

Energiemanagement im Einfamilienhaus



Inhalt

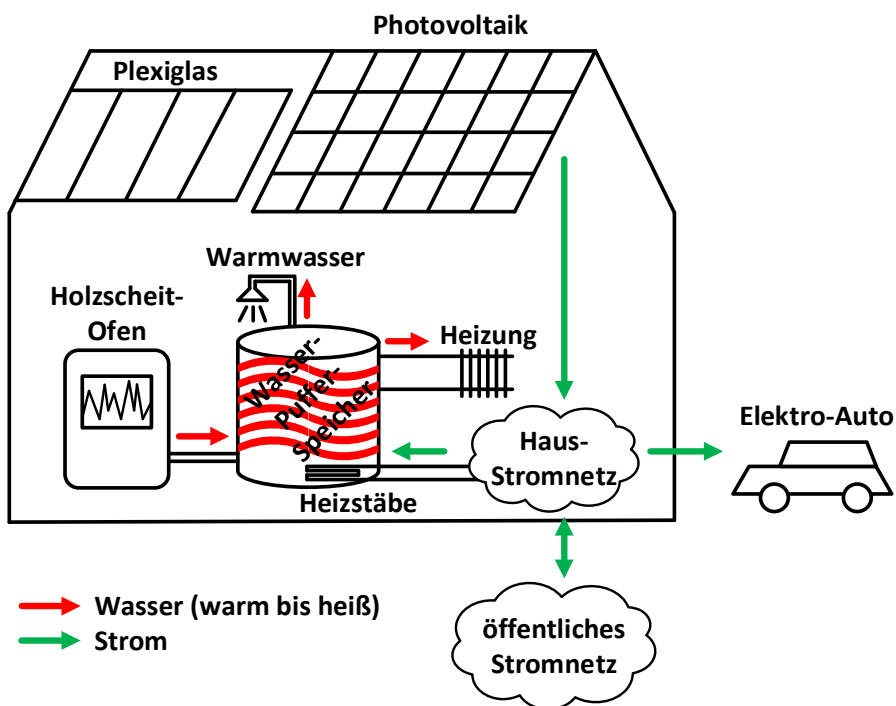
Überblick.....	2
Komponenten.....	3
Zusammenspiel der Komponenten und weitere Optionen.....	7
Herausforderungen, Alternativen, Optimierungen.....	8
Allgemeine Nutzbarkeit.....	10
Zahlen, Daten, Fakten.....	11
Anhang A: Weitere Comexio-Screenshots zur Veranschaulichung.....	12
Anhang B: Weitere Beispiele für Börsenstrompreise.....	15
Anhang C: Web-Links.....	17

Überblick

Unser Ziel war, ein für unsere Lebenssituation möglichst effizientes und sparsames Energiekonzept ohne die Nutzung fossiler Energie zu entwickeln und umzusetzen. Um dieses Ziel zu erreichen, benötigt man eine integrierte Lösung, die die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität koppelt und es ermöglicht, Lasten in günstige Zeiten zu verschieben. Diese Lösung beweist zudem, dass es möglich ist, auch im Privatbereich variabel auf ein volatiles Stromangebot zu reagieren und somit die Energiewende aktiv zu unterstützen.

Basis ist ein gut gedämmtes Haus in Holzrahmenbauweise nach dem Haus-in-Haus-Prinzip. Ein "Luftpolster" zwischen Innen- und Außenhülle kann mit Hilfe von Solarstrahlung passiv erwärmt werden. Zentrum der Wärmeversorgung ist ein 1.200-l-Wasser-Pufferspeicher, der mit Strom oder wasserführendem Holzscheithofen erwärmt werden kann und Heizwärme sowie Warmwasser bereitstellt. Eine 8,88-kW_p-Photovoltaik-Anlage sorgt für den Strom für Haushalt, Pufferspeicher und Elektro-Auto. Strom aus dem Stromnetz wird zu variablen Preisen bezogen.

Die Koordination der Komponenten PV-Anlage, Pufferspeicher, Heizung, Warmwasser, Wallbox und der variablen Strompreise erfolgt durch ein entsprechend programmiertes und erweitertes Smart-Home-System.

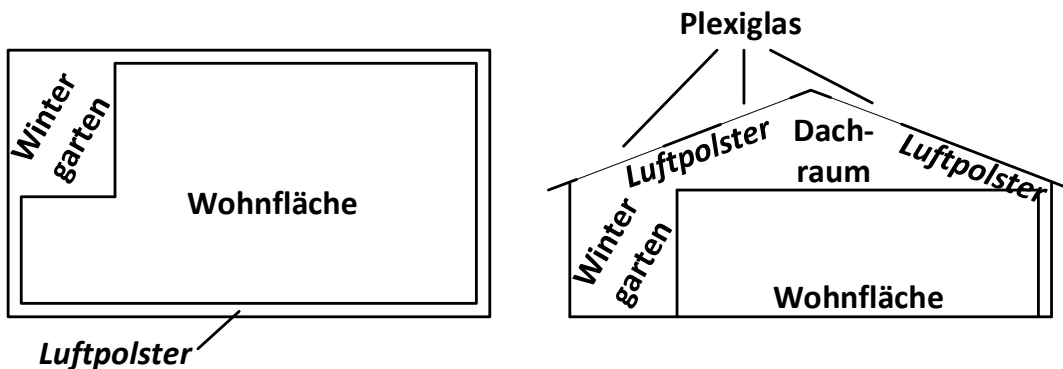


Komponenten und Energieflüsse



Komponenten

Das **Haus** wurde von der Firma Bio-Solar-Haus in Holzrahmenbauweise errichtet. Es besteht aus einem Innenhaus und einem Außenhaus. Beide sind mit Holzfaser bzw. Zellulose gedämmt. Zum dazwischenliegenden Luftraum gehören Wintergarten und Dachraum, die durch Solarstrahlung passiv erwärmt werden können, da Dach und Wintergarten Plexiglas-Elemente enthalten. Dadurch wird weniger Heizwärme im Innenhaus benötigt. Um eine übermäßige Erhitzung im Sommer zu vermeiden, gibt es Lüftungs- bzw. Schattierungsmöglichkeiten für Wintergarten und Dachraum. Die Wände und Decken des Hauses sind diffusionsoffen konzipiert.



Haus-im-Haus-Prinzip

Als Heizung dient im Haus eine Niedrigtemperatur-**Wand- und Deckenheizung**. Heizflüssigkeit ist weitgehend entkalktes Wasser, das über einen **Pufferspeicher** mit einer Kapazität von 1.200 Litern bereitgestellt wird. Eine Vorlauftemperatur von 30 °C ist – bis auf extrem kalte Wintertage – ausreichend. Für die Bereitstellung von **Warmwasser** dient der Pufferspeicher als Durchlauf-erhitzer: Frischwasser wird über einen Wärmetauscher im Pufferspeicher erwärmt. Dafür wird eine Mindesttemperatur von 50 °C im oberen Bereich des Pufferspeichers benötigt.

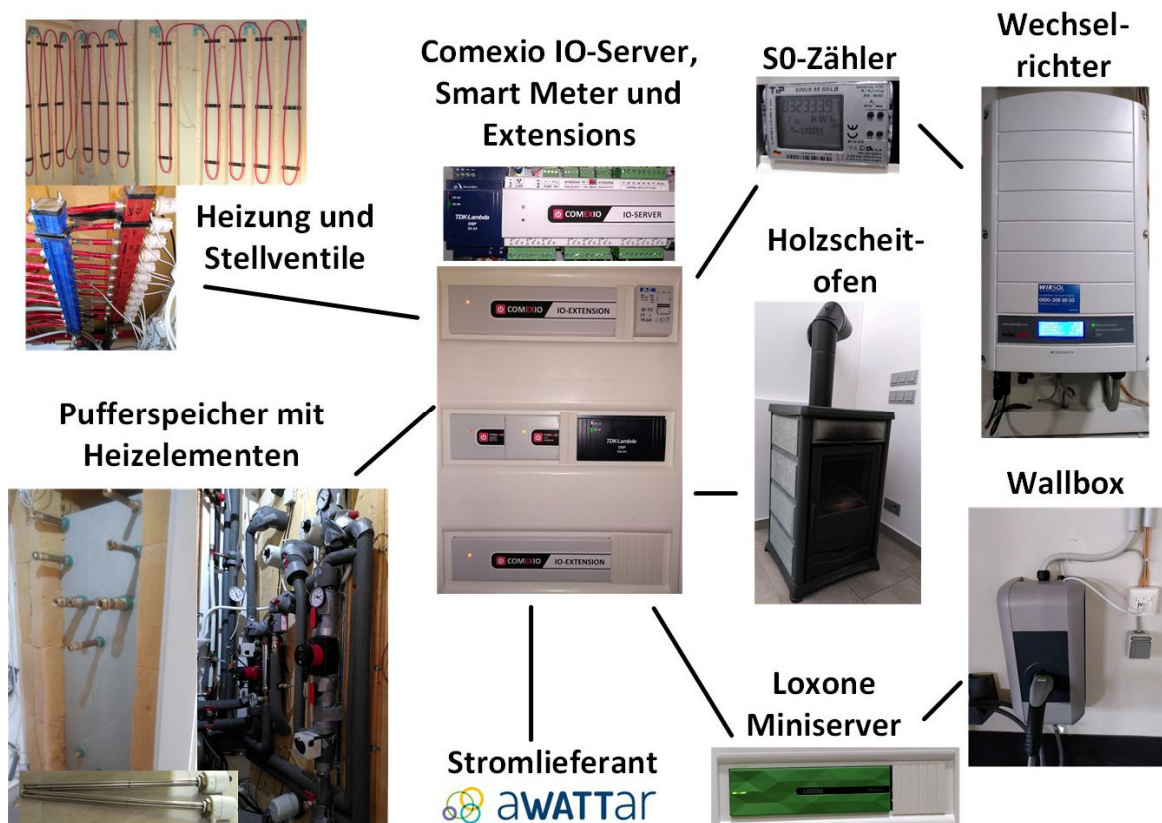
Der Kreislauf von Wand- und Deckenheizung kann auch zur **Kühlung** genutzt werden: er kann elektrisch über 3-Wege-Ventile so umgeschaltet werden, dass er nicht mehr warmes Wasser aus dem Pufferspeicher erhält, sondern kühles Wasser über einen Wärmetauscher im 8,5-m³-Regenwasserspeicher. Aufgrund der begrenzten Kühlkapazität des Regenwasserspeichers ist das Konzept nicht dafür geeignet, das ganze Haus an sehr warmen Sommertagen über mehrere Tage zu kühlen. Beschränkt man die Kühlung nach dem morgendlichen Lüften auf das tagsüber schattierte Schlafzimmer, so kann erreicht werden, dass sich dieses auch im Laufe eines sehr heißen Tages maximal um ein Grad erwärmt.

