



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 23. November 2013

Solare Plus- Energie- Sanierung

Umbau EFH Stahl in Wil SG

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

dransfeldarchitekten ag
Poststrasse 9A
CH-8272 Ermatingen
www.dransfeld.ch

Autoren:

Peter Dransfeld, dransfeldarchitekten ag, dransfeld@dransfeld.ch
Johannes Vogel, dransfeldarchitekten ag, vogel@dransfeld.ch
René Naef, Naef Energietechnik, naef@naef-energie.ch
Martin Stahl, Martin.Stahl@helbling.ch
Christian Keiser, Ingenieurbüro für Holzbau, christian.keiser@lignitec.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500649-02 / SI/500649

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Peter Dransfeld
Johannes Vogel
René Naef
Christian Keiser
Martin Stahl

Solare Plus-Energie-Sanierung

Wohnhaus Karin + Martin Stahl in Wil (Kanton St.Gallen)



Schlussbericht zum
Demonstrationsprojekt
im Auftrag vom
Bundesamt für Energie, Bern (BfE)

Die vorliegende Publikation ist im Zeitraum 2011 – 2013 im Büro Dransfeld Architekten entstanden. Verantwortlicher Mitarbeiter ist Johannes Vogel. Auftraggeberin ist das Bundesamt für Energie (BfE) in Bern, vertreten durch Rolf Moser. Projektleiter auf Seiten BfE ist Andreas Eckmanns.

Wesentliche Beiträge zum Projekt stammen von René Naef, der seine Erfahrung in der Haustechnikplanung von Neu- und Umbauten mit höchster Energieeffizienz eingebracht hat; sowie von Christian Keiser, der die konstruktiven Grundlagen erarbeitet und die Umsetzung begleitet hat.

Martin Stahl hat nicht nur als Bauherr Mut und Weitsicht bewiesen, sondern darüber hinaus auch die gesamten Messungen betreut, vom Konzept über die Einrichtung und Durchführung bis zur Auswertung.

Peter Dransfeld, Ermatingen, Oktober 2013

Inhalt

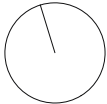
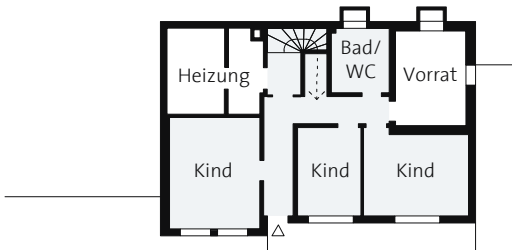
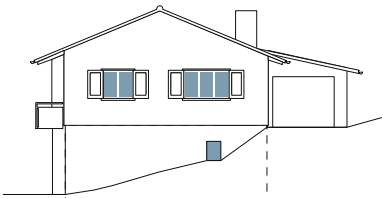
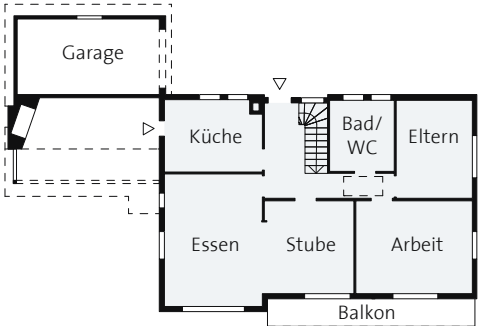
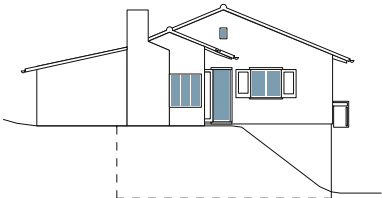
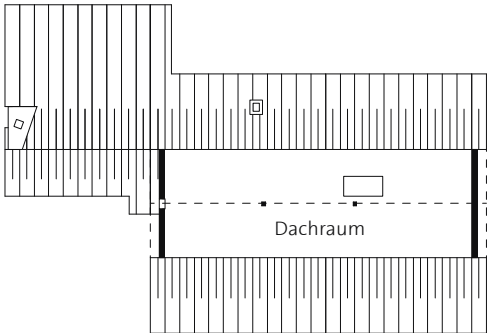
Zusammenfassung	5
Ausgangslage	7
Effizienzpfad Energie	9
Bau- und Energiekonzept	11
Projekt	13
Gebäudehülle	15
Solare Gewinnflächen	19
Konstruktion	21
Heizung	23
Lüftung	25
Photovoltaik	27
Passive Solarnutzung	29
Bauprozess	31
Messprojekt	33
Bilanz Betriebsenergie	61
Bilanz Graue Energie	63
Beteiligte	64
Schluss	65
Fotos	67

Zusammenfassung

Solare Gebäudeerneuerungen besitzen ein enormes Potenzial für das Erreichen der 2000 Watt-Gesellschaft. Sogar alte Gebäude können dank der Sonne zu Plus-Energie-Bauten werden. Das Haus von Familie Stahl in Wil ist eines der ersten Gebäude in Mitteleuropa, die dieses Ziel erreichen - wirtschaftlich, in kurzer Zeit, im bewohnten Zustand und bei hohem Komfort. Es öffnet damit den Blick auf Tausende ähnliche Bauten, die ebenfalls zu kleinen Kraftwerken werden können.

Des rénovations de bâtiments solaires offrent des opportunités extraordinaires sur le chemin vers la société 2000 Watt. Même des anciens bâtiments peuvent devenir des édifices ,plus-énergie'. La maison de la famille Stahl à Wil est un des premiers bâtiments en Europe centrale qui ont atteint ce but - d'une manière économique, en peu de temps, en état habité et en arrivant à un confort élevé. Cet exemple démontre aussi les possibilités pour des milliers d'autres bâtiments qui également pourraient devenir de petites centrales d'énergie.

Solar renovations offer a great field of opportunities on the way to the 2000 Watt society. If some conditions are given, older houses can become ,plus-energy-buildings'. The house of Stahl family in Wil is one of the first buildings in middle Europe that reach this aim - on an economic way, in few time, without necessity to leave the building, and reaching highly comfortable conditions. This example shows the possibilities that are given for thousands of other buildings that as well could become little power plants.



Ausgangslage

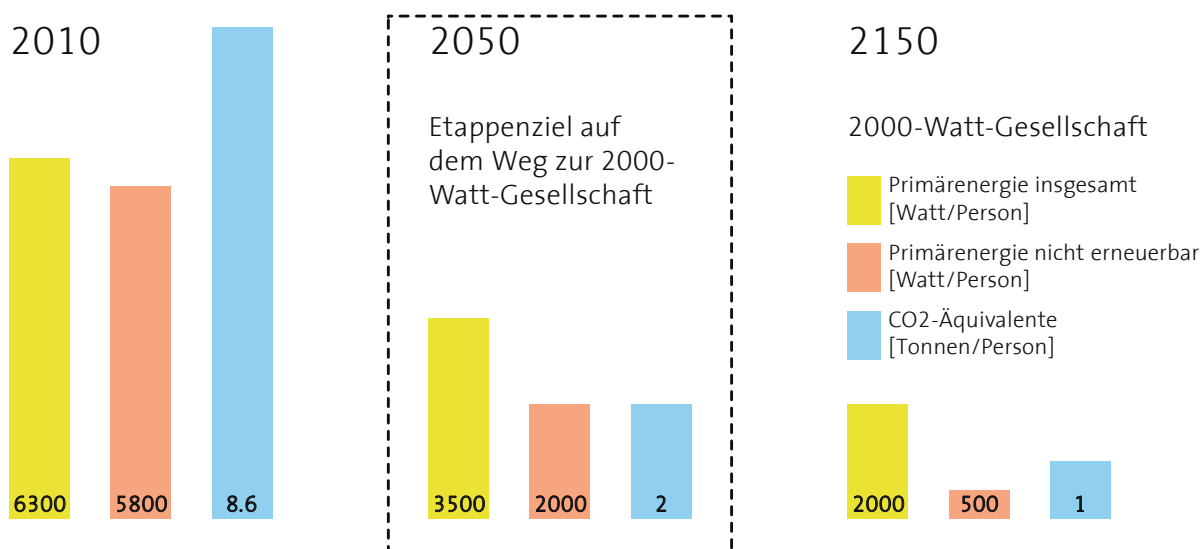
Das Wohnhaus von Familie Stahl ist in einen Südhang eingebettet, dessen Gefälle über die Gebäudetiefe eine Geschosshöhe ausmacht. Im teils unbeheizten Sockelgeschoss waren bisher auch Wohnräume untergebracht. Darüber lag das von Norden ebenerdig zugängliche Hauptgeschoss mit weiteren Wohn- und Schlafräumen, einem Balkon und grosszügigem Ausblick. Westlich, von Küche und Esszimmer aus zugänglich, schloss sich eine überdachte Terrasse an. Unter dem nur schwach geneigten Satteldach befand sich ein niedriger Dachraum, der nur über eine Auszugleiter zugänglich war.

Das Gebäude blieb seit seiner Erstellung 1963 nahezu 50 Jahre lang unverändert. Das Sockelgeschoss wies keinerlei Wärmedämmung auf. Das Obergeschoss ist aus Holztafelelementen erstellt und ein Vorläufer späterer Fertighäuser. Die Aussenwände sind zudem mit nicht tragendem Backsteinmauerwerk verblendet. Die Holzbalkendecke zum Dachraum war in der Balkenlage bescheiden mit Steinwolle gedämmt. Ansonsten besass das Gebäude keine eigentliche Dämmung. Die Fenster waren doppelt verglast.

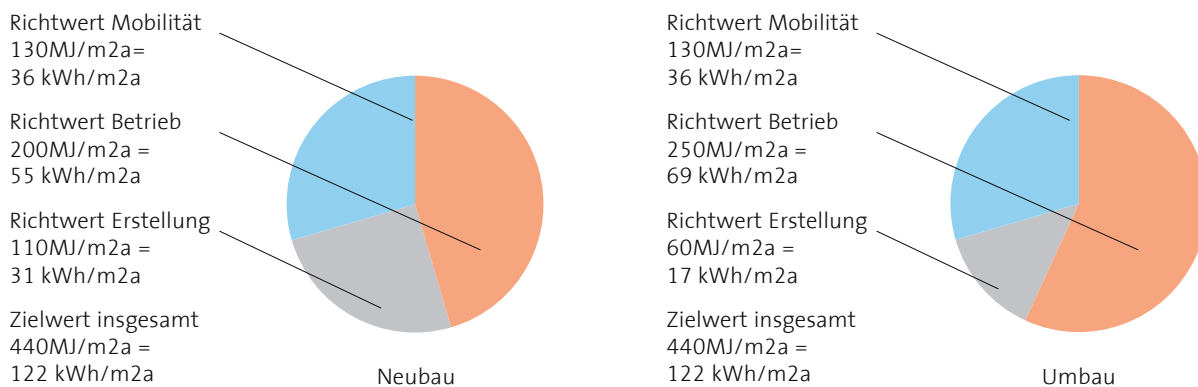
Die Wärme wurde über eine Öl-Zentralheizung erzeugt und über Rippenheizkörper auf alle Aufenthaltsräume verteilt. Die Leistung reichte an sehr kalten Wintertagen nicht aus, um die Heizlast zu decken und Kondensat zu verhindern. 2005 wurde zusätzlich ein Schwedenofen aufgestellt. Die Warmwassererzeugung geschah ganzjährig über einen Elektroboiler. Das Gebäude wies zwar an allen Bauteilen deutlich Spuren von fast 50-jähriger Nutzung auf, zeigte aber keine ernsthaften Bauschäden.

Wunsch der Bauherrschaft war eine zeitgemässe Erneuerung mit deutlich höherem Komfort für die 5-köpfige Familie, etwas Raumgewinn, ein wegweisendes Energiekonzept und eine Lösung, die bei beschränkten Mitteln im bewohnten Zustand umsetzbar ist. Ob dies durch An-, Auf- oder Vorbauten geschehen sollte, war völlig offen, ebenso die künftige Energieversorgung.

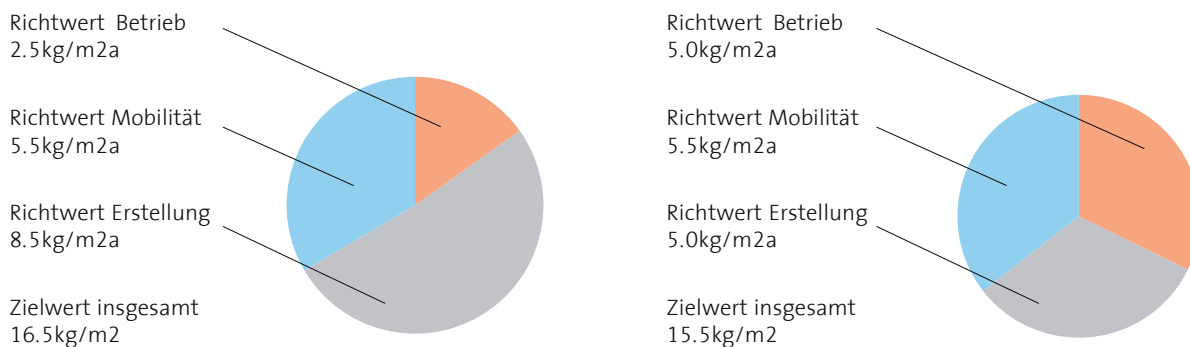
Energieverbrauch und Emission pro Kopf und Jahr gem SIA D 0236



Spezifische Energie Wohnen (gem. SIA 2040)



Spezifische CO2-Emission Wohnen (gem. SIA 2040)



Effizienzpfad Energie

Im Rahmen des vom Bundesamt für Energie geförderten Pilotprojekts wurde das Ziel formuliert, Projekt und Resultate an dem vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) formulierten Effizienzpfad (SIA-Merkblatt 2040, 2011) zu messen. Dieser wird hier kurz vorgestellt.

