Bericht 20.08.2020

Wärmepumpen und PV – die clevere Kombination

Erkenntnisse aus der Praxis für interessierte Kunden und Installateure

energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Prof. Dr. David Zogg, Smart Energy Engineering GmbH

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Adresse
EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

1 Einführung ... 4

1.1 Warum eignen sich Wärmepumpen speziell zur Eigenverbrauchsoptimierung? ... 4

1.2 Vergleich mit anderen Verbrauchern im Haushalt ... 5

1.3 Wieviel ist der elektrische Strom wert? ... 5

1.4 Was besagen die Kennzahlen? ... 6

1.5 Zusammenhang zwischen Eigenverbrauchsoptimierung und Entlastung des Stromnetzes – Spitzenreduktion ... 7

2 Potential der Wärmepumpe zur Speicherung von thermischer Energie ... 8

3 Betriebsweise von Wärmepumpen ... 9

3.1 Getaktete Wärmepumpen (ein/aus) ... 9

3.2 Inverter-Wärmepumpen (leistungsgeregelt) ... 10

4 Wie funktioniert die Kommunikation zwischen PV und Wärmepumpe? ... 12

4.1 Einbindung über SG-Ready®-Schnittstelle ... 12

4.2 Intelligente Einbindung über IP-Schnittstelle ... 13

4.3 Erfahrung aus der Praxis ... 14

5 Herstellerübersicht ... 14

6 Anhang: Details zur Einbindung ... 15

6.1 SG-Ready®-Schnittstelle ... 15

6.2 Nachrüstung von älteren Wärmepumpen über den EVU-Sperreingang ... 17

6.3 Einbindung über Modbus (TCP) ... 19

6.4 Zukünftige Lösung über SmartGridReady®-Schnittstelle ... 20

1 Einführung

Seit einigen Jahren werden in Neubauten zu 80-95% Wärmepumpen als Heizsystem eingebaut. Auch in Nachrüstungen als Ersatz zu Öl- und Gasheizungen nimmt der Einsatz von Wärmepumpen stetig zu. Viele Kantone haben für den Heizungsersatz ein Förderprogramm, denn durch den Ersatz einer fossilen Heizung durch eine Wärmepumpe wird viel CO2 eingespart. In den anderen Kantonen kann für Wärmepumpen bis 15 kW eine Förderung bei myclimate beantragt werden.

Photovoltaik (PV) wird in der Schweiz auf Bundesebene durch Pronovo gefördert. Die Einmalvergütung für kleine Anlagen (KLEIV) ist für Grössen weniger als 100 Kilowatt, die Einmalvergütung für grosse Anlagen (GREIV) ab 100 Kilowatt. Zusätzlich gibt es Förderprogramme einzelner Kantone, Gemeinden und Energieversorger.

Eigenverbrauch heisst, dass Sie auf Ihrem Dach oder an Ihrer Fassade Solarstrom erzeugen und diesen ohne Umweg über das Stromnetz selbst verbrauchen. Eigenverbrauch lohnt sich, weil der eigenproduzierte Strom für Haushalte günstiger ist als der Strom aus dem Netz. Die Netznutzungskosten fallen für den eigenverbrauchten Storm nicht an. Somit sparen Sie Geld, wenn Sie den Strom vom eigenen Dach nutzen.

1.1 Warum eignen sich Wärmepumpen speziell zur Eigenverbrauchsoptimierung?

Wärmepumpen eignen sich im Zusammenhang mit der **thermischen Speicherung** sehr gut für die Eigenverbrauchsoptimierung. So kann die **Warmwassererwärmung** im Sommer zu 100% aus PV-Strom erfolgen. Aber auch das **Heizen in der Übergangsphase** (Frühling und Herbst) kann möglichst gut auf die PV-Produktion abgestimmt werden. Im Winter wird praktisch der gesamte solare Ertrag in der Wärmepumpe verwendet. Heute haben Wärmepumpen **spezielle Schnittstellen**, mit welchen sie über ein Energiemanagement-System einfach eingebunden werden können. Über diese Schnittstellen können die Wärmepumpen **bei PV-Überschuss gezielt hochgefahren werden** und die Energie tagsüber gespeichert werden. Zudem sind die Wärmepumpen **sehr effizient und sparen Energie über das gesamte Jahr**.

1.2 Vergleich mit anderen Verbrauchern im Haushalt

Wärmepumpen haben im Vergleich zu anderen Geräten im Haushalt einen hohen Verbrauch und lohnen sich deshalb besonders zur Einbindung (siehe Abbildung 2). Die Wärmepumpe arbeitet sehr effizient und nutzt einen grossen Teil der Energie aus der Umgebung (Luft, Erdboden oder Grundwasser). Zudem kann sie die aufgenommene elektrische Energie um den Faktor 3 bis 5 in thermische Energie umwandeln und speichern. Mit wenig Strom wird damit viel Wärme produziert und diese kann in thermischen Speicher für mehrere Stunden bis zu Tage oder in Einzelfällen sogar Wochen gespeichert werden (abhängig von der Grösse). Dazu eignen sich die Warmwasser- und (optional) Pufferspeicher, welche in fast jeder Installation vorhanden sind. Noch grösser ist das Speicherpotential des Gebäudes selbst, so kann die thermische Masse des Gebäudes viel Energie aufnehmen und bei guter Dämmung entsprechend über Tage speichern. Dies ist mit einer kleinen Temperaturerhöhung möglich, was die Effizienz der Wärmepumpe nochmals erhöht.

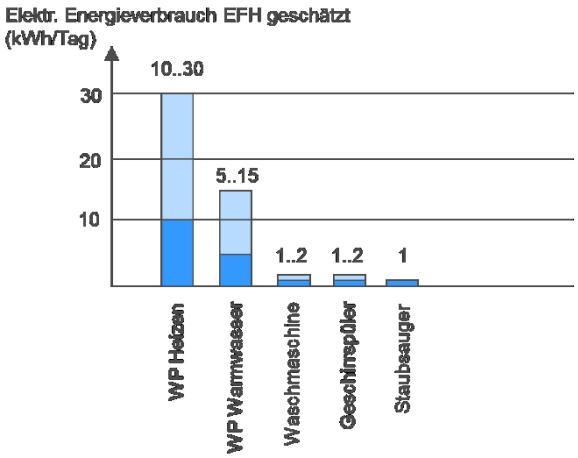

Abbildung 1: Typische Verbräuche verschiedener Verbraucher in einem Haushalt.

Durch die grossen Speicherkapazitäten im Gebäude können die Betriebszeiten der Wärmepumpe gut und kostengünstig geschoben werden, zudem ohne Komfortverluste. Damit ist ein flexibles Lastmanagement möglich, also eine gezielte Verschiebung des Betriebs in die Zeiten der PV-Stromproduktion. Die Wärmepumpe eignet sich auch für die externe Ansteuerung durch den Energieversorger zur Entlastung des Stromnetzes in Hochlastzeiten.

1.3 Wieviel ist der elektrische Strom wert?

Leider bekommt man heute für das Einspeisen von Strom ins elektrische Netz oft nur noch eine tiefe Vergütung. Deshalb kommt das Gefühl auf, der Strom sei «nichts wert». Das stimmt aber physikalisch gar nicht. Der Strom ist die wertvollste Energieform, welche wir kennen, denn sie lässt sich zu 100% in alle anderen Energieformen umwandeln. Man spricht deshalb von reiner «Exergie». Der Strom sollte also nicht «verschwendet» werden, speziell, wenn er solar erzeugt wird. Mit sauberem Solarstrom soll zudem ermöglicht werden, dass weniger Strom aus jenen Kraftwerken kommt, welche die Umwelt stark belasten.