Es gibt zwei Möglichkeiten, das Wasser des Pufferspeichers zu erhitzen: Über einen wasser-führenden Holzscheithofen und über Elektro-Heizstäbe.

Der **Holzscheithofen** kommt am ehesten an sonnenlosen Tagen im Winter zum Einsatz, wobei – je nach Sonneneinstrahlung und Außentemperatur – der Ofen nicht jeden Tag laufen muss. Die maximale Wärmeabgabe an das Wasser beträgt 8,5 kW und an die Luft 4,3 kW.



Bei Überschuss-Strom wird das Wasser des Pufferspeichers durch **Elektro-Heizelemente** erwärmt. Der Pufferspeicher verfügt über 3 Einschubheizelemente mit je 3 Heizstäben. Zwei der Heizelemente leisten je 4 kW, die auf 3 Heizstäbe mit 1 kW, 1 kW und 2 kW verteilt sind. Eines der beiden Heizelemente befindet sich im oberen Bereich des Pufferspeichers, das andere im unteren Bereich. Die Heizstäbe lassen sich einzeln schalten, wodurch also eine 1-kW-Abstufung beim Aufheizen möglich ist. Das dritte Heizelement ist im oberen Bereich eingebaut und hat eine Leistung von 9 kW. Gedacht ist es, um bei kaltem Pufferspeicher für eine schnelle Erwärmung des für die Warmwasserbereitung relevanten Bereichs zu sorgen, wurde aber bisher nicht benötigt.



Komponenten und Steuerung

Als Fahrzeug nutzen wir einen **KIA e-Niro**, der mit seinem 64-kWh-Akku die Möglichkeit bietet, mit einer Ladung eine Woche "normaler Nutzung" zu überstehen. Der maximale AC-Ladestrom des Autos beträgt 11 kW.

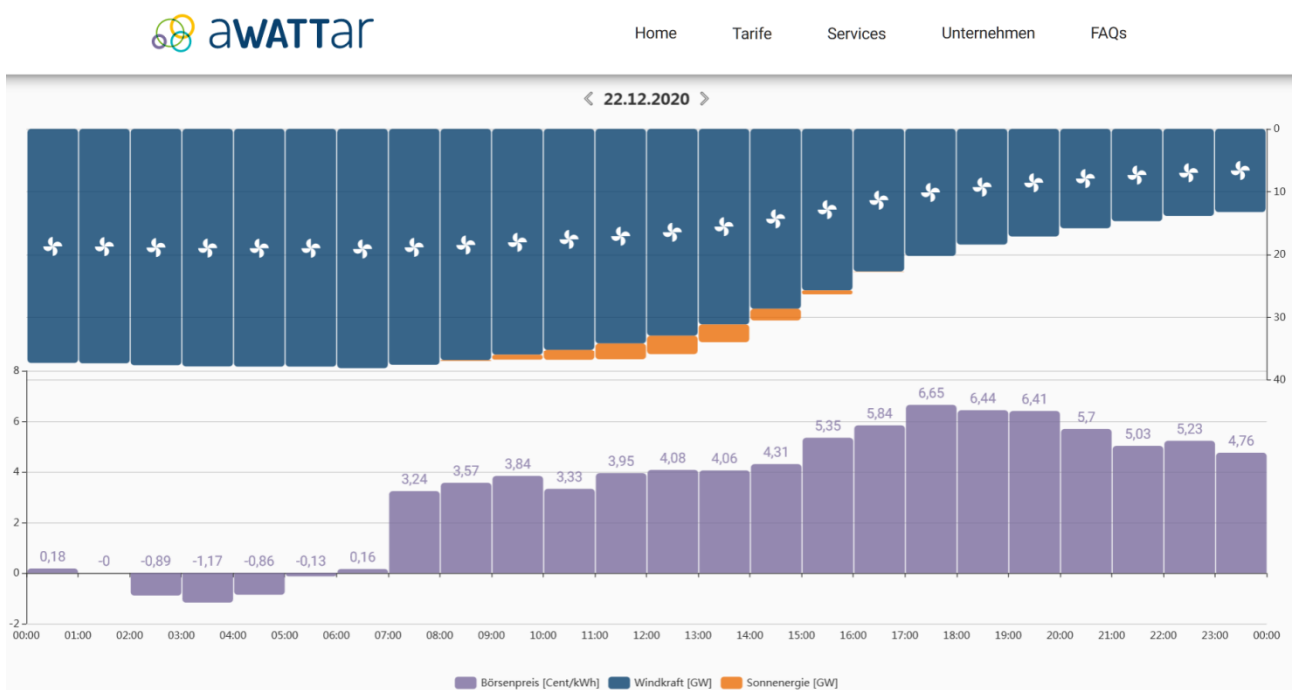
Zum Aufladen wird eine **KEBA KeContact P30 Wallbox, c-series, 22 kW** genutzt. Die Wallbox ist an das LAN des Hauses angeschlossen und über das Kommunikationsprotokoll UDP/IP werden Informationen ausgetauscht. Insbesondere kann die Leistung der Wallbox beliebig zwischen ca. 4,2 kW (3 x 6 A) und 22 kW vorgegeben werden.

Die **Photovoltaik-Anlage** wurde im November 2020 von 6,24 kW_p auf 8,88 kW_p erweitert. Zu den insgesamt 32 PV-Modulen gehört jeweils ein Leistungsoptimierer SolarEdge P3xx Power Optimizer. Als Wechselrichter dient der SolarEdge 7K. Da die Leistungsgrenze des Wechselrichters bei 7 kW



erreicht ist, bedeutet dies geringe Einbußen – jedoch zu Zeiten, zu denen sowieso genügend Energie zur Verfügung steht.

Der Strom aus dem Stromnetz wird künftig zu variablen Preisen bezogen. Dies erfolgt über den **Grünstrom-Anbieter aWATTar**, der mit seinem Tarif "Hourly" einen stündlich variierenden Preis anbietet – abhängig vom Preis an der Strombörse. Der Arbeitspreis setzt sich zusammen aus fixen Kosten in Höhe von derzeit (Juni 2021) ca. 20,17 ct/kWh, zu denen der stundengenaue Börsenpreis addiert wird. Da dieser negativ werden kann, ist auch ein Arbeitspreis möglich, der unterhalb von 20,17 ct/kWh liegt. Der Börsenpreis ist üblicherweise dann besonders günstig, wenn viel Erneuerbare Energie im Netz zur Verfügung steht. Durch die Anpassung unserer Nutzung an günstige Börsenpreise unterstützen wir somit die Energiewende. Der Börsenmarktpreis für die einzelnen Stunden eines Tages werden am Vortag ab 14:00 Uhr auf der aWATTar-Website bereitgestellt. Zudem nutzen wir die Möglichkeit, diese Daten über eine Programmierschnittstelle (API, application programming interface) von der aWATTar-Website in das Comexio-Smart-Home-System einzulesen, wodurch automatisierte Schaltvorgänge in Abhängigkeit vom Strompreis ermöglicht werden.



Börsenpreis brutto je kWh – Ausschnitt aus <https://www.awattar.de/tariffs/hourly> vom 22.12.2020

So kann nicht nur der Überschussstrom der PV-Anlage geeignet genutzt werden, sondern auch preiswerter Ökostrom aus dem Netz, wenn beispielsweise ein hohes Angebot an Windenergie den Börsenpreis deutlich sinken lässt.