Der Verbrauch an fossiler Energie und die damit verbundenen Emissionen werden heute als wesentliche Ursache der zu beobachtenden Klimaveränderung angesehen. Der durchschnittliche Energieverbrauch eines Menschen liegt heute jährlich zwischen 17'000 und 18'000 kWh, was einer Dauerleistung von 2000W entspricht. Die weltweiten Unterschiede sind jedoch gross: Sie reichen von rund 500W Dauerleistung in Bangladesh bis zu rund 12'500 W Dauerleistung für einen US-Amerikaner. Der SIA – Effizienzpfad Energie beabsichtigt, diesen Energiebedarf zum ersten erneuerbar zu decken und zum zweiten gerechter zu verteilen. Das bedeutet, dass die grossen Verbraucher wie Europa oder die USA ihren Verbrauch drastisch senken:

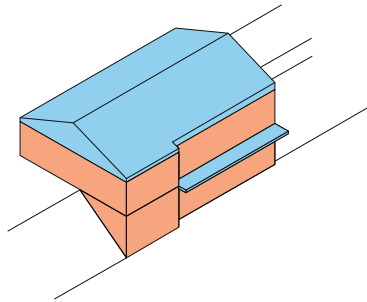
„Bis ins Jahr 2050 soll die Bevölkerung in der Schweiz zwei Drittel weniger Energie verbrauchen als heute, die Emissionen aus Treibhausgasen sollen gar auf einen Viertel gesenkt werden.“ (Zitat bErläuterung SIA auf www.sia.ch)

Neben der Betriebsenergie werden dabei auch die Graue Energie und die standortabhängige Mobilität einbezogen. Als entscheidende Neuerung ist es gelungen, auch Zielwerte für die Treibhausgasemissionen anzugeben. Sie sind wegen ihrer Auswirkung auf das Klima zentral und bilden neben der nicht erneuerbaren Primärenergie die zweite Beurteilungsgrösse.

Der SIA-Effizienzpfad Energie setzt für die drei Gebäudekategorien Wohnen, Büro und Schulen Zielwerte und zwar für Neubauten wie auch für Umbauten und Sanierungen. Damit ist eine energetische Betrachtung über den ganzen Lebenszyklus von Gebäuden möglich, die mit dem Bereich Mobilität auch das siedlungs- und städtebauliche Umfeld einbezieht.

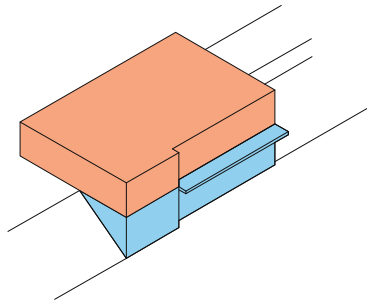
Für die energetische Beurteilung des Vorliegenden projektes ist massgebend ob der Zielwert für Umbauten also 122 kWh nicht erneuerbarer Primärenergie pro m² und Jahr eingehalten werden kann. Dabei liegt das Augenmerk besonders auf der Betriebsenergie und der Grauen Energie, während auf die Mobilitätsenergie kaum Einfluss genommen werden kann.

Ausgangslage



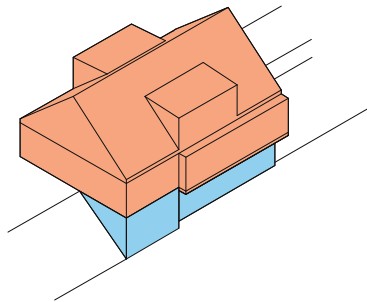
- nicht gedämmte Gebäudehülle
- schlecht nutzbarer Dachraum
- auskragende Balkonplatte
- Schimmelbildung im EG

Abbruch Dach



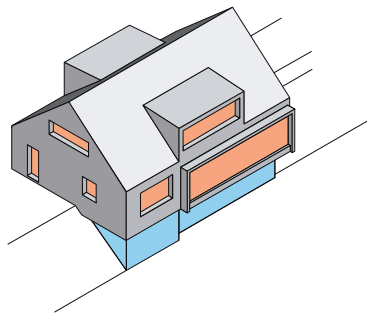
- Entfernen des alten Dachstuhls
- Umwandlung EG zu Abstellr.
- 3 Zimmer im EG
- Demontage der Heizung EG

Neue Räume



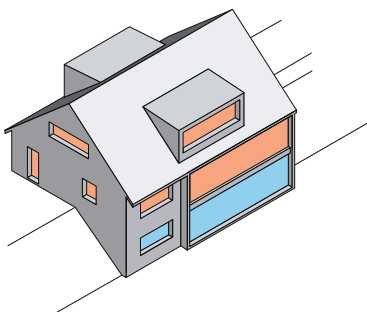
- Steileres, ausbaubares Dach
- +3 Zimmer, Du/WC
- Umbau Balkon zu Passivkollektor

Wärmedämmung



- Neudefinition der thermischen Hülle
- U-Werte $\leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3-fach Isolierverglasung
- grosse Südfensterflächen

Fassadenbekleidung



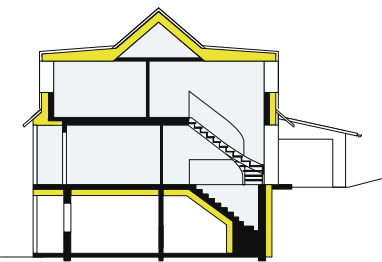
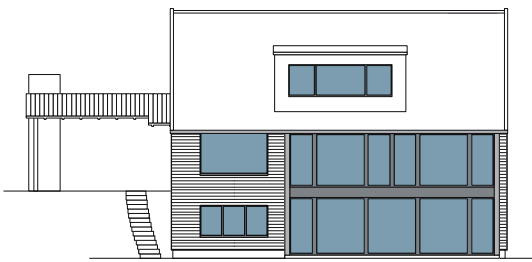
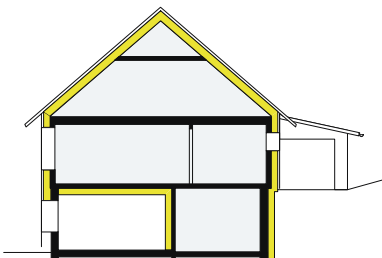
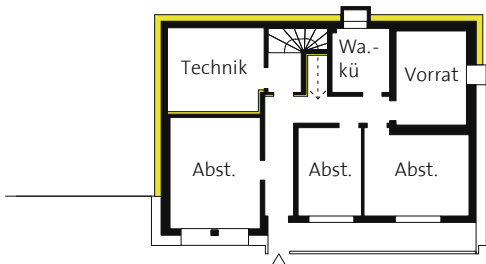
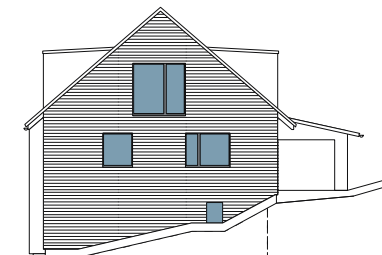
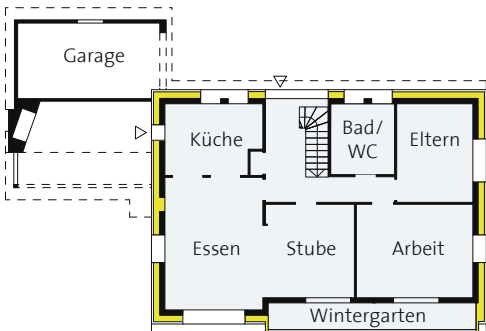
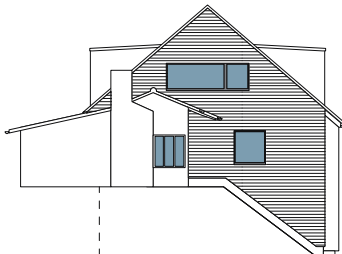
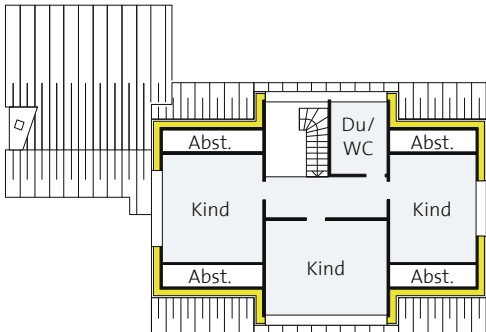
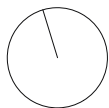
- Einheitliche äussere Bekleidung
- weiterer Passivkollektor im EG
- ruhige Gesamterscheinung

Bau- und Energiekonzept

Es hat sich schnell herausgestellt, dass eine optimale energetische Sanierung des weitgehend in die Erde eingegrabenen Sockelgeschosses kaum möglich sein würde. Zudem war eine Vergrößerung der beheizten Fläche baurechtlich nicht zulässig. So entstand, trotz weiterer baurechtlicher Hürden, die Idee einer Aufstockung mit drei neuen Schlafräumen. Die bisherigen Aufenthaltsräume im Sockelgeschoss wurden dabei zu ungeheizten Nebenräumen. Das Hauptgeschoss sollte unverändert bleiben.

Die Kragplatte des Balkons hätte eine erhebliche Wärmebrücke dargestellt. Um diese zu eliminieren und um solare Direktgewinne zu erzielen, wurde der Balkon vollständig verglast und in den Wärmedämm-Perimeter einbezogen. Dadurch entstand eine Art Wintergarten, der durch gezielte Bedienung sowohl das Wohngeschoss heizen als auch das Sockelgeschoss temperieren kann.

Kern des energetischen Konzeptes ist eine konsequente Minimierung des Energiebedarfes. Diese wird durch dichte Bauweise und eine sehr gute Wärmedämmung im Passivhausstandard, Nutzung passiver solarer Energie, grosszügiger natürlicher Belichtung und Wärmehückgewinnung erreicht.



Projekt

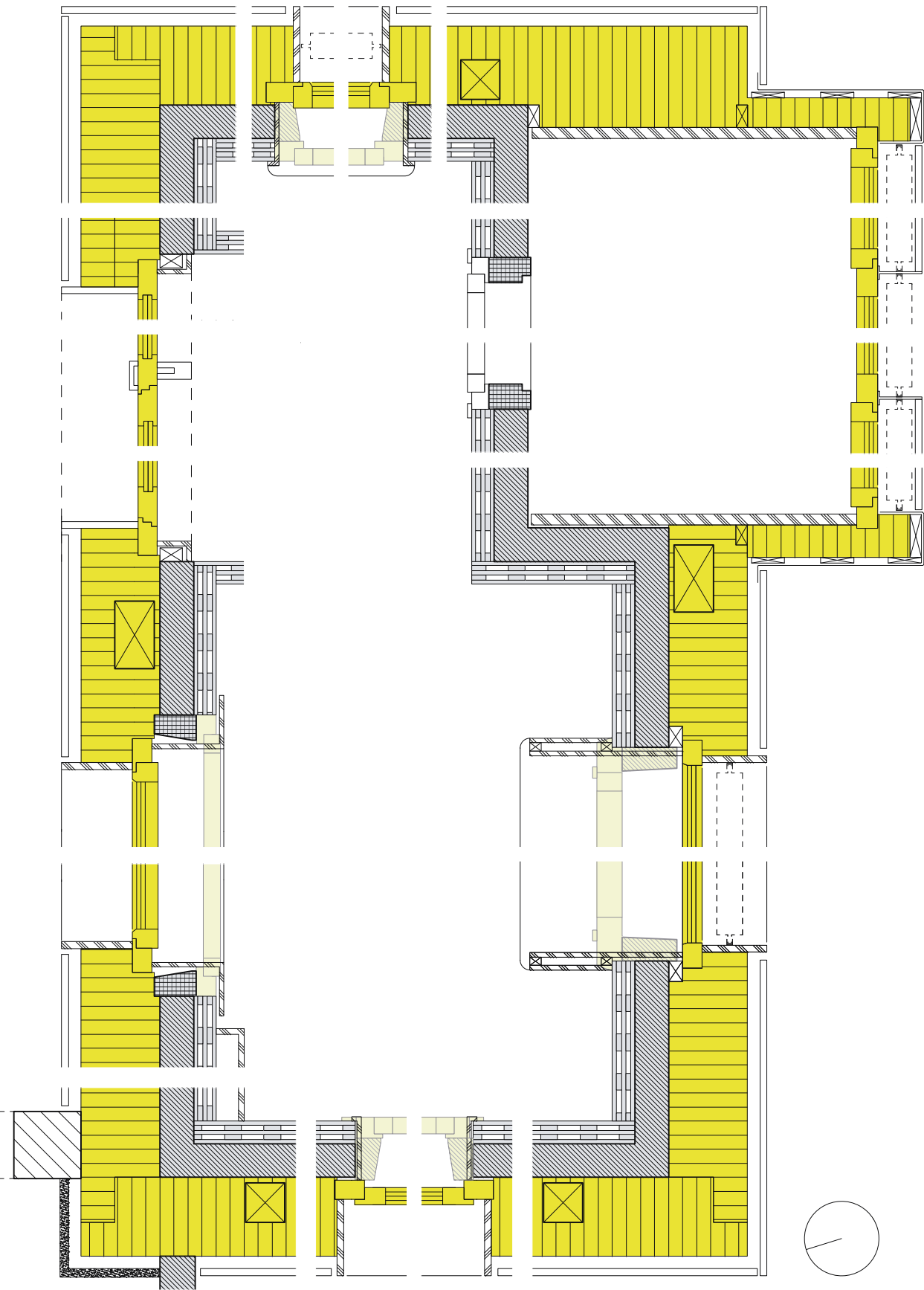
Durch Anheben der Firstlinie und Aufsetzen zweier Gauben wurde im Dachgeschoss genügend Raum geschaffen, um die vormaligen Kinderzimmer in gleichem Umfang zu ersetzen.

