



Erneuerbare Energien, Projektmanagement
Ingenieurbüro Deubler-Solar

Teilerneuerung und Optimierung der Stromversorgungsanlage vom Watzmannhaus



**Deutscher Alpenverein
München & Oberland**



Auf 1930 m im Nationalpark Berchtesgaden, bewirtschaftete Hütte Kategorie I der DAV Sektion München – Öffnungszeiten von Mitte Mai bis Mitte Oktober mit 210 Schlafplätzen

Hubert Deubler

MSc Regenerative Energien und Energieeffizienz

E-Mail: hubert@deubler-solar.de

Ingenieurbüro Deubler-Solar
Alpenstraße 60; D-83487 Marktschellenberg
Tel: 0049.(0)8650 – 984734; Fax: – 984266
Email: hubert@deubler-solar.de

Marktschellenberg, den 28.09.2018

Bankverbindung: Volksbank Raiffeisenbank Oberbayern Südost eG
BLZ 710 900 00 Kontonr. 153630
BIC: GENODEF1BGL
IBAN: DE 30 7 109 0000 0000 1536 30

Gliederung:

1. AKTUELLE STROMVERSORGUNG – BESCHREIBUNG UND BEURTEILUNG	1
1.1. STROM UND LEISTUNGSBEDARF	1
1.2. PV-ANLAGE	1
1.3. INSELWECHSELRICHTER.....	3
1.4. BATTERIEN	4
1.4.1. BHKW - DIESELAGGREGAT	5
2. ENERGIEEFFIZIENZ UND ENERGIESPAREN	5
3. ZUKÜNFTIGE ENERGIEVERSORGUNG	7
3.1. ZUKÜNFTIGER STROMBEDARF	7
3.2. ZUKÜNFTIGER ANLAGENAUFBAU	7
3.3. ANLAGENSHEMA	8
3.4. INSELWECHSELRICHTER UND REGELUNGSTECHNIK.....	9
3.5. PV-ANLAGE	10
3.6. BHKW	11
3.7. BATTERIEVERBAND	11
3.8. NOTVERSORGUNG.....	14
4. BETRIEB UND WARTUNG DER NEUEN ANLAGE	14
5. AUSFÜHRUNG DER UMBAMAßNAHMEN.....	15
6. KOSTENKALKULATION:.....	16
7. ANHANG 1 PV-AUSLEGUNG UND ERTRAGSABSCHÄTZUNG	18
8. ANHANG 2 DATENAUSWERTUNG SD-KARTE VOM SUNNY ISLAND MASTER.....	21
9. ANHANG 3: HEIZWERTVERGLEICH UND CO2 EMISSIONSWERTE	25

1. Aktuelle Stromversorgung – Beschreibung und Beurteilung

Die aktuelle Stromversorgungsanlage beruht auf einer PV-Anlage aus dem Jahr 1995 die im Juli 2009 durch den aktuell vorhandenen Blei-Gel-Speicher mit 3-phasigem Inselwechselrichtersystem und AC-Koppelung ergänzt wurde. Das alte Dieselaggregat wurde bereits 2005 mit einem BlockHeizKraftWerk BHKW, das mit Rapsöl betrieben wird, teilweise ersetzt.

1.1. Strom und Leistungsbedarf

In der Saison 2018 wurden in der Zeit vom 12. bis 31.08. im Mittel 104 kWh elektrische Energie pro Tag aus der Erzeugung vom BHKW und Dieselaggregat verbraucht. Im Mittel kommen noch ca. 1 bis 2 kWh pro Tag aus der PV-Anlage dazu. Insgesamt beträgt der aktuelle Stromverbrauch pro Tag im Mittel somit ca. 105 kWh.

Der maximale Leistungsbedarf im gleichen Zeitraum lag in der Spitze bei gut 30 kW, der durch die Summenleistung aus BHKW und Inselwechselrichtern bereitgestellt wurde (vgl. Anhang 2 Abbildung Leistungsbedarf).

Der aktuelle Strom- und Leistungsbedarf auf dem Watzmannhaus ist im Vergleich zu ähnlich großen Hütten ein guter Wert. Das Rotwandhaus verbraucht z.B. pro Tag im August bis über 200 kWh.

Empfehlung zukünftiger Strom- und Leistungsbedarf:

Bei der Erneuerung der Stromversorgungsanlage sollte ein zukünftig weiter steigender Strombedarf berücksichtigt und genügend Reserven eingeplant werden. Alle Möglichkeiten der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung sollten vorweg umgesetzt werden (vgl. Abschnitt 2 Energieeffizienz und Energiesparen)

1.2. PV-Anlage

Bereits 1995 wurde auf dem nach Süden orientierten Dach des Hauptgebäudes eine Photovoltaikanlage PV mit einer Nennleistung von knapp 5 kWp installiert. Die PV-Anlage besteht bis heute aus 94 Modulen des Typs TST MQ 36/53, die in einer dachintegrierten und sehr aufwändigen Montagetechnik befestigt wurden. Das restliche Dach ist mit Schindeln eingedeckt. Für die Module wurde damals von einer zu erwartenden Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen.



Abbildung 1: Alte PV-Anlage mit deutlicher Schädigung der PV-Zellen auf der gesamten Fläche

Eine Datenaufzeichnung der Leistung der PV-Anlage liegt leider nicht vor. Eine Leistungskontrolle durch Vermessen der einzelnen PV-Module wäre durch die dachintegrierte Installation extrem aufwändig und kostenintensiv. Die visuelle Begutachtung der PV-Module, die Prognosen der damaligen Hersteller der Module sowie die Erfahrungswerte auf anderen Hütten mit der gleichen PV-Anlage aus den 90iger Jahren (z.B. Rotwandhaus, Freiburger Hütte) lassen eine eindeutige Beurteilung des aktuellen Zustands zu.

Die PV-Module sind bereits 23 Jahre alt, sodass davon auszugehen ist, dass ihre Leistungsfähigkeit bereits deutlich nachgelassen hat. Die Module zeigen bereits Verfärbungen die auf Hotspots schließen lassen und z.T. bereits deutliche Schädigung der PV-Zellen (vgl. Abbildung 2). Die Funktionsfähigkeit der PV-Anlage ist somit stark eingeschränkt und z.T. sind

einzelne Module ausgefallen. Eine eventuelle Reparatur ist mit vertretbarem finanziellem Aufwand nicht möglich. Die alten Module hatten auch im Neuzustand nur einen Wirkungsgrad von 10% bis 12% im Gegensatz von neuen Modulen mit über 18 bis 20%. Der aktuelle Flächenertrag der alten PV-Anlage ist somit extrem gering.

Leider liegen keine aktuellen PV-Ertragsdaten vor. Aus Erfahrung ist davon auszugehen, dass mit der alten Anlage z.B. im August im Mittel nur maximal ca. 2 kWh am Tag erzeugt werden kann.

Die alte PV-Anlage ist außerdem für den aktuellen Strombedarf deutlich zu klein um einen signifikanten Beitrag zur Stromversorgung zu leisten und den Einsatz von fossilen Brennstoffen wie Flüssig-Gas und Diesel deutlich zu senken.

Empfehlung zukünftige PV-Anlage:

Die PV-Anlage sollte zumindest mit deutlich mehr als 10 kWp erweitert werden, um die Kosten für den Betrieb des Pflanzenöl-BHKWs und vor allem den Verbrauch an Diesel zu reduzieren.

Bei der alten PV-Anlage ist davon auszugehen, dass ihr Lebensende weitgehend erreicht ist. Es sollten deshalb keine finanziellen Mittel mehr aufgebracht werden um einzelne defekte Module mit Hotspots aus dem Verband auszubauen, da mit den gleichen Kosten bereits ein Großteil der Anlage komplett mit deutlich höherer Leistung erneuert werden kann. Deshalb sollte sofort der gesamte alte PV-Verband abgebaut werden und die dann zur Verfügung stehende Fläche optimal mit neuen leistungsstarken Modulen belegt werden. Zusätzlich sollte die restliche nutzbare Dachfläche auf dem Hauptgebäude komplett mit PV-Modulen ausgelegt werden, um eine möglichst große PV-Anlage zu erreichen.

Das Dach unter der aktuellen PV-Anlage ist zu prüfen und bei Bedarf entsprechend des restlichen Dachs instand zu setzen.

1.3. Inselwechselrichter

Die Dauerleistung eines aktuell eingesetzten Sunny-Island Inselwechselrichter beträgt 5 kW bzw. durch die Synchronisation dreier SI 15 kW Drehstrom bei einer Überlastfähigkeit bis zu 8,5 kW pro Phase. Verglichen mit dem aktuellen Leistungsbedarf von bis über 30 kW (vgl. Anhang 2 Abbildung Leistungsbedarf) kann die Leistung aus den Inselwechselrichtern alleine häufig nicht mehr bereitgestellt werden. Deshalb muss häufig das BHKW bzw. das Dieselaggregat zugeschaltet werden. Insbesondere ist der Betrieb der Seilbahn aktuell ohne Dieselaggregat nicht möglich. Durch die zu geringe Leistung der Inselwechselrichter ist somit keine redundante Stromversorgung mehr gewährleistet. Dadurch ist bei Problemen einer der Stromerzeugungskomponenten eine ausreichende und sichere Stromversorgung nicht mehr gesichert.