Die Wärmepumpe ist die effizienteste Art, den elektrischen Strom in Wärme zu wandeln. Sie ist gegenüber ineffizienten «Stromvernichtern» wie Elektroeinsätzen oder Elektro-Direktheizungen prinzipiell zu bevorzugen. Der überschüssige Solarstrom sollte also nicht durch ineffiziente Systeme lokal «vernichtet» werden, sondern sinnvoll genutzt werden oder ins Netz eingespeist werden, damit auch andere Nutzer von der erneuerbaren Energie profitieren können

Und weil Strom so wertvoll ist und ein einzelnes PV Modul im Vergleich zur Gesamtinstallation wenig kostet, macht es Sinn, die zur Verfügung stehende Dachfläche nicht auf den aktuellen Eigenverbrauch hin zu dimensionieren, sondern technisch sinnvoll auszunutzen. Die Kosten für die Elektroinstallation (Arbeit), Wechselrichter, Verkabelung und Anschlussarbeiten fallen stärker ins Gewicht, als die einzelnen Solarzellen. Nicht selber verwendeter Strom muss vom Elektrizitätsunternehmer abgekauft werden. Und vielleicht bessert sich in den nächsten Jahren die Wirtschaftlichkeit von Stromspeichern oder ein Elektroauto kommt als neuer Stromkonsument ins Haus.

1.4 Was besagen die Kennzahlen?

Folgend werden die wichtigsten Kennzahlen im Zusammenhang mit der Eigenverbrauchsoptimierung kurz erläutert.

Eigenverbrauchsquote: Die Eigenverbrauchsquote ist das Verhältnis von direkt selbst verbrauchtem PV-Strom zur gesamten Photovoltaik-Produktion.

Autarkiegrad: Der Autarkiegrad setzt den selbst verbrauchten Photovoltaik-Strom dagegen ins Verhältnis zum gesamten Strombedarf des Gebäudes und ist somit ein Mass für die Unabhängigkeit vom öffentlichen Stromnetz

Netzaufwandszahl: Diese setzt den Netzbezug ins Verhältnis zur gesamten, im Haushalt benötige Elektrizität.

Effizienz. Die Effizienz stellt die Nutzenergie in Bezug auf den Energieeinsatz dar, bei Wärmepumpen ist dies die Jahresarbeitszahl. Die Effizienz sollte auch bei eigenverbrauchsoptimierten Systemen immer im Fokus bleiben, speziell im Winter, wenn wenig Sonne vorhanden ist.

Die Steigerung der Eigenverbrauchsquote ist so lange ökonomisch wie ökologisch sinnvoll, solange der Strom sinnvoll verwendet wird. Ist dies gegeben, so verbessert sich gleichzeitig der Autarkiegrad und die Netzaufwandzahl.

In Abbildung 2 sind die Zusammenhänge zwischen Eigenverbrauch, Autarkie sowie der Effizienz für den Sommer- und Winterfall dargestellt. Im Sommerfall ist das primäre Ziel ein hoher Autarkiegrad bis zu 100% mit einem effizienten System (Bild oben rechts). Dies kann dank der hohen PV-Produktion und geschicktes Schieben der Warmwasserproduktion durch die Wärmepumpe in die Produktionszeit i.d.R. einfach bewerkstelligt werden. Der Eigenverbrauchsgrad sinkt jedoch bei hoher PV-Überproduktion. Ein ineffizienter Verbraucher würde nun den Eigenverbrauchsgrad erhöhen, jedoch kann dies wiederum zu Netzbezug führen (Bild oben links).

Im Winterfall ist die PV-Produktion wesentlich tiefer, an nebligen Tagen im Mittelland kann diese sogar praktisch auf null sinken. Effiziente Systeme wie Wärmepumpen haben dann einen klaren Vorteil, weil sie wesentlich weniger Netzbezug benötigen (Bild unten rechts). Deshalb muss darauf geachtet werden, dass die Gebäude gut gedämmt sind und effiziente Wärmepumpen-Heizsysteme verwendet werden. Ineffiziente Verbraucher würden im Winter den Netzbezug

unnötig in die Höhe treiben (Bild unten links), insbesondere sollten im Winter keine Elektro-Heizstäbe oder -Direktheizungen verwendet werden!

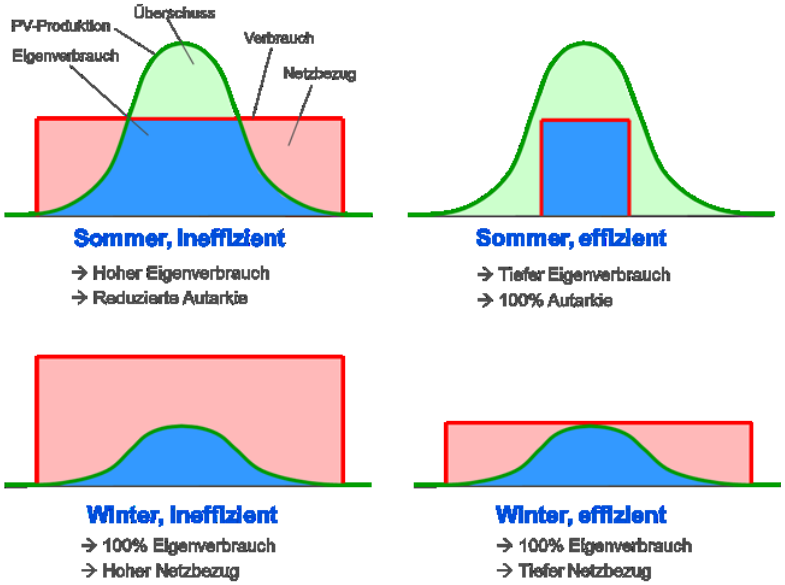

Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Eigenverbrauch, Autarkie und Effizienz für verschiedene Jahreszeiten

1.5 Zusammenhang zwischen Eigenverbrauchsoptimierung und Entlastung des Stromnetzes – Spitzenreduktion

Prinzipiell macht es auch aus Sicht des Stromnetzes Sinn, den Eigenverbrauch zu optimieren. Durch den lokalen, gleichzeitigen Verbrauch wird das Stromnetz generell entlastet. Allerdings führt eine Eigenverbrauchsoptimierung nicht automatisch zu einer Reduktion der Bezugs- und Einspeisespitzen, wie Abbildung 3 aufzeigt. Bild oben links zeigt den Fall einer reinen Eigenverbrauchsoptimierung mit einem variabel ansteuerbaren Verbraucher (z.B. regelbarer Elektroeinsatz für Boiler oder Akku). Der Verbraucher fährt optimal der Produktionskurve nach, bricht jedoch den Betrieb kurz vor der Produktionsspitze ab (Speicher voll). Diese Situation ist für das Stromnetz nicht von Vorteil, da eine hohe Einspeisespitze mittags entsteht.

