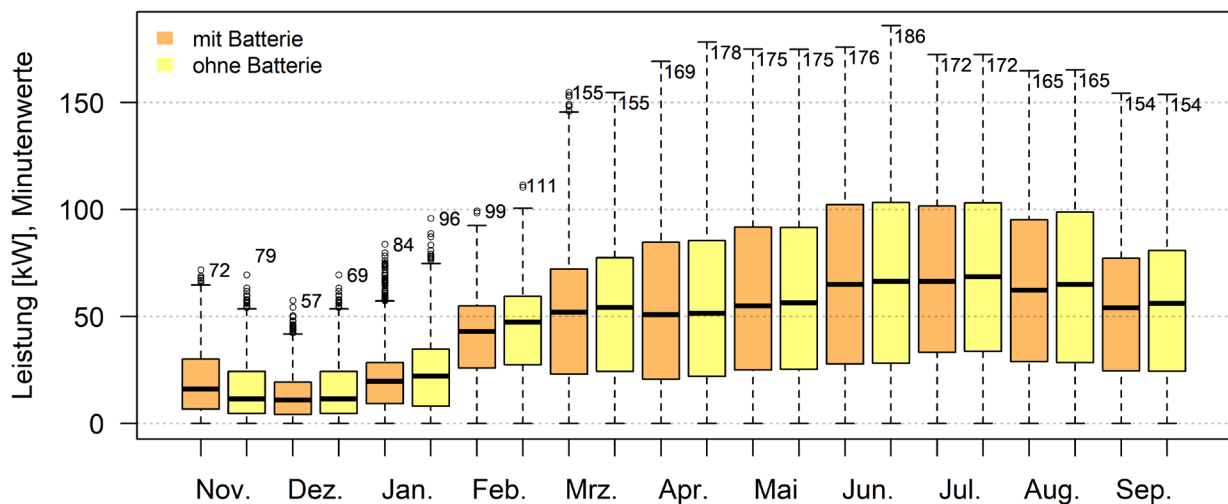


Abbildung 12 Boxplots der Netzeinspeiseleistung der erfassten Monate, System mit und System ohne Batterie

In Abbildung 13 ist oben die Summenkurve der Netzeinspeiseleistung der Systeme mit und ohne Batterie ersichtlich und ergänzend dazu unten das Histogramm, mit der Häufigkeit der Minutenwerte, der gleichen Datenreihen ersichtlich. Der prozentuale Unterschied zwischen den beiden Systemen fällt bei der Netzeinspeiseleistung geringer aus als bei der Netzbezugsleistung.

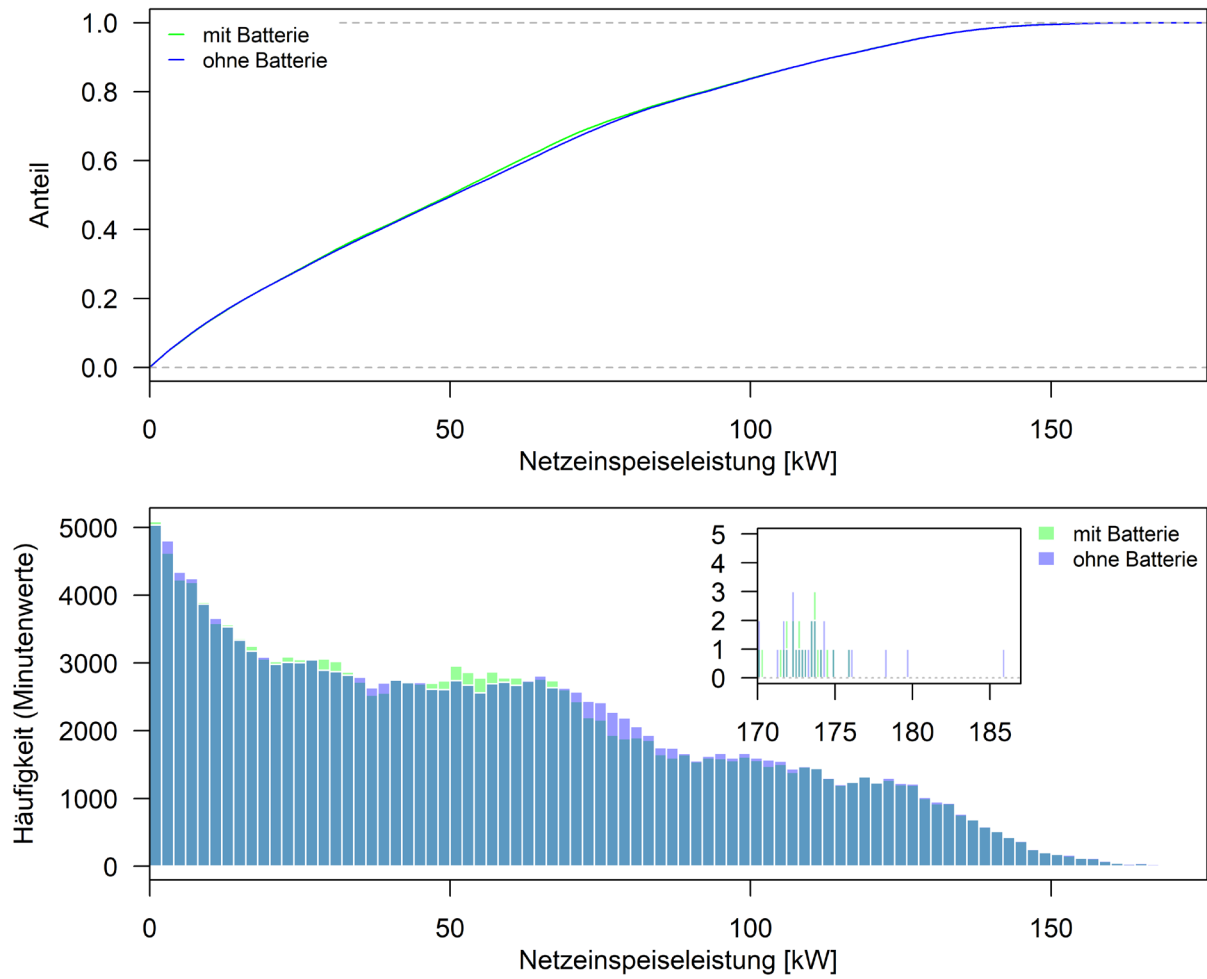


Abbildung 13 Summenkurve (oben) und Histogramm der Minutenwerte (unten), Netzeinspeiseleistung System mit und ohne Batterie, gesamte Datenerfassung