Die Neuordnung des Gebäudes erforderte eine neue Treppenverbindung ins Dachgeschoss, das bis anhin nur über eine Auszugleiter vom Gang aus erreichbar war. Dabei entstand ein einziger grosszügiger und heller Raum über zwei Geschosse, von welchem alle Räume der Wohnung direkt zugänglich sind. Die bisherige räumliche, akustische und optische Barriere zwischen den beiden Wohngeschossen ist weitgehend beseitigt ohne dabei die Intimität der einzelnen Schlafräume zu schmälern.

Die Zimmer im bisherigen Wohngeschoss wurden weitgehend belassen. Einziger Eingriff in die räumliche Struktur ist die Zusammenlegung von Küche und Esszimmer zu einer grosszügigen Einheit.

Das Bad wurde am gleichen Ort auf einen zeitgemässen technischen Standard gebracht. Die Verglasung des Balkons aus energetischen Gründen hat zu einem weiteren Raum geführt, der im Winter die Qualität von Stube und Arbeitszimmer deutlich verbessert und im Sommer durch die Möglichkeit, die Glasfront zu fast 50% ihrer Fläche zu öffnen, als Aussenraum angesehen werden kann.

Die ehemaligen Kinderzimmer werden nun als Abstellräume genutzt. Die Heizkörper und die dazugehörige Verrohrung wurden abgebaut. Die Decke wurde abgehängt. Der Zwischenraum dient zur Aufnahme haustechnischer Leitungen und der Dämmung des Bodens im Obergeschoss.



Gebäudehülle

Voraussetzung für eine positive Energiebilanz ist ein sehr tiefer Energiebedarf. Die Sonne liefert, gemessen an bisherigen Energieverbräuchen von Wohnhäusern, nur geringe Erträge. Sollen diese höher sein als der Verbrauch, muss dieser sehr tief sein. Dazu muss die Gebäudehülle kompakt, dicht und sehr gut gedämmt sein.

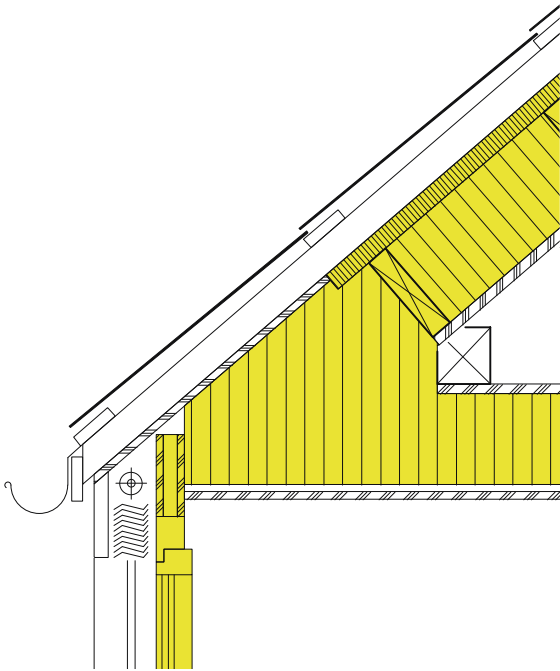
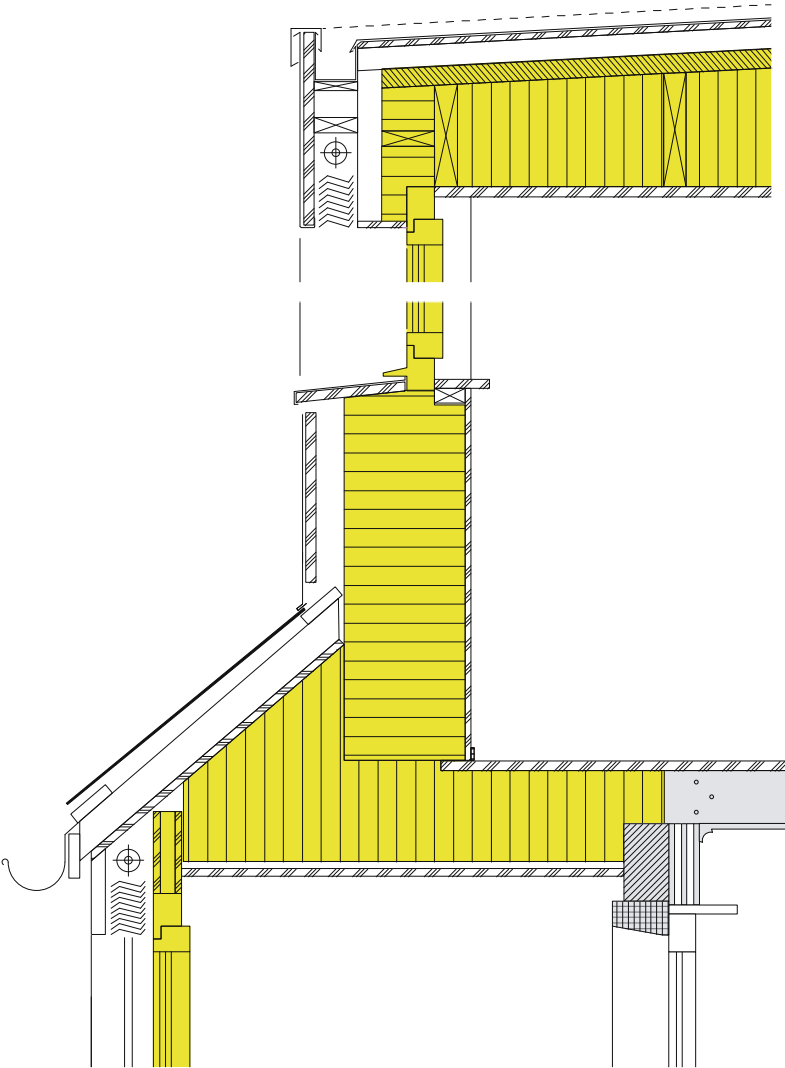
Das neue Dachgeschoss ist als zeitgemässer, hoch gedämmter Holzelementbau konzipiert und ausgeführt. Die bestehenden Aussenwände des Wohngeschosses wurden konsequent und möglichst wärmebrückenfrei von aussen gedämmt, so dass in allen Flächen, die an Aussenluft grenzen, Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen 0.13 und 0.15 W/m²K erreicht wurden.

Die Decke zum neu ungeheizten Sockelgeschoss wurde ebenfalls konsequent gedämmt, mit U-Werten, die teilweise denjenigen der Aussenwände entsprechen.

Die Fenster sind 3-fach verglast und näher an die Aussenseite der Wand gesetzt, so dass Wärmebrücken und Verschattung vermieden werden.

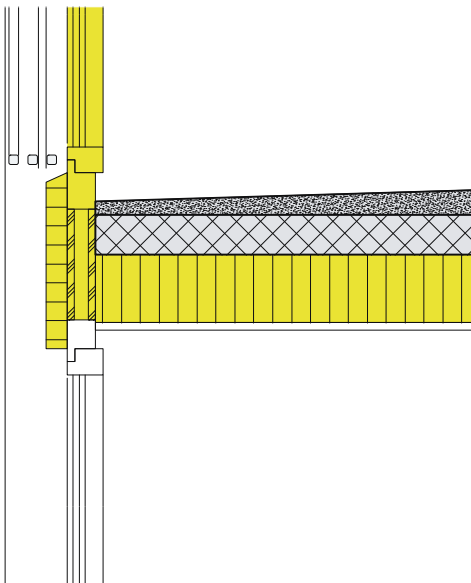
Die Luftdichtigkeitsschicht liegt bei allen Aussenbauteilen innerhalb der Dämmebene. Im Fall der bestehenden Aussenwand ist es der Aussenputz, im Fall der Kellerdecke die Betonplatte selbst und im Fall des neuen Dachgeschosses die innere Dreischichtplatte der Bauelemente. Die Stösse zwischen den Bauteilen und gegenüber Fenstern, Türen und Leitungsdurchdringungen sind konsequent und dauerhaft abgeklebt.

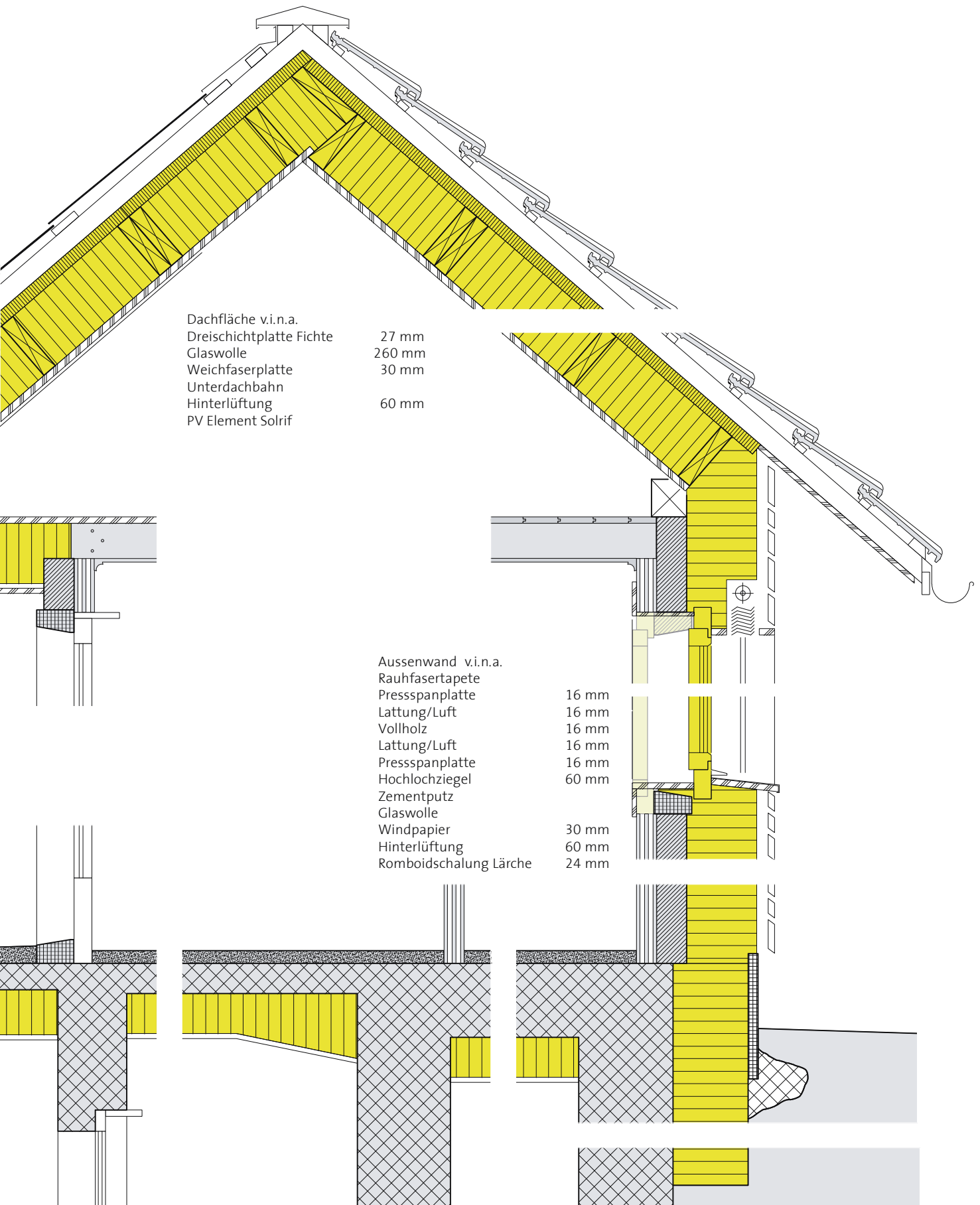
Zur Vermeidung einer massiven Wärmebrücke wurde die bestehende Balkonplatte in die neue Hülle einbezogen.