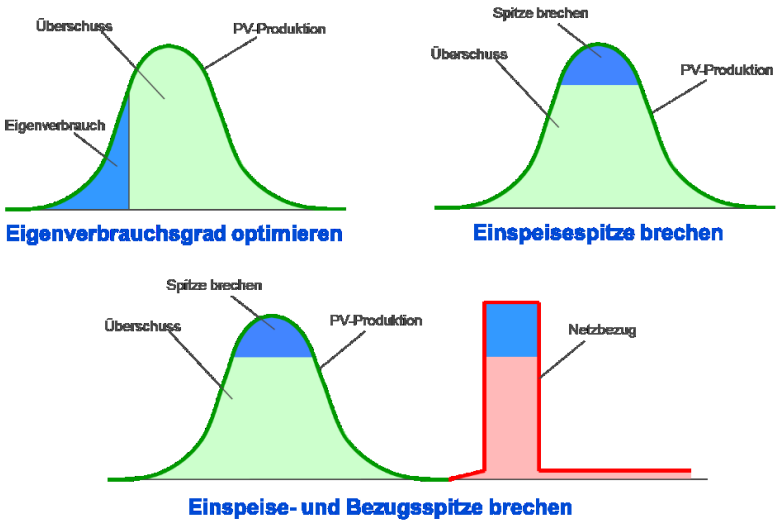

Abbildung 3: Eigenverbrauchsoptimierung vs. Spitzenbrechung

Bild oben rechts auf Abbildung 3 zeigt den günstigeren Fall für das Stromnetz. Hier wird der Überschuss ab einem vorher berechneten Niveau gebrochen. Durch die gezielte Ansteuerung des variablen Verbrauchers wird die Einspeisespitze gebrochen.

Die Grafik unten auf Abbildung 3 zeigt den Fall mit einem ungünstig hohen Verbraucher, welcher in der Nacht zugeschaltet wird. Dermassen hohe Verbrauchspeaks ausserhalb der Produktionszeiten sollten möglichst vermieden werden oder zumindest die Bezugsspitze reduziert werden.

2 Potential der Wärmepumpe zur Speicherung von thermischer Energie

Die Wärmepumpe eignet sich sehr gut zur Speicherung von thermischer Energie. Folgend werden das Speicherpotential sowie die Kosten grob abgeschätzt und mit elektrischen Speichern verglichen. Abbildung 4 zeigt die Situation für ein Einfamilienhaus (EFH). Der weitaus grösste thermische Speicher ist das Gebäude selber. Bei einem Massivbau mit hohem Beton- oder Steinanteil können bis zu 60 kWh an thermischer Energie gespeichert werden bei 3°C Temperaturanstieg der Speichermasse (es gilt ca. 20 kWh pro 1°C Temperaturerhöhung). Durch die Nutzung des Gebäudes als Speichermasse entstehen keine zusätzlichen Investitionskosten und das Gebäude kann beliebig häufig aufgeheizt und abgekühlt werden, ohne Schaden zu nehmen. Auch die technischen Speicher wie Warmwasserspeicher und Pufferspeicher eignen sich gut für die thermische Speicherung. Allerdings ist das Potential mit 10 bis 20 kWh wesentlich geringer. Falls die Speicher in normaler Grösse dimensioniert werden, entstehen hier auch keine Zusatzkosten und die Speicher können beliebig oft thermisch geladen und entladen werden.

Anders sieht die Situation bei den elektrischen Speichern aus. Diese sind mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden und haben eine begrenzte Lebensdauer bzw. Zyklenzahl (hier grobe Annahmen, welche je nach Speichertyp variieren können). Zudem ist die Ökobilanz von heutigen Li-Ionen-Akkus noch nicht optimal. Auf der anderen Seite können heutige Elektrofahrzeuge eine

enorm hohe Speicherkapazität bis zu 80 kWh oder mehr aufweisen im Gegensatz zu den relativ kleinen stationären Batteriespeichern (üblicherweise bis 10 kWh für EFH). Speziell die stationären Batteriespeicher sind mit hohen Investitionskosten verbunden und lohnen sich unter den heutigen Energiepreisen nicht.

Bei den Zusammenstellungen ist zu beachten, dass eigentlich die elektrische Energie in Batteriespeichern nicht direkt mit der thermischen Energie im Warmwasser oder Gebäude verglichen werden darf. Thermodynamisch ist die elektrische Energie hochwertiger (reine «Exergie»). Über Wärmepumpen kann elektrische in thermische Energie umgewandelt werden ca. mit einem Faktor von drei bis fünf (COP).

Speicher	Kapazität	Entspricht Anzahl stationärer Batterien	Zusatzkosten Installation gebäudeseitig	Anzahl Ladezyklen
Gebäudemasse (Beton Massivbau)	ca. 60 kWh (bei 3°C Temperatur-anhebung)		keine	beliebig
Warmwasser-Speicher	10..20 kWh		keine	beliebig
Batteriespeicher im Elektromobil	20..80 kWh		ca. 1'000 CHF (Ladestation)	ca. 5'000
Batteriespeicher stationär	10 kWh		ab 10'000 CHF	ca. 5'000

Abbildung 4: Geschätztes Potential und grobe Investitionskosten von thermischer und elektrischer Speicherung ein einem Einfamilienhaus (Massivbau)

3 Betriebsweise von Wärmepumpen

Die leistungsgeregelten Wärmepumpen haben für die PV-Anbindung einen klaren Vorteil, weil sie besser an die Produktion angepasst werden können. Dieser Abschnitt zeigt die unterschiedliche Betriebsweise von getakteten (konventionellen) und leistungsgeregelten Wärmepumpen.

3.1 Getaktete Wärmepumpen (ein/aus)

Die getakteten Wärmepumpen können nur ein- oder ausgeschaltet werden, was in Abbildung 5 dargestellt ist. Die elektrische Leistungsaufnahme ergibt sich dann aus der aktuellen Quellen- und Senkentemperatur (Vorlauftemperatur) und kann nicht direkt beeinflusst werden. Eine Abstimmung auf die PV-Produktion ist also nicht vollständig möglich. Trotzdem kann der Betrieb möglichst gut in den Tag geschoben werden, so dass der Eigenverbrauch möglichst optimiert wird.

In Abbildung 5 oben ist der Sommerfall dargestellt, bei welchem nur Warmwasser erwärmt wird (BWW = Brauchwarmwasser). Die Warmwasseraufbereitung kann ganz einfach auf den Tag geschoben werden, indem auf dem Wärmepumpenregler das Zeitprogramm für Warmwasser auf den Tag gesetzt wird (möglichst in die Zeiten der PV-Produktion). In der Abbildung unten ist der Winterfall dargestellt, bei welchem die PV-Produktion wesentlich tiefer ist. Hier entstehen nachts Heizzyklen, welche aufgrund der tiefen Aussentemperatur nicht vermieden werden können. Die Heizzyklen am Tag können jedoch durch eine intelligente Regelung in die Produktion geschoben werden.

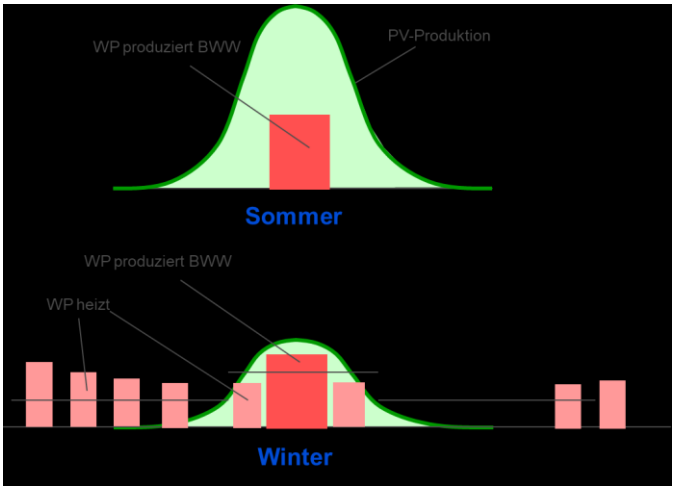

Abbildung 5: Betriebsweise von getakteten Wärmepumpen (ein/aus).