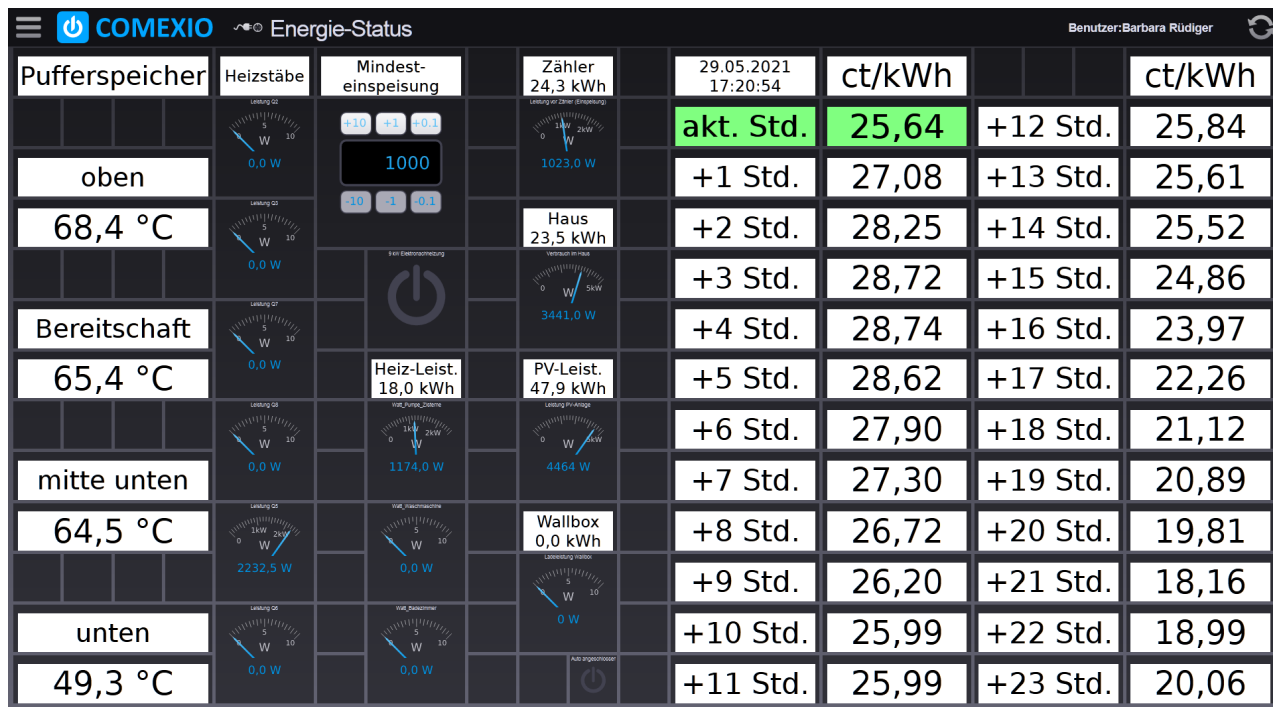
Der **Comexio IO-Server** ist die zentrale Steuereinheit im Haus. Neben typischen Smart-Home-Komfort-Funktionen übernimmt er das flexible Energiemanagement im Haus:

- Steuerung der Pumpen und Mischer für die Kreisläufe von Holzschichtofen und Heizung (inkl. Stellventilen) in Abhängigkeit von Vorlauf- und Außentemperaturen,
- Ermittlung von Bezugs- oder Einspeiseleistung aus oder in das Stromnetz,



- Schaltung von Verbrauchern, insbesondere der Heizstäbe,
- Bestimmung und Übermittlung der Ladeleistung für die Wallbox,
- Integration der Arbeitspreis-Daten von aWATTar,
- Anzeige aller relevanten Leistungsdaten in Echtzeit: Bezugs-/Einspeiseleistung, PV-Produktion, Stromverbrauch insgesamt und von vielen Einzelgeräten wie z. B. Heizstäben, Pumpen, Waschmaschine, Wallbox.

Dafür verfügt das Comexio-System neben verschiedenen Erweiterungen ("Extensions") auch über einen Smart Meter. Zudem kann an den schaltbaren Ausgängen der Strom gemessen werden.



↑ Pufferspeicher-Temperaturen auf 4 verschiedenen Höhen

↑ Leistung der sechs 1- bzw. 2-kW-Heizstäbe

↑ Mindest-einspeisung, Anzeige 9-kW-Heizelement, Tag-summierte Heizenergie für Pufferspeicher, Leistung von 3 Verbrauchern

↑ summierte Energie und aktuelle Leistung von:

- Hausanschluss vor Zähler (saldiert),
- Summe aller Verbraucher,
- PV-Anlage,
- Wallbox

sowie Anzeige, ob E-Auto angeschlossen

↑ Arbeitspreis je kWh bei Netzbezug in den nächsten Stunden

Screenshot aus unserem Smart-Home-System: Energie-Status

Da das in unserem Haus genutzte Smart-Home-System Comexio nicht über das Kommunikationsprotokoll UDP/IP verfügt, kommt für die Kommunikation mit der Wallbox der **Loxone Miniserver** als "Vermittler" zum Einsatz: Er empfängt die Befehle von Comexio über 4 elektrische Schnittstellen, sendet sie per UDP/IP über das Netzwerk zur Wallbox und gibt Rückmeldungen der Wallbox über 4 weitere elektrische Schnittstellen an Comexio zurück. Zudem verfügt er in der Programmieroberfläche über ein vorgefertigtes Modul für die Keba-Wallbox.

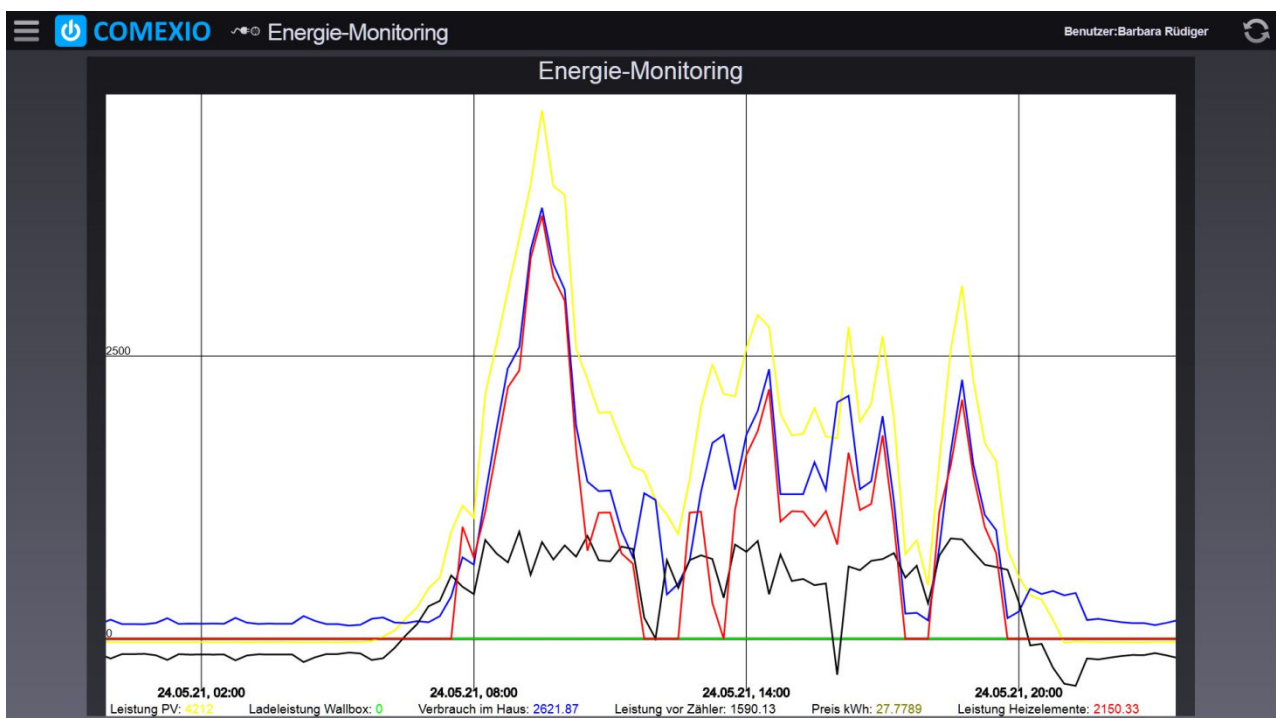


Zusammenspiel der Komponenten und weitere Optionen

Die Steuerung des Wasserkreislaufs Holzschleifofen-Pufferspeicher erfolgt in Abhängigkeit von den Temperaturfühler an verschiedenen Stellen des Kreislaufs. Zuerst wird der obere Teil des Pufferspeichers erwärmt, da er für Warmwasser und Heizung benötigt wird. Ist er ausreichend warm, wird der untere Teil erwärmt – als Reserve. Das Heizen mit Holz gilt als CO₂-neutral. Zu beachten sind jedoch auch die weiteren Emissionen aus dem Verbrennungsprozess. Zum Einsatz kommen weitestgehend Holzbriketts. Mindestens dann, wenn diese aus Restholz hergestellt werden, dürfte das ökologisch vertretbar sein.

Bevorzugt wird der Pufferspeicher aber aus dem "Überschuss-Strom" der eigenen Photovoltaik-Anlage erwärmt. Auch hier wird zuerst der obere Teil erwärmt, später dann der untere. Durch die Möglichkeit, die Heizelemente in 1-kW-Schritten zu schalten, lässt sich die Heizleistung der jeweiligen PV-Produktion flexibel anpassen.

Der Smart Meter des Smart-Home-Systems misst Stromeinspeisung bzw. -bezug. So weiß das Smart-Home-System, welche Strommenge für weitere Zwecke zur Verfügung steht.



