

DEMONSTRATION EINES GEBÄUDEÜBERGREIFENDEN PV STROMAUSTAUSCHES

Thomas Nacht¹, Evelyn Hummer¹, Kurt Gschweidl², Franz Kern³, Martin Schloffer¹

¹ 4ward Energy Research GmbH, Reininghausstraße 13a, 8020 Graz, +43 664 88500336, thomas.nacht@4wardenergy.at , www.4wardenergy.at /

² EOS Consulting Services, Sonnleiten 4, 8063 Eggersdorf bei Graz, +43 664 88615210, kurt.gschweidl@eospowersolutions.com

³ W.E.I.Z. Immobilien GmbH, Franz-Pichler-Straße 30, 8160 Weiz, +43 (0) 3172 / 603-0, office@innovationszentrum-weiz.at , www.innovationszentrum-weiz.at

Kurzfassung: Im Fokus dieser Arbeit stehen die Untersuchungen des Projektes *WeizConnected* in der Programmlinie „Haus der Zukunft“, einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Systems für die gebäudeübergreifende Nutzung von PV-Erzeugung. Dieses System zielt darauf ab, eine wirtschaftliche Alternative zur Netzeinspeisung von PV-Überschüssen zu bieten. Der Kern dieser Arbeit liegt in der Umsetzung der entwickelten Technologie, die den Energieaustausch zwischen den beiden Bürogebäuden W.E.I.Z. I und W.E.I.Z. II ermöglicht.

Die relevanten technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen werden durchleuchtet. Aufbauend auf diesen Rahmenbedingungen wird das technische Konzept und die entsprechende Mess- und Regelstrategie dargestellt. Die hinsichtlich der Auswirkungen auf die Spannungsqualität in Abstimmung mit dem Netzbetreiber geprüfte entwickelte Lösung wird beschrieben. Abschließend werden die Ergebnisse aus dem Betrieb der Anlage dargestellt und die Wirtschaftlichkeit des Systems untersucht.

Keywords: Gebäudeübergreifender Stromaustausch, Direktleitung, erneuerbare Energien

1 Einleitung

Der Zubau an Photovoltaik in Österreich ist einer der treibenden Faktoren des Anstiegs erneuerbarer Energieträger. Dabei spielen vor allem kleine und mittelgroße Anlagen eine entscheidende Rolle. Mit Ende 2016 waren in Österreich etwa 1 GW_P installierter PV-Leistung [1], [2] vorzufinden, mit der damit produzierten erneuerbaren Energie lassen sich etwa 2 % des österreichischen Strombedarfs decken. Waren anfangs, aufgrund der vorteilhaften Förderlandschaft, Anlagen mit Volleinspeisung noch wirtschaftlich, ist heute aufgrund sinkender Einspeisetarife [2] aus wirtschaftlicher Sicht von Volleinspeiseranlagen Abstand zu nehmen. Der Trend geht zur Eigennutzung des erzeugten PV-Stroms, dabei sind hier nicht nur ökologische, sondern vor allem auch ökonomische Gedanken im Vordergrund. Bei durchschnittlichen Haushaltsstrompreisen zwischen 18,0 und 22,9 Cent/kWh [3], ist ein Eigenverbrauch der Einspeisung mit Einspeisetarifen zwischen rund 3 und 15 Cent/kWh [4] vorzuziehen.

Die Entwicklung hin zur Steigerung des Eigenbedarfs führte im Jahr 2017 zu einer Novellierung des Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetzes (EIWOG) [5], wodurch eine gemeinsame Nutzung einer Stromerzeugungsanlage durch mehrere NutzerInnen in einem

Gebäude geregelt wird. Was die Novellierung des EIWOGs jedoch noch nicht explizit behandelt, ist die Nutzung von erneuerbarer Stromerzeugung über mehrere Gebäude hinweg.

Um eine technisch, wirtschaftlich und rechtlich anwendbare Lösung zu realisieren, wurde im Rahmen des Projektes *WeizConnected*¹ an der Entwicklung und Erprobung einer Direktleitungslösung zwischen zwei Gebäuden gearbeitet. An zwei Pilotstandorten wurde eine Direktleitung für den Stromtransport zwischen einem Gebäude mit PV-Anlage, welche einen entsprechenden Überschuss erzeugte, und einem Gebäude mit ausreichendem Strombedarf entwickelt und erprobt. Die Komplexität ergibt sich dabei aus der Kombination aus technischen und rechtlichen Anforderungen.