3.2 Inverter-Wärmepumpen (leistungsgeregelt)

Inverter-Wärmepumpen können über eine variable Drehzahl in der Leistung geregelt werden, was in Abbildung 6 dargestellt ist. Die elektrische Leistungsaufnahme kann dann zusätzlich über die Verdichterdrehzahl beeinflusst werden. Eine Abstimmung auf die PV-Produktion ist also besser möglich als bei taktenden Wärmepumpen.

Auch hier kann die Warmwasseraufbereitung kann ganz einfach auf den Tag geschoben werden (Abbildung 6 oben), wobei zusätzlich noch die elektrische Aufnahmeleistung beeinflusst werden kann (Höhe des roten Balkens). Im Winterfall ist die Heizleistung variabel und nachts dem Bedarf angepasst (Abbildung 6 unten). Tagsüber kann die Leistung variabel angehoben werden, um eine bessere Deckung mit der PV-Produktion zu bekommen. Dies ist nur mit einer intelligenten Regelung möglich.

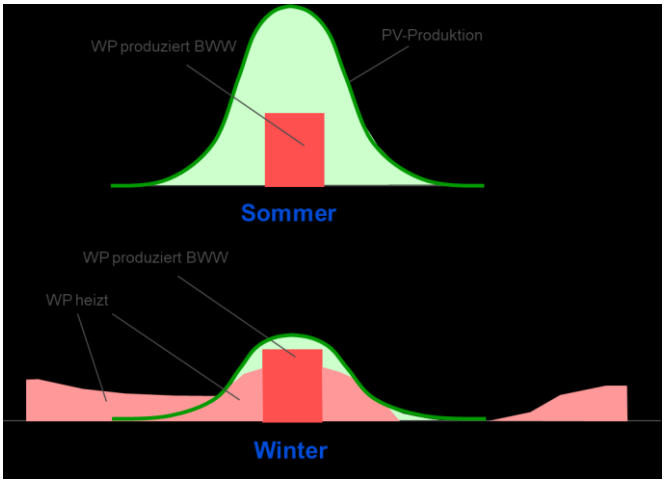

Abbildung 6: Betriebsweise von leistungsgeregelten Wärmepumpen (variabel).

Im Sommer können Wärmepumpen mit Erdsonden zudem genutzt werden, um das Gebäude über sogenanntes «Natural Cooling» oder «Geocooling» leicht zu kühlen. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass das Erdreich im Sommer wieder leicht regeneriert wird.

4 Wie funktioniert die Kommunikation zwischen PV und Wärmepumpe?

Für die Kommunikation zwischen Wärmepumpen und PV Anlage braucht es ein Wechselrichter mit integriertem Eigenverbrauchsmanagement oder ein separater Eigenverbrauchsmanager.

Wärmepumpen können prinzipiell über verschiedene Schnittstellen eingebunden werden. Die folgende Tabelle gibt eine kurze Übersicht:

Schnittstelle	**Vorteile**	**Nachteile**
EVU-Sperreingang	In jeder WP vorhanden.	WP kann nur gesperrt werden, Komfortüberwachung notwendig.
SG-Ready	Einfache Ansteuerung in 4 Stufen, heutiger «Standard».	Potential abhängig von den Einstellungen herstellerseitig.
Modbus / IP	Flexible Ansteuerung mit variablen Sollwerten.	Herstellerspezifische Lösungen.
SmartGridReady	Zukünftiger Standard für intelligente Ansteuerung.	Erst ab 2021 erste Geräte verfügbar.

4.1 Einbindung über SG-Ready®-Schnittstelle

Aktuelle Wärmepumpen verfügen heute über eine SG-Ready®-Schnittstelle, welche vom Bundesverband Wärmepumpen Deutschland 2013 definiert wurde (Link). Diese Schnittstelle ist entweder bereits eingebaut oder sie kann optional ausgerüstet werden. Falls die SG-Ready®-Schnittstelle verwendet wird, muss unbedingt bereits bei der Ausschreibung/Offerte (Beschaffung) der Wärmepumpe darauf geachtet werden, dass das SG-Ready-Label vorhanden ist und die entsprechende Option eingebaut ist.

Obwohl die Schnittstelle ursprünglich für die Ansteuerung durch den Energieversorger im Interesse einer besseren Netzintegration (speziell in Deutschland) entwickelt wurde, wird sie heutzutage vor allem zur Eigenverbrauchsoptimierung verwendet. Dabei können vier Betriebszustände genutzt werden, um die Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben bzw. sie einschalten zu lassen bei genügend lokaler PV-Produktion.

Abbildung 7 zeigt das Prinzip der Einbindung über einen Energie- bzw. Eigenverbrauchsmanager (E-Manager), welcher die Wärmepumpe über die SG-Ready-Schnittstelle ansteuert.

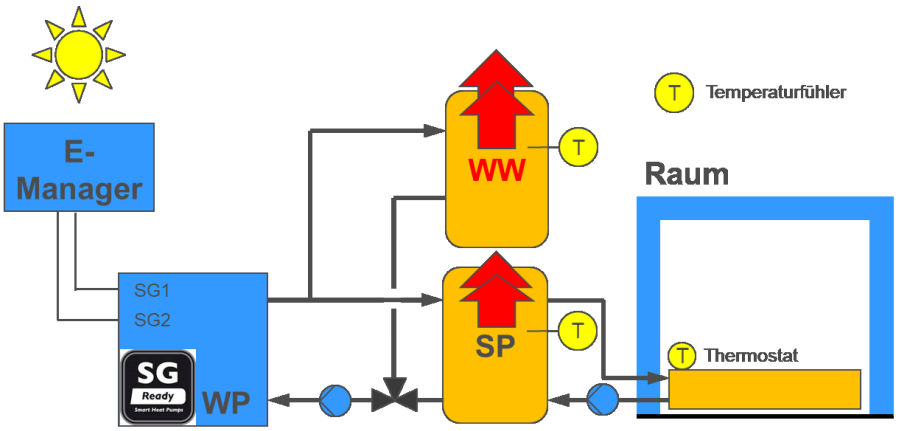

Abbildung 7: Einbindung einer Wärmepumpe (WP) über die SG-Ready-Schnittstelle (SP = Pufferspeicher, WW = Warmwasserspeicher, SG1 = SG-Ready-Kontakt 1, SG2 = SG-Ready-Kontakt 2).

Detaillierte Informationen zur Einbindung über SG-Ready und Hinweise für Installateure finden Sie im Anhang, Abschnitt 6.1.

4.2 Intelligente Einbindung über IP-Schnittstelle

In Zukunft wird obige Schnittstelle durch eine intelligente Lösung mit bidirektionaler Kommunikation über LAN (Local Area Network) abgelöst. Erste Hersteller unterstützen bereits Anbindungen über «Modbus», zudem ist ein neuer Standard «SmartGridReady» in Vorbereitung. Diese Schnittstellen haben insbesondere bei Inverter-Wärmepumpen einen Vorteil, um der PV-Produktion und dem Bedarf leistungsgeregelt nachfahren zu können.