Screenshot aus unserem Smart-Home-System: Energie-Monitoring

gelb – Leistung der PV-Anlage (an einem nicht besonders sonnigen Mai-Tag);

rot – Leistung der Heizelemente im Pufferspeicher;

blau – Gesamtverbrauch im Haus (inkl. Heizelementen);

schwarz – Einspeiseleistung (positiv) bzw. Strombezug (negativ);

grün – Ladeleistung der Wallbox (an diesem Tag Null)

Anmerkung: die in der Zeile ganz unten angegebenen Werte sind die zum Zeitpunkt des Abrufs aktuellen Werte

Ist das Elektro-Auto an die Wallbox angeschlossen, wird der Ladevorgang gestartet, wenn mehr als ca. 4 kW Überschuss vorhanden ist. Der Ladestrom wird dem Überschuss flexibel angepasst. Bei längerem Unterschreiten einer vorgegebenen Grenze wird der Ladevorgang unterbrochen bzw.



beendet. Der Ladevorgang genießt Priorität vor den Heizelementen. Letztere kommen erst wieder zum Einsatz, wenn der Ladevorgang beendet oder unterbrochen ist.

Möglich ist auch eine Nutzung des Stroms aus dem öffentlichen Netz. Was den Strom für das Elektro-Auto betrifft, macht das immer dann Sinn, wenn nicht ausreichend Sonnenenergie zur Verfügung steht. Anhand der für die nächsten 10 bis 34 Stunden bekannten Strompreise wird der Zeitraum ermittelt, in dem das Laden am preisgünstigsten ist. Für das Erwärmen des Pufferspeichers ist der finanzielle Anreiz für das Nutzen des Stroms aus dem Versorgernetz erst dann gegeben, wenn der Strompreis niedriger ist, als der Aufwand für Holz oder Holzbriketts.

An sonnigen Tagen an denen kein Laden des Elektro-Autos notwendig ist, würde der Pufferspeicher schon frühzeitig seine Maximaltemperatur erreichen. Das könnte dazu führen, dass mangels Eigenverbrauch gegen Mittag die 70%-Begrenzung für die maximale Einspeiseleistung überschritten würde und die Einspeisung "gekappt" würde. Das wird dadurch verhindert, dass eine "Mindesteinspeisung" vorgegeben werden kann, die bei hoher Sonneneinstrahlung höher als bei niedriger gewählt wird. Das bedeutet, dass nur der Strom für die Heizelemente zur Verfügung steht, der diese Mindesteinspeisung überschreitet. Damit wird eine nahezu konstante "Grund-Einspeisung" über den Tag ermöglicht. Es gibt keine Einspeise-Spitze zur Mittagszeit, stattdessen aber eine "Heizspitze".

Kleinere energetische Optimierungen wie "Fenster auf => Heizung aus" oder die Möglichkeit zum Abschalten der Wasserpumpe im Regenwassertank bei Nichtbenutzung sind ebenfalls über das System realisiert.

Herausforderungen, Alternativen, Optimierungen

Die hier skizzierte Lösung funktioniert und bietet noch Optimierungs- und Erweiterungsmöglichkeiten. Sie basiert auf derzeit am Markt erhältlichen Standardprodukten, die "zusammengebastelt" wurden, um daraus eine funktionstüchtige Einheit zu schaffen. Insofern ist sie eher ein Prototyp, der zeigt, was möglich ist, denn eine Lösung, die genau in dieser Konfiguration reproduziert werden sollte.

Das Haus und die Grundprogrammierung des Heizsystems im Smart-Home-System Comexio gehörten zum Leistungsumfang des Hausbauunternehmens Bio-Solar-Haus. Die Erweiterung des Smart-Home-Systems Comexio erfolgte in Eigenarbeit; ebenso die Programmierung des Loxone Mini-Servers zur Steuerung der Wallbox und die Integration der variablen Strompreise von aWATTar.

Die Auswahl einer geeigneten Wallbox war mit einiger Recherche-Arbeit verbunden. Einige Wallboxen, die in Übersichten als "steuerbar" deklariert waren, konnten dies nur in Zusammenspiel mit einem bestimmten Wechselrichter-Typ oder einem bestimmten proprietären Steuergerät. Eine Integration in ein anderes – bereits vorhandenes – System ist meist nicht vorgesehen. Die Steuergeräte bieten zumeist auch die Option, andere Verbraucher zu schalten; das nützt jedoch wenig, wenn im Haus bereits ein anderes System installiert ist. Eine Integration in



ein gemeinsames System mit allen steuerbaren Energieverbrauchern ist für eine Optimierung der Energieflüsse jedoch unabdingbar.

Die KEBA KeContact P30 Wallbox, c-series bietet eine über das Kommunikationsprotokoll UDP/IP eine offene Schnittstelle an. Leider beherrscht unser Smart-Home-System Comexio dieses Protokoll nicht und eine Erweiterung in dieser Hinsicht ist laut Hersteller-Information auch nicht geplant. So wurde der Loxone Miniserver als "Vermittler" genutzt, der beide Seiten "verstehen" kann. Würden Wallbox- und Smart-Home-Hersteller ein gemeinsames Protokoll nutzen, hätte man bei beiden Produkten freie Auswahl und könnte sie trotzdem zusammen zum Funktionieren bringen.

Auch auf einen eigenen Smart Meter für das Smart-Home-System könnte man verzichten, wenn der Stromzähler im Haus bzw. dessen Smart-Meter-Gateway die Einspeise- bzw. Bezugsleistung ebenfalls über eine standardisierte Schnittstelle an das Smart-Home-System übergeben könnte.

Um zusätzlich noch Informationen über die aktuelle Leistung der PV-Anlage zu haben, ist bei uns noch ein sog. SO-Zähler am Wechselrichter-Ausgang montiert, der die Produktionsleistung per elektrischer Schnittstelle an Comexio übergibt. Auch auf diesen könnte verzichtet werden, wenn der Wechselrichter die Produktionsdaten über eine standardisierte Schnittstelle bereitstellen würde.

Es gibt in Deutschland bereits innovative Lösungen, über Strom-Communities einen Ausgleich zwischen verschiedenen Verbrauchern zu schaffen, die mit ihrer PV-Anlage gleichzeitig auch Erzeuger sind ("Prosumer"). Nachteile sind jedoch, dass zumeist ein Batterie-Speicher vorausgesetzt wird, der dann i. d. R. vom Betreiber der Community bezogen wird und dass das Abrechnungsmodell nicht für jeden Anwendungsfall von Vorteil ist. Wir verfügen durch Wasser-Pufferspeicher und E-Auto bereits über Speicherkapazitäten und erreichen damit bereits einen vergleichsweise hohen Eigenverbrauch ohne einen Batteriespeicher.

Eine Nutzung des öffentlichen Stromnetzes ist zudem zielführender, da hier alle Erzeuger und Verbraucher integriert sind und so individuelle Schwankungen besser ausgeglichen werden können. Die Verbrauchssteuerung muss hier über den Strompreis erfolgen. Das Angebot des Versorgers aWATTar ist hier beispielgebend – insbesondere durch das Bereitstellen der Strompreise über eine offene Schnittstelle.

Nach eigenen überschlägigen Beobachtungen würde sich ein Erwärmen des Pufferspeichers erst dann lohnen, wenn der Arbeitspreis unter ca. 15 ct/kWh liegt, das heißt der Börsenpreis müsste unter -5 ct/kWh sinken. Das ist nur wenige Stunden im Jahr der Fall. Tatsächlich spekulieren wir mit unserer Lösung darauf, dass der Strompreis in Zukunft noch variabler wird.

Eine noch weiter in der Zukunft liegende Unwägbarkeit ist, wie nach dem Ablauf der 20 Jahre lang fixierten Einspeisevergütung die Einspeisung entlohnt wird. Auch hier halten wir es für ein realistisches Szenario, dass sich die Einspeisevergütung am jeweiligen Marktpreis orientiert und über den Tag gesehen variabel sein wird. Analog zur Nutzung des variablen Stromtarifs kann die Lastverschiebung im System auch so programmiert werden, dass in den finanziell weniger



ertragreichen Stunden eines Tages der Strom selber genutzt würde und die Einspeisung auf die Stunden mit dem höheren Ertrag gelegt wird.

Das System bietet auch kurzfristig noch Optimierungspotenzial: Einiges was heute noch "per Hand" funktioniert, wie z. B. die Eingabe der Mindesteinspeisung, könnte in Abhängigkeit von der Pufferspeichertemperatur automatisiert eingestellt werden. Loxone bietet die Wettervorhersagedaten an, wodurch noch eine weitergehende Automatisierung ermöglicht wird. Die Grenzen für Optimierungen sind eher durch den erforderlichen Zeitaufwand für die Programmierung als durch fehlende technische Möglichkeiten gegeben.

Das Energiemanagement könnte noch durch die Nutzung eines Stromspeichers optimiert werden. Stromspeicher sind heute aber immer noch sehr teuer und aufgrund der derzeit bei uns schon möglichen Anwendungen (Pufferspeicher, Elektro-Auto) würde er auch noch weniger genutzt als in anderen Haushalten. Nicht auszuschließen ist, dass der Akku des Autos, wenn die Speicherkapazität erheblich gesunken ist, noch stationär im Haus genutzt werden kann. Vielleicht gibt es in 10 - 15 Jahren Firmen, die entsprechende Umbauten anbieten.

Eine Wärmepumpe kann die elektrische Energie erheblich effizienter in Wärme umsetzen als Heizstäbe. Bei uns ist jedoch keine zum Einsatz gekommen, da sie nicht so variabel schaltbar ist wie die Heizelemente (1-kW-Schritte im 10-Sekundentakt) und den Pufferspeicher weniger hoch erwärmen kann. Zudem sind noch die deutlich höheren Kosten für Anschaffung und Wartung zu beachten.