2.5 Monitoring Batterie

Eine Detailbetrachtung der Zu- und Abflüsse der Batterie ist für eine Beispielwoche in Abbildung 14 dargestellt. Dafür wird die Woche vom 4. bis 10. Februar 2019 gewählt. Ergänzt wird die Datenübersicht des Energieflusses durch den SOC-Verlauf und den dazugehörigen Energieumsatz der Batterie. Die Ganmlinien der Energieflüsse und der SOC aller untersuchten Monate sind in Anhang B zu finden.

Vom 4. bis zum 6., sowie am 8. und 9. Februar, wird die Batterie durch den Solarertrag jeweils vollständig geladen und erreichte ihre maximale Ladekapazität (SOC = 1.0) zwischen 12 und 13 Uhr. Wenn der Solarertrag abends (ca. 16 Uhr) zurückgeht, setzt die Entladung der Batterie ein. Dies jedoch nur solange die Bezugsleistung grösser ist, als die im Februar eingestellte Netzbezugs-grenze von 10 kW (1.67 kWh/1 min.). Üblicherweise geht die Bezugsleistung nachts (zwischen 24 und 6 Uhr) auf etwa 8 kW (1.33 kWh/1 min.) zurück (Abbildung 3), wodurch mit den restlichen ca. 2 kW die Batterie direkt aus dem Netz geladen wird. Wenn morgens die Bezugsleistung wieder ansteigt (ca. 6 Uhr) (Abbildung 3), wird (zwischen 7 und 8 Uhr) die Batterie bei verfügbarer Kapazität erneut durch die Bezugsleistung entleert, bis die Solarleistung einsetzt. Am 7. und 10. Februar ist der Solarertrag wetterbedingt gering. Deshalb kann die Batterie tagsüber nicht vollständig geladen werden. Dies führt dazu, dass am Abend und am Morgen mehr aus dem Netz bezogen wird, als die Netzbezugs-grenze vorgibt.

Daten 4. - 10. Feb. 2019

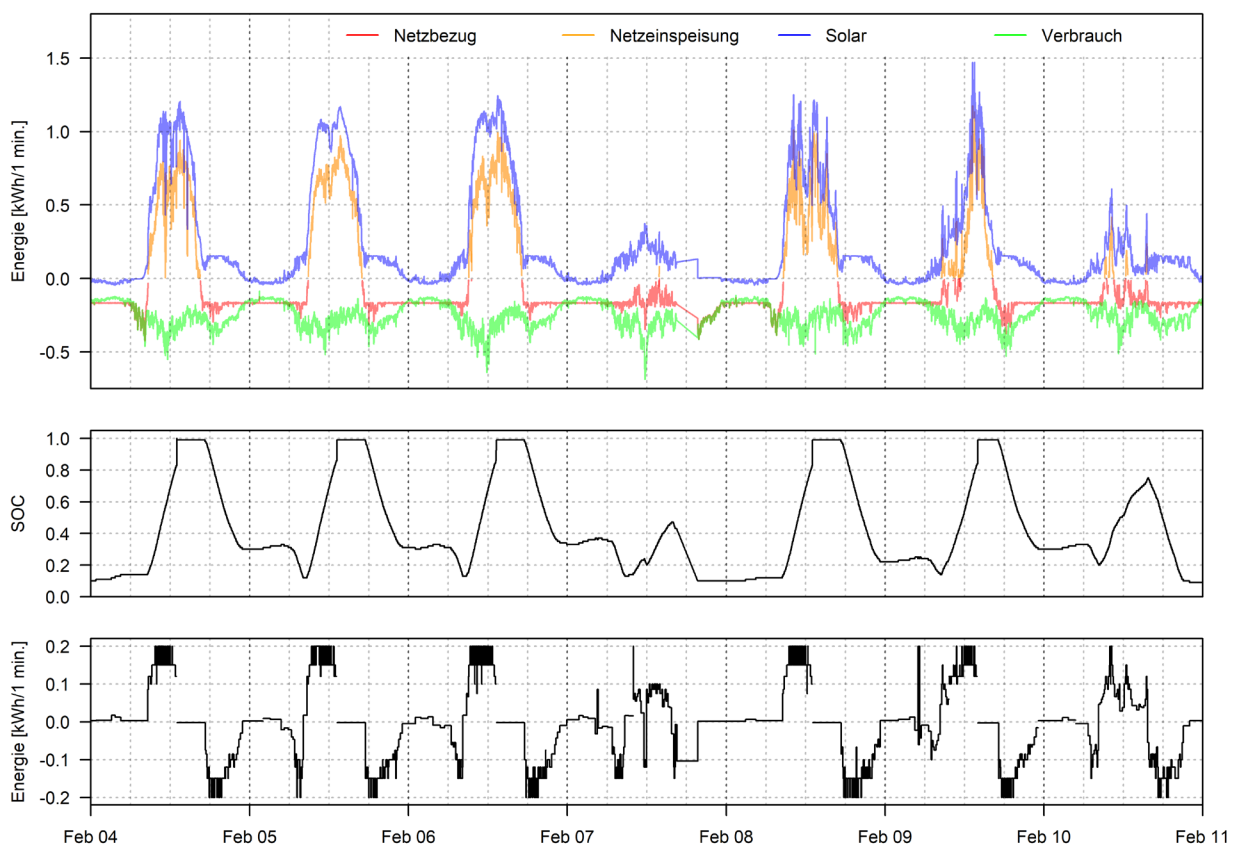


Abbildung 14 Datenübersicht Beispielwoche 4. - 10. Feb. 2019, Energiefluss in Energie pro Minute, Verlauf SOC und Be- und Entladung der Batterie in Energie pro Minute. Bezug (Entladung) ist negativ dargestellt.