2 Rahmenbedingungen für den Betrieb einer Direktleitung

Für die Errichtung und den Betrieb der Direktleitung gilt es rechtliche und technische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Diese werden im Detail nachfolgend beschrieben.

2.1 Technische und rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtliche Grundlage für die Errichtung und den Betrieb einer Direktleitung ist das Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz (EIWOG) [5] und die entsprechenden Ausführungsgesetze der Länder. Zum Zeitpunkt der Durchführung des F&E-Projektes war die EIWOG-Novelle 2017 noch nicht beschlossen. Für die hier dargestellte Betrachtung gilt die im Projektzeitraum gültige Fassung des EIWOG.

Zusammenfassend lassen sich die folgenden Bedingungen für die Errichtung und den Betrieb einer Direktleitung ableiten:

- (1) Trennung zwischen Direktleitung und öffentlichem Netz: Eine Direktleitung liegt nur dann vor, wenn es keine Verbindung zwischen dem öffentlichen Netz und der Direktleitung gibt. Damit muss sichergestellt sein, dass kein Strom aus dem öffentlichen Netz über die Direktleitung zur Versorgung eines der beiden verbundenen Objekte verwendet werden kann.
- (2) Keine Einspeisung von PV-Überschuss in das öffentliche Netz über die Direktleitung: Es ist sicherzustellen, dass kein PV-Überschuss über die Direktleitung ins öffentliche Netz gelangt. Dadurch soll vermieden werden, dass bei dem/der Kunden/in der über die Direktleitung mit der PV-Anlage verbunden ist, ein Überschuss erfasst wird.
- (3) Die Direktleitung muss durch den Erzeuger betrieben werden: Da das Recht zur Errichtung und zum Betrieb der Direktleitung ausschließlich dem Erzeuger zusteht, muss die Direktleitung auch von diesem betrieben werden.
- (4) Der Betrieb eines Sternnetzes aus Direktleitungen steht nicht im Widerspruch zur berücksichtigten Fassung des EIWOGs: Eine Direktleitung stellt eine elektrische Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen Erzeuger und Verbraucher dar. Dabei gibt der rechtliche Rahmen

¹ Programmlinie „Haus der Zukunft“ – eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

vor, dass stets nur ein Kunde mittels einer Leitung mit der Erzeugungsanlage verbunden sein kann. Es ist rechtlich nicht ausgeschlossen, dass eine Anlage mehrere Direktleitungen mit mehreren Kunden/Innen verbunden ist.

Neben der Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen war für die Entwicklung einer reproduzierbaren Lösung die Einhaltung technischer Rahmenbedingungen von besonderer Relevanz. Selbige wurden in Zusammenarbeit mit dem Netzbetreiber erarbeitet. Es sind für die Realisierung des Direktleitungsansatzes die folgenden Punkte zu berücksichtigen, die sich teilweise aus den rechtlichen Rahmenbedingungen und teilweise aus den Vorgaben des Netzbetreibers, der Energienetze Steiermark ergeben:

- (1) Auf der Verbindungsleitung darf zu keinem Zeitpunkt Netz-Strom vom Energieversorger über die Direktleitung fließen.
- (2) Es darf ausschließlich nur selbst produzierter Photovoltaik-Strom über die Direktleitung transportiert werden.
- (3) Es darf zu keinem Zeitpunkt (auch nicht während der Schaltvorgänge der Zuschaltvorrichtung) zu Netzstörungen kommen.

2.2 Beschreibung des Demonstrators

Als Demonstrator für den Test der Direktleitung werden die beiden Bürogebäude W.E.I.Z. I und W.E.I.Z. II, siehe Abbildung 1, herangezogen. Beide Gebäude befinden sich im Eigentum der W.E.I.Z. Immobilien GmbH. Die Räumlichkeiten sind an unterschiedliche Nutzer, zumeist Gewerbebetriebe, vermietet. Die wesentlichen Detaildaten zu den Demonstrationsanlagen sind in Tabelle 1 dargestellt.