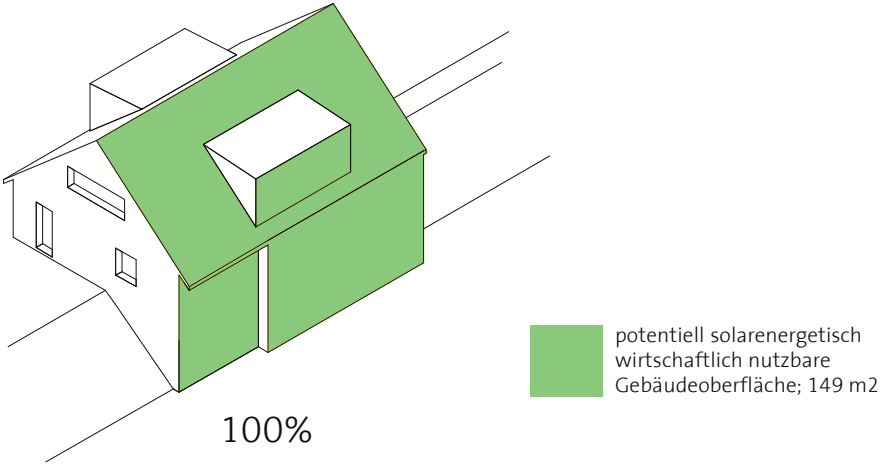
Kellerdecke v.o.n.u.
Eichenholz
Zementestrich
Korschrotmatte
Stahlbeton
Glaswolle
Gipskarton

10 mm
40 mm
10 mm
120-300 mm
160-300 mm
24 mm

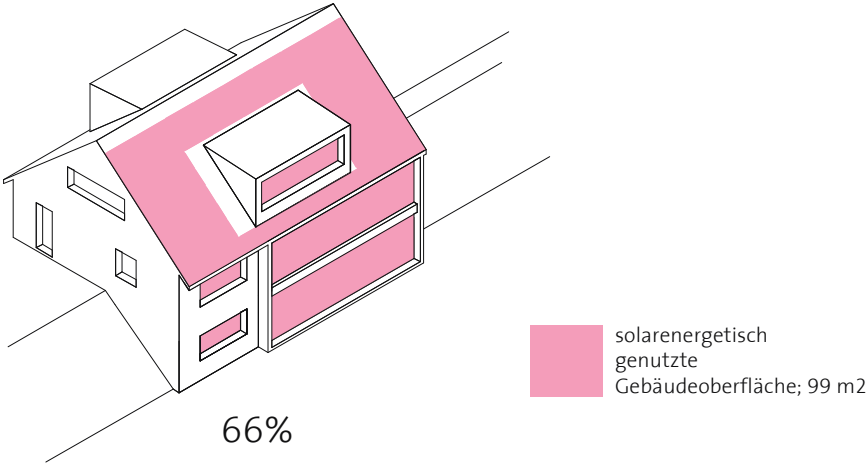




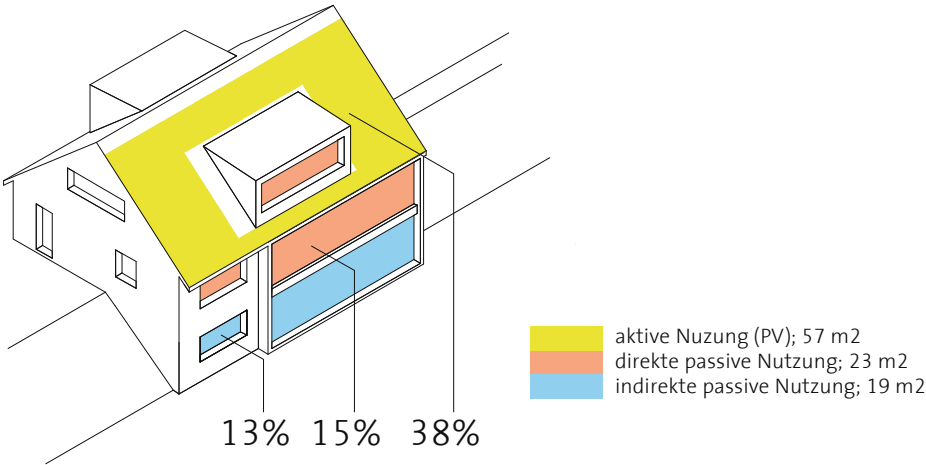
Flächenpotential



Ausnutzung



Nutzungsarten

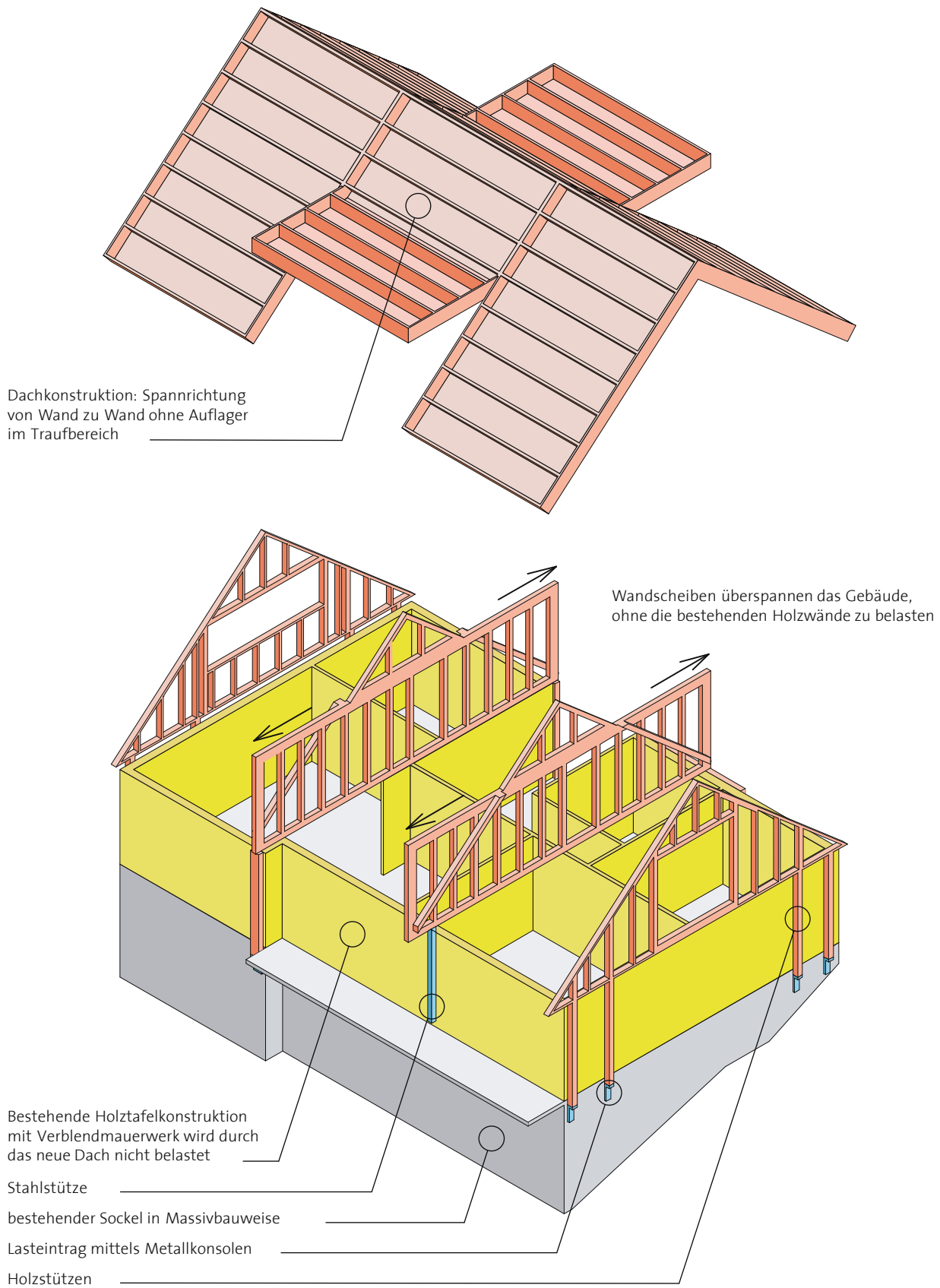


Solare Gewinnflächen

Das Gebäude ist mit seiner nahezu unverschatteten Hauptfassade nach Süden ausgerichtet, so dass Wand und Dach ein hohes Potential zur Gewinnung solarer Energie aufweisen. Das theoretische Potential an geeigneten Flächen ($\pm 30^\circ$ idealer Südausrichtung, Neigung 10° bis vertikal) beträgt rund 150 m², die jährlich darauf eintreffende Sonnenenergie entspricht etwa 12'000 kWh. Effektiv genutzt werden davon rund 100 m², also zwei Drittel.

Das Hauptdach wurde so vollständig mit Photovoltaik belegt, wie dies möglich und sinnvoll war. Die effektive Ausnutzung der 75 m² grossen Dachfläche beträgt 57 m², also rund drei Viertel derselben. Von der Südfassade sind nur die Fensterflächen als Nutzer der Sonnenenergie anzusehen. Ihr Anteil an der Fassadenfläche beträgt 45%.

Einzig die kleinen opaken Flächen sowie konstruktiv bedingte Anschlussteile werden nicht nennenswert zur solaren Energiegewinnung genutzt.



Konstruktion

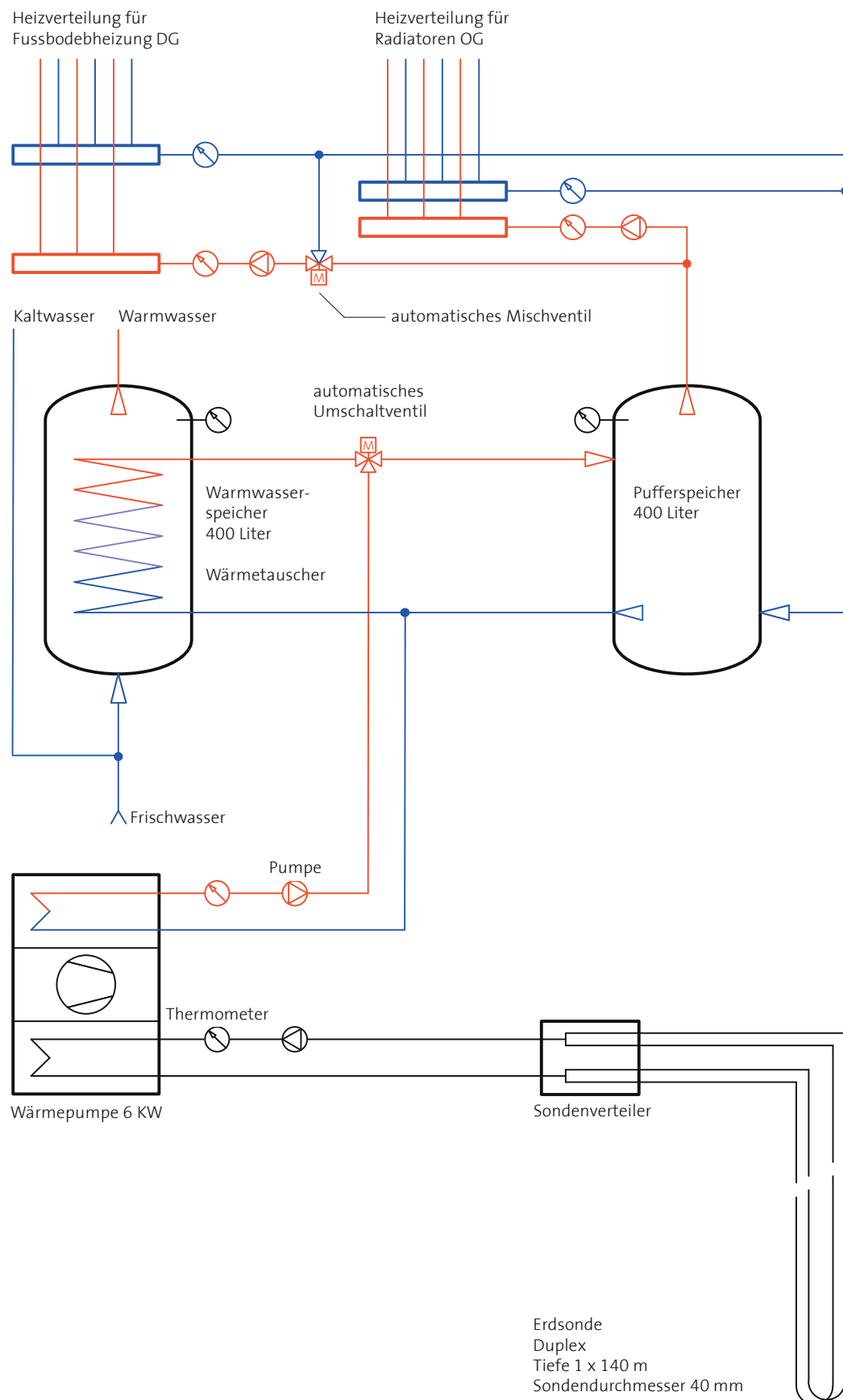
Die bestehende Tragkonstruktion entstand im Zuge einer Entwicklung von materialsparenden Fertighausbauweisen um die Mitte des 20. Jahrhunderts. Hier wurden Spanplatten im Verbund mit schmalen Fichtenlatten zu Sandwichpaneelen verbunden.