Eine weitere Alternative wäre gewesen, auf einen Teil der Photovoltaik zu verzichten und stattdessen Solarthermie zu nutzen. Die Solarthermie hat deutliche Vorteile bei der Effizienz der Wärmeerzeugung und es entfällt die Einkommensteuer auf die selbstgenutzten kWh. Dem stehen jedoch folgende Vorteile der Photovoltaik gegenüber:

- einfacher, da nur ein System,
- weniger Wartungsaufwand,
- universellere Nutzbarkeit des Stroms gegenüber Wärme – vor allem an sonnigen Tagen außerhalb des Winters ist bei Solarthermie der Pufferspeicher schon am Vormittag bei Maximaltemperatur und den Rest des Tages wird die Sonnenenergie nicht genutzt.

Allgemeine Nutzbarkeit

Wie oben dargestellt ist unsere Lösung eher ein Prototyp, der die Möglichkeiten zur Sektorenkopplung und Lastverschiebung im Einfamilienhaus beweist. Ähnliche Konzepte – professionell entwickelt und angeboten – sind leicht möglich. Durch standardisierte Schnittstellen können einige Komponenten und somit auch deutlich Kosten eingespart werden. Ebenso lassen sich noch deutliche funktionelle Verbesserungen realisieren. Was in unserem Haus selbst programmiert ist und zum Teil "per Hand" funktioniert, wird nur besser, wenn es professionell programmiert wird und mit der Erfahrung aus einer größeren Anzahl von Anwendungen verbessert und automatisiert wird. Langfristig wird sicher auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz sinnvoll sein: Das System lernt, welche Verhaltensweise Sinn macht.



Die Nutzung beschränkt sich nicht auf Einfamilienhäuser. Betrachtet man ein Mehrfamilienhaus in der Stadt, so stünde deutlich weniger Solarstrom je Verbraucher zur Verfügung. Eine flexible Nutzung von preiswertem Strom ist jedoch genauso möglich. Der Einsatz einer Wärmepumpe wäre deutlich rentabler und ggf. würde sich auch ein Stromspeicher lohnen. Der Wasserspeicherspeicher wäre aufgrund seines größeren Volumens energetisch noch günstiger, wenn auch wegen der begrenzten Platz-Ressourcen mit einem geringeren Volumen "pro Kopf".

Generell kann festgestellt werden, dass auch die privaten Haushalte ein erhebliches Potenzial für Lastverschiebung bieten und somit zu einem wichtigen Baustein für die dezentrale Energiewende mit 100 % Erneuerbaren Energien werden können. Grundlegende Voraussetzung ist ein entsprechender Kostenanreiz. Würden die Abgaben auf den Strompreis nicht mehr als fester Betrag erhoben, sondern sich prozentual am Börsenpreis orientieren, würden die Verbraucher dazu animiert, sich "netzdienlich" zu verhalten und damit die Nutzung der Erneuerbaren Energien zu unterstützen. Mehr zu diesem Thema haben wir auf <http://www.flexnetz.de/> ausgeführt.

Zahlen, Daten, Fakten

- PV-Anlage: Wechselrichterleistung 7 kW, 8,88 kW_p
- PV-Erzeugungsleistung: ca. 9.300 - 10.600 kWh p. a.
- Einspeisung ins Stromnetz: ca. 4.200 kWh p. a.
- Bezug aus dem Stromnetz: ca. 1.850 kWh p. a.
- Stromverbrauch im Haus ohne Wärme, ohne E-Auto: ca. 3.300 kWh p. a.
- Stromverbrauch E-Auto: derzeit ca. 1.000 kWh p. a.¹
- Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser: ca. 3.000 kWh p. a.
- Benötigte Menge an Holzbriketts: 1.000 - 1.500 kg p. a.
- Die Heizungsvorlauftemperatur liegt zwischen 30 °C und 39 °C
- Die Pufferspeichertemperatur liegt üblicherweise zwischen 50 °C und 75 °C (das gegenüber der Heizungsvorlauftemperatur höher liegende Minimum von 50 °C wird für die Warmwasserbereitung benötigt)

Für Heizung und Warmwasser wird grundsätzlich kein Strom aus dem öffentlichen Netz genutzt. Die Kosten für Heizung und Warmwasser setzen sich aus der zu entrichtenden Einkommensteuer für die Eigenentnahme² und den Kosten für die Holzbriketts³ zusammen und belaufen sich somit auf 400 - 500 € p. a. Im Winter 2021/22 musste der Holzschleifofen an 61 Tagen mehrere Stunden "gefüttert" werden.

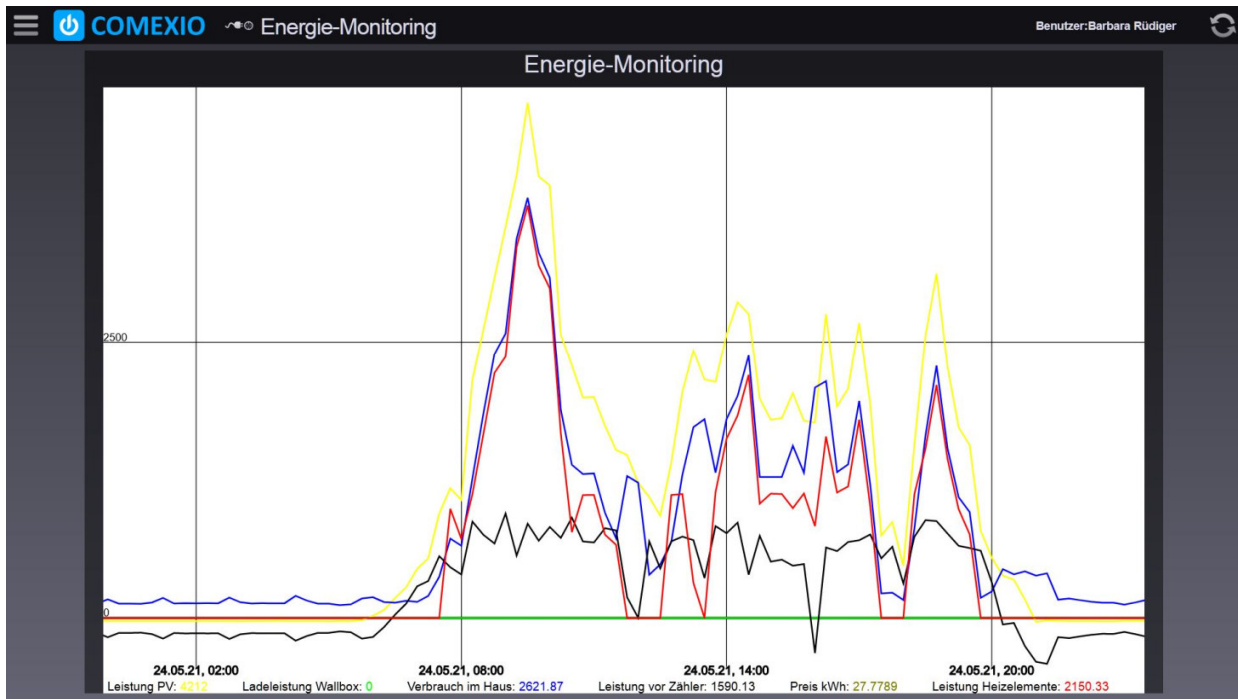
¹ Der Verbrauch je 100 km liegt unter 20 kWh. 1.000 kWh entsprechen also etwas mehr als 5.000 km. Nach der Corona-bedingten intensiven Home-Office-Nutzung wird die jährliche Laufleistung sicher höher liegen.

² Für jede selbstgenutzte kWh müssen 20 ct versteuert werden. Nimmt man bspw. einen Spitzensteuersatz von 33 % an, sind dies somit 6,66 ct/kWh zu entrichtende Einkommensteuer, also 200 € für die 3.000 kWh.

³ Ca. 2 € je 10-kg-Packung im Durchschnitt der letzten Winter



Anhang A: Weitere Comexio-Screenshots zur Veranschaulichung



Screenshot aus unserem Smart-Home-System: Energie-Monitoring

gelb – Leistung der PV-Anlage (an einem nicht besonders sonnigen Mai-Tag);