Abbildung 1: Lageplan Pilotprojekt in Weiz

Darstellung anhand von Google Maps

Tabelle 1: Technische Eckdaten zum Demonstrator

Gebäude	WEIZ I	WEIZ II
Relevanter Stromverbrauch	40.000 kWh	10.000 kWh
PV-Kapazität	-	20 kW _P
Batteriespeicher	-	LiFePO ₄ -Speicher 15 kWh

Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau der Versuchsanlage sowie die wesentlichen Bestandteile und vorliegenden Eigentumsverhältnisse.

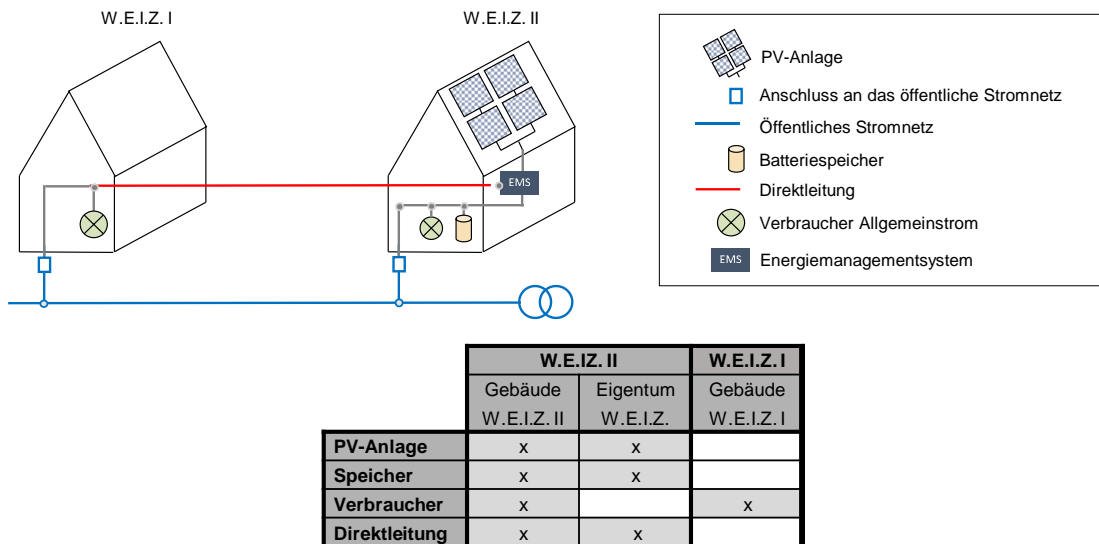


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Demonstrators in Weiz

3 Technische Lösung

Das realisierte technische Konzept wird nachfolgend dargestellt.

3.1 Realisierung der Zuschaltvorrichtung

Das wesentliche Element für den ordnungsgemäßen Betrieb der Direktleitung stellt die Zuschaltvorrichtung, siehe Abbildung 3, dar. Diese stellt sicher, dass die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen beim Betrieb der Direktleitung eingehalten werden.