Diese nur 8 cm starken Tafeln sind dem Zweck entsprechend minimal dimensioniert und verfügen über keine Festigkeitsreserven. Ihre Tragfähigkeit reicht daher nicht aus, um die Lasten des neuen Dachgeschosses aufnehmen zu können.

Deshalb wurde dem Gebäude der Dachstuhl abgenommen und eine sich selbst tragende ‚Halle‘ übergestülpt. Deren Tragwerk besteht im wesentlichen aus vier vorgefertigten Schotten, welche auf Holzstützen aufliegen und die bestehenden Holztafelwände nicht belasten, sondern die Lasten direkt in den gemauerten Sockel einleiten. Die bisherige Holzkonstruktion nimmt anstelle der alten Dachlasten die Verkehrslasten des neu ausgebauten Dachgeschosses auf. Auch wird die Steifigkeit, die aus der kleinteiligen Zellenstruktur des Bestandsgebäudes resultiert für die Aufnahme horizontaler Kräfte (Wind, Erdbeben) genutzt.

Die Dachfläche besteht aus vorgefertigten Elementen, welche Sparrenpfetten enthalten und die Schotten parallel zum First überspannen, so dass im Traufbereich kein Auflager gebraucht wird.

Da auf die auskragende Balkonplatte aus diversen Gründen keine Stütze gestellt werden kann, wurde in die bestehende Aussenwand eine Stahlstütze integriert, wobei lediglich das Verblendmauerwerk lokal entfernt wurde.



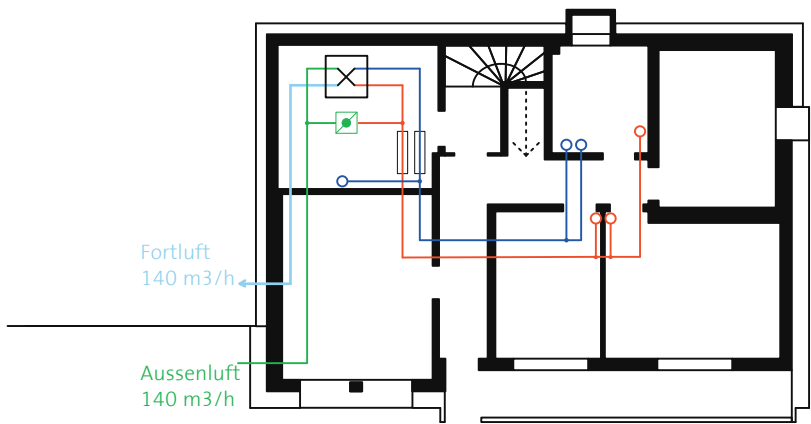
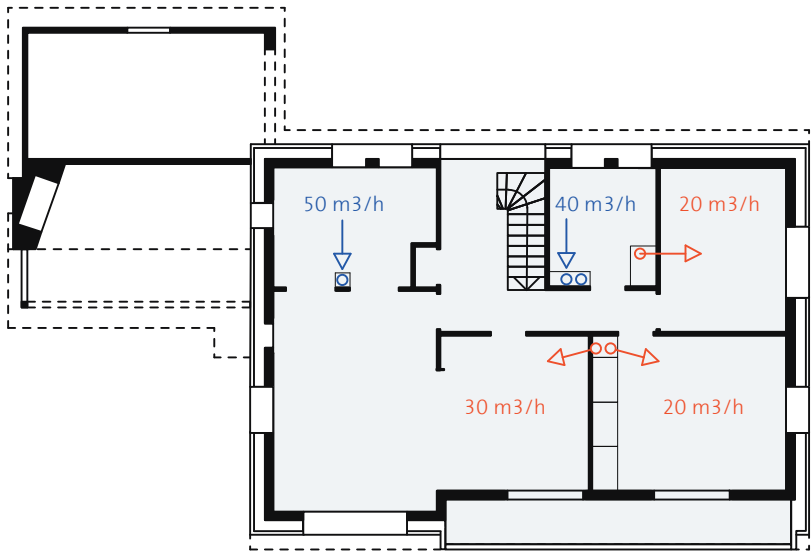
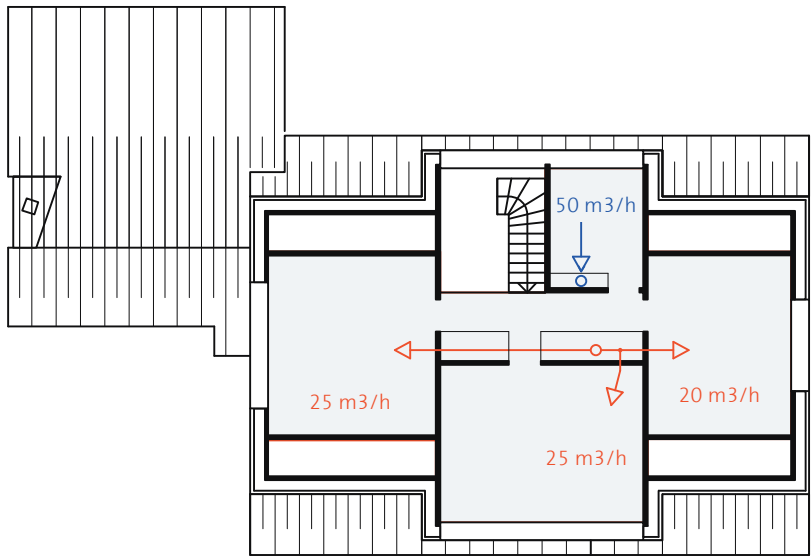
Heizung

Um eine Null- resp. Plusenergiebilanz zu erreichen, ist es notwendig, vor Ort vorhandene Energien zur Deckung des Wärmebedarfes zu nutzen. Im vorliegenden Fall stehen Sonnenlicht und Erdwärme zur Verfügung. Letztere lässt sich unter Aufwendung elektrischer Energie nutzbar machen und diese wiederum kann mit Hilfe von Sonnenlicht erzeugt werden.

Die bisherige 30-jährige Ölheizung mit konventionellem Brenner war zwar noch funktionsfähig, hätte aber ohnehin den Bestimmungen der Luftreinhalteverordnung angepasst werden müssen und liess sich vor allem nicht in das gewählte Nullenergiekonzept integrieren.

Die Wärmeerzeugung geschieht hauptsächlich mit einer Erdwärmesonde und einer elektrischen Wärmepumpe, deren Jahresstromverbrauch (zuzüglich Haushaltsstrom) dem Jahresertrag der Photovoltaikanlage maximal entsprechen sollte. Die so gewonnene Wärme wird je nach Bedarf an einen Pufferspeicher oder Warmwasserspeicher abgegeben und für Brauchwasser oder das Heizverteilsystem genutzt. Die weiterhin beheizten Räume verfügen alle über Heizkörper, deren Oberfläche ausreicht, bei niederen Vorlauftemperaturen die durch die Dämmmassnahmen stark herabgesetzte Heizlast zu decken. Diese Heizkörper wurden zusammen mit dem Verteilnetz weiterverwendet. Das neue Dachgeschoss erhielt in allen Räumen eine Fussbodenheizung. Um die Wärmezufuhr differenzierter regeln zu können, wurde für das OG eine Heizgruppe für die Radiatoren und für das DG eine Heizgruppe für die Fussbodenheizung ausgeführt. Damit kann die Vorlauftemperatur für die Fussbodenheizung auf tieferem Temperaturniveau gefahren werden.

Ebenfalls beibehalten wurde der bestehende Holzofen, mit geringen Anpassungen zur Verbesserung der Dichtigkeit. Während der einjährigen Messperiode wurde dieser jedoch nicht verwendet, um klare Ergebnisse zu erhalten.

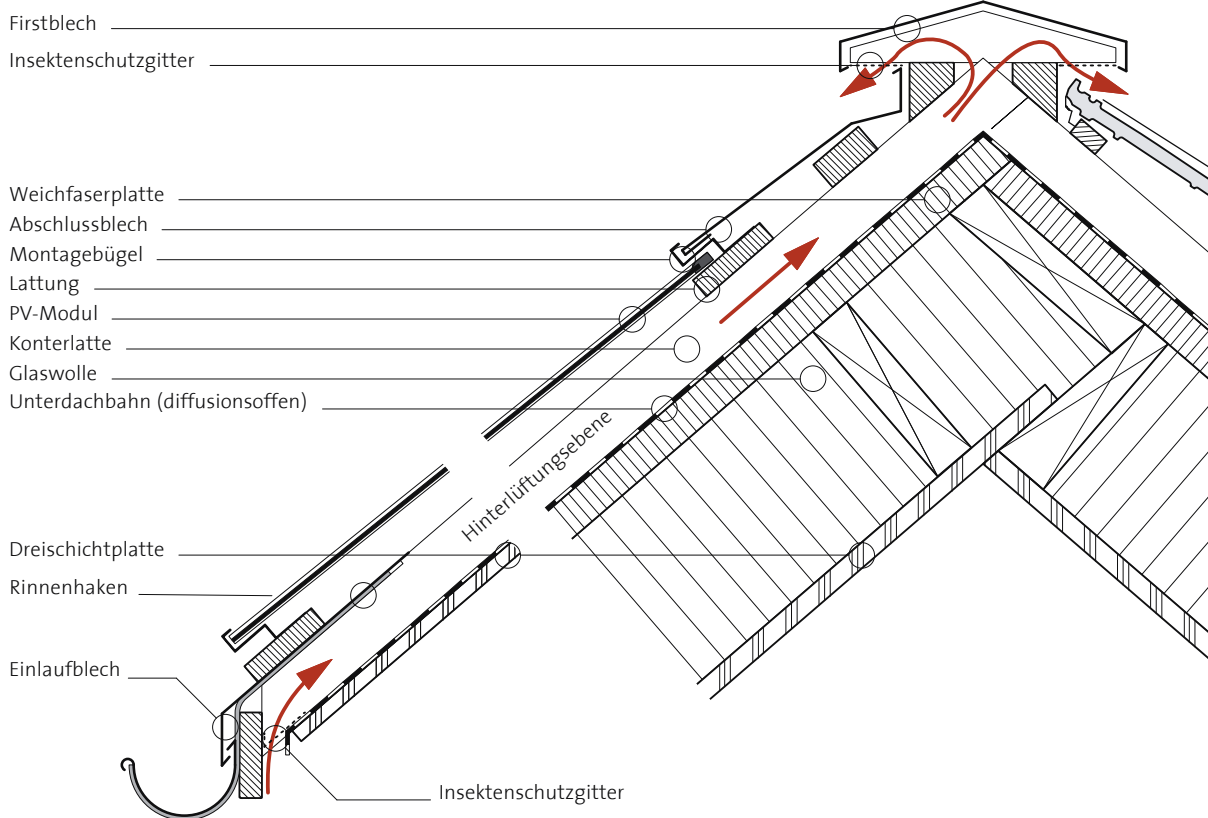
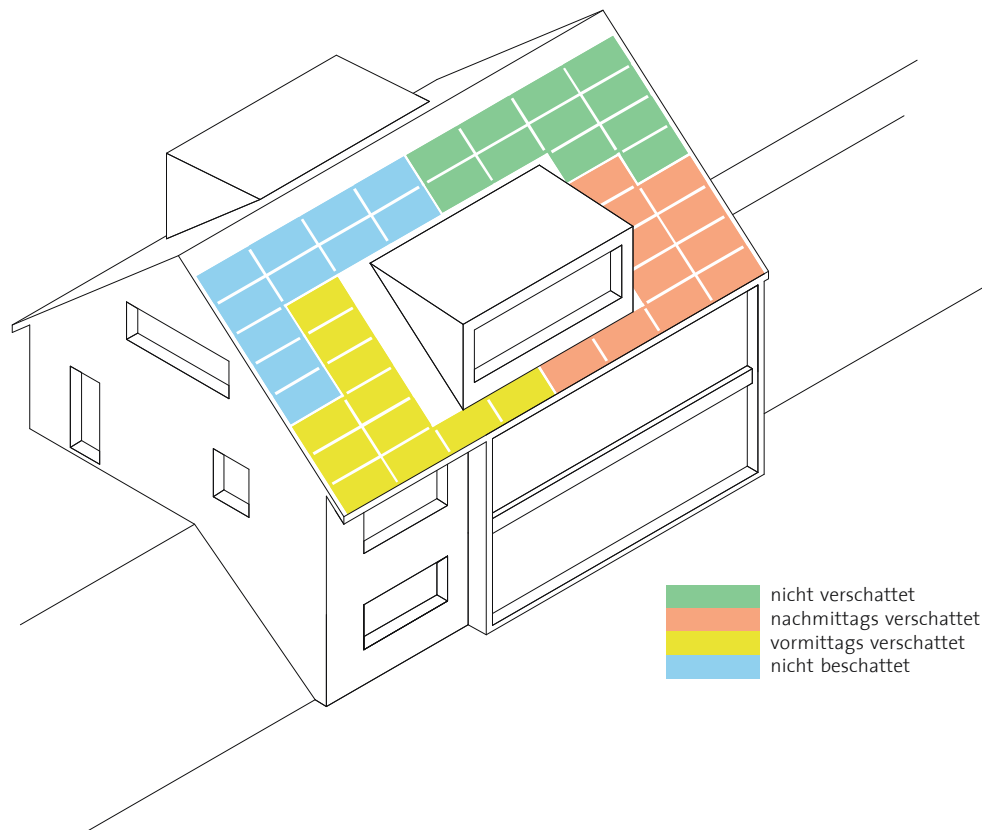