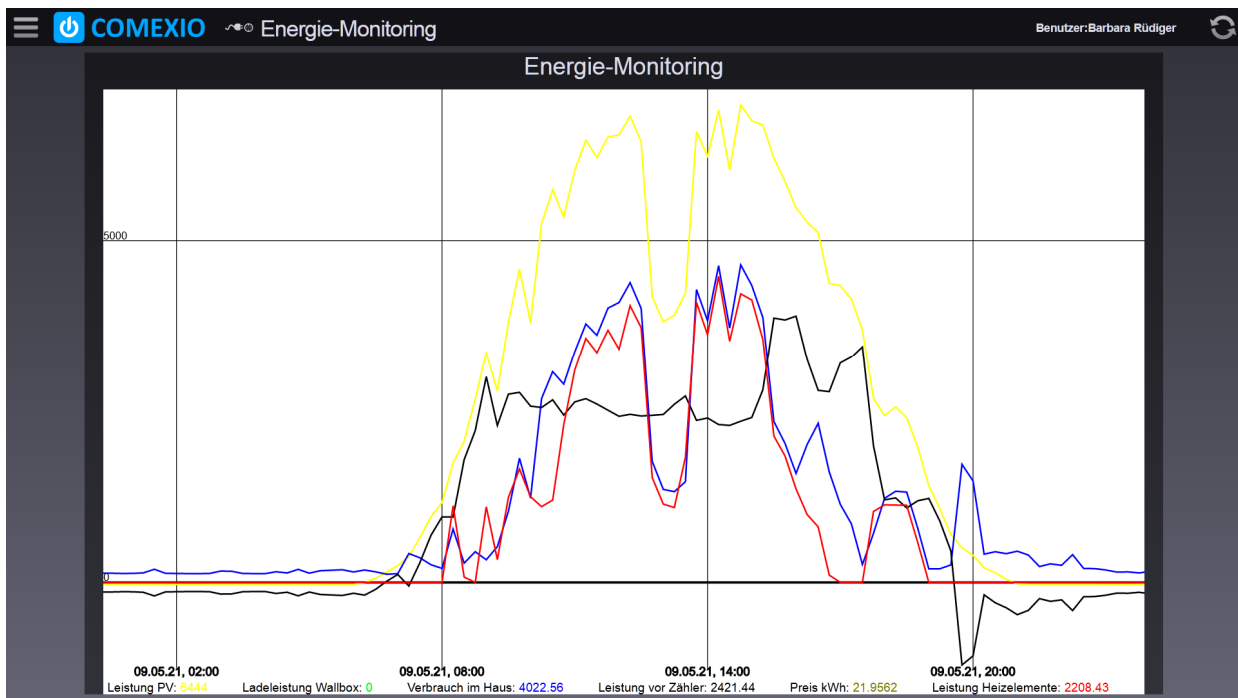
rot – Leistung der Heizelemente im Pufferspeicher;

blau – Gesamtverbrauch im Haus (inkl. Heizelementen);

schwarz – Einspeiseleistung (positiv) bzw. Strombezug (negativ);

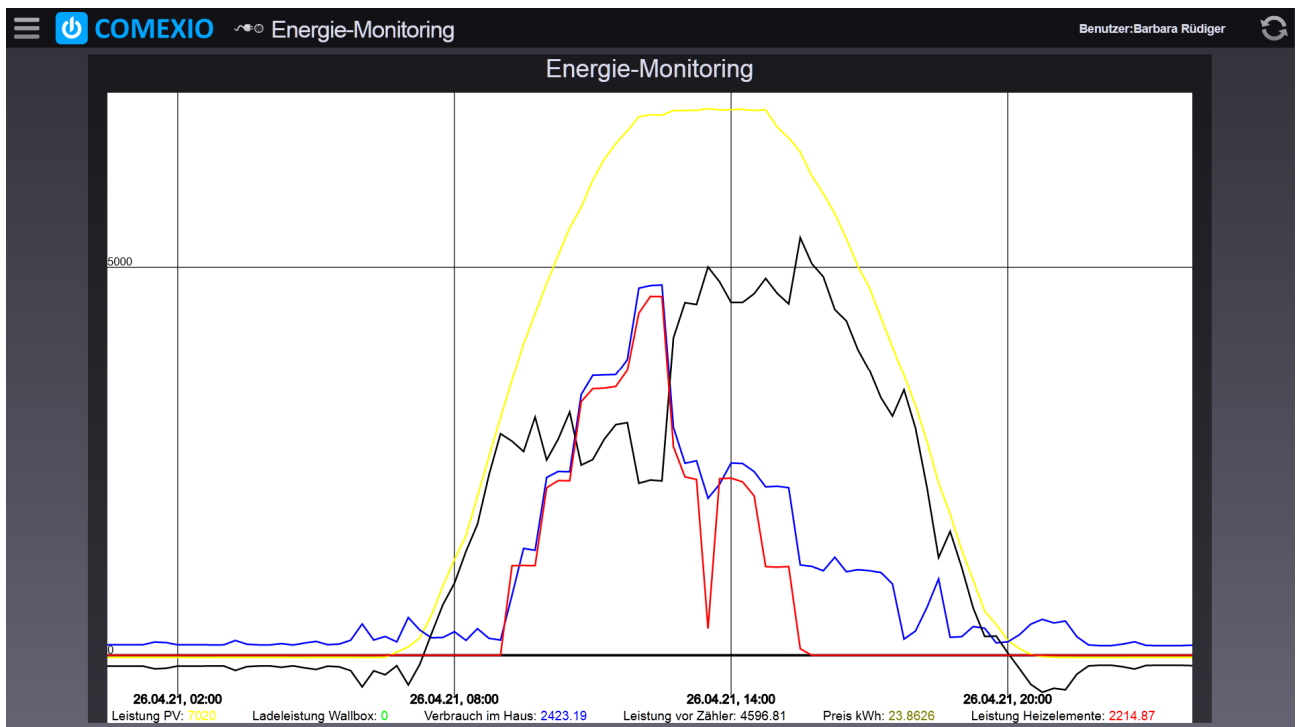
grün – Ladeleistung der Wallbox (an diesem Tag Null)

Anmerkung: die in der Zeile ganz unten angegebenen Werte sind die zum Zeitpunkt des Abrufs aktuellen Werte

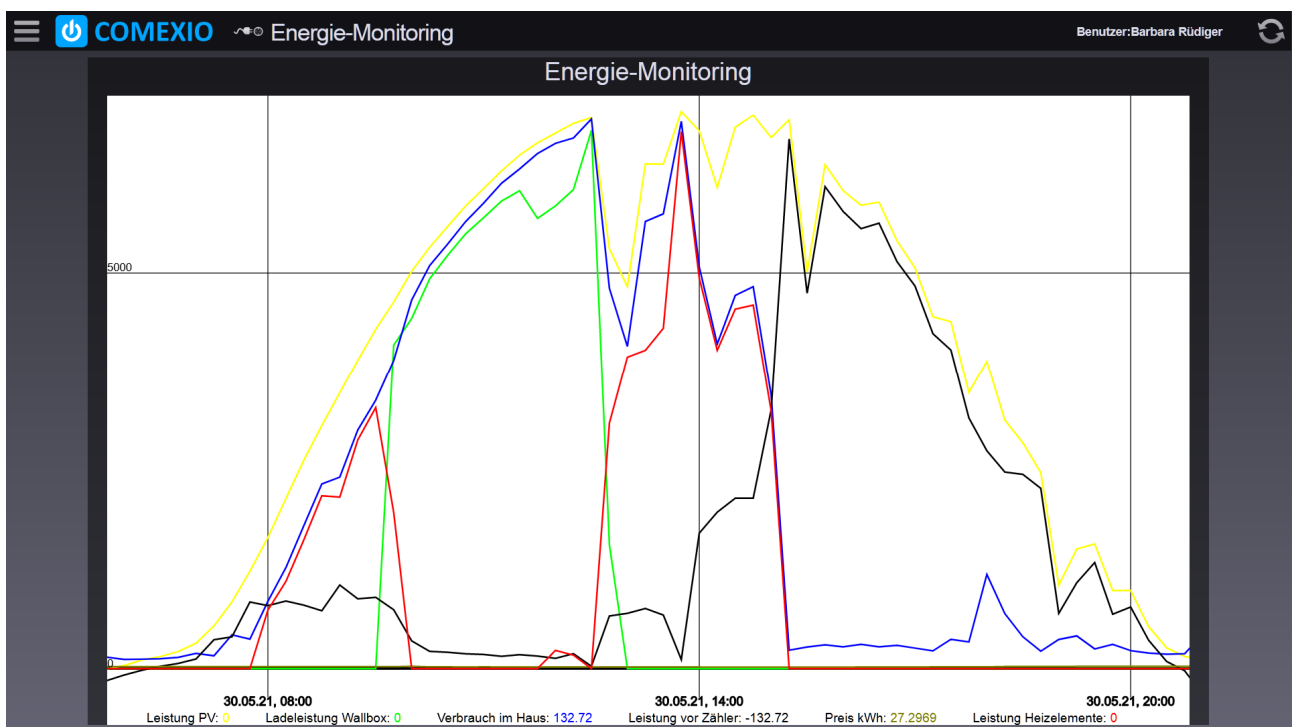


Anmerkung: relativ sonniger Tag mit Wolken zur Mittagszeit und Mindesteinspeisung zuerst ca. 2.500 W, die dann gegen 15 Uhr noch erhöht wurde