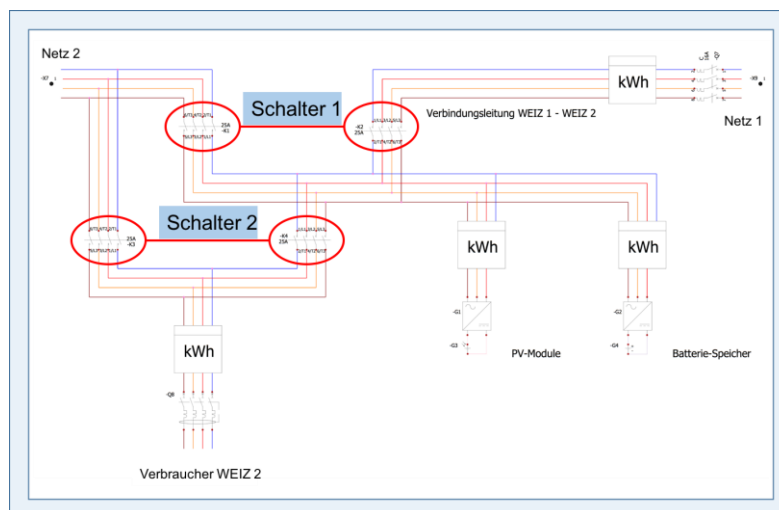


Abbildung 3: Stromlaufplan der Zuschaltvorrichtungen

Die beiden in Abbildung 3 dargestellten Schalteinheiten sind jeweils mit zwei Schützen ausgeführt und werden zum Schalten der Leistungspfade eingesetzt. Die Schütze sind über Hilfskontakte und auch über eine entsprechende Schaltlogik gegeneinander verriegelt, sodass je Schalter immer nur ein Schütz jeweils geschlossen sein kann und es zu keiner Zeit eine direkte Verbindung von Netz 1 und Netz 2 über die realisierte Verbindungsleitung geben kann.

Die Ausführung dieser Umschaltung unter Verwendung von zwei Schalteinheiten liegt in den technischen Anforderungen begründet. Während des kurzen Schaltvorganges der Schütze (Schalter 1) gehen aufgrund einer fehlenden Netzverbindung und gemäß den Richtlinien zur Vermeidung einer Inselbildung im Störfall, die Wechselrichter der PV-Anlage und des Speichers vom Netz. Erst nachdem der Schaltvorgang abgeschlossen und eine stabile Netzverbindung verfügbar ist, gehen PV und Speicher wieder ans Netz. Würde in dem Zeitraum, in dem weder PV noch Speicher ans Netz gekoppelt sind, die Verbraucher von W.E.I.Z. II mit der Direktleitung verbunden sein, würde ein Stromfluss von Anschlusspunkt „Netz 1“ über die Direktleitung zu den Verbrauchern erfolgen. Durch die Verwendung des Schalter 2 und eine verzögerte Schaltung von Schalter 1 und Schalter 2, siehe Abbildung 4, wird sichergestellt, dass es zu keiner Verletzung der Rahmenbedingungen kommt.

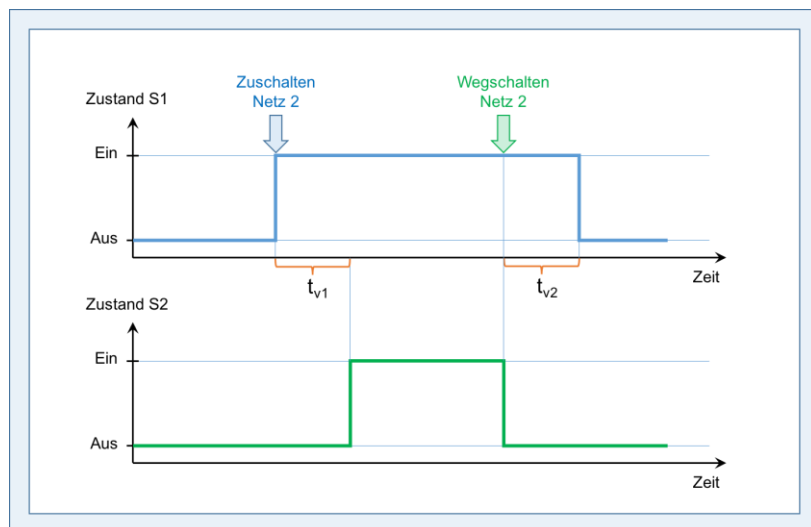


Abbildung 4: Zeitliche Ablaufsteuerung der Umschaltvorgänge über den Energiemanager

3.2 Regelung des Direktleitungsbetriebes

Die Implementierung der Zuschaltvorrichtung bedarf einer entsprechenden Mess- und Regelstrategie, die sicherstellt, dass die Schaltungen zu den richtigen Zeitpunkten erfolgt. Generell gilt, dass solange die PV-Produktion kleiner als der Stromverbrauch von W.E.I.Z. II ist, die Direktleitung offen zu betreiben ist. Erste Überschüsse der PV-Produktion werden in den Batteriespeicher eingespeist. Sobald die Ladung des Speichers abgeschlossen ist, wird die Direktleitung unter Einhaltung der in Abbildung 4 dargestellten zeitlichen Verläufe durchgeführt. Dabei wird der Energiefluss über die Direktleitung ständig gemessen und überwacht, etwaige kurzfristige Leistungseinbrüche der PV-Einspeisung werden unmittelbar durch den Batteriespeicher ausgeglichen. Liegt ein längerer Leistungseinbruch vor, wird die Direktleitung geöffnet.