Die Lücken im Energieverlauf (Abbildung 14) sind durch Sprünge in der Messung des SOC zu erklären. Die entsprechenden Daten werden bei der Auswertung ausgeschlossen.

Abbildung 15 dient der Veranschaulichung der Netzleistung in Abhängigkeit von der Tageszeit und dem Tag des Monats Februar. Zu Beginn des Monats fällt die Netzleistung deutlich tiefer aus, es wird also mehr Energie bezogen und weniger eingespeist, als gegen Ende des Monats. Am 7. Feb. bezieht, wie in Abbildung 14 ebenfalls zu erkennen, die Alterssiedlung auch tagsüber praktisch durchgehend aus dem Netz (orange bis rot). Gegen Ende des Monats treten die grössten Einspeisespitzen (blau) auf.

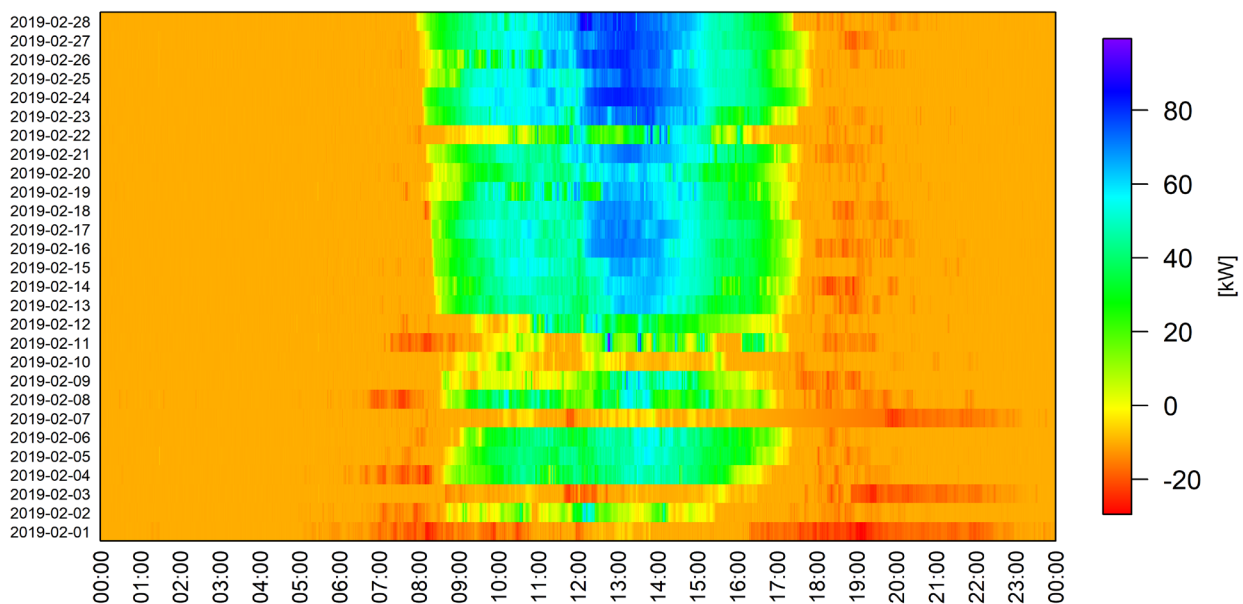


Abbildung 15 Netzleistung Februar 2019 mit erkennbaren Spitzenwerten der Netzeinspeisung (blau) sowie des Netzbezuges (rot) (Einspeisung/Bezug: pos./neg Werte)

Tabelle 4 zeigt das Protokoll der Batteriesteuerung. Die Batterie wird über eine maximale Lade- und Entladeleistung gesteuert. Diese sind beide über die gesamte Messdauer auf ± 12 kW (± 0.2 kWh/1 min. in Abbildung 14) eingestellt. Im Sommer ist die Batterie durch die hohe Solarleistung häufig vollgeladen und es muss darauf geachtet werden, dass sie nachts wieder vollständig entladen werden kann, was durch eine tiefe Netzbezugsgrenze erreicht wird. In den Wintermonaten wird die Batterie oft nicht komplett geladen. In dieser Periode liegt die Netzbezugsgrenze höher, wodurch bei niedriger bezogener Leistung der Alterssiedlung die Batterie ergänzend direkt aus dem Netz geladen wird. Wie in Abbildung 9 ersichtlich und in Tabelle 4 aufgeführt ist, liegt die Netzbezugsgrenze in den Wintermonaten höher (8-10 kW) als in den Sommermonaten (0-6 kW) mit hoher Solarleistung.

Die Batterie reagiert relativ stark auf die eingestellte Netzbezugsgrenze. Durch eine tiefe Netzbezugsgrenze wird die Batterie vermehrt gespeist/entladen und die Speicherkapazität eher ausgenutzt als bei einer hohen Netzbezugsgrenze. Dies führt zu einem höheren Eigenverbrauchsanteil.