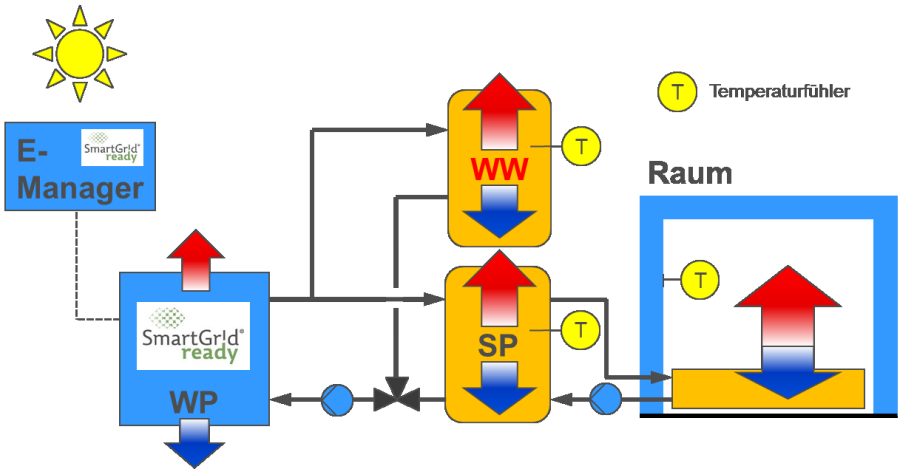

Abbildung 8: Einbindung einer Wärmepumpe über eine SmartGridReady-Schnittstelle

Detaillierte Informationen zur intelligenten Einbindung und Hinweise für Installateure finden Sie im Anhang, Abschnitte 6.3 (Modbus) und 6.4 (SmartGridReady).

Einbindungen über bidirektionale Schnittstellen verfügen über ein sehr hohes Potenzial zur optimalen Lastschiebung und für dynamische Anpassungen. Die Einbindung ist heute noch nicht standardisiert und daher anspruchsvoller. Je grösser die Anlage, desto höher auch die

Einsparung, die durch die Ansteuerung erreicht werden kann. Bidirektionale Schnittstellen werden sich mit hoher Wahrscheinlich zukünftig durchsetzen.

4.3 Erfahrung aus der Praxis

Abbildung 9 zeigt einen Jahresvergleich von verschiedenen Systemen mit SG-Ready® und intelligenter Einbindung. Die höchsten solaren Deckungsgrade sind mit intelligenter Einbindung erzielbar (grüne Balken). Zudem wurde bei diesem System eine laufende Betriebsoptimierung durchgeführt. Die Kombination mit Elektromobilität erhöht zudem den Eigenverbrauch im Sommer. Auch das solare Kühlen im Sommer steigert den Eigenverbrauch und wird in Zukunft vermehrt eine Thematik sein.

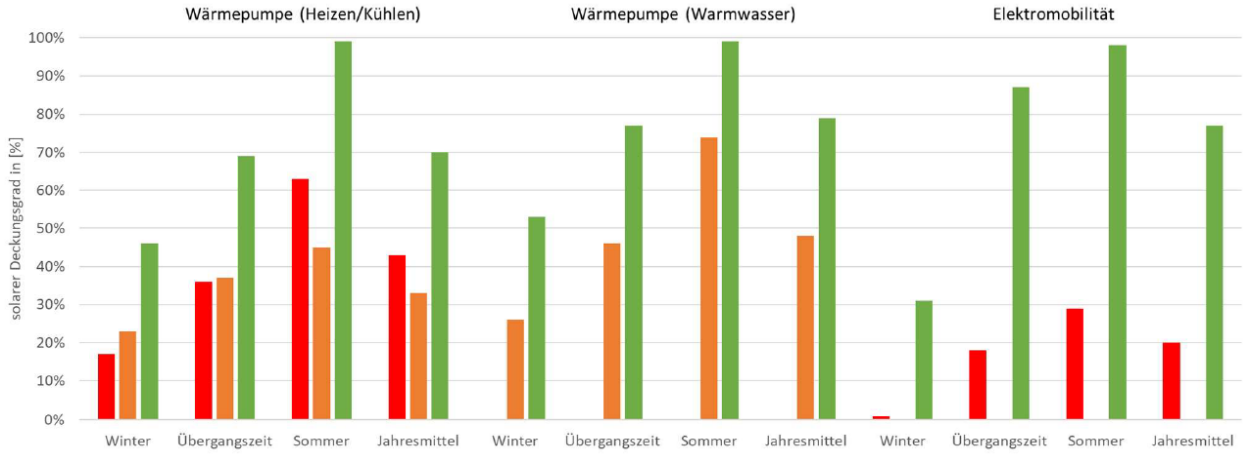

Abbildung 9: Vergleich verschiedener Systeme mit SG-Ready® (rot, orange) und intelligenter Einbindung (grün) in Kombination mit Elektromobilität aus dem Jahre 2019 (Quelle: Diplomarbeit Hr. Fercher 2020, FHNW).

Dieselbe Untersuchung hat gezeigt, dass mit einfachen Systemen ohne spezielle Betriebsoptimierung Steigerungen des jährlichen Autarkiegrades um ca. 5% drin liegen. Mit intelligenten Systemen und laufender Betriebsoptimierung liegen Steigerungen bis ca. 15% drin.

Die Erfahrung mit den ersten Installationen aus der Praxis zeigt klar, dass eine seriöse Inbetriebnahme der Systeme mit vollständigem Test der Optimierungsfunktionen zwingend notwendig ist. Zudem wird eine laufende Betriebsoptimierung mit Nachstellung der Parameter empfohlen. So kann aus einem gegebenen System viel mehr herausgeholt werden. Nicht zuletzt ist der Kunde mit seinem Verhalten ein wesentlicher Faktor. Ein sensibilisierter Kunde kann sein System selbst optimieren. Dank modernen Visualisierungsmöglichkeiten der Energiedaten in Echtzeit ist dies heutzutage einfach möglich.

5 Herstellerübersicht

Fast alle Wärmepumpenhersteller liefern heute Systeme, welche zur Anbindung an Photovoltaik geeignet sind. Eine aktuelle Übersicht von Herstellern und Schnittstellen finden Sie in dieser Tabelle (Link).

6 Anhang: Details zur Einbindung

6.1 SG-Ready®-Schnittstelle

Moderne Wärmepumpen verfügen heute über eine SG-Ready®-Schnittstelle, welche vom Bundesverband Wärmepumpen Deutschland 2013 definiert wurde (Link). Diese Schnittstelle ist entweder bereits eingebaut oder sie kann optional ausgerüstet werden. Bei der Beschaffung der Wärmepumpe muss unbedingt darauf geachtet werden, dass das SG-Ready-Label vorhanden ist und die entsprechende Option eingebaut ist (Abbildung 10).

Abbildung 10: SG-Ready-Label von bwp (Bundesverband Wärmepumpe Deutschland).

Die SG-Ready-Schnittstelle wurde ursprünglich entwickelt mit dem Hauptziel, das Stromnetz zu entlasten. Über die Schnittstelle sollten Energieversorger die Wärmepumpen zum Lastmanagement verwenden können. Dazu wurden im Wesentlichen folgende 4 Zustände definiert:

- **Betriebszustand 1 «Sperrung»** (Klemmenlösung 1:0). «Harte» Sperrung der Wärmepumpe, gleiche Funktion wie die frühere «EVU-Sperre».
- **Betriebszustand 2 «Freigabe»** (Klemmenlösung 0:0). Normalbetrieb der Wärmepumpe, gleiche Funktion wie frühere «EVU-Freigabe».
- **Betriebszustand 3 «Wunsch»** (Klemmenlösung 0:1). «Verstärkter Betrieb» für Raumheizung und Warmwasserbereitung, kein definierter Anlaufbefehl, sondern nur «Einschaltempfehlung» mit Anhebung.
- **Betriebszustand 4 «Zwang»** (Klemmenlösung 1:1). Definitiver Anlaufbefehl, sofern möglich. Entweder über aktive Einschaltung des Verdichters und/oder der elektrischen Zusatzheizung. Dabei können höhere Temperaturen in den Wärmespeichern gefahren werden.