Lüftung

Der nachträgliche Einbau von Lüftungsanlagen in bestehende Gebäude ist aufgrund des grossen Platzbedarfes für die Kanäle und Rohre eine besondere Herausforderung. Eine Schwierigkeit besteht darin, dass knapp bemessene Querschnitte zu Geräuschentwicklung führen können und direkte Leitungsführung Schallübertragung zwischen einzelnen Räumen begünstigt.

Der Aufbau der Anlage ist im Wesentlichen konventionell. Die Zuluft wird von dem im Kellergeschoss aufgestellten Lüftungsgerät den Wohn- und Schlafzimmern zugeführt, strömt dann über die Spalten unter den Türen zu Küche oder Badezimmern, von wo die Abluft wieder in Kanälen gefasst zum Lüftungsgerät zurücktransportiert wird. Auf diesem Weg hat sie nicht nur Feuchtigkeit, Kohlendioxid, Küchengerüche und weitere Stoffe aufgenommen, sondern auch von den beheizten Fussböden, den Radiatoren, dem Holzofen und sogar der Sonne abgegebene Wärme. Der Grossteil dieser Wärme wird durch den Wärmetauscher entzogen und der frischen Aussenluft zugeführt, so dass die Zuluft nur knapp unter Raumlufttemperatur in die Wohnung eingeblasen wird.

Die neue Dämmebene an der Unterseite der Kellerdecke bot sich als Raum für die Führung der Zu- und Abluftkanäle an. So war es ohne grosse Schwierigkeit möglich, für die vertikale Erschliessung der Wohngeschosse geeignete Stellen zu erreichen. Diese wurden in bereits vorhandenen Einbaumöbeln, welche sich in Schächte umfunktionieren liessen, erkannt. So konnten mit nur minimalen Eingriffen in vorhandene Oberflächen auch Räume belüftet werden, welche von der Neuorganisation des Gebäudes nicht betroffen waren, ohne dass Abkofferungen oder offene Kanalführung nötig gewesen wären.



Photovoltaik

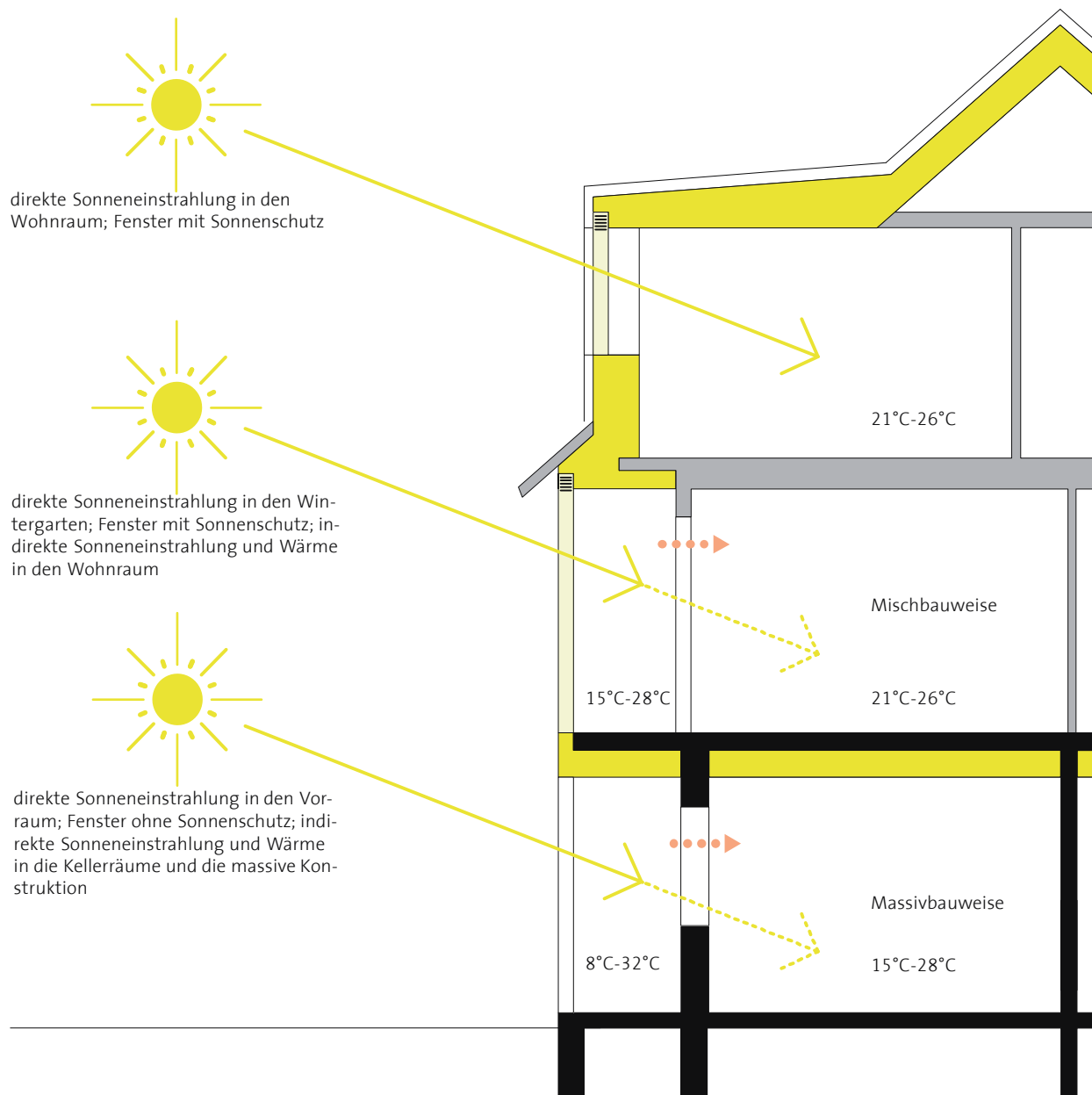
Mit einer Neigung von 41° und einer Südausrichtung bei 17° Westabweichung ist die Dachfläche zur Gewinnung von Solarstrom relativ ideal ausgerichtet. Die leicht westliche Ausrichtung bewirkt, dass die Anlage ihre Maximalleistung erst nach dem Mittag (höchster Sonnenstand) erreicht.

Auf der Dachfläche haben 44 Module von je knapp 1.3 m² Solarfläche Platz gefunden. Die Nennleistung beträgt 9 kWp. Wegen zahlreicher Randbedingungen musste die Produktwahl für die Solarmodule auch nach der Geometrie getroffen werden.

Solarzellen erzeugen eine niedrige Gleichspannung. Es werden so viele PV-Module zu sogenannten Strings in Reihe geschaltet, bis die Summe der Einzelspannungen eine optimal nutzbare Gesamtspannung ergibt. Um dem öffentlichen Netz zugeführt werden zu können, muss die gewonnene elektrische Energie durch Wechselrichter in Wechselstrom bei geeigneter Spannung umgewandelt werden.

Werden auch nur wenige Solarzellen innerhalb eines Strings verschattet, erleidet dieser eine markante Leistungs- und Ertragseinbusse. Hier wurden die Strings so gewählt, dass nie mehr als einer von ihnen vom Schlagschatten der Gaube getroffen wird, so dass kein grösserer Leistungseinbruch erfolgt.

Der Wirkungsgrad von Solarzellen nimmt mit steigender Temperatur ab. Zur Sicherstellung einer guten Kühlung ist eine ausreichende und lückenlose Hinterlüftung der Photovoltaik-Module nötig. Die Stärke der Konterlattung wurde deshalb mit 8 cm deutlich grösser gewählt als bei einem Ziegeldach üblich.



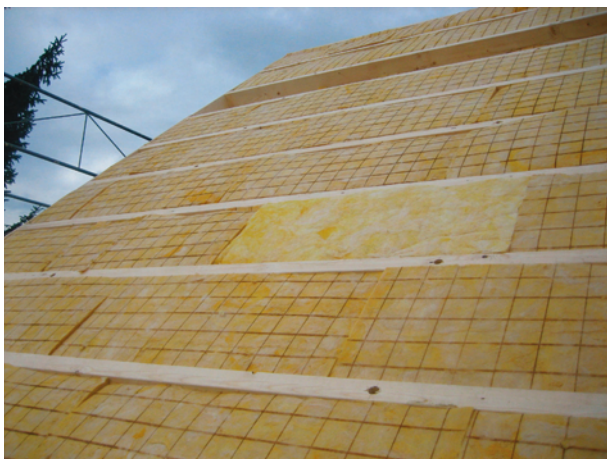
Passive Sonnennutzung

Obwohl Fenster aufgrund verhältnismässig schlechter U-Werte grosse Transmissionswärmeverluste verursachen, sind besonnte Südfenster unter dem Strich energiegewinnend. Im Unterschied zum Dach sind die Fenster nicht geneigt, werden also von der hoch stehenden Sonne weniger und von der tief stehenden Sonne stärker beschienen. Dies kommt dem Wunsch nach winterlichen Gewinnen entgegen.

Nur ein Teil (9 m²) der grosszügigen Verglasung der Südfassade ist direkt Wohnraumfenster. Hinter weiteren 14 m² liegt der ehemalige Balkon, ein Raum zwar innerhalb des Wärmedämmperimeters aber im eigentlichen Sinne nicht beheizt, welcher über Verschattungsvorrichtungen und Lüftungsmöglichkeiten verfügt und über die ehemaligen Balkontüren mit den Wohnräumen im OG verbunden ist. Er kann mit diesen zusammengeschaltet werden, wenn vorhandene Sonnenwärme gebraucht wird, bzw. abgetrennt werden, wenn Unter- oder Übertemperatur herrscht. Er eignet sich auch zur kurzzeitigen Dämpfung der Auswirkungen aufkommender oder ausbleibender Sonne.

Die Fensterfläche des in Massivbauweise erstellten Erdgeschosses beträgt knapp 19 m². Die dahinter liegenden Räume sind weder beheizt, noch liegen sie innerhalb der thermischen Gebäudehülle und dienen nicht dem ständigen Aufenthalt. Die Temperaturtoleranz ist entsprechend hoch und die Speichermasse gross. Die im Winter tief in den Kellerraum eindringende Sonne erwärmt Raum und Konstruktion und verlangsamt dadurch den Wärmestrom durch die mit Wärmebrücken behaftete Kellerdecke.

Somit ergeben sich zwei Wintergartensituationen mit einem schwer voraussagbaren und nutzerabhängigen Temperaturverhalten, aber mit einem erheblichen Potential an passiven solaren Gewinnen.



Bauprozess

Zunächst wurden nur Arbeiten in Angriff genommen, welche die Benutzung der Wohnung und der Haustechnik nicht tangieren. An der West-, Nord- und Ostfassade wurde bis auf das Erdgeschossniveau abgegraben, Lichtschächte wurden abgebrochen, Kellerfenster zugemauert, die Wanddurchführungen für Erdsonde und Lüftungskanäle geschaffen. Die Perimeterdämmung wurde mit Bitumen auf den bestehenden Schwarzanstrich geklebt. Anschliessend wurde der Graben verfüllt, so dass das Gerüst aufgestellt werden konnte. Parallel dazu wurde der Holzmontagebau vorgefertigt, um die Giebel, die Vollwandträger mit den Seitenwänden der Gauben und die Dachflächen als Fertigteile auf die Baustelle liefern zu können.