Durch die hohe Ausnutzung der Batterie (oft vollgeladen oder leer) können Spitzenwerte bei der Einspeisung ins Netz und beim Bezug aus dem Netz jedoch weniger verhindert werden als bei einer höheren Netzbezugsgrenze und dadurch entstehenden tieferen Ausnutzung der Batterie. Da die Solarleistung im Verhältnis zur Speicherkapazität relativ gross ist, würde dies hauptsächlich bei der Reduktion der maximalen Netzbezugsleistung funktionieren, oder an Tagen mit geringem Solarertrag ebenfalls bei der Netzeinspeisungsleistung. Durch diese Steuerung würde der Eigenverbrauchsanteil jedoch geringer ausfallen.

Tabelle 4 Protokoll Batteriesteuerung

Datum	Änderung/Ereignis	Werte	
		[kW]	[kWh/1 min.]
01.11.2018	Max. Ladeleistung:	12	0.200
	Max. Entladeleistung:	12	0.200
	Netzbezugsgrenze:	10	0.167
08.03.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	8	0.133
20.04.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	5	0.083
25.07.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	0	0
30.07.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	3	0.050
08.08.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	4	0.067
04.09.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	6	0.100
27.09.2019	Anpassung Netzbezugsgrenze	7	0.117

Eine Ladeverzögerung, also zum Beispiel Start der Ladung erst ab 12 Uhr, ist nach Angabe der Dreifels AG in der verwendeten Batteriesteuerungs-Software nicht vorgesehen. Diese hätte für eine Minimierung der Netzeinspeisungsspitzen hilfreich sein können. Beim aktuellen System ist die Batterie, wie in Anhang A zu erkennen ist, beim Erreichen des maximalen Solarertrags, an sonnigen Tagen bereits zwischen 12-13 Uhr vollgeladen und anschliessend wird der Solarertrag abzüglich dem Verbrauch direkt ins Netz eingespeist.

2.6 Stabilität Batterie

Abbildung 16 zeigt Boxplots des SOC der Batterie. Dabei wird, wie in Kapitel 3.1 erwähnt, nur in den Monaten Juni bis September der durchschnittliche Wert aller neun Batterien für die gesamte Batterie gezeigt. In den vorhergehenden Monaten sind die Werte der Batterie 109 ersichtlich. Von November bis Januar wird davon ausgegangen, dass Batterie 109 die gesamte Batterie gut repräsentiert. Die Werte der Monate Februar bis Mai sind aufgrund des Anstiegs der Entladetiefe mit Vorsicht zu betrachten. Es ist jedoch zu sehen, dass die gesamte Batterie im Monat September noch eine Speicherkapazität von 91 % der Nennkapazität aufweist. Pro Jahr kann die Kapazität aufgrund vom Ausfall und Alterung einzelner Zellen etwa 8-12 % zurückgehen. Die einzelnen Batterien können aber durch eine Revision beinahe auf ihr Startkapazität zurückgestellt werden (Schnyder, 2018). Um grössere Ausfälle zu vermeiden, müssen die einzelnen Batterien kontinuierlich beobachtet werden.

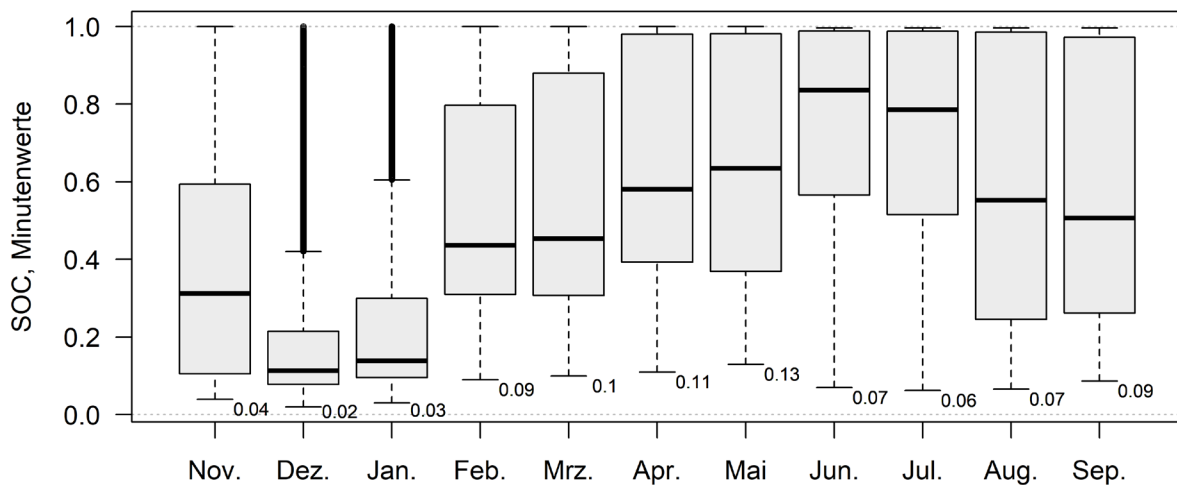


Abbildung 16 Boxplots des SOC der gesamten Batterie der untersuchten Monate. Die Daten November bis Mai beruhen auf dem SOC der Batterie 109, die Daten Juni bis September auf dem Mittelwert des SOC aller Batterien.

Abbildung 17 zeigt die Boxplots des SOC der Batterie 109. Dabei ist ersichtlich, dass bei Batterie 109 die verfügbare Entladetiefe deutlich reduziert ist. Nach 11 Monaten ist nur noch 66 % der Nennkapazität verfügbar. Der Anstieg der Entladetiefe scheint schrittweise weiter zuzunehmen.