Obwohl die Schnittstelle ursprünglich für die Energieversorger (speziell in Deutschland) entwickelt wurde, wird sie heutzutage vor allem zur Eigenverbrauchsoptimierung verwendet. Dabei können die Betriebszustände genutzt werden, um die Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben bzw. sie einschalten zu lassen bei genügend lokaler PV-Produktion.

Abbildung 11 zeigt das Prinzip der Einbindung über einen Energie- bzw. Eigenverbrauchsmanager (E-Manager), welcher die Wärmepumpe über die SG-Ready-Schnittstelle ansteuert. Dabei werden zwei Klemmen verwendet, welche je über einen potentialfreien Kontakt angesteuert werden mit dem Bitcode 1:0, 0:0, 0:1, 1:1 gemäss Klemmenlösung oben. Als alternative Schnittstelle kann in

modernen Wärmepumpen auch Modbus® verwendet werden, um die Betriebszustände digital zu schalten.

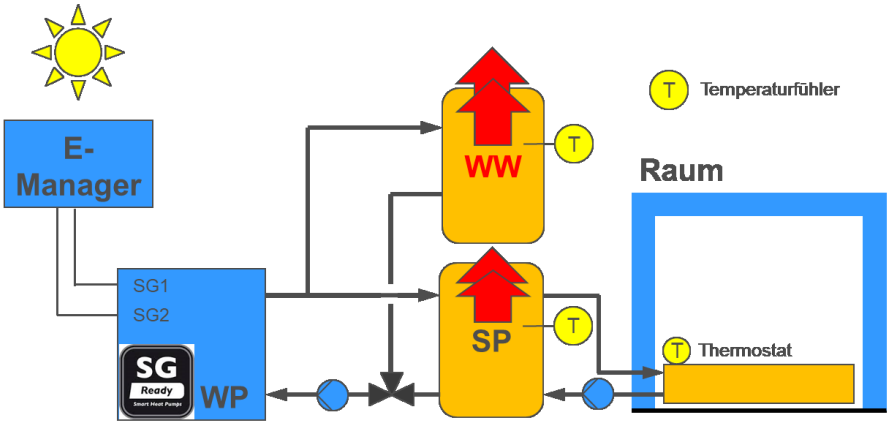

Abbildung 11: Einbindung einer Wärmepumpe (WP) über die SG-Ready-Schnittstelle (SP = Pufferspeicher, WW = Warmwasserspeicher, SG1 = SG-Ready-Kontakt 1, SG2 = SG-Ready-Kontakt 2).

Die Wirkung auf das System ist im stark vereinfachten Hydraulikschema (Abbildung 11) mit Pfeilen dargestellt. Dabei bedeuten die roten Pfeile nach oben eine Temperaturanhebung der beiden technischen Speicher im System. So kann sowohl der Warmwasserspeicher (WW) wie auch der Pufferspeicher (SP) für den Heizkreis bei PV-Überschuss gezielt angehoben werden. Die Anhebung erfolgt stufenweise gemäss Betriebszustand 3 oder 4. Eine Temperaturanhebung des Gebäudes ist bei dieser «Standard»-Lösung im Allgemeinen nicht möglich, da die Thermostate in den Räumen die Temperatur im Wärmeabgabesystem (Fussbodenheizung oder Radiatoren) zurückregeln. Somit ist hier keine vollständige Nutzung der thermischen Gebäudemasse möglich. Eine Ausnahme bilden Wärmepumpen mit optionalem Raumfühler, welcher für eine gezielte Temperaturanhebung in den Räumen genutzt werden kann. Bei der SG-Ready-Lösung ist auch zu beachten, dass die Temperaturen aus Komfortgründen nur nach oben angehoben werden. Im Mittel arbeitet die Wärmepumpe also auf höherem Temperaturniveau, was zu einer Reduktion der Arbeitszahl (Effizienz) führt. Dies wird i.d.R. in Kauf genommen im Interesse einer Eigenverbrauchsoptimierung

Folgende Punkte sind bei der Installation und Inbetriebnahme unbedingt zu beachten:

- Die Klemmen müssen korrekt angeschlossen werden. Bei falschem Anschluss kann die Steuerung der Wärmepumpe einen Schaden nehmen (z.B. beim Anschluss einer Phase auf potentialfreie Kontakte).
- Die Klemmen 1 und 2 dürfen nicht vertauscht werden, weil sonst die Funktionsweise nicht gewährleistet ist.
- Bei einer vom Energieversorger vorgeschriebenen «EVU-Sperre» ist mit diesem zu klären, wie die Einbindung erfolgen soll. *Achtung:* Die Klemmenlösung (1:0) ist *nicht* kompatibel zur einfachen «EVU-Sperre» in der Schweiz! Oft sind die Energieversorger jedoch bereit, ganz auf die Sperrung der Wärmepumpe zu verzichten, wenn diese über PV-Strom betrieben wird (der Endkunde zahlt im Falle des Eigenverbrauchs mit nur einem Zähler auch den vollen Tarif).

- Die Wärmepumpe muss korrekt konfiguriert sein bzw. die SG-Ready-Schnittstelle freigeschaltet sein.
- Die Temperaturniveaus zur Anhebung der Speicher müssen auf Seite Wärmepumpe für die Betriebszustände 3 und 4 sinnvoll definiert werden und auf das Gebäude bzw. die hydraulische Schaltung abgestimmt sein.
- Die Schaltschwellen zur Aktivierung der Betriebszustände 3 und 4 müssen auf Seite E-Manager korrekt konfiguriert werden (in Abhängigkeit der PV-Überschussleistung). Es muss zudem gewährleistet sein, dass der E-Manager nicht unbeabsichtigt den Betriebszustand 1 (Sperrung) anfährt, da dies sonst zu Komfortverlusten führen kann.
- Das Gesamtsystem bestehend aus E-Manager und Wärmepumpe muss bei der Inbetriebnahme zwingend getestet werden. Es müssen alle Betriebszustände 1 bis 4 angefahren werden und die korrekte Reaktion der Wärmepumpe geprüft werden.

Falls obige Punkte nicht korrekt ausgeführt werden, kann die Funktionsweise der Wärmepumpe später beeinträchtigt werden oder die Wirkung der Eigenverbrauchsoptimierung ist nicht wie gewünscht. Es wird auch unbedingt eine Nachkontrolle empfohlen nach ein paar Wochen Betriebszeit mit einer Optimierung der Einstellungen.