Während der Nachtstunden wird die verbleibende in der Batterie gespeicherte Energie zur Versorgung des Verbrauches von W.E.I.Z. II genutzt. Erst bei vollständiger Entladung des Speichers wird das Objekt wieder durch Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt.

Die entsprechenden Messungen und Bedingungen für einen Netz- bzw. Direktleitungsbetrieb sind in Abbildung 5 dargestellt.

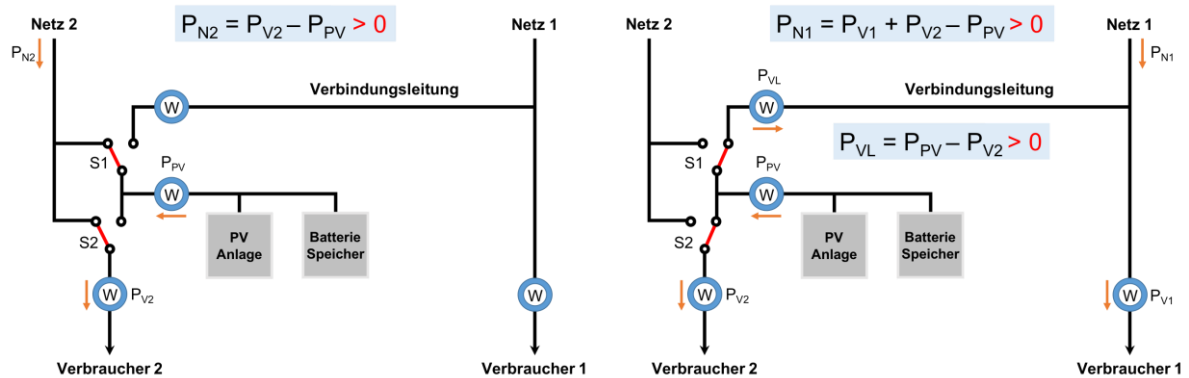


Abbildung 5: Darstellung der Umschaltstrategien für Netzbetrieb W.E.I.Z. II (links) und Direktleitungsbetrieb (rechts)

4 Ergebnisse des Demonstrationsbetriebes

Die Demonstrationsanlage ist seit Jänner 2017 im Betrieb, ein Monitoring-System erfasst dabei alle relevanten Energiewerte und ermöglicht eine entsprechende Auswertung.

4.1 Messungen der Spannungsqualität durch den Netzbetreiber

Um sicher zu stellen, dass im Realbetrieb die Spannungsqualität im Netz durch den Betrieb der Direktleitung nicht beeinträchtigt ist (Auflage Kapitel 2.1), wurden im Zeitraum von Oktober bis November 2017 Messungen der Phasenspannungen durch den Netzbetreiber durchgeführt. In Abbildung 6 sind beispielhaft Messwerte der Phasenspannungen für den 07.10.2017 dargestellt.