Batterie 109

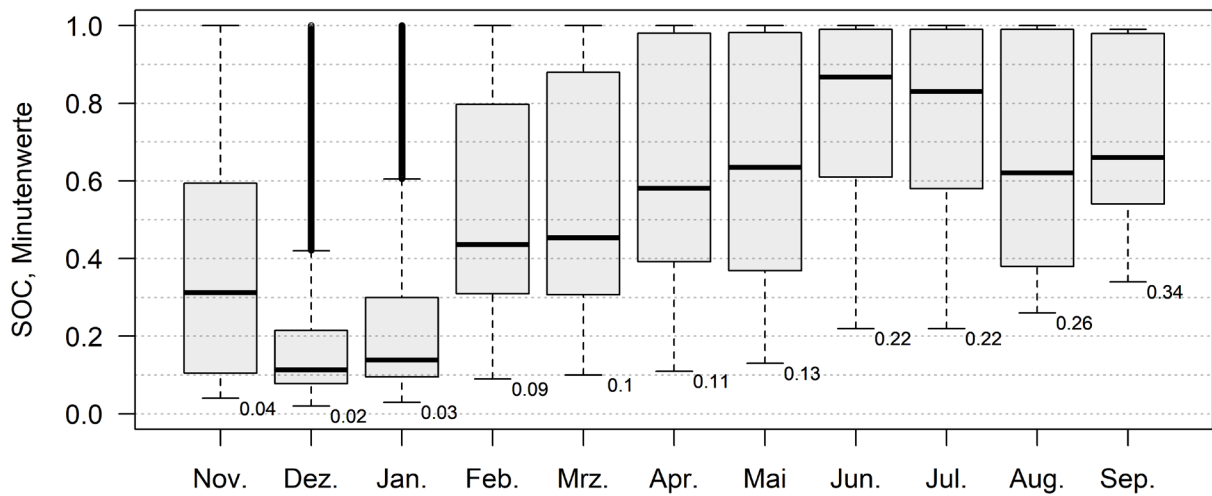


Abbildung 17 Boxplots des SOC der Batterie 109 der untersuchten Monate

In Anhang B sind die monatlichen Boxplots der Minutenwerte des SOC der restlichen acht Batterien aufgelistet. Batterie 724, Batterie 728 und Batterie 729 zeigen ebenfalls einen Anstieg der Entladetiefe. Die restlichen Batterien zeigen keine besonderen Auffälligkeiten. Um eine ausreichende Speicherkapazität der gesamten Batterie zu garantieren, ist es sinnvoll, die Speicherkapazität der einzelnen Batterien weiter zu beobachten.

3 Literatur

Geissler, A., Menn, C., Kim, D.P., Dorusch, F., 2016. Gebäudeintegration von gebrauchten Batterien als 2nd-Life Stromspeichersysteme.

Schnyder, R., 2018. Stabilität 2nd-Life Speicher Riehen.

Swissolar, 2016. PV-Anlagen mit Batterie.

Wikibooks, 2019. GNU R: boxplot – Wikibooks, Sammlung freier Lehr-, Sach- und Fachbücher [WWW Document]. Wikibooks. URL https://de.wikibooks.org/wiki/GNU_R:_boxplot (accessed 9.17.19).