6.2 Nachrüstung von älteren Wärmepumpen über den EVU-Sperreingang

Wärmepumpen älteren Jahrgangs haben keine SG-Ready-Schnittstellen und können auch nicht damit aufgerüstet werden. Dann bleibt als Schnittstelle nur der EVU-Sperreingang, über welchen der Energieversorger (EVU) die Wärmepumpe zu Hochlastzeiten sperrt (typischerweise um die Mittags- und Abendzeit über ein entsprechendes Rundsteuersignal). Dieselbe Schnittstelle kann auch für lokale Eigenverbrauchsoptimierungen verwendet werden. Allerdings müssen dabei folgende zwei Punkte berücksichtigt werden:

- Die lokale Sperrung bzw. Freigabe der Wärmepumpe darf keinen Widerspruch zur Sperrung durch den Energieversorger ergeben. Dies ist in der Regel einfach realisierbar durch eine Serieschaltung der beiden Sperr-Relais (EVU und lokal). Oft sind die Energieversorger auch bereit, ganz auf die Sperrung der Wärmepumpe zu verzichten, wenn diese über PV-Strom betrieben wird (der Endkunde zahlt im Falle des Eigenverbrauchs mit nur einem Zähler auch den vollen Tarif).
- Die Sperrung der Wärmepumpe darf aus Komfortgründen nicht zu lange dauern. Je nach Gebäude sind bereits nach zwei Stunden Sperrzeit deutliche Temperaturabnahmen in den Räumen spürbar. Deshalb muss die Raumtemperatur überwacht werden, wenn längere Sperrzeiten auftreten können.

Eine Nachrüstlösung über den EVU-Sperreingang ist in Abbildung 12 dargestellt. Hier steuert der E-Manager direkt die EVU-Schnittstelle an über einen potentialfreien Kontakt. Die Wärmepumpe wird dann bei tiefer PV-Produktion gesperrt und bei hoher PV-Produktion freigegeben. Bei der Freigabe läuft die Wärmepumpe im Allgemeinen sofort an, da sich die Speicher während der

Sperrzeit genügend abgekühlt haben. Für die Einhaltung des Komforts muss aber zwingend die Raumtemperatur durch den E-Manager gemessen werden. Die Wärmepumpe wird dann auch bei Abnahme der Raumtemperatur freigeschaltet. Empfohlen wird auch eine zusätzliche Messung der WW-Speichertemperatur durch den E-Manager. Bei dieser Lösung werden die Speichertemperaturen gezielt abgesenkt bei der Sperrung der Wärmepumpe (blaue Pfeil), bei der Freigabe werden sie wieder angehoben (rote Pfeile). Dadurch ist die Effizienz höher als bei der SG-Ready-Lösung (Abschnitt 6.1), weil hier das mittlere Temperaturniveau nicht wesentlich angehoben wird. Auch das Gebäude kann als thermischer Speicher genutzt werden, indem die Raumtemperatur überwacht wird. Zudem wird das Takten der Wärmepumpe durch die längeren Sperrzeiten und längeren Laufzeiten bei Freigabe generell reduziert, was sogar die Lebensdauer der Wärmepumpe erhöhen kann.

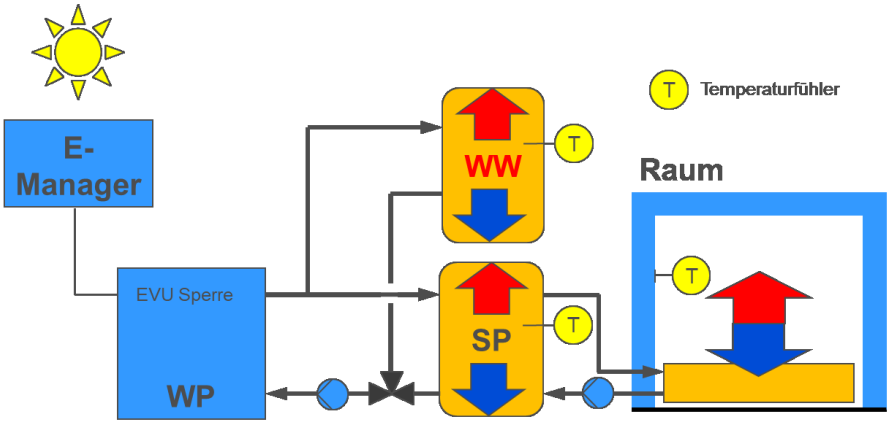

Abbildung 12: Einbindung einer Wärmepumpe über den EVU-Sperreingang (Nachrüstlösung)

Es ist allerdings zu beachten, dass nur wenige E-Manager auf dem Markt überhaupt eine externe Temperaturüberwachung ermöglichen (sogenanntes «Thermomanagement»). Fragen Sie deshalb den Hersteller des E-Managers, ob dies möglich ist. Die meisten Hersteller verzichten auf diese Lösung, weil sie damit in den «Komfortbereich» des Gebäudes kommen und eine direkte Beratung des Kunden notwendig ist.

Auch hier sind gewisse Punkte bei der Installation und Inbetriebnahme unbedingt zu beachten:

- Die Klemme für die EVU-Sperre muss korrekt angeschlossen werden. Bei falschem Anschluss kann die Steuerung der Wärmepumpe einen Schaden nehmen (z.B. beim Anschluss einer Phase auf den potentialfreien Kontakt).
- Bei einer vom Energieversorger vorgeschriebenen «EVU-Sperre» ist mit diesem zu klären, wie die Einbindung erfolgen soll. Siehe Bemerkungen oben.
- Die Positionierung des Raumfühlers muss optimal sein: Am besten ist das Wohnzimmer geeignet, der Fühler sollte aber vor direkter Sonneneinstrahlung und fremden Wärmequellen (wie z.B. Holzöfen) geschützt werden.
- Für den Speicherfühler im Warmwasserspeicher (WW) muss eine entsprechende Tauchhülse frei sein (ev. können analoge Temperatursensoren ersetzt werden, welche

nur der Anzeige dienen). Zudem sollte der Speicherfühler im Bereich des WP-Wärmetauschers und oberhalb eines allfälligen Elektroeinsatzes sein.

- Die Wärmepumpe muss so konfiguriert sein, dass die Warmwasserladung prinzipiell tagsüber erfolgt (z.B. über ein entsprechendes Zeitprogramm). Die Komforttemperatur für das Heizen kann leicht angehoben werden, um bei Freigabe einen etwas höheren Heizeffekt zu erzielen (die Heizkurve sollte jedoch vorher optimal eingestellt sein).
- Die Schaltschwellen zur Aktivierung der Freigabe auf Seite E-Manager müssen korrekt konfiguriert werden (in Abhängigkeit der PV-Überschussleistung und Raumtemperatur). Es muss zudem gewährleistet sein, dass der E-Manager nicht unbeabsichtigt die Wärmepumpe sperren kann, da dies sonst zu Komfortverlusten führen kann.
- Das Gesamtsystem bestehend aus E-Manager und Wärmepumpe muss bei der Inbetriebnahme zwingend getestet werden. Es muss die korrekte Reaktion der Wärmepumpe geprüft werden bei Sperrung und Freigabe inkl. Warmwasserproduktion.

Falls obige Punkte nicht korrekt ausgeführt werden, kann die Funktionsweise der Wärmepumpe später beeinträchtigt werden oder die Wirkung der Eigenverbrauchsoptimierung ist nicht wie gewünscht. Es wird auch unbedingt eine Nachkontrolle empfohlen nach ein paar Wochen Betriebszeit mit einer Optimierung der Einstellungen.