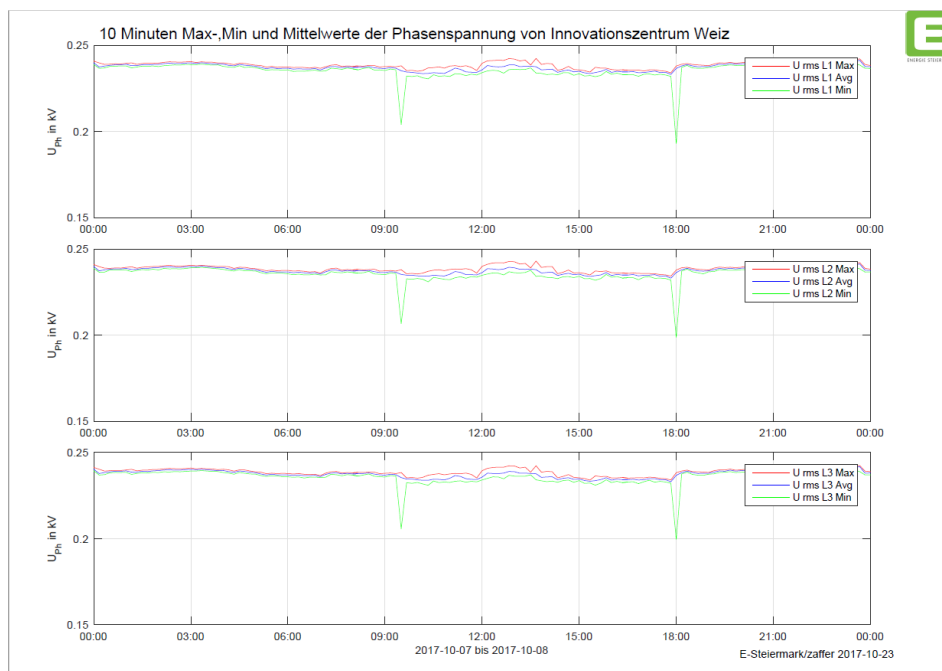


Abbildung 6: Spannungsmessungen am Hausanschluss von W.E.I.Z. II zur Kontrolle der Netzurückwirkungen

Die Darstellung zeigt jeweils die minimalen, maximalen und mittleren Spannungswerte von 10-Minuten-Zeitfenstern. Aus den Messergebnissen wird ersichtlich, dass es beim Ein- und

Ausschalten der Direktleitung zu kurzen Einbrüchen in der Spannungshöhe kommt. Diese zeigen sich jedoch nur bei der Betrachtung der minimal auftretenden Werte. In dem dargestellten Fall finden die Schaltvorgänge um 09:23 und 17:52 statt. Da sich die Spannungsdips weder beim Mittelwert noch beim Maximalwert der Spannung zeigen, ist davon auszugehen, dass die Dips allgemein von kurzer Dauer sind. Die Erfassung der Dauern der Dips zeigt, dass diese zwischen 0,01 und 0,07 Sekunden auftreten, also tatsächlich nur im Moment der Schaltung. Aufgrund der sehr kurzen Dauer der Spannungsdips wurde die Anlage seitens des Netzbetreibers als unbedenklich bewertet und für den Betrieb freigegeben.

4.2 Austausch erneuerbarer Energien über die Direktleitung

Die Errichtung der Direktleitung und deren Betrieb unter Verwendung des Energiemanagementsystem und der Leitungssteuerung ermöglicht einen Austausch großer Anteile der PV-Erzeugung zwischen den beiden Gebäuden. Da die PV-Anlage für das Gebäude W.E.I.Z. II deutlich überdimensioniert ist, führt die Einbindung des Speichers und die Verwendung der Direktleitung zu erheblichen Steigerungen der Eigenverbrauchsrate. Anhand Abbildung 7 lassen sich die Energiequellen zur Deckung des Strombedarfs des Gebäudes W.E.I.Z. II ableiten.

Der niedrige Verbrauchswert im Jänner 2017 lässt sich darauf zurückführen, dass die Messung nicht den gesamten Jänner erfasst hat. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass ein großer Anteil, etwa 52 % (4.266,3 kWh), des Strombedarfs direkt aus der PV-Anlage am Gebäude gedeckt werden kann. Etwa 10 % (842,8 kWh) des Strombedarfs werden indirekt durch PV-Strom im Speicher gedeckt, die restlichen 38 % (3.136,6 kWh) sind Netzbezug. Die Errichtung und der Betrieb der Direktleitung hat mit Ausnahme des damit verbundenen Speicherbetriebs für das Gebäude W.E.I.Z. II keine unmittelbaren Auswirkungen.