Der Abbruch des alten Daches und der Aufbau des neuen erfolgten in weniger als drei Tagen. Im Vorfeld wurde das Verblendmauerwerk an den Giebeln und Kniestockwänden, die Kunststeinleibungen der Fenster, und der Kamin der Ölheizung abgetragen und derjenige des Holzofens demontiert. Damit war das Haus nicht mehr beheizbar, und mit dem Abriss des Brenners, des Öltanks und den nicht mehr benötigten Teilen der Wärmeverteilung konnte begonnen werden. Da das Dachgeschoss nicht vor Beginn der Heizperiode bezogen werden konnte und das später unbeheizte Erdgeschoss einen weiteren Winter bewohnt bleiben musste, wurde provisorisch mit mobilen Elektroöfen geheizt.

Teilweise parallel wurden die Fenster ausgetauscht, die Wärmepumpe und die Speicher montiert, die Sonde gebohrt, die Aussenwände gedämmt, die inneren Wandoberflächen im Dachgeschoss fertig gestellt und die Lüftungsanlage montiert. Wegen des unerwartet kalten Winters wurde ab Februar, als die Niedertemperaturheizung im Obergeschoss in Betrieb genommen wurde, der noch nicht fertiggestellte aber immerhin bestens gedämmte Rohbau des Dachgeschosses provisorisch bezogen, während die Ausbauarbeiten noch im Gange waren.



Messprojekt

Zweck des Messprojektes war neben der Beantwortung der Frage, ob das Ziel einer Plusenergiebilanz erreicht wurde, eine Erfassung aller relevanten Einflüsse auf die klimatischen Verhältnisse in den Wohnräumen. Die grafischen Darstellungen dieser Einflussgrößen, ihrer täglichen und saisonalen und wetterbedingten Schwankungen und der direkten wie indirekten Auswirkungen auf die Raumtemperatur im Wohnzimmer sollen ein Verständnis der komplexen Zusammenhänge im Gesamtsystem Solares Plusenergiegebäude ermöglichen.

Gemessen und aufgezeichnet wurden die Temperaturen der Aussenluft (im Schatten), des Wohnzimmers, des verglasten Balkons, der Kellerräume, und der Baumasse des unbeheizten Sockelgeschosses.

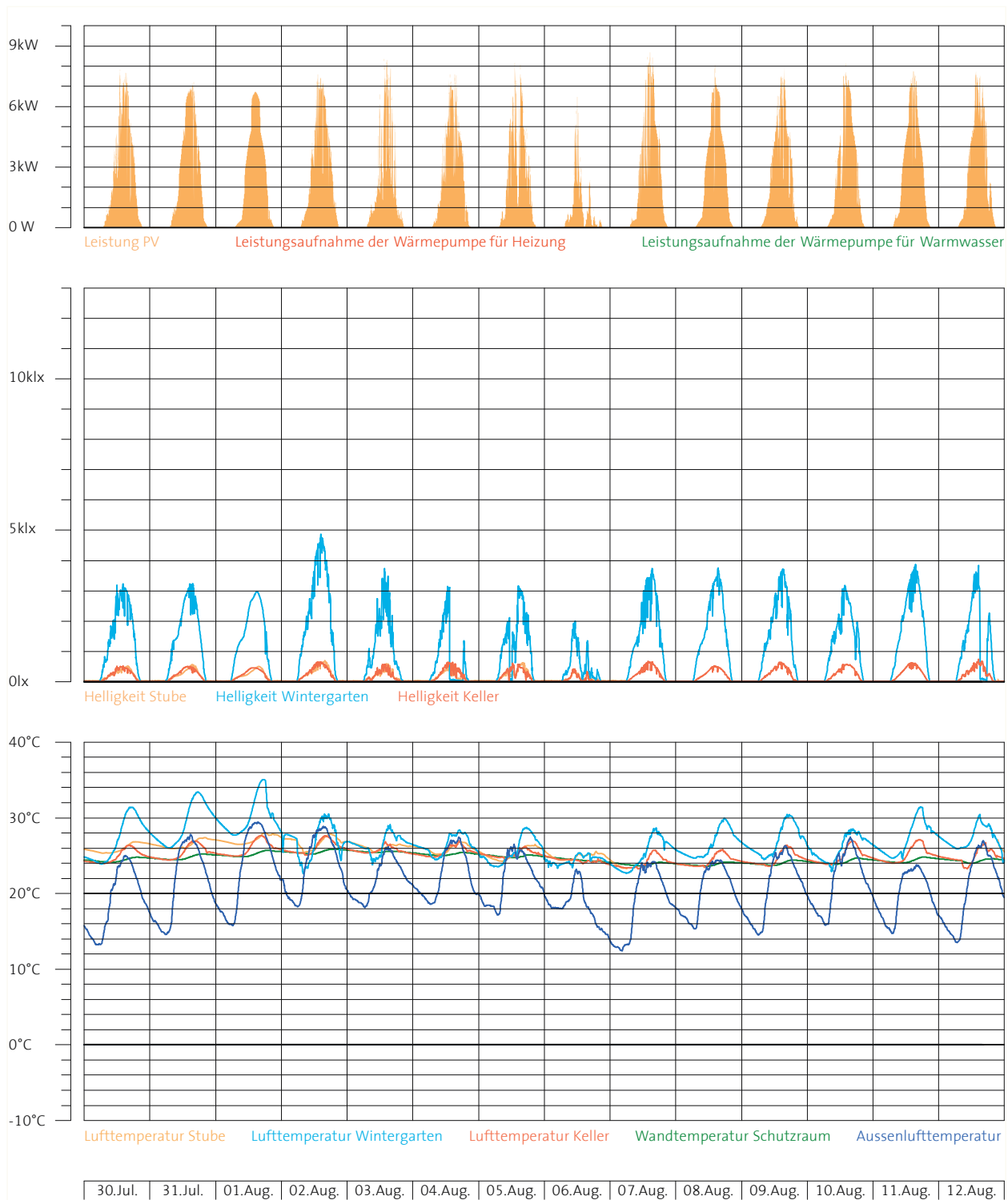
Zur Beurteilung des Sonnenscheins und des Einflusses der Beschattung wurde in den abschattbaren und den nicht abschattbaren Räumen an der Südfassade die Helligkeit gemessen.

Ferner wurden die Energieabgabe der Photovoltaikanlage und die Energieaufnahme der Wärmepumpe in kurzen zeitlichen Abständen registriert und aufgezeichnet.

Die Bilanz des vom E-Werk gekauften resp. an das E-Werk verkauften Stromes wurde wöchentlich abgelesen.

Nicht direkt in die Auswertung mit einbezogen wurde eine Reihe weiterer Messungen, wie z.B. die Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizung, Leistungen und Ströme bei den einzelnen Wechselrichtern oder die Globalstrahlung. Diese Daten wurden nur herangezogen, um erstaunliche Ergebnisse zu verifizieren oder ggf. als Fehlmessung oder Datenlücke zu erkennen.

Insgesamt wurden an 11 Hauptmessstellen und an weiteren 22 Nebemessstellen 4.3 Mio Messwerte erhoben. Die Taktung reicht von 1/Minute beim Solarertrag bis 1/Woche bei der Energiebilanz.



Klima

Die erste Woche der Messperiode zeigt recht stabiles Hochsommerwetter mit Höchstwerten von 25-29°C und Nachttemperaturen um 12 bis 18°C. Nur ein Tag (6.8.) ist gewitterhaft.

Raumklima

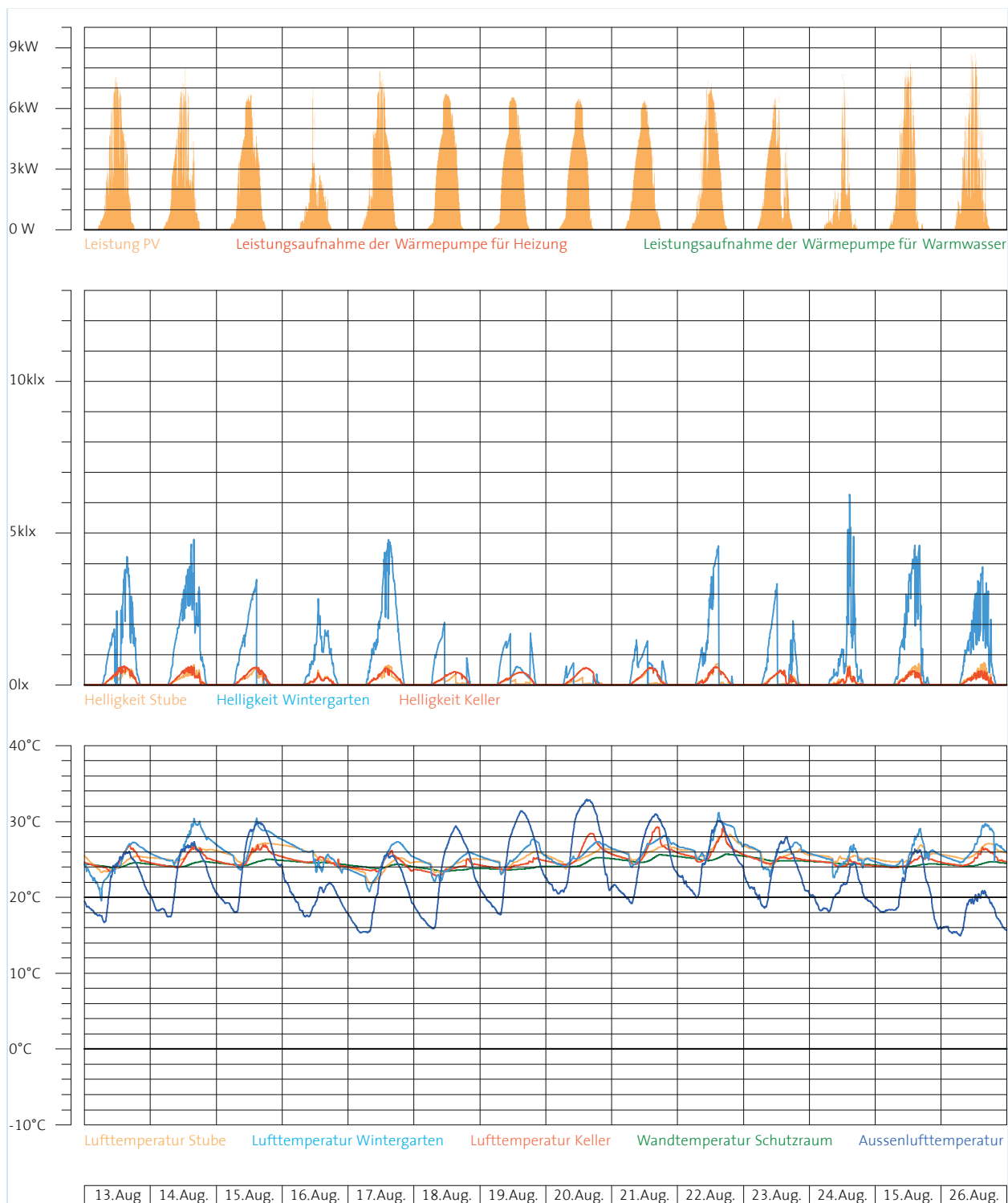
An drei Tagen wird die Komfortgrenze von 26°C während einiger Stunden überschritten, wobei offensichtlich nicht beschattet wurde.

Allgemein

Daten für die Wärmepumpe fehlen ganz, diejenigen für die Wohnraumtemperatur fehlen für fünf Tage.

Energie

Die solaren Stromerträge sind erwartungsgemäss hoch. Sie zeigen deutlich die Verschattung durch die Gaube ('Schultern' in der Kurve). Die Daten für die Wärmepumpe fehlen.



Klima

Weiterhin Hochsommerwetter mit maximalen Aussentemperaturen von bis zu 33°C und Nachttemperaturen bis 20°C. Der 16. August ist gewittrig, die drei letzten Tage der Periode weisen etwas Bewölkung auf.