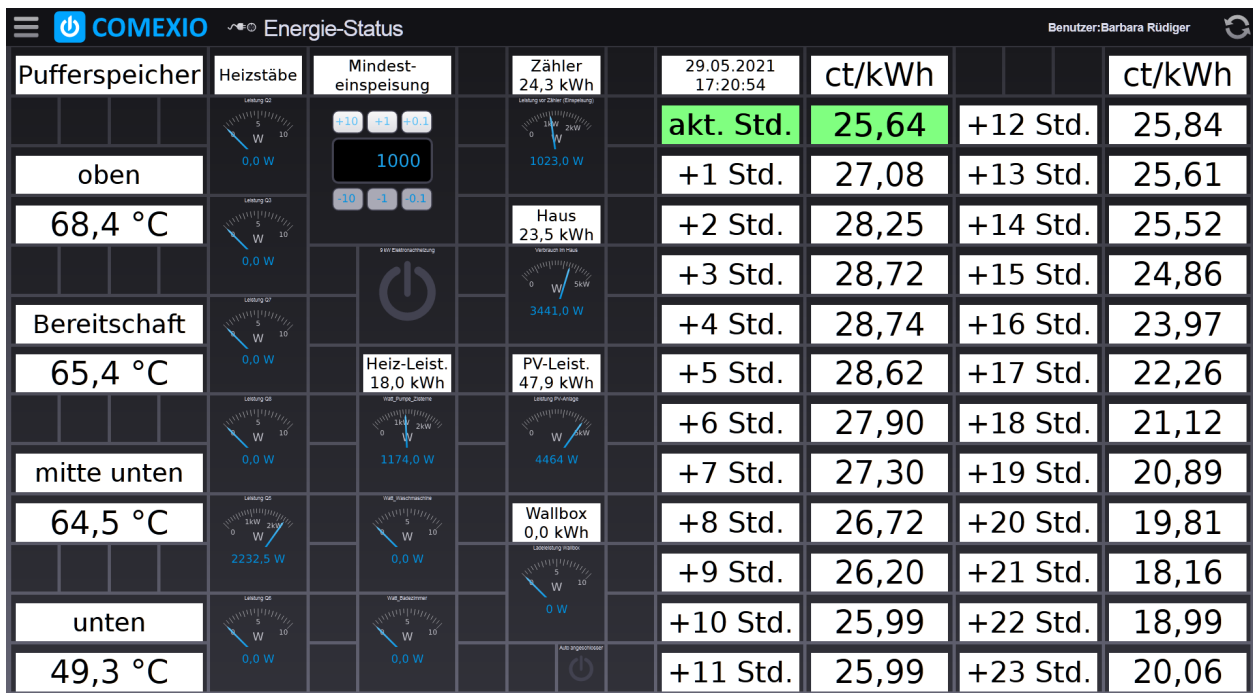


Anmerkung: sonniger, wolkenloser Tag; Mindesteinspeisung zunächst ca. 2.500 W, gegen 13 Uhr dann Erhöhung



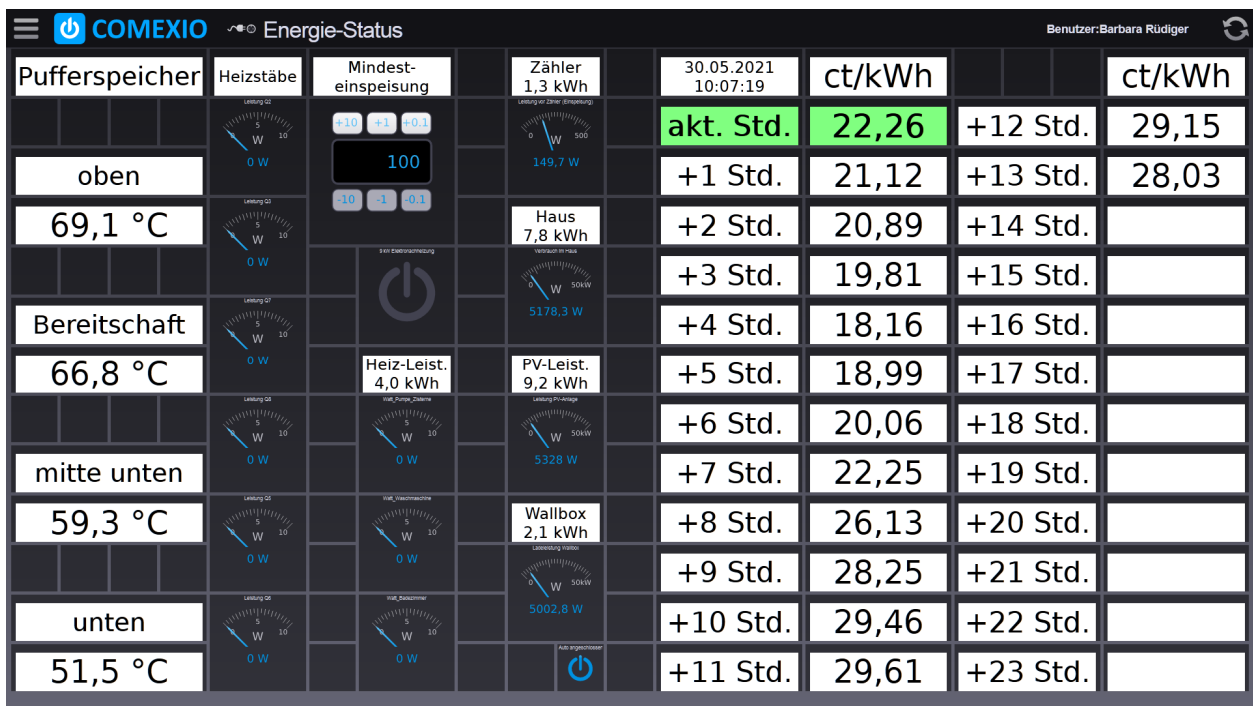
Anmerkung: sonniger, zuerst wolkenloser Tag; erst heizen die Heizstäbe, dann wird das Elektro-Auto geladen, kurz vor 12 Uhr wird gekocht, gegen 12:30 Uhr Ende Ladevorgang, etwas später läuft die Spülmaschine und es wird leicht bewölkt; nach Ladeende werden die Heizstäbe zum Teil wieder aktiv bis die Temperatur erreicht wird, die für den Pufferspeicher (in Abhängigkeit von der Außentemperatur) als sinnvoll erachtet wird; die Mindesteinspeisung wurde an diesem Tag wegen des hohen Eigenverbrauchs gering gewählt (100 W)





↑ Pufferspeicher-Temperaturen auf 4 verschiedenen Höhen
 ↑ Leistung der sechs 1- bzw. 2-kW-Heizstäbe
 ↑ Mindest-einspeisung, Anzeige 9-kW-Heizelement, Tag-summierte Heizenergie für Pufferspeicher, Leistung von 3 Verbrauchern
 ↑ summierte Energie und aktuelle Leistung von:
 - Hausanschluss vor Zähler (saldiert),
 - Summe aller Verbraucher,
 - PV-Anlage,
 - Wallbox sowie Anzeige, ob E-Auto angeschlossen
 ↑ Arbeitspreis je kWh bei Netzbezug in den nächsten Stunden

Screenshot aus unserem Smart-Home-System: Energie-Status

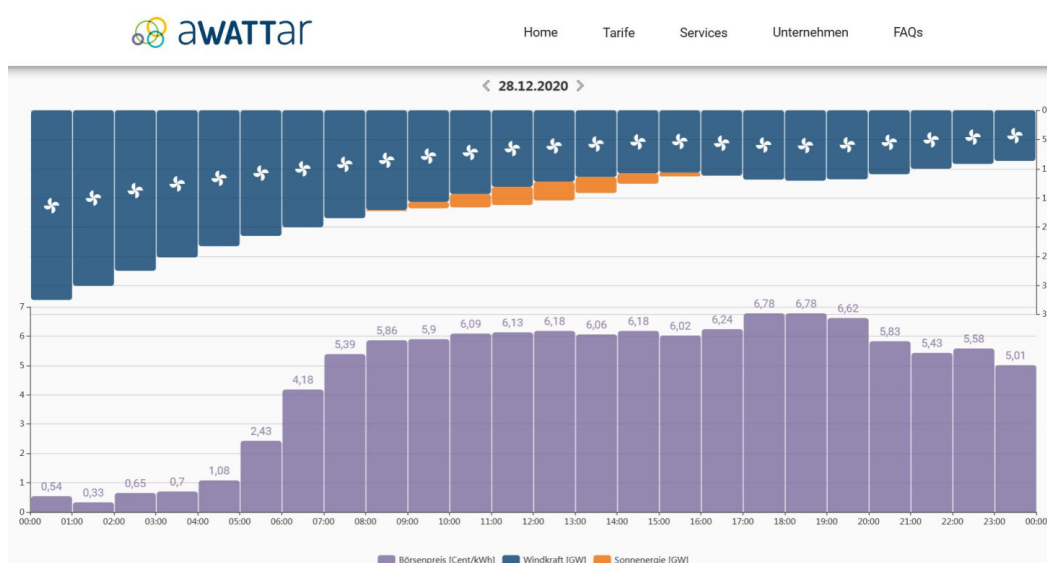
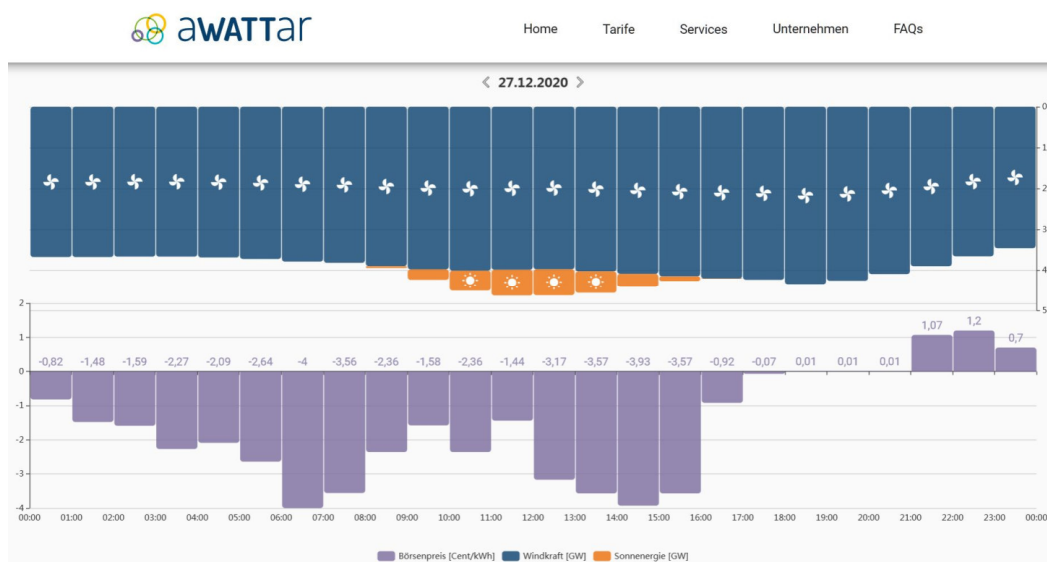
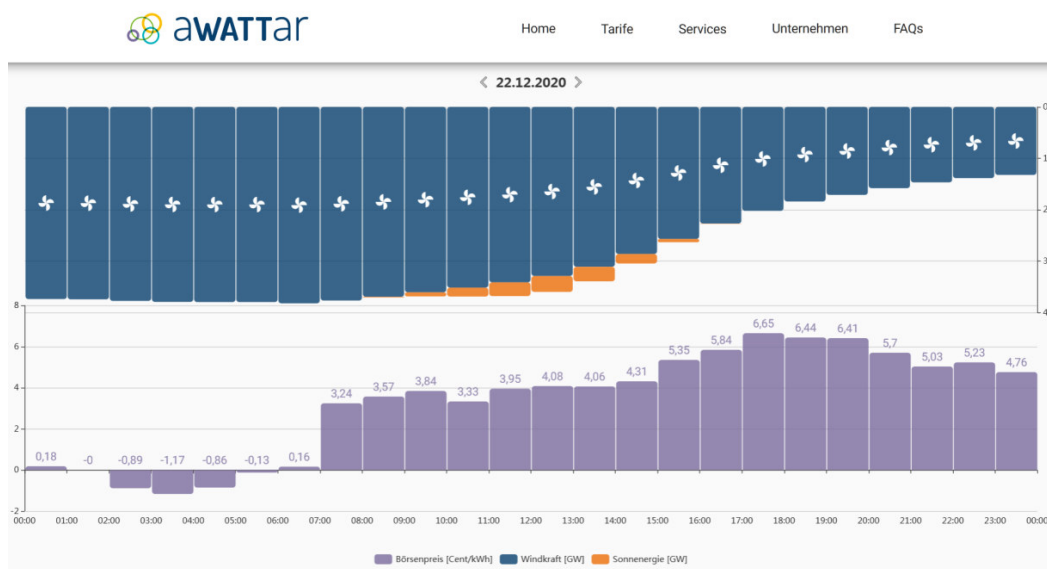