Empfehlung zukünftige Inselwechselrichter:

Die vorhandenen Inselwechselrichter sollten mit leistungsstärkeren Wechselrichtern mit 15 kVA je Phase ersetzt werden, damit zukünftig eine sichere, ausreichende und redundante Stromversorgung gewährleistet werden kann

1.4. Batterien

Der aktuelle Batterieverband mit Blei-Gal Batterien des Typs OPzV Sonnenschein A602/1700 besteht aus 24 Zellen mit jeweils 2 V und hat bei einer Gesamtspannung von 48 V und einer Kapazität von 1519 Ah (C_{100})¹ eine Speicherkapazität im Neuzustand von 72,9 kWh. Sie wurde im Juli 2009 in Betrieb genommen und hat somit ihr prognostiziertes Lebensalter von 10 Jahren weitgehend erreicht.

Die Analyse der aktuellen Batteriedaten zeigt, dass die Batterie in den letzten Jahren deutlich stärker belastet wurde wie bei der Inbetriebnahme 2009 zu erwarten war. Dadurch ist ihre nutzbare Speicherkapazität bereits sehr deutlich gesunken. Der vom Inselwechselrichter Sunny Island berechnete Gesundheitszustand (State of Health SoH) ist bereits 2016 unter die Marke von 80% gesunken. Dieser Schätzwert zeigt den Verlauf der Alterung der Batterie, die bei einem Wert unter 80% als am Ende ihrer Lebensdauer gilt. Ab einem solchen Zustand kann die Batterie jederzeit und schlagartig komplett ausfallen.

Die Daten vom August 2019 zeigen, dass die Speicherkapazität aktuell nur noch zu gut 20% in einem Bereich zwischen 60% und gut 80% Ladezustand (SoC) genutzt werden kann (vgl. Anhang 2 Abbildung 6). Abbildung 7 zeigt, dass die Batteriespannung bei einer weiteren Entladung unter 60% bereits bei normalen Entladeströmen einbricht. Da dies nicht dem Spannungsverlauf einer guten Batterie entspricht, verursacht dies einen Korrektursprung bei der Abschätzung des Batterieladestands SoC durch den Inselwechselrichter auf 20%. Dieses Verhalten zeigt, dass die Betriebssicherheit der Batterie bereits deutlich eingeschränkt ist und ein kompletter Ausfall der Batterie jederzeit möglich ist.

Durch die Starke Alterung der Batterie und der geringen nutzbaren Speicherkapazität steigt die Notwendigkeit und Dauer der Nachladung durch das BHKW bzw. Dieselaggregat. Die Laufzeiten der Motoraggregate und damit auch der Brennstoffbedarf sind dadurch bereits deutlich angestiegen.

Empfehlung zukünftige Batterien:

Der Batterieverband sollte bald möglichst ersetzt werden um die Versorgungssicherheit auf dem Watzmannhaus zu gewährleisten und die Laufzeiten der Motorgeneratoren zu reduzieren. Auf Grund des zukünftig noch weiter steigenden Strom- und Leistungsbedarfs sollten zukünftig anstatt der Bleibatterien moderne hochqualitative Lithium Eisen Phosphat Batterien eingesetzt werden.

¹ Näherungsweise Umrechnung der Batteriekapazität: $C_{10} \approx 0,7 \times C_{100}$

1.4.1. BHKW - Dieselaggregat

Das aktuelle mit Rapsöl betriebene BHKW KWE35P-6SI wurde 2005 eingebaut. Zum Zeitpunkt 19.05.2018 ist das BHKW seitdem 6.800 Stunden bei 8.859 Starts gelaufen und hat 89,77 MWh elektrische Energie erzeugt. Im Jahr 2017 wurden für den BHKW Betrieb 2.112 l Rapsöl benötigt.

Ergänzt und abgesichert wird das BHKW durch ein Dieselaggregat im Nebengebäude. Zur Versorgungssicherheit auf der Hütte ist dies auch weiterhin zu empfehlen, wobei die Laufzeiten des Dieselaggregats zur Vermeidung von Diesel-Brennstoff zukünftig noch weiter verringert werden sollten.

Empfehlung zukünftiger Betrieb BHKW / Dieselaggregat:

Das BHKW ist in einem altersgerechten Zustand und sollte auch in den nächsten Jahren ohne größere Probleme weiter betrieben werden.

2. Energieeffizienz und Energiesparen

Am wichtigsten bei einer autarken Energieversorgung auf Schutzhütten in Extremlage ist, dass so wenig wie möglich Energie verbraucht wird. Denn jede eingesparte kWh elektrische und thermische Energie reduziert den finanziellen und technischen Aufwand sowie die ökologische Belastung der sensiblen Bergwelt.

Als zweites wichtiges Grundprinzip gilt, dass der Verlauf der Stromerzeugung bzw. der Energiebereitstellung möglichst den Verlauf des Energiebedarfs abbilden sollte. Dadurch kann der technische und finanzielle Aufwand für die Energiespeicherung entsprechend kleiner gehalten werden und die Gesamteffizienz des Systems maximiert werden.

Generell ist bei einer autarken Energieversorgung zu bedenken, dass Strom so wenig wie möglich zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden sollte. Stattdessen sollten für die Wärmebereitstellung möglichst effiziente System auf Basis erneuerbarer Energien bzw. Gasbrenner in Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Durch den Wirkungsgrad von ca. 30% bei der Umwandlung von Gas zu Strom muss für die Wärmeerzeugung mit Strom dreimal mehr Gas verbraucht werden als bei der direkten Verwendung von Gas.

Als Ausnahme für diese Regel gilt die Verwendung von Überschussstrom bzw. von PV-Strom der zur Stromversorgung und Batterieladung nicht genutzt werden kann. Dieser Strom kann gesteuert durch eine entsprechende Überschussstromregelung hoch effizient über eine Heizpatrone im Pufferspeicher bzw. über Boiler zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden. Eine solche Lösung ist deutlich

wirtschaftlicher und technisch einfacher umsetzbar als eine störungsanfällige Solar-Thermische Anlage.

Das neue Energieversorgungssystem sollte so aufgebaut sein, dass es ein autarkes, permanentes Drehstromnetz für 24 Std. zur Verfügung stellt. Es ist deshalb unbedingt anzuraten, dass, wenn möglich, sämtliche großen Verbraucher mit einem dreiphasigen 400 V Anschluss angeschlossen werden. Dies ist wichtig, da elektrische Lasten mit 400 V deutlich energieeffizienter sind und vor allem keine Schiefasten erzeugen, sondern die drei Phasen des Hausnetzes gleichmäßig belasten.

Dies gilt z.B. für große Spülmaschinen und vor allem für Kompressoren wie z.B. Kühlaggregate. Einphasige Kompressoren sollten so weit wie möglich vermieden werden, da ihre Anlaufströme bis zum 7 bis 10 fachen ihres Nennstroms betragen und, auch durch die entstehenden Schiefasten, die Stromversorgungsanlage übermäßig belasten.

Ganz wichtig ist aber auch, dass sämtliche Geräte die Warmwasser benutzen mit einem Warmwasseranschluss an die Boiler/Puffer angeschlossen werden. Dadurch kann die maximale Anschlussleistung der Geräte um mehr als die Hälfte reduziert werden (z.B. Reduktion von einer 9 kW Heizschleife auf eine 3 kW Zulauferhitzung ohne nennenswerte Leistungsverluste, wie sie von der Firma Hobart für Gewerbespülmaschinen angeboten wird). Damit möglichst heißes Warmwasser auch in der Maschine bei Bedarf zur Verfügung steht, ist es notwendig eine kleine Zirkulationspumpe in die Zuleitung mit einzubauen. Diese muss spätestens beim Anschalten der Spülmaschine für eine Minute in Betrieb gehen, wodurch abgekühltes Wasser aus der Zuleitung durch warmes Wasser ersetzt wird. Außerdem sind die Warmwasserzuleitungen optimal zu isolieren. Alternativ kann die Warmwasserzufuhr auch so gestaltet werden, dass direkt an beim Warmwassereintritt ein Wasserhahn verbaut ist, der vor Start der Spülmaschine geöffnet wird, bis warmes Wasser austritt.

Zur Beleuchtung sollten in der heutigen Zeit nur noch energieeffiziente LED Leuchten oder LED Röhren eingesetzt werden. Sie können die herkömmlichen Glühbirnen oder Röhren in der Regel ohne Probleme direkt ersetzen.