Raumklima

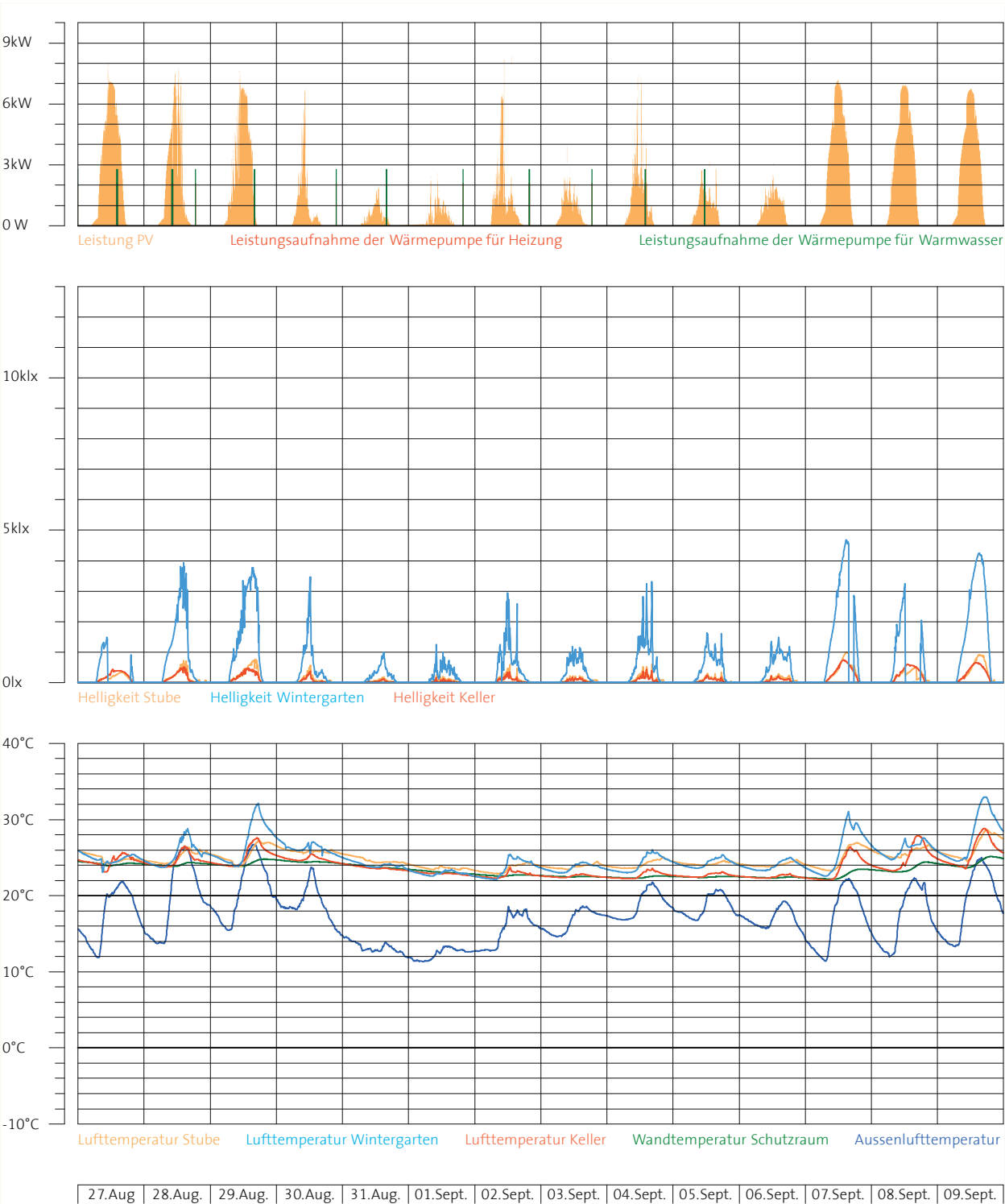
Erneut wird die Komfortgrenze von 26°C für einige Stunden überschritten, meist dann, wenn nicht beschattet wurde. Die durchschnittliche Aussentemperatur ist über der gewünschten Raumtemperatur.

Allgemein

Die Daten für die Wärmepumpe fehlen weiterhin. Einzig vom 17.-21.8. wird die Möglichkeit der Storenbeschattung konsequent genutzt, wie die Helligkeit im Wintergarten zeigt.

Energie

Unverändert sind die solaren Stromerträge dem schönen Sommerwetter entsprechend hoch.



Klima

Ende der Hochsommerperiode mit 8 bewölkten und kühlen Tagen. Die Tagestemperaturen sinken bis auf 13°C, die tiefste Nachttemperatur liegt bei 11°C.

Raumklima

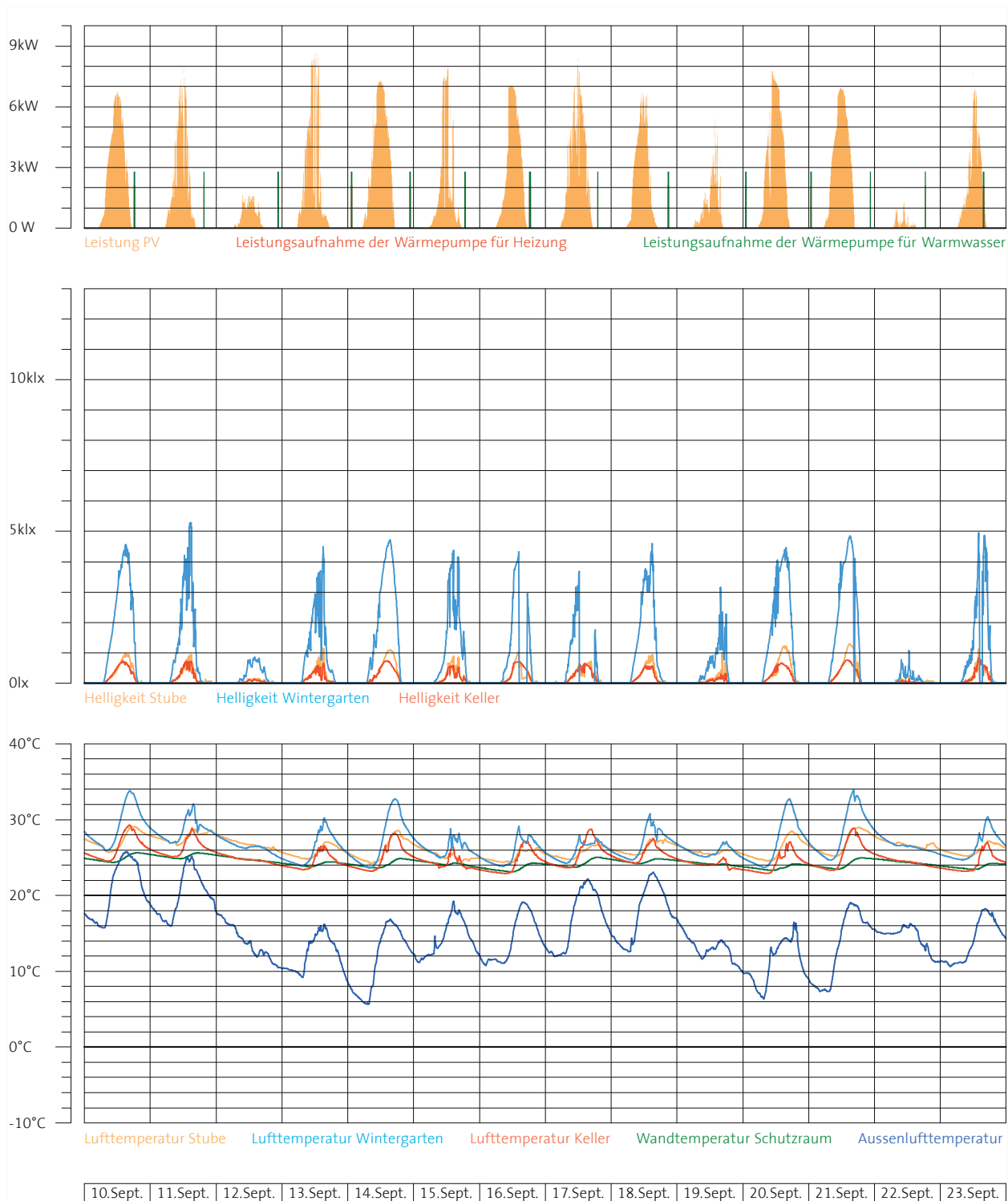
Hohe Raumtemperaturen von bis zu 28°C werden angesichts der kühlen Witterung bewusst in Kauf genommen, indem nicht beschattet wird. An den kühlen Tagen ist der Wintergarten erstmals kühler als der Wohnraum.

Allgemein

Die Daten für die Wärmepumpe fehlen über 4 Tage. An den kühlen Tagen blieben die Türen zwischen Wintergarten und Wohnraum geschlossen. Die Komfortlüftung geht am dritten bewölkten Tag in Betrieb, um die Wärmerückgewinnung zu nutzen.

Energie

Die solaren Stromerträge brechen während der Schlechtwetterperiode erwartungsgemäss ein, decken aber jederzeit den geringen Strombedarf der Wärmepumpe.



Klima

Mehrheitlich schönes Spätsommerwetter mit Höchsttemperaturen bis 26°C. Die Tiefstwerte liegen bei 6°C. Dank solarer Direktgewinne über den unteren Wintergarten bleibt das Sockelgeschoss unverändert warm (rund 25°C).

Raumklima

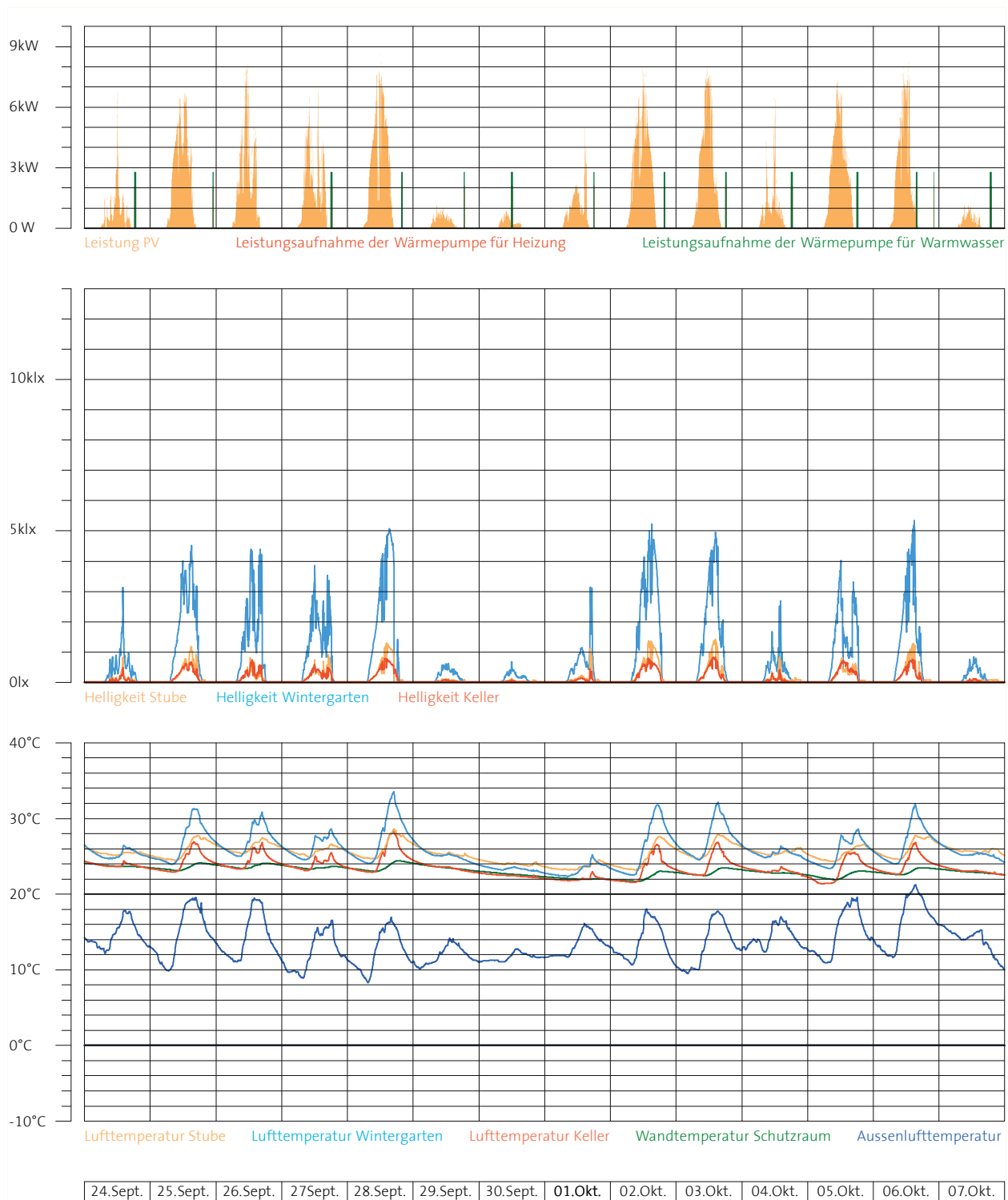
Die teilweise hohen Wohnraumtemperaturen von bis zu 29°C scheinen nicht zu stören, da nicht beschattet wird. Dank passiv-solarer Gewinne ist der Wintergarten wieder regelmässig wärmer als die Stube.

Allgemein

Von der Beschattung wird weiterhin kaum Gebrauch gemacht. Die Storen bleiben mehrheitlich offen.

Energie

Die solaren Stromerträge entsprechen an schönen Tagen noch etwa denen vom Hochsommer.



Klima

Weiterhin mehrheitlich schönes Spätsommer- bis Herbstwetter, jedoch mit Höchstwerten, die kaum noch 20°C erreichen. Regnerisch.

Raumklima