6.3 Einbindung über Modbus (TCP)

Die für den Kunden und Installateur weitaus einfachste Einbindung einer Wärmepumpe erfolgt durch intelligente Schnittstellen. Die Wärmepumpe wird dann über ein Netzwerkkabel (LAN) mit dem E-Manager verbunden (Abbildung 13). Als Kommunikationsprotokoll wird heute meistens Modbus® TCP verwendet. Über die intelligente Schnittstelle kann der E-Manager eine Vielzahl von Daten mit der Wärmepumpe austauschen. So können beispielsweise die Komfort-Temperaturen variabel beeinflusst werden für die verschiedenen Speicher und für das Gebäude (wenn die Wärmepumpe über einen Raumfühler verfügt). Der E-Manager kann die Temperaturen gezielt hochfahren bei PV-Überschuss und nachher wieder absenken. Dadurch ist eine optimale Einbindung möglich, welche speziell bei leistungsgeregelten Inverter-Wärmepumpen von grossem Vorteil ist. Dadurch wird auch die Effizienz des Gesamtsystems erhöht bei gleichbleibendem Komfort. Bei einzelnen Wärmepumpentype ist sogar eine Beeinflussung der Verdichter-Drehzahl möglich, womit noch besser der PV-Kurve nachgefahren werden kann. Allerdings sind hier aus Gründen der Lebensdauer Grenzen gesetzt.

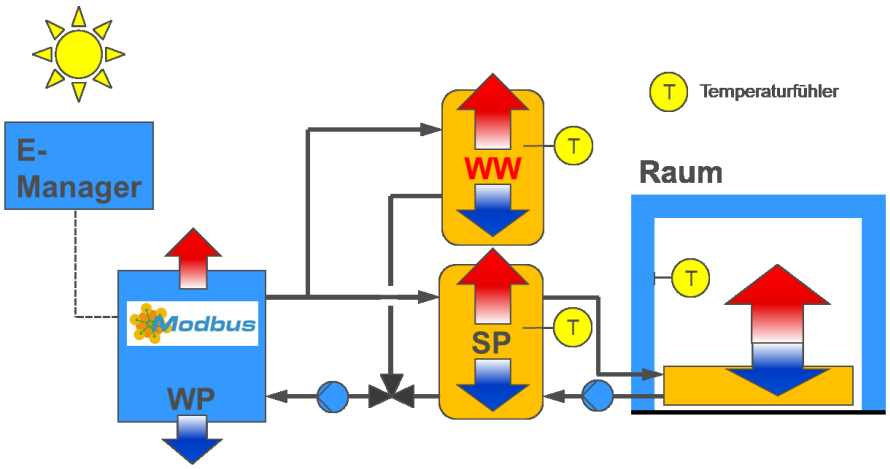

Abbildung 13: Einbindung einer Wärmepumpe über eine intelligente Schnittstelle (Modbus®).

Unabhängig vom gewählten Protokoll sind auch hier gewisse Punkte bei der Installation und Inbetriebnahme unbedingt zu beachten:

- Es muss ein LAN-Anschluss für den E-Manager und die Wärmepumpe vorhanden sein. Meistens wird ein Internet-Zugang vorausgesetzt.
- Die IP-Konfiguration und Einbindung ins lokale Netzwerk muss korrekt erfolgen.
- Eine Einbindung über WLAN (wireless) wird nicht empfohlen, da die WLAN-Netze in Gebäuden im Allgemeinen zu wenig zuverlässig sind für eine permanente Kommunikation.
- Bei einer vom Energieversorger vorgeschriebenen «EVU-Sperre» ist mit diesem zu klären, ob diese noch notwendig ist. Siehe Bemerkungen in den Abschnitten 6.1 und 6.2.
- Auf Seite Wärmepumpe muss die intelligente Schnittstelle aktiviert und korrekt konfiguriert sein.
- Auf Seite E-Manager müssen die Konfigurationen korrekt vorgenommen werden.
- Das Gesamtsystem bestehend aus E-Manager und Wärmepumpe muss bei der Inbetriebnahme zwingend getestet werden. Es muss die korrekte Reaktion der Wärmepumpe geprüft werden sowohl im Heiz- wie auch im Warmwassermodus.

Es wird auch hier unbedingt eine Nachkontrolle empfohlen nach ein paar Wochen Betriebszeit mit einer Optimierung der Einstellungen.

6.4 Zukünftige Lösung über SmartGridReady®-Schnittstelle

Ein Nachteil der herstellerspezifischen Lösungen in Abschnitt 6.3 sind die heute noch proprietären Protokolle. So hat sich zwar Modbus® als «Sprache» durchgesetzt, aber der Dateninhalt kann stark variieren zwischen den Herstellern (vergleichbar mit stark unterschiedlichen «Dialekten»). Das führt dazu, dass der Integrationsaufwand auf Seite E-Manager erheblich ist und nur bestimmte WP-Hersteller unterstützt werden. Der Kunde muss also vorher klären, ob seine WP tatsächlich unterstützt wird.

Aus obigen Gründen ist momentan eine Standardisierung im Gange. Dazu wurde der Verein «SmartGridReady» in der Schweiz gegründet, welcher sich das Ziel gesetzt hat, bis Ende 2020 einen ersten Standard für Wärmepumpe und E-Manager festzulegen. Die entsprechenden Hersteller bekommen das «SmartGridReady-Label» gemäss Abbildung 14. Damit soll gewährleistet sein, dass die Einbindung der Systeme vollständig funktioniert nach dem vorgegebenen Standard.

Abbildung 14: SmartGridReady-Label (in Vorbereitung).

Geräte mit obigem Label können dann ohne grossen Aufwand miteinander verbunden werden (Abbildung 15). Regelungstechnisch sind verschiedene Stufen vorgesehen, welche durch die Geräte unterstützt werden können:

- **Stufe 1**: Ein/Aus-Betrieb, entspricht heutigem EVU-Sperreingang.
- **Stufe 2**: Mehrstufiger Betrieb, entspricht dem SG-Ready®-Standard nach bwp
- **Stufe 3**: Kontinuierliche, statische Vorgaben (z.B. fest vorgegebene Kennlinien)
- **Stufe 4**: Kontinuierliche, dynamische Vorgaben (z.B. variable Tarife oder Sollwerte)
- ***Stufe 5**: Dynamische Regelung mit Rückführung.*
- ***Stufe 6**: Dynamische Regelung mit Rückführung und Prognose*

Die heutigen herstellerspezifischen Lösungen mit variabler Vorgabe von Temperatursollwerten werden in der Stufe 4 standardisiert.

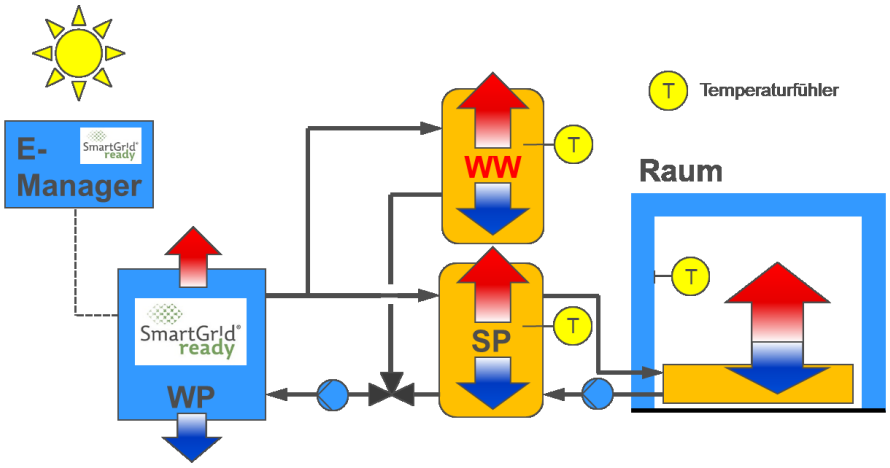

Abbildung 15: Einbindung einer Wärmepumpe über eine SmartGridReady-Schnittstelle.