Anmerkung: Die Strompreise für den nächsten Tag stehen erst ab ca. 14 Uhr zur Verfügung

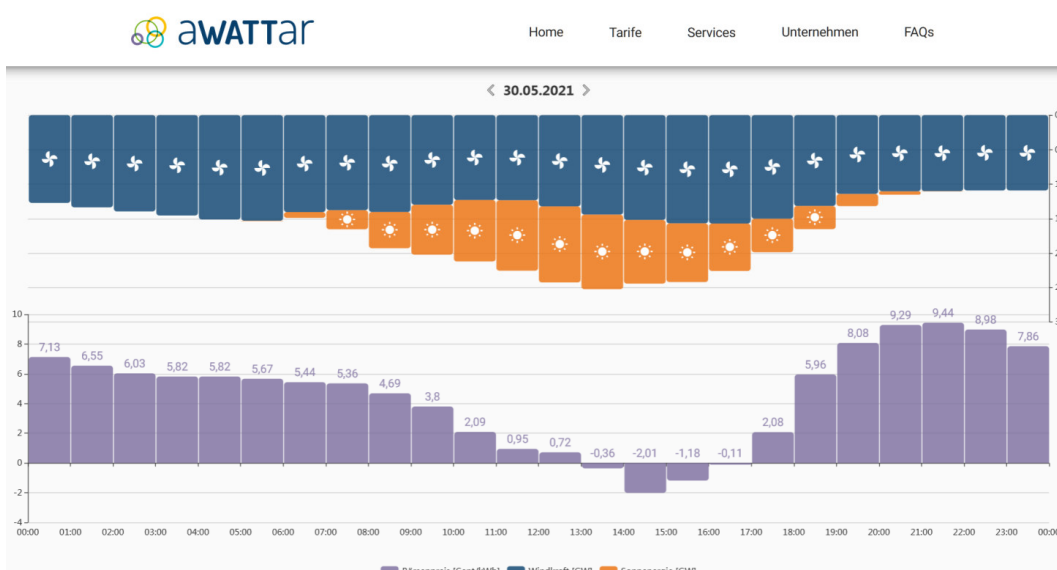
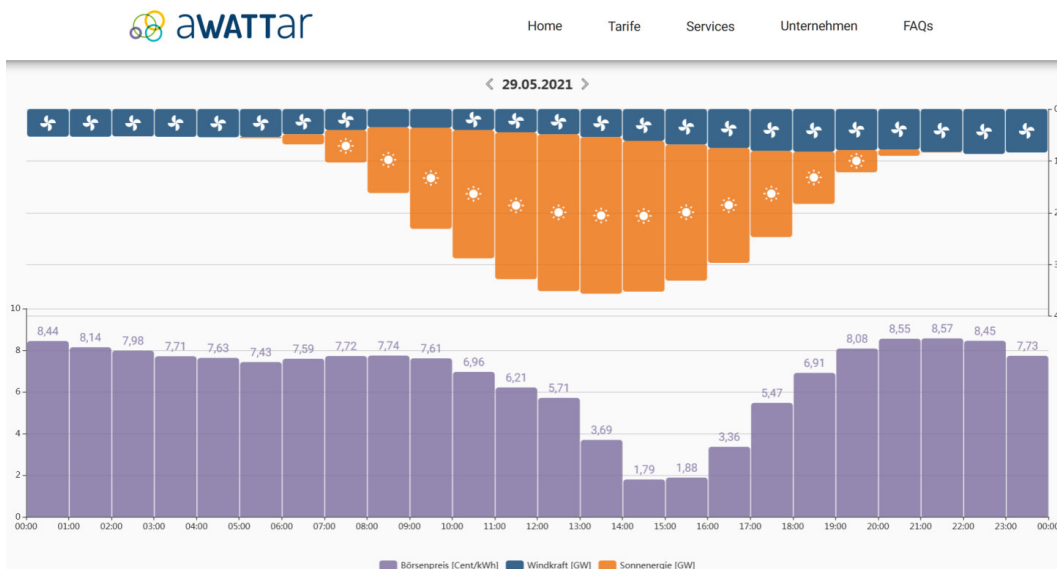
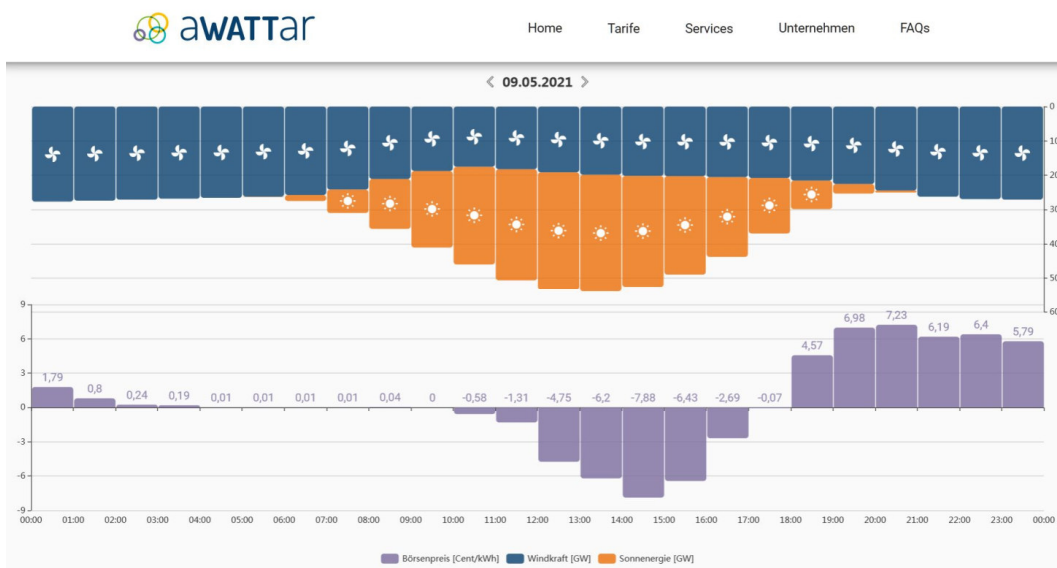


Anhang B: Weitere Beispiele für Börsenstrompreise

Beispiel: 3 Tage im Dezember 2020, dabei der 22.12. und der 27.12. mit zum Teil viel Windstrom:



Beispiel: 3 Tage im Mai 2021, dabei der 9.5. mit viel Wind- und Sonnenstrom und der 29. und 30.5. passend zu den Energie-Status-Screenshots:



Anhang C: Web-Links

<https://www.bio-solar-haus.de/bauweise/haus-im-haus-prinzip>

<https://www.bio-solar-haus.de/bauweise/energieerzeugung>

<https://www.bio-solar-haus.de/ratgeber/photovoltaik-heizung>

<https://www.comexio.com/>

<https://www.loxone.com/dede/produkte/gebaeude-und-hausautomation-miniserver/>

<https://www.loxone.com/dede/kb/wallbox/>

<https://www.loxone.com/dede/kb/weather-service/>

<https://keba.com/de/emobility/products/product-overview/produktubersicht>

<https://keba.com/de/emobility/service-support/downloads/downloads>

<https://www.awattar.de/tariffs/hourly>

<https://www.awattar.de/services/api>

<http://www.flexnetz.de/>