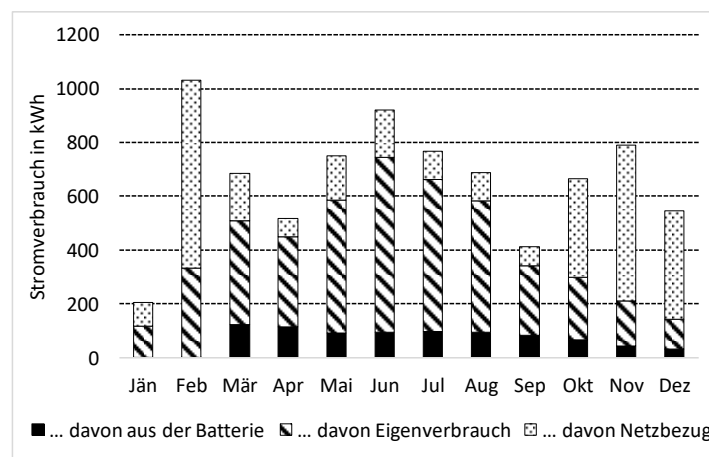


Abbildung 7: Auswertung der Stromverbrauchsmessungen des Gebäudes W.E.I.Z. II

Anders verhält sich die Situation, wenn man die Nutzung der PV-Erzeugung betrachtet, siehe Abbildung 8. Aus der Grafik geht hervor, dass der größte Anteil der PV-Erzeugung über die Direktleitung an das Gebäude W.E.I.Z. I transportiert wurde, in Summe wurden im betrachteten Zeitraum 17.115,1 kWh an PV-Erzeugung über die Leitung transportiert, das entspricht einem Anteil von etwa 76 % der PV-Erzeugung. 1.203,7 kWh, das sind etwa 5 % der erzeugten PV-Energie, wurden in der Batterie gespeichert, die restlichen 4.266,3 kWh wurden direkt zur Deckung des Bedarfs im Gebäude W.E.I.Z. II verwendet. Es lässt sich daher

zeigen, dass sich durch den Batteriespeicher ein Eigennutzungsgrad von etwa 24 % ergibt, durch die Direktleitung wird dieser auf 100 % angehoben. Die gesamte von der PV-Anlage erzeugte Energie wird somit bilanziell und physikalisch vor Ort verbraucht.

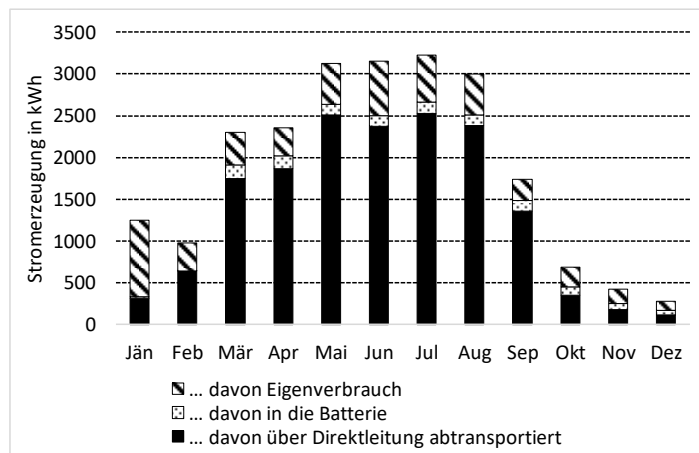


Abbildung 8: Auswertung der Nutzung der PV-Erzeugung

Aus rein technischer Sicht ergibt sich also ein großer Vorteil durch die Nutzung der Direktleitung und des Batteriespeichersystems, da zum einen der durch PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs im Gebäude W.E.I.Z. II, zum anderen die Eigenverbrauchsquote durch Übertragung an das Gebäude W.E.I.Z. I ansteigt.

4.3 Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems

Die beiden Liegenschaften W.E.I.Z. I und W.E.I.Z. II sind im Eigentum der W.E.I.Z. Immobilien GmbH, wodurch sich durch die gesteigerte Nutzung der PV-Erzeugung ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt, da die W.E.I.Z. Immobilien GmbH als Stromabnehmer einen Stromliefervertrag mit dem Energieversorger hat.