Anhang A. Ganglinie Energiefluss, Nov. 18 bis Sep. 19

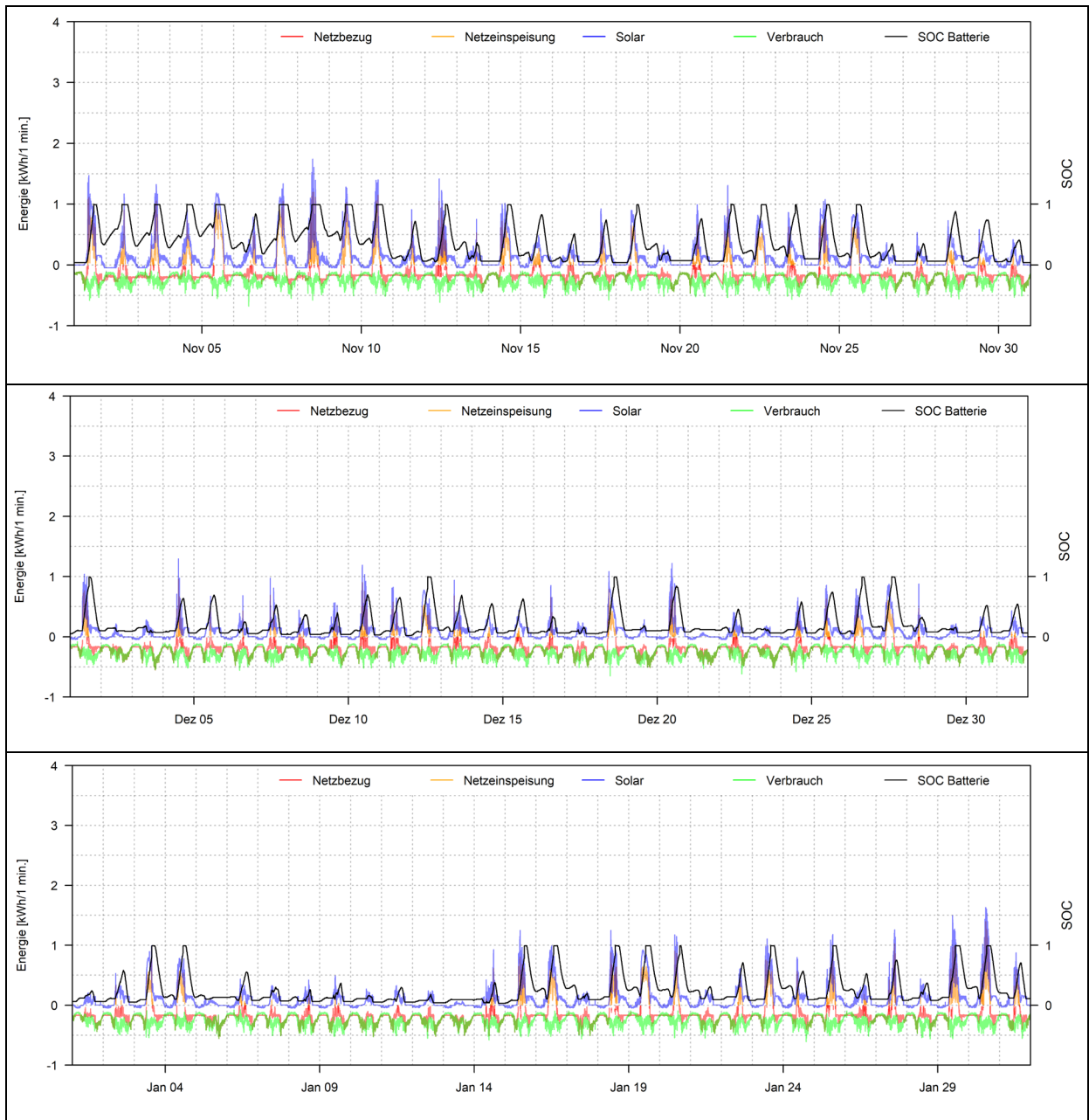


Abbildung 18 Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Nov. 18 – Jan. 19

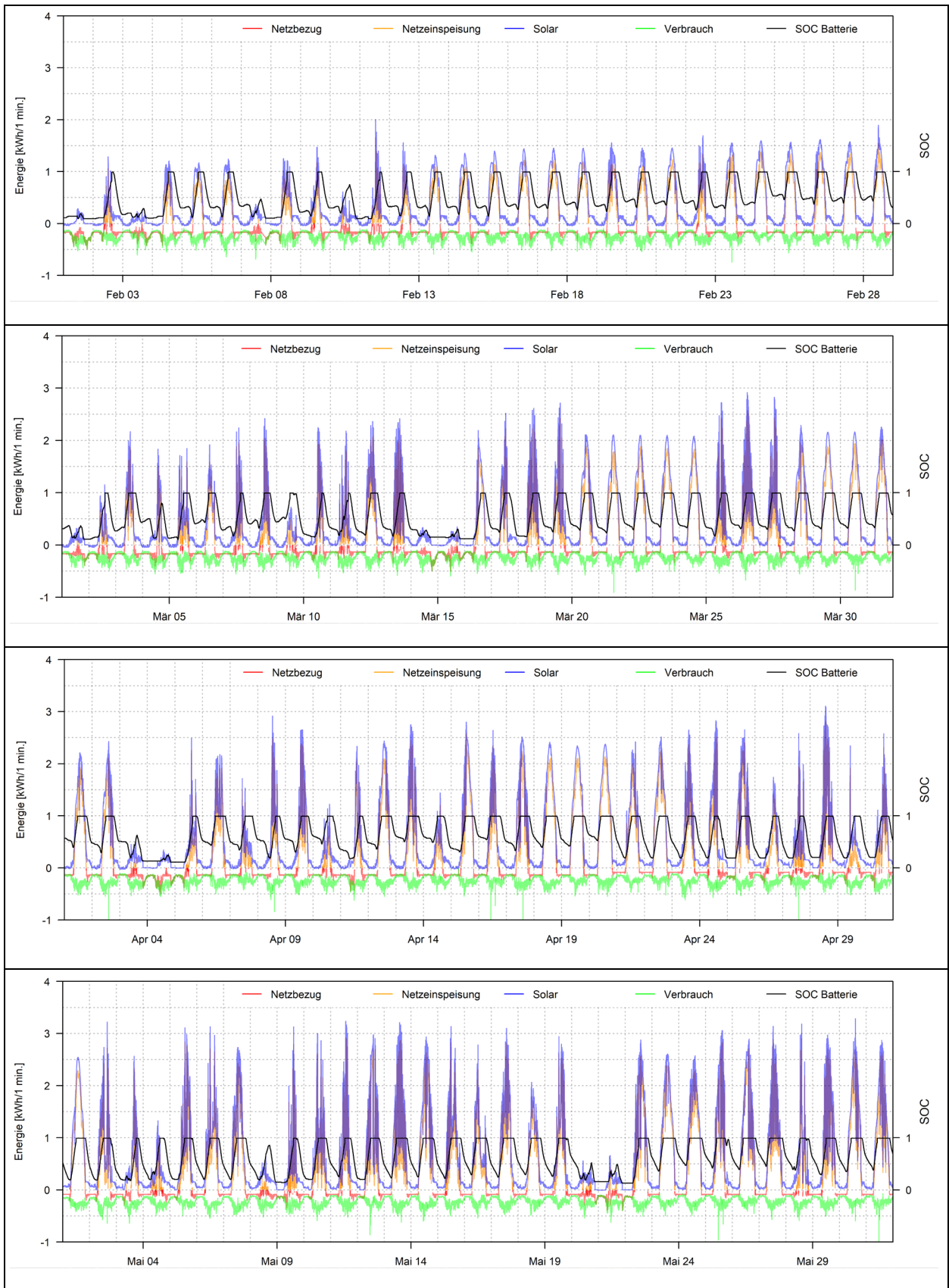


Abbildung 19 Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Feb. 19 – Mai 19

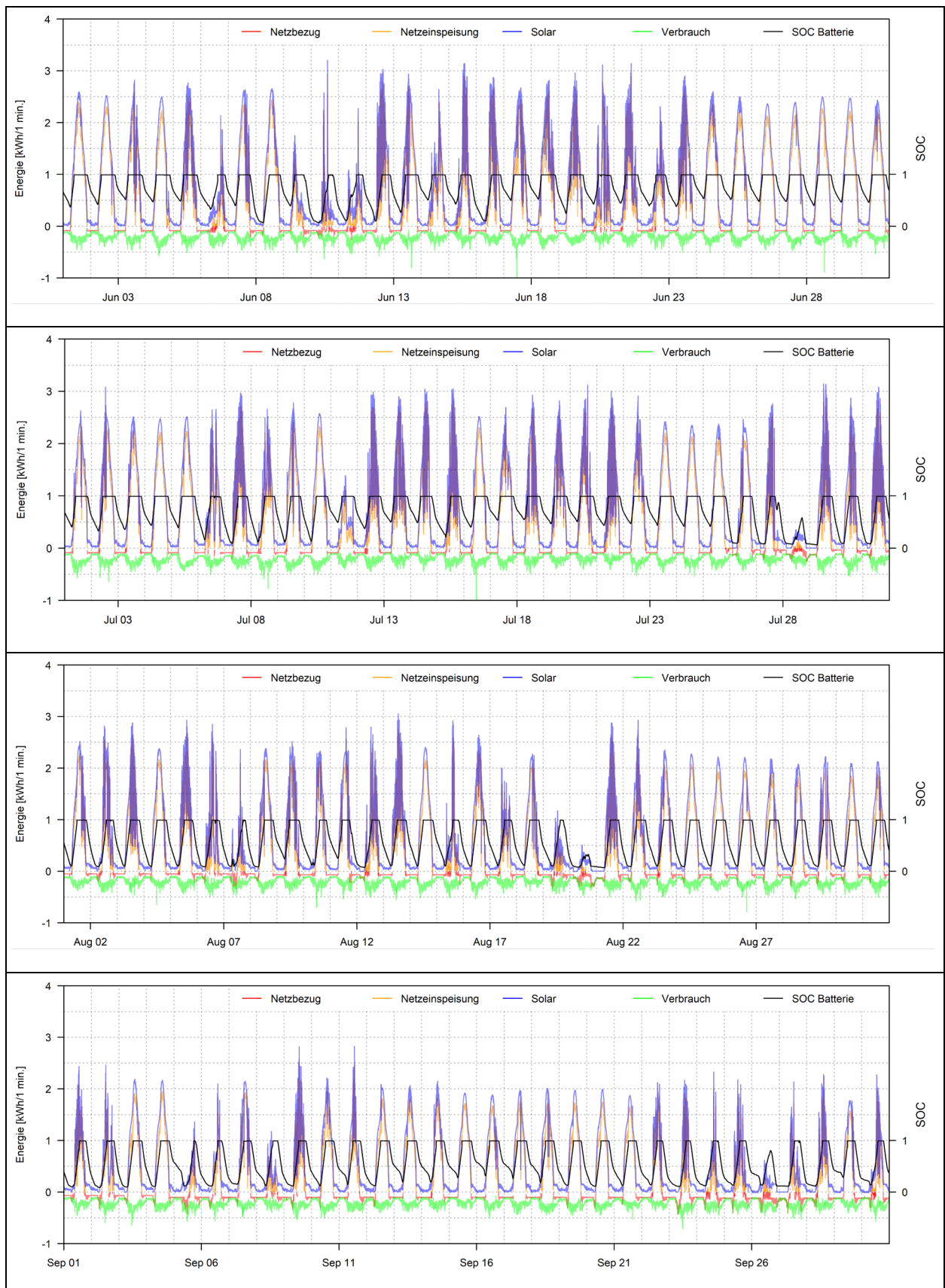


Abbildung 20 Ganglinie des Energieflusses in Energie pro Minute und des SOC, Jun. 19 – Sep. 19

Anhang B. SOC Batterie

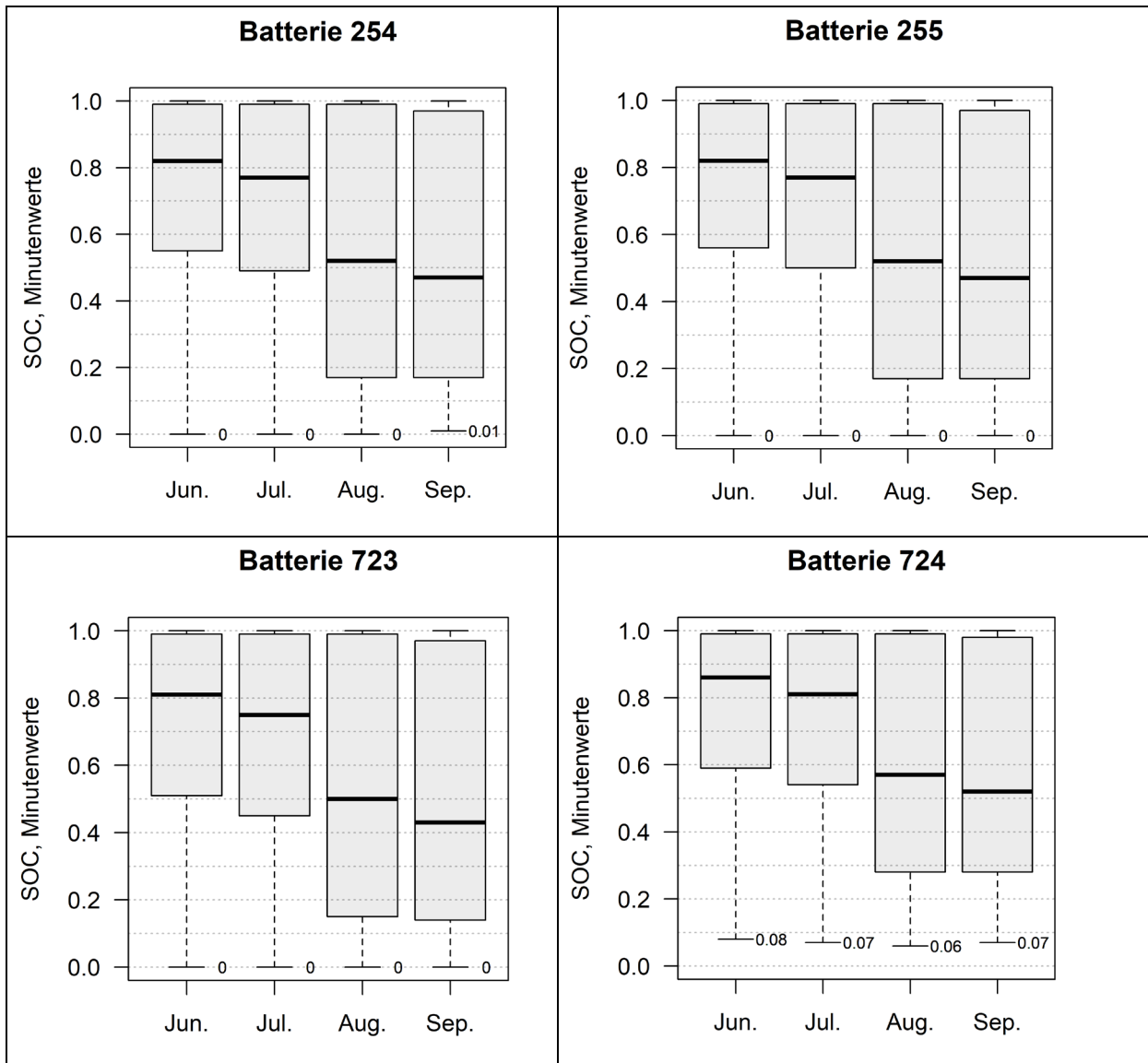


Abbildung 21 Boxplots des SOC der Batterien 254; 255; 723; 724 mit maximaler Entladetiefe

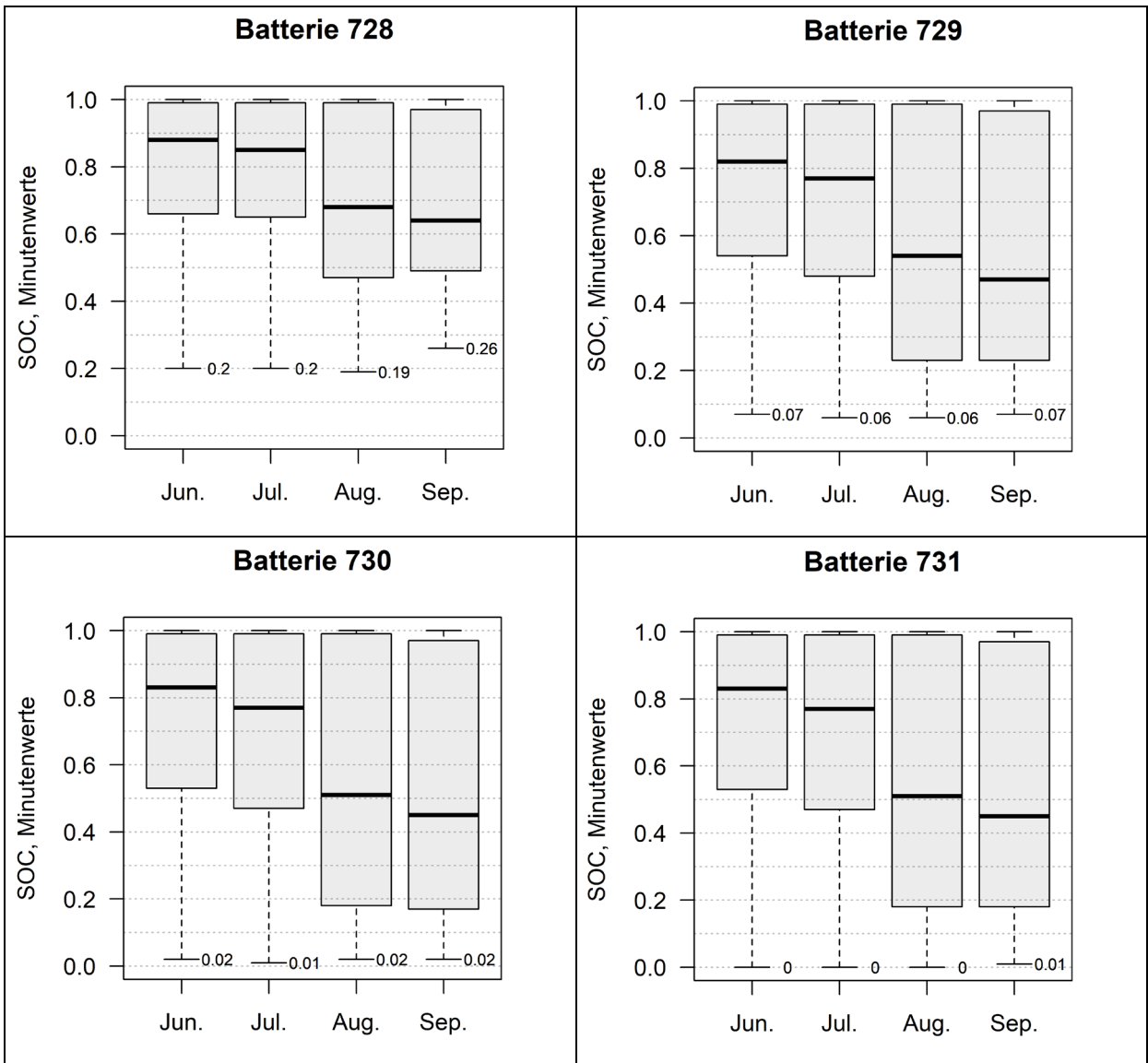


Abbildung 22 Boxplots des SOC der Batterien 728; 729; 730; 731 mit maximaler Entladetiefe