3. Zukünftige Energieversorgung

3.1. Zukünftiger Strombedarf

Der Strombedarf wird in den nächsten Jahren insbesondere im Zusammenhang mit den geplanten Umbaumaßnahmen aus folgenden Gründen weiter ansteigen:

- Erweiterung und Sanierung der Kläranlage
- Erweiterung und Optimierung der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung
- Erweiterte Fluchtwegbeleuchtung, Brandschutzmaßnahmen und Rauchwarnanlage
- Zusätzliches Kühlaggregat
- Weiter steigende Besucherzahlen nach Hüttenumbau

Der mittlere Strombedarf pro Tag wird dadurch mindestens um zusätzlich ca. 10 kWh (entsprechend 10%) steigen. Trotz Energieeinsparmaßnahmen sollte somit bei der Auslegung der zukünftigen Stromversorgungsanlage von einem täglichen Strombedarf im Mittel von ca. 115 kWh ausgegangen werden. In der Hauptsaison an Tagen mit hohem Gästeaufkommen kann der Strombedarf erfahrungsgemäß um gut 20% höher liegen und somit fast 140 kWh am Tag erreichen.

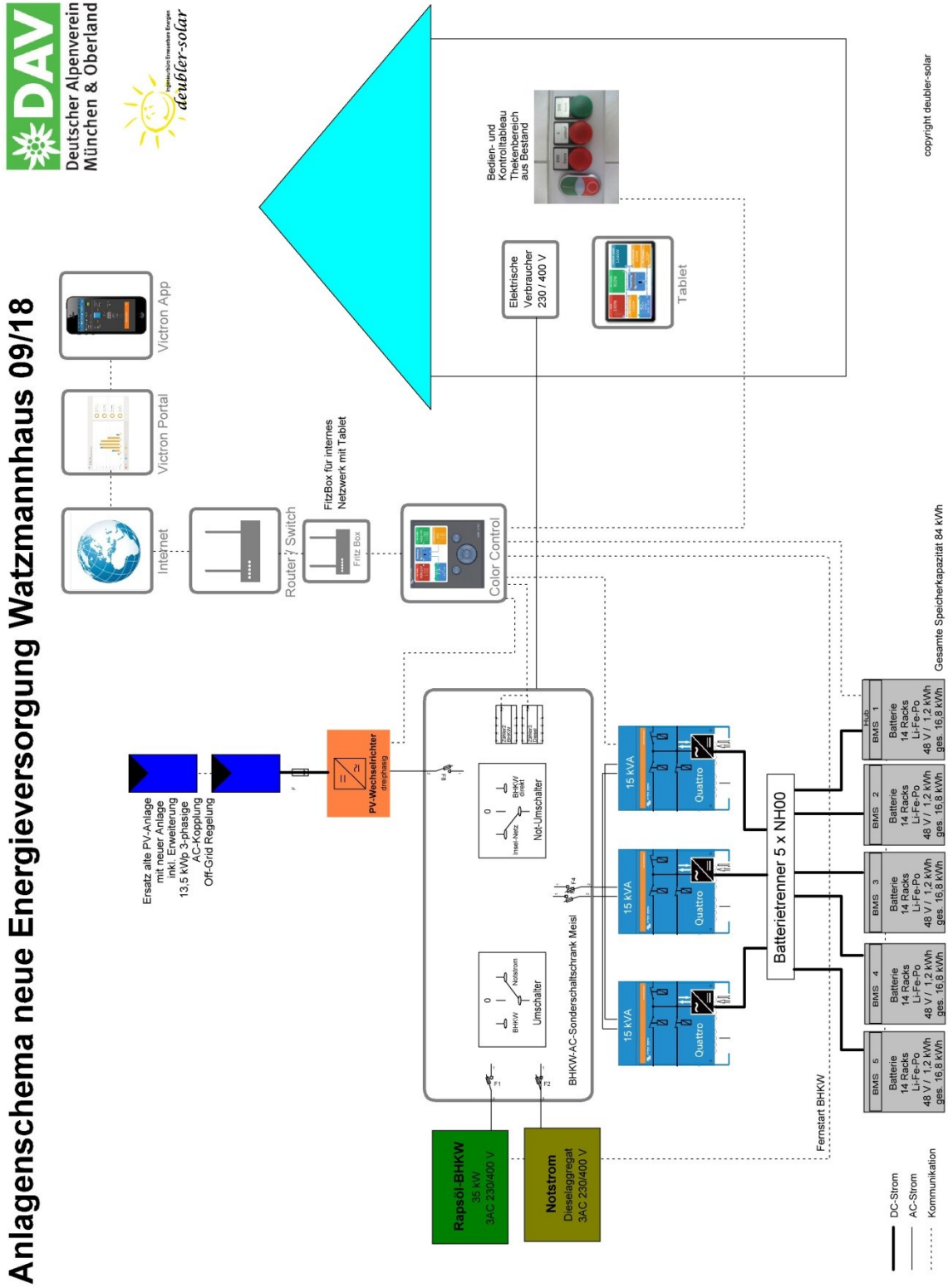
Über die Hüttensaison mit 145 Tagen von Mitte Mai bis Anfang Oktober ergibt sich somit ein Strombedarf von gesamt 16.675 kWh.

Der gleichzeitig auftretende Leistungsbedarf wird durch die Umbaumaßnahmen ebenfalls etwas ansteigen und sollte deshalb für die Auslegung der neuen Stromversorgungsanlage mit ca. 35 kW angenommen werden.

3.2. Zukünftiger Anlagenaufbau

Die zukünftige Energieversorgungsanlage wird weiterhin als Hybridsystem mit der Kombination Pflanzenöl-BHKW, PV Photovoltaikanlage (AC-gekoppelt), Batterieverband und 3 bidirektionale Inselwechselrichter aufgebaut. Auf Grund des hohen Energie- und Leistungsbedarfs werden neue leistungsstärkere Inselwechselrichter in Kombination mit einem Lithium-Ionen Batteriespeicher (LiFePO₄), einer erweiterten PV-Anlage und dem bisher schon vorhandenen Pflanzenöl-BHKW empfohlen. Zusätzlich wird die Anlage zukünftig mit einem permanenten Online-Zugang zur besseren Anlagenwartung versehen (vgl. Anlagenschema Punkt 3.3).

3.3. Anlagenschema



3.4. Inselwechselrichter und Regelungstechnik

Die drei empfohlenen bidirektionalen Wechselrichter Victron Quattro 15000 bauen ein komplettes Drehstromnetz mit 230/400V und 50Hz auf, welches in der Netzqualität dem öffentlichen Stromnetz entspricht. Sie bilden in Zukunft das Herzstück der Energieversorgungsanlage und steuern automatisch das optimale Zusammenspiel der Stromerzeuger, der Energiespeicherung und der Lastversorgung. Durch die große Nennleistung im Dauerbetrieb eines jeden Quattro von 12 kW (15 kVA) bzw. durch die Synchronisation der drei Quattro mit 36 kW Drehstrom und einer hohen kurzzeitigen Überlastfähigkeit mit bis zu 25 kW je Wechselrichter kann der hohe Leistungsbedarf im Watzmanhaus abgedeckt werden. Bei Bedarf auf Grund von höherer Leistungsanforderung bzw. zum Nachladen der Batterien wird das BHKW automatisch gestartet. Die Momentanleistungen der PV, des BHKW sowie der Inselwechselrichter addieren sich zur maximalen kurzfristigen Gesamtleistung.

Um eine Überlastung des Inselwechselrichtersystems zu vermeiden, sollten auch weiterhin nach Möglichkeit nicht alle großen elektrischen Verbraucher gleichzeitig betrieben werden bzw. sollte bei absehbarem Bedarf manuell das BHKW zugeschaltet werden. Dies vor allem an Tagen an denen nicht die volle PV-Leistung zur Verfügung steht.

Der Inselwechselrichter Quattro verfügt außerdem über ein spezielles und abgestimmtes Batteriemanagement für das vorgeschlagenen Lithium-Ionen Batterie System MSS mit Fortelionzellen von Sony, das gemeinsam durch den Wechselrichterhersteller Victron, Sony und der Firma Elektro-Mechanik Meisl entwickelt und für den Einsatz auf Schutzhütten und Almen optimiert wurde.

ColorControl

Zur Anlagenüberwachung und Konfiguration wird das ColorControl als externe Kontrolleinheit integriert. Auf seinem Display können jederzeit die relevanten Betriebsparameter abgelesen und Einstellungen vorgenommen werden. Über einen Router wird ein internes Netzwerk aufgebaut über das ein Tablett eingebunden werden kann. Das Tablett kann dann z.B. im Thekenbereich als externes Display verwendet werden, damit die Wirtsleute jederzeit den aktuellen Zustand der Energieversorgungsanlage überschauen können. Ist auf der Hütte ein Internetzugang vorhanden, kann mit dem ColorControl ein Fernzugriff und eine Fernüberwachungsmöglichkeit der Gesamtanlage eingerichtet und die Anlage auf dem kostenfreien Portal von Victron registriert werden.

3.5. PV-Anlage

Die absolute und die Flächenleistung der alten PV-Anlage von 1995 auf dem Watzmanhaus ist auf Grund der normalen Alterung mittlerweile extrem gering. Die alte Anlage sollte deshalb abgebaut und entsorgt werden.

Stattdessen sollte nach Reparatur des Dachs, eine neue PV-Anlage mit maximaler Leistung unter maximaler Ausnützung der möglichen Dachflächen installiert werden. Insgesamt sollte eine PV-Anlage von ca. 13,5 kWp auf dem nach Süden orientierten Dach des Hauptgebäudes platzt finden. Bei PV-Modulen mit einer Nennleistung von 300 Wp wird die Gesamtleistung mit 45 Modulen erreicht. Die Module müssen für die maximale Schneelast ausgelegt sein und mit entsprechend verstärkter Unterkonstruktion verbaut werden.

Über die Hüttensaison von Mitte Mai bis Anfang Oktober können mit der neuen PV-Anlage ca. 8.685 kWh Strom erzeugt und ca. 52% des zukünftigen Strombedarfs (16.675 kWh) abgedeckt werden (vgl. PV-Auslegung und Simulation im Anhang 1). In den 145 Tagen der Hüttensaison werden somit pro Tag im Mittel ca. 59,9 kWh Strom erzeugt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Stromerzeugung durch die neue PV-Anlage von gesamt 13,5 kWp während der Saison

Anzahl Tage	Monat	kWh	Saisontage	Saison kWh	mittl. kWh pro Tag
31	Mai	1.984,0	13	832,0	64,0
30	Juni	1.934,0	30	1.934,0	64,5
31	Juli	2.048,0	31	2.048,0	66,1
31	August	1.829,0	31	1.829,0	59,0
30	September	1.627,0	30	1.627,0	54,2
31	Oktober	1.287,0	10	415,2	41,5
	Gesamt		145	8.685,2	59,9

Für die PV-Anlage wird über einen dreiphasigen PV-Wechselrichter Fronius Symo 13.5 AC-Seitig auf das Hüttenstromnetz gekoppelt und können so direkt die elektrischen Verbraucher versorgen. Wird mehr PV-Strom erzeugt als direkt verbraucht wird, wird damit die Batterieanlage geladen.

3.6. **BHKW**

Zukünftig sollte das bereits vorhandene BHKW weiter betrieben werden, damit neben dem Strombedarf auch der Wärmebedarf auf der Hütte gedeckt werden kann.

3.7. **Batterieverband**

Als Alternative zu einer Bleibatterie kann der Einbau eines Batterieverbands bestehend aus Lithium-Ionen Akkumulatoren LiFePO_4 empfohlen werden. Das Lithium-Ionen-System des Typs „Fortelion“ von Murat/Sony mit Lithium-Eisenphosphat-Technologie wurde von der Firma Meisl bereits gemeinsam mit Victron (Hersteller Inselwechselrichter) und Murata/Sony (Hersteller Batterien) ausführlich getestet, an die Bedingungen von Berghütten angepasst und in den letzten Jahren in etlichen Berghütten und sogar in der deutschen Forschungsstation Gondwana in der Antarktis erfolgreich installiert und erprobt.



Abbildung 2: Vergleichbare Beispielanlage Lithium-Ionen-Akku des Typs „Fortelion“ von Sony mit Lithium-Eisenphosphat-Technologie und 3 phasigem Sunny Island System auf der Ostpreußenhütte und in der Forschungsstation Gondwana in der Antarktis

Die Einzelzellen mit einer Speicherkapazität von jeweils 1,2 kWh können mit einer Kontrolleinheit und einer Kommunikationseinheit frei in ihrer Speichergröße in 1,2 kWh-Schritten skaliert werden. Für das Watzmannhaus ist ein Batterieverband bestehend aus 5 Strängen (5 Schränken) mit jeweils 14 Zellen und einer gesamten Speicherkapazität von 84 kWh zu empfehlen. Die Speicherkapazität der vorgeschlagenen Batterie kann zu 100% genutzt werden. Im täglichen Betrieb ist jedoch zu empfehlen die Batterie nur bis Minimum 20% zu entladen, um noch eine Sicherheitsreserve in der Batterie zu belassen falls das BHKW zum Nachladen nicht sofort starten kann. Damit die volle Leistung der Inselwechselrichter aus der Batterie gezogen werden kann muss außerdem die Batterie mit mindestens 5 Controllern (BMS) ausgestattet sein.

Die nutzbare Speicherkapazität von somit 67 kWh entspricht ca. 46% des mittleren täglichen Strombedarfs auf dem Watzmannhaus. Diese Speichergröße sollte ausreichen, um die Hütte über Nacht ohne zusätzlichen Betrieb des BHKW versorgen zu können und die Lastspitzen über Tag abdecken zu können. Bei Bedarf kann die Speicherkapazität der empfohlenen Batterie auch noch nach Jahren erweitert werden.

Vorteil der Lithium-Batterie im Vergleich zur Bleibatterie ist neben der deutlich höheren Effizienz (über 95% gegenüber 80% bei neuen Blei-Gel-Akkus) auch die sehr hohe Zyklenfestigkeit, sodass es für die Lebensdauer der Batterie kein Problem darstellt pro Tag 1 bis 2 Zyklen zu fahren. Weiter Vorteile der Lithium-Batterie sind:

- nur ein Drittel des Platzbedarfs und des Gewichts wie eine vergleichbare Bleibatterie; Keine umweltschädliche Komponenten wie Säuren oder Schwermetalle;
- kein gesonderter Batterieraum nötig,
- keine Gefahren bei Transport,
- unempfindlich bei Temperaturen (kein Einfrieren möglich, Batterieladung bis -10°C möglich, kaum Verschlechterung der Lebensdauer bei höheren Betriebstemperaturen).
- Im Gegensatz zur Blei-Batterie ist bei der Lithium-Batterie eine mehrstündige Vollladung alle 14 Tage und eine Ausgleichladung von über 14 Stunden alle 3 Monate nicht notwendig. Dadurch kann von einer deutlichen Reduktion der BHKW-Laufzeiten um ca. 10% ausgegangen werden.
- Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren
- Zahlreiche Zertifizierungen, beispielsweise die des amerikanischen UL-Instituts, belegen die besondere Eignung der Batterie für anspruchsvolle Anwendungen.

Im Folgenden sind weitere Kenndaten des Lithium-Ionen-Batteriesystems von Murata/Sony zusammengestellt:

Lagertemperatur: -40°C bis $+65^{\circ}\text{C}$

Betriebstemperatur: Entladung: -20°C bis $+60^{\circ}\text{C}$

Ladung: -10°C bis $+60^{\circ}\text{C}$

Nutzbarer Energiegehalt: 100% der Kapazität nutzbar; Für den off-grid Betrieb wird jedoch empfohlen nur bis 10% oder 20% zu entladen (DoD Entladetiefe)/ Restkapazität um eine Reserve vorzuhalten falls eine externe Ladequelle wie z.B. das BHKW oder das Dieselaggregat nicht sofort zur Nachladung zur Verfügung steht

Energieversorgung Watzmannhaus

- Lebensdauer:** bis zu 20 Jahre bei über 8000 Zyklen mit 100% Entladetiefe, 23° C Betriebstemperatur, 80% verbleibende Restkapazität (vgl. Abbildung 3)
- Erweiterbarkeit:** Batteriekapazität nach Inbetriebnahme erweiterbar mit parallelgeschalteten Speichereinheiten
- Sicherheit:** Sicherste Li-Ion Batterie-Technologie bei aktuell in größeren Mengen produzierten Zellen
Kein Risiko der Überhitzung (thermal runaway reaction) der Fortelion Lithium-Eisenphosphat-Zelle (LiFePO₄) (vgl. Abbildung 5)
- Umweltbelastung:** Umweltfreundlich durch Verwendung von auf Eisen basierenden Materialien; keine Schwermetalle
- Gewicht:** Einzelzelle mit 1,2 kWh Speicherkapazität: -17 Kg
- Garantie:** 15 Jahre Kapazitätsgarantie auf 75% der Nennkapazität

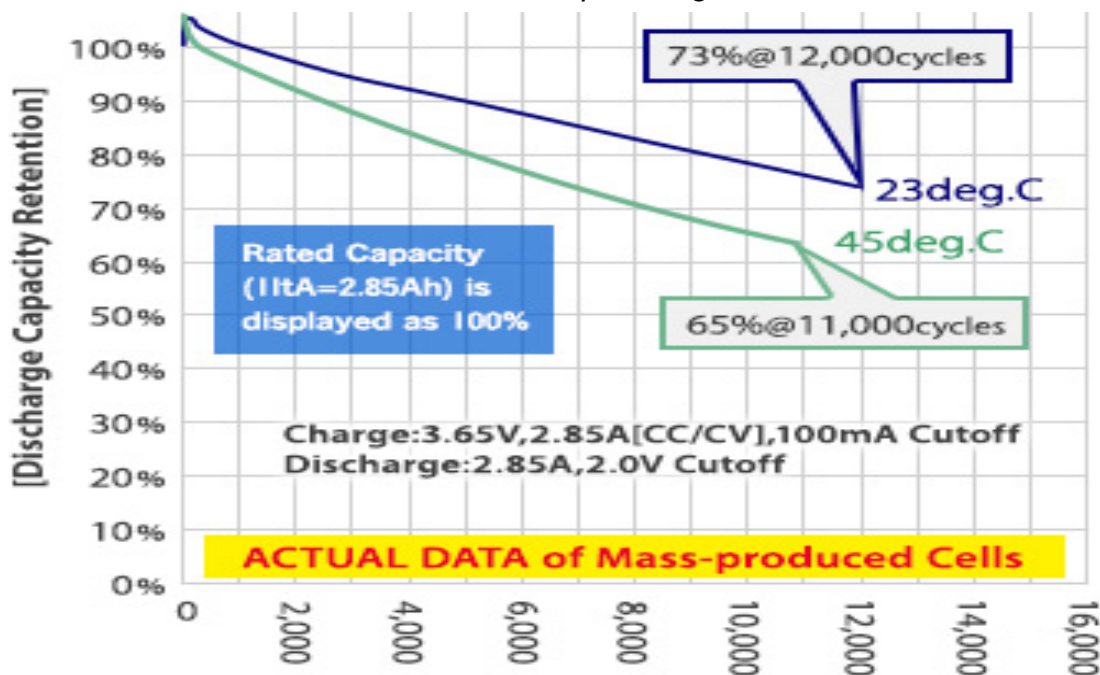


Abbildung 3: getestete Zyklenlebensdauer bei 100% DOD und C1

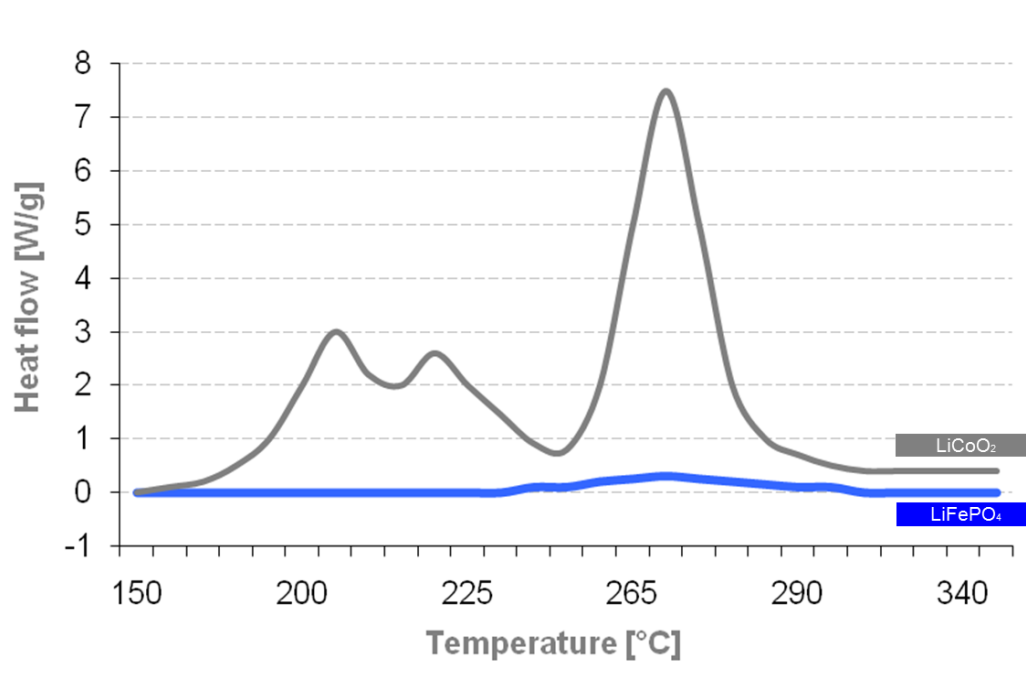


Abbildung 4: Thermisches Durchgehen von typischen Lithium Akkus (oben) im Gegensatz zur eigensicheren Fortelion Lithium-Eisen-Phosphat Batterie (unten in blau)

3.8. Notversorgung

Für die Versorgungssicherheit auf der Hütte ist es notwendig die Versorgungsanlage als redundantes System aufzubauen. Dazu wird wie bisher ein Notschalter installiert mit dem manuell die Stromversorgung von den Inselwechselrichtern und dem BHKW direkt auf das Notstrom-Dieselaggregat umgeschaltet werden kann. Dadurch ist es möglich auch für längere Zeit z. B. bei Ausfall der Wechselrichter oder bei Wartungs- oder Reparaturarbeiten am BHKW die Hütte ausreichend mit Strom zu versorgen. Damit bestehen 2 getrennte Versorgungsstränge, die jeweils unabhängig von einander über das AC – Hüttenetz sämtliche Lasten bedienen können.

4. Betrieb und Wartung der neuen Anlage

Für ein gutes Management der Anlage werden auf der Hütte bei den Betreibern sämtliche technischen Unterlagen der installierten Anlage hinterlegt. Dies ermöglicht, dass bei eventuellen Störungen die konsultierten Handwerker sofort und vor Ort auf die Dokumentation der Anlage zurückgreifen können.

Entscheidend für den dauerhaften und störungsfreien Betrieb der Energieversorgungsanlage ist die regelmäßige Revision und Wartung der gesamten Anlage. Dies sollte mindestens einmal pro Jahr erfolgen und sowohl die Wartung des BHKW als auch die Prüfung der Batterien, der Wechselrichter und der optimalen

Funktion der PV-Anlage einschließen. Durch den Online-Zugang über den ColorControl ist eine sehr einfache Anlagenkontrolle möglich. Fehlermeldungen können automatisch an den Hersteller versendet werden, sodass frühzeitig Probleme an der Anlage erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

Der Hüttenbetreiber wird bei der Inbetriebnahme der neuen Anlage ausführlich in die Funktionsweise, die optimale Bedienung und die notwendigen Unterhaltungsmaßnahmen eingewiesen.

5. Ausführung der Umbaumaßnahmen

Die neue PV-Anlage wird an Stelle der alten PV-Anlage montiert und um die restlichen nutzbaren Flächen des nach Süden orientierten Dachs ergänzt.

Die neuen Batterien und Inselwechselrichter sowie AC-Schaltschrank und PV-Wechselrichter werden anstelle der alten Komponenten im Technikraum installiert. Eine fachgerechte Entsorgung der Altanlage ist durch die Fachfirma sicher zu stellen.

6. Kostenkalkulation:**Planung**

Leistungsbeschreibung	Euro (netto)
Planung und Erstellung Energiekonzept durch deubler-solar	2.100,00 €

Los 1 Lithium-Batterie-Wechselrichtersystem

Leistungsbeschreibung	Euro (netto)
-----------------------	--------------

Empfohlene Speichergröße: Lithium Speicher MSS5x14 mit Fortelion LiFePO4 Zellen, BMS-Controller und Kommunikations-Hub mit Sony-Technologie, bestehend aus 5 großen Schränken mit je 14 x 1,2 kWh Modulen (70 Module gesamt) für Speicherkapazität ges. von 84 kWh inkl. DC-Verkabelung bis Bat-Fuse Bat-Fuse-Meisl mit Sicherungen und 3 Ersatzsicherungen Sonderanfertigung mit 5 Eingängen für Multistring LithiumAkku MSS5x14	71.000,00 €
Inselwechselrichtersystem bidirektional 3 x Victron Quattro 48/15000 mit jeweils 15 kVA permanent Leistung mit bis zu 30kW Überlastfähigkeit je Phase und 2 AC-Eingängen ColorControl Display, Bedienpanel und Onlinezugangs für Web-Portal AC-Schaltschrank mit Anschlusspunkt Notstromaggregat, Verteilung und kompletter Sicherungseinrichtungen sowie Not-Umschalter Inselnetz auf BHKW direkt und Umschalter BHKW auf Notstromdiesel und 2 Zähler für die Aufzeichnung und Darstellung der Stromerzeugung BHKW und Dieselaggregat im ColorControl (die Leistungsdaten der gesamten neuen PV-Anlage ist ebenso auf dem ColorControl anzuzeigen und aufzuzeichnen)	19.000,00 €
Installation und Inbetriebnahme der vorgenannten Komponenten, Anlagenbeschreibung, Schaltplan, Kurzbetriebsanleitung, Einschulung der Betreiber, einmalige Online-Anlagenkontrolle und Fern-Wartung nach 3 Monaten Betrieb des Wechselrichtersystems mit den Lithium-Batterien; inkl. Transport bis Hubschrauber bzw. Silbahn	5.000,00 €
Transport Material auf die Hütte und Abtransport der alten Anlage per Hubschrauber	1.500,00 €
Anpassung elektrische Hauptverteilung an die erweiterte PV-Anlage	3.000,00 €
Gesamtes Batterie-Wechselrichtersystem	99.500,00 €

Alle Preise netto zzgl. MwSt; Übernachtung und Verpflegung der Handwerker bauseitig

Alternativoption Speichererweiterungsset:	Euro (netto)
---	--------------

Die kalkulierte Lithium-Batterie kann mit maximal 2 Erweiterungssets aus jeweils 5 Speichermodulen (je ein Modul pro Schrank) um 5 x 1,2 kWh = 6 kWh erweitert werden. Für zusätzliche Speichererweiterung können bis zu maximal 11 weitere Speicherschränke mit jeweils gleicher Anzahl Speichermodule ergänzt werden. Preis für ein Erweiterungsset um 6 kWh (5 Speichermodule MSS inkl. Montagematerial)	4.300,00 €
---	-------------------

Alle Preise netto zzgl. MwSt;

Los 2 Photovoltaikanlage PV

Leistungsbeschreibung	Euro (netto)
PV-Erweiterung durch Ersatz und Abrundung der alten PV-Anlagen mit Kioto 300 Wp Modulen ca. 13,2 kWp auf Süd-Dach mit dreiphasigem PV-AC-Einspeisewechselrichter Fronius Symo inkl. Spezialmontage für hohe Schneelasten mit 3 Schienen inkl. Montage	30.500,00 €
Abbau und Entsorgung alte PV-Anlage	2.000,00 €
Gerüst für Ab – und Aufbau der PV-Anlage gesamt	2.500,00 €
Vorbereitung und Anpassung des Dachs vorallem unter der alten PV notwendig für die Montage und Unterkonstruktion der neuen PV-Anlage - Dachdecker?	3.000,00 €
Gesamt PV	38.000,00 €

Alle Preise netto zzgl. MwSt; Übernachtung und Verpflegung der Handwerker bauseitig

7. Anhang 1 PV-Auslegung und Ertragsabschätzung



deubler-solar • Alpenstrasse 60 • D-83487 Marktschellenberg

deubler-solar
Alpenstrasse 60
D-83487 Marktschellenberg

Tel.: +49 8650 984734
Fax: +49 8650 984266
E-Mail: hubert@deubler-solar.de


Projekt: **Watzmannhaus**
Projektnummer: ---

Standort: **Deutschland / Watzmannhaus**

Netzspannung: 230V (230V / 400V)

Systemübersicht

44 x Kioto Photovoltaics KPV 300 ME mono PERC (05/2016) (PV-Generator 1)
Azimut: 0 °, Neigung: 30 °, Montageart: Dach, Peak-Leistung: 13,20 kWp

 **1 x STP 15000TL-30**

PV-Auslegungsdaten

Gesamtanzahl der PV-Module:	44	Jährlicher Energie-Ertrag*:	17.496,07 kWh
Peak-Leistung:	13,20 kWp	Energienutzungsfaktor:	99,9 %
Anzahl der PV-Wechselrichter:	1	Performance Ratio*:	89,3 %
AC-Nennleistung der PV-Wechselrichter:	15,00 kW	Spez. Energie-Ertrag*:	1325 kWh/kWp
AC-Wirkleistung:	13,50 kW	Leitungsverluste (in % von PV-Energie):	---
Wirkleistungsverhältnis:	102,3 %	Schieflast:	0,00 VA

Unterschrift

*Wichtig: Die angezeigten Ertragswerte sind Schätzwerte. Sie werden mathematisch ermittelt. SMA Solar Technology AG übernimmt keine Haftung für den realen Ertragswert, der von den hier angezeigten Ertragswerten abweichen kann. Gründe für Abweichungen sind verschiedene äußere Umstände, z. B. Verschmutzungen der PV-Module oder Schwankungen der Wirkungsgrade der PV-Module.

Auslegungen der Wechselrichter

Projekt: Watzmannhaus
 Projektnummer:

Standort: Deutschland / Watzmannhaus
Umgebungstemperatur:
 Minimale Temperatur: -20 °C
 Auslegungstemperatur: 10 °C
 Maximale Temperatur: 25 °C

Teilprojekt Teilprojekt 1

1 x STP 15000TL-30 (Teilanlage 1)

Peak-Leistung:	13,20 kWp
Gesamtanzahl der PV-Module:	44
Anzahl der PV-Wechselrichter:	1
Max. DC-Leistung (cos φ = 1):	15,33 kW
Max. AC-Wirkleistung (cos φ = -0,9):	13,50 kW
Netzspannung:	230V (230V / 400V)
Nennleistungsverhältnis:	105 %
Dimensionierungsfaktor:	97,8 %
Verschiebungsfaktor cos φ:	-0,9



STP 15000TL-30

PV-Auslegungsdaten

Eingang A: PV-Generator 1

38 x Kioto Photovoltaics KPV 300 ME mono PERC (05/2016), Azimut: 0 °, Neigung: 30 °, Montageart: Dach

Eingang B: PV-Generator 1

6 x Kioto Photovoltaics KPV 300 ME mono PERC (05/2016), Azimut: 0 °, Neigung: 30 °, Montageart: Dach

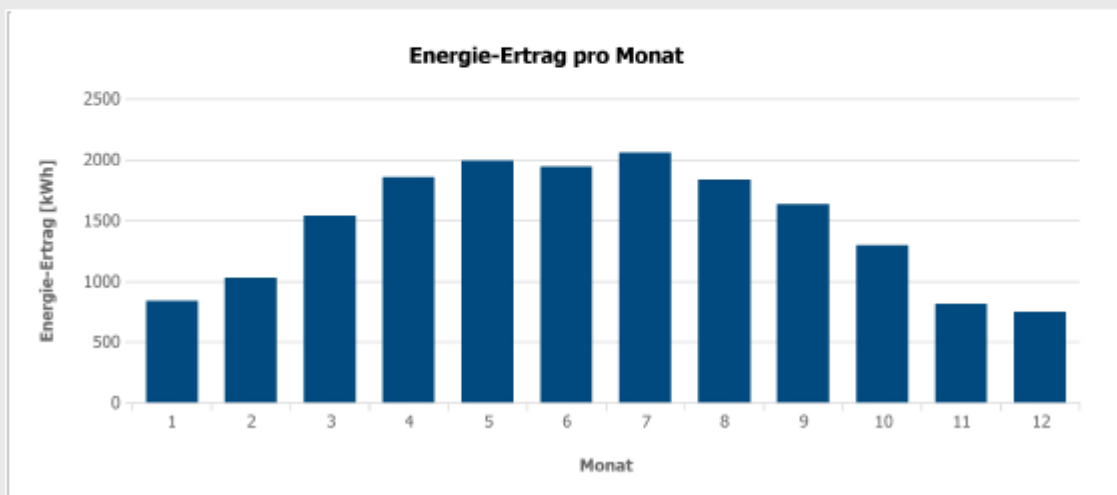
	Eingang A:	Eingang B:	
Anzahl der Strings:	2	1	
PV-Module:	19	6	
Peak-Leistung (Eingang):	11,40 kWp	1,80 kWp	
Typische PV-Spannung:	✓ 598 V	✓ 189 V	
Min. PV-Spannung:	562 V	177 V	
Min. DC-Spannung (Netzspannung 230 V):	150 V	150 V	
Max. PV-Spannung:	✓ 804 V	✓ 254 V	
Max. DC-Spannung:	1000 V	1000 V	
Max. PV-Generatorstrom:	✓ 18,6 A	✓ 9,3 A	
Max. Eingangsstrom pro MPPT:	33 A	33 A	
Max. Kurzschluss-Strom pro MPPT:	43 A	43 A	
Max. Kurzschluss-Strom PV:	✓ 19,4 A	✓ 9,7 A	

Monatswerte

Projektname: Watzmannhaus
Projektnummer:

Standort: Deutschland / Watzmannhaus

Diagramm



Tabelle

Monat	Energie-Ertrag [kWh]	Performance Ratio
1	831 (4,8 %)	92 %
2	1021 (5,8 %)	92 %
3	1532 (8,8 %)	91 %
4	1848 (10,6 %)	90 %
5	1984 (11,3 %)	89 %
6	1934 (11,1 %)	88 %
7	2048 (11,7 %)	88 %
8	1829 (10,5 %)	88 %
9	1627 (9,3 %)	89 %
10	1287 (7,4 %)	90 %
11	810 (4,6 %)	90 %
12	745 (4,3 %)	91 %

8. Anhang 2 Datenauswertung SD-Karte vom Sunny Island Master

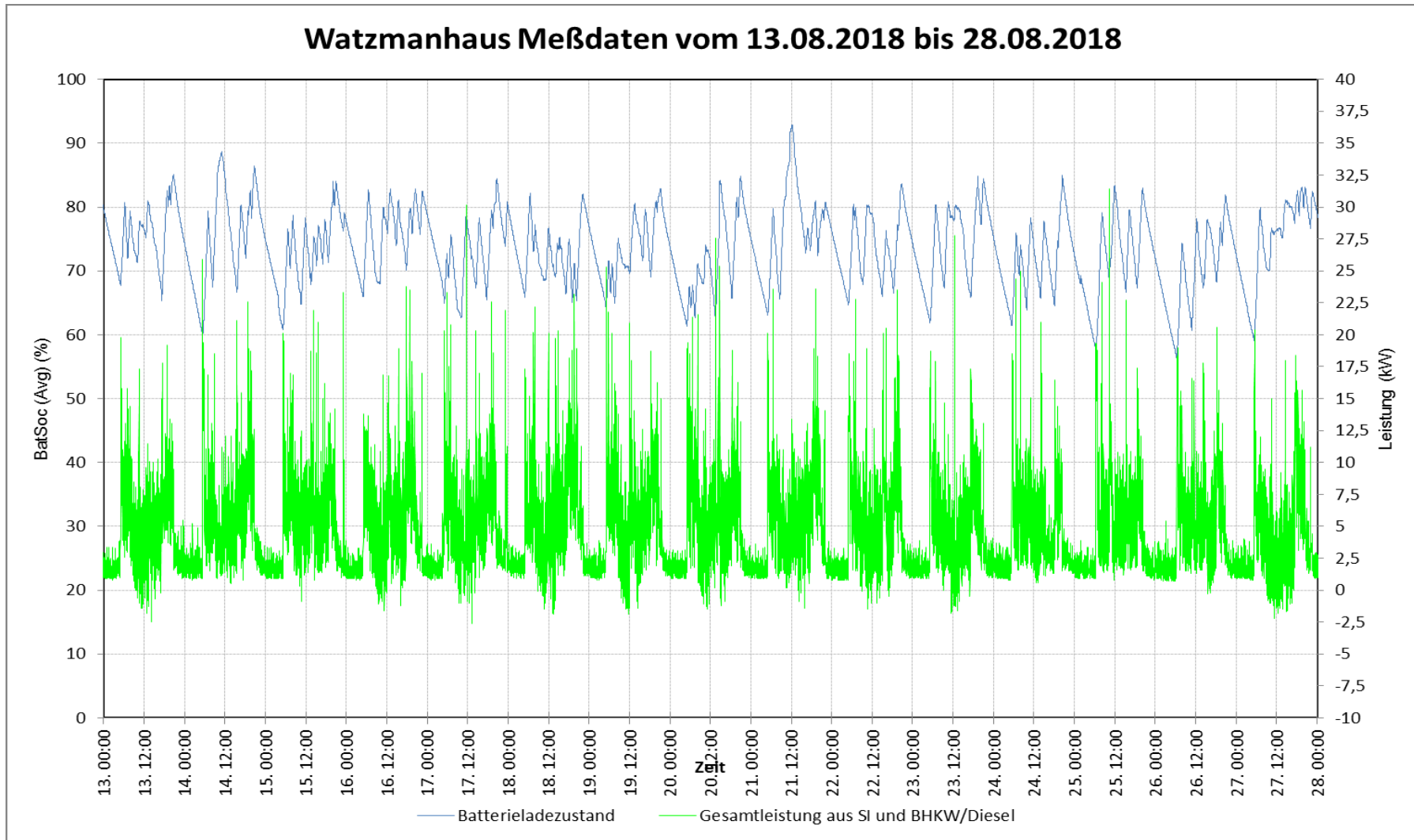


Abbildung 5: Leistungsbedarf elektr. Energie und Batterieladenzustand

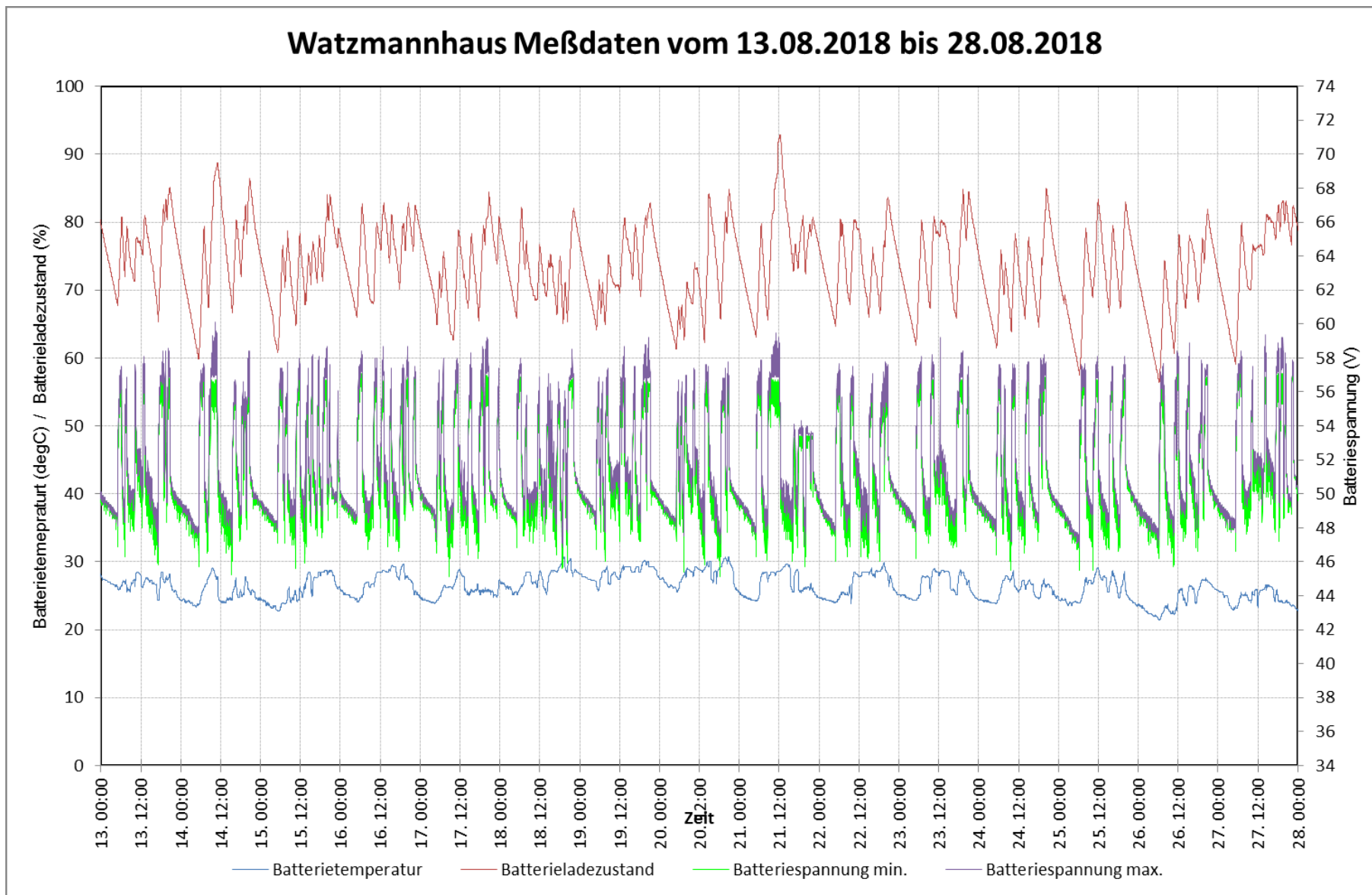


Abbildung 6: Kenndaten der Batterie im August 2018

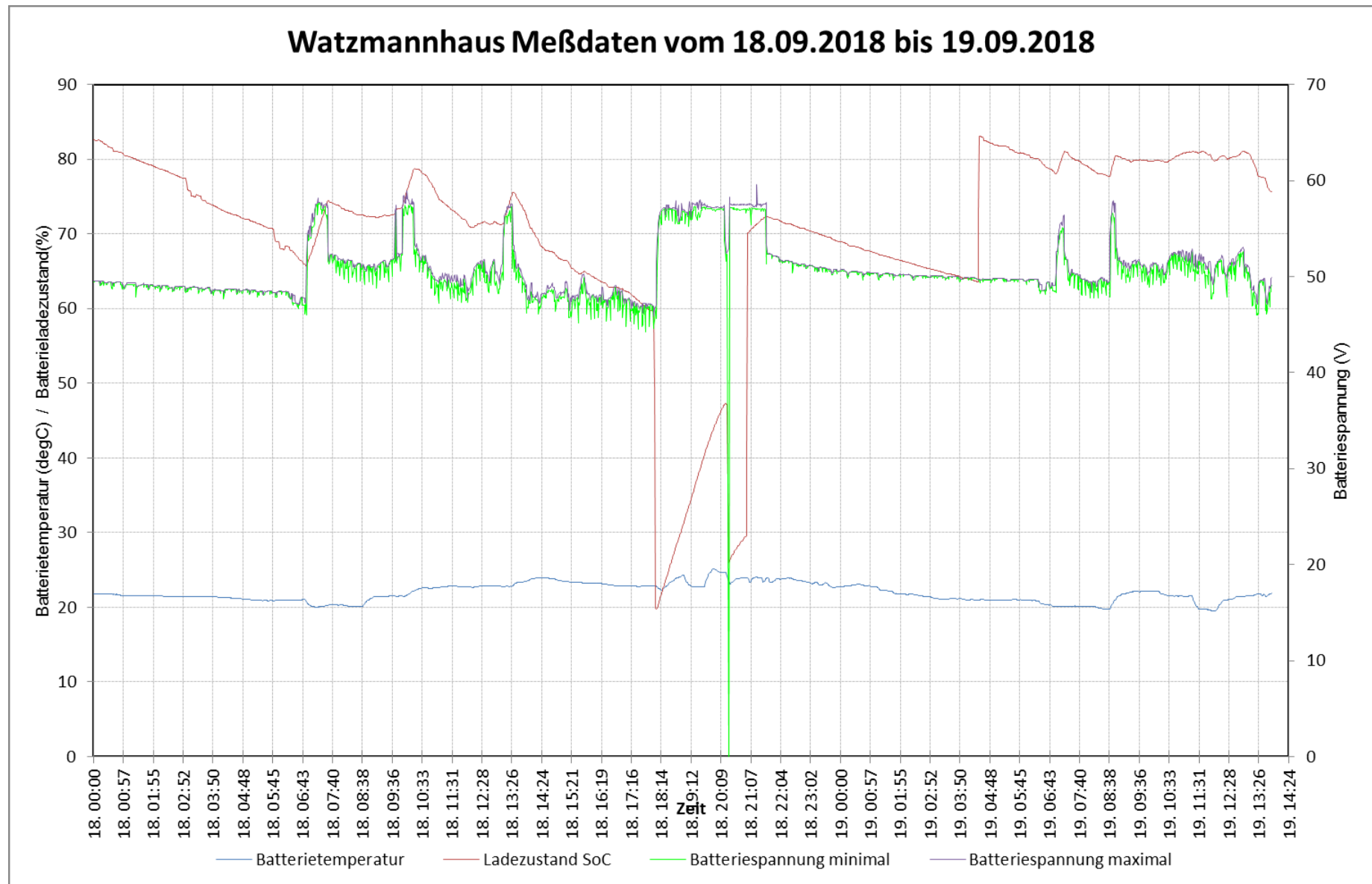


Abbildung 7: Beispiel Spannungseinbruch Batterie mit Korrektursprung von 60% auf 20% SoC

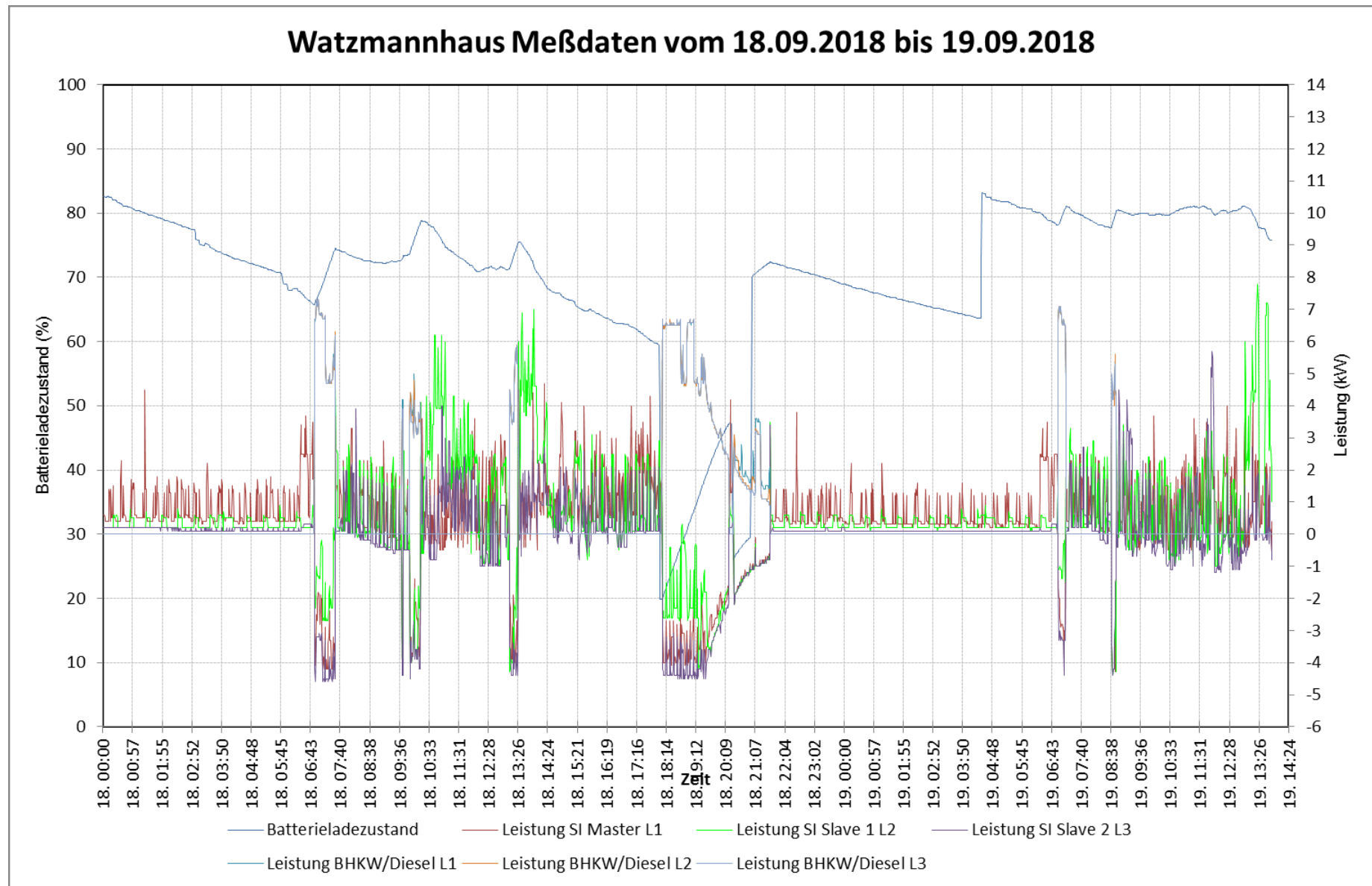


Abbildung 8: Aufteilung des Strombedarfs auf die drei Phasen

9. Anhang 3: Heizwertvergleich und CO₂ Emissionswerte

Ohne Berücksichtigung der Vorketten bei der Förderung, Herstellung und des Transports der Energieträger.

Brennstoff	Umrechnungsfaktor	Brennwert H _s	Heizwert H _i	CO ₂ Emission ²
		kWh/kg	kWh/kg	g/kWh
Diesel	0,83 kg/l	12,6	11,9	266
Heizöl	0,85 kg/l	12,5	11,8	280
Benzin	0,76 kg/l	13,1	12,1	259
Flüssiggas Propan	0,51 kg/l	14,0	12,9	234
Steinkohle			8,8	355
Braunkohle (Brikett)			5,6	450
Holz, trocken, gemischt	600 kg/m ³ 450 kg/m	5,2	4,0	CO ₂ neutral
Rapsöl	0,92 kg/l		10,4	CO ₂ neutral

Mit Berücksichtigung der Vorketten bei der Förderung, Herstellung und des Transports der Energieträger:

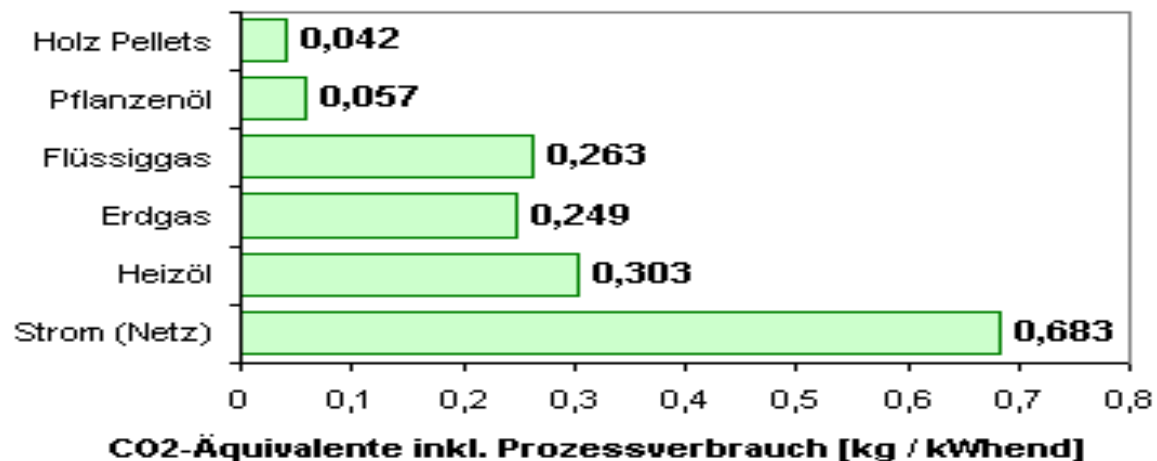


Abbildung 9: CO₂-Äquivalente ermittelt mit GEMIS Version 4.3 vom Institut Wohnen und Umwelt.

² CO₂ Emission nur bezogen auf die Endenergie (Heizwert) bei der Verbrennung. Die der Verbrennung vorgelagerten Prozessketten werden hier nicht in den Vergleich mit aufgenommen, da sich beim Einsatz auf Alpenhütten, durch den sehr unterschiedlichen Transport zur Hütte (Hubschrauber, Materialeiseilbahn, PKW) die gesamten Treibhausgasemissionen durch Bereitstellung und Nutzung nur sehr schwer abschätzen lassen.