Jede durch die Konstellation aus PV-Anlage, Batteriespeicher und Direktleitung nicht aus dem Netz bezogene kWh bedeutet eine theoretische Einsparung von 15,3 cent/kWh. Dem gegenüber stehen die nun nicht mehr vorhandenen Einnahmen aus Überschusslieferungen zu 3 cent/kWh. Bei der Berechnung der Einsparung sind demnach die Verringerung der Einnahmen durch Verzicht auf Überschussenergieverkauf den Kosteneinsparungen durch Verringerung des Netzbezugs gegenzurechnen. In Summe belaufen sich die Einsparungen auf 2.198 € für das Jahr 2017. Die Errichtung und Inbetriebnahme der Direktleitung samt Energiemanagement- und Monitoringsystem verursachte Kosten von € 22.020, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Kostenbestandteile der Direktleitung

	Kosten in €
Speicheranlage	16.980
Energiemanagementanlage	1.840
Strom-Leitung WEIZ II zu WEIZ I	3.200
Baukosten gesamt	22.020

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich um einen Prototypen handelt. Unter den gegebenen Bedingungen beläuft sich die Amortisationszeit bei Verwendung der statischen

Amortisationsrechnung und unter Vernachlässigung von Wartungs- und Reparaturkosten auf ca. 10 Jahre.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die im Projekt *WEIZconnected* entwickelte Lösung einer Direktleitung hat gezeigt, dass die Verteilung von erneuerbarer Energie auch über die Grenzen eines Gebäudes technisch und unter den im Projektzeitraum geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen möglich ist. Das entwickelte System ist über die Verwendung zweier zueinander zeitverzögert eingesetzter Schalter in der Lage, die Einhaltung der Rahmenbedingungen sicherzustellen. Die Einbindung eines Batteriespeichersystems ermöglicht zum einen die Steigerung der Eigenverbrauchsrate des Gebäudes W.E.I.Z. II und zum anderen stellt der Batteriespeicher sicher, dass kurzzeitige Leistungseinbrüche der PV-Anlage nicht zu einem Schalten der Direktleitung führen. Dadurch wird die Anzahl an Schaltvorgängen drastisch reduziert und der Betrieb erst möglich gemacht.

Aus technischer Sicht erfolgte über den Zeitraum von 12 Monaten (01.01.17 bis 31.12.17) ein Austausch von 17.115 kWh an PV-Erzeugung zwischen den beiden Gebäuden. Damit wurde die Eigenverbrauchsquote der PV-Erzeugung von 24 % auf 100 % angehoben. Aus Wirtschaftlicher Sicht ergaben sich über den Versuchszeitraum Einsparungen in der Höhe von 2.198 € die Gesamtkosten für die Errichtung der Direktleitung von € 22.020 gegenüberzustellen sind. Eine erste Abschätzung zeigt eine Amortisationsdauer von ca. 10 Jahren für die Direktleitung.

Die berücksichtigten Rahmenbedingungen beziehen sich auf die rechtliche Situation vor der Novellierung des EIWOGs im Jahr 2017, weshalb für eine Weiterentwicklung des Systems eine neue Bewertung der rechtlichen Situation durchzuführen ist. Auch war die rechtliche und wirtschaftliche Situation in dem hier diskutierten Projekt sehr vorteilhaft, da alle die von der Umsetzung betroffenen Liegenschaften im Eigentum der W.E.I.Z. Immobilien GmbH sind. Für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sind der rechtliche und wirtschaftliche Mehraufwand in anderen Konstellationen zu untersuchen.

Zur Weiterentwicklung der Komponenten und zur Fortführung des technologischen Ansatzes sind auch Lösungen zur sternförmigen Anbindung mehrerer Verbraucher an eine Erzeugungsanlage anzudenken.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Biermayr *u. a.*, „Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2016“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technolog, Wien, Österreich, 13/2017, Mai 2017.
- [2] M. Teoh und V. Liebl, „Leitfaden zu PV-Eigenverbrauchsmodellen“, Photovoltaic Austria, Deliverable des Projektes „PV-Financing“ D4.1, Nov. 2016.
- [3] Selectra Österreich GmbH, „Der Strompreis in Österreich: Kosten, Vergleich und Zusammensetzung“, *Der Strompreis in Österreich | selectra.at*, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://selectra.at/energie/service/strompreis>. [Zugegriffen: 01-Dez-2017].

[4] PV-Austria, „PV-Strom verkaufen: PVA-Plattform für Überschuss-Einspeiser“, *Photovoltaic Austria | Strom verkaufen*, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.pvaustria.at/strom-verkaufen/>. [Zugegriffen: 01-Dez-2017].

[5] Nationalrat, *EIWOG 2010*. 2010.

[6] Bundesministerin für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, *Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2018 – ÖSET-VO 2018*. 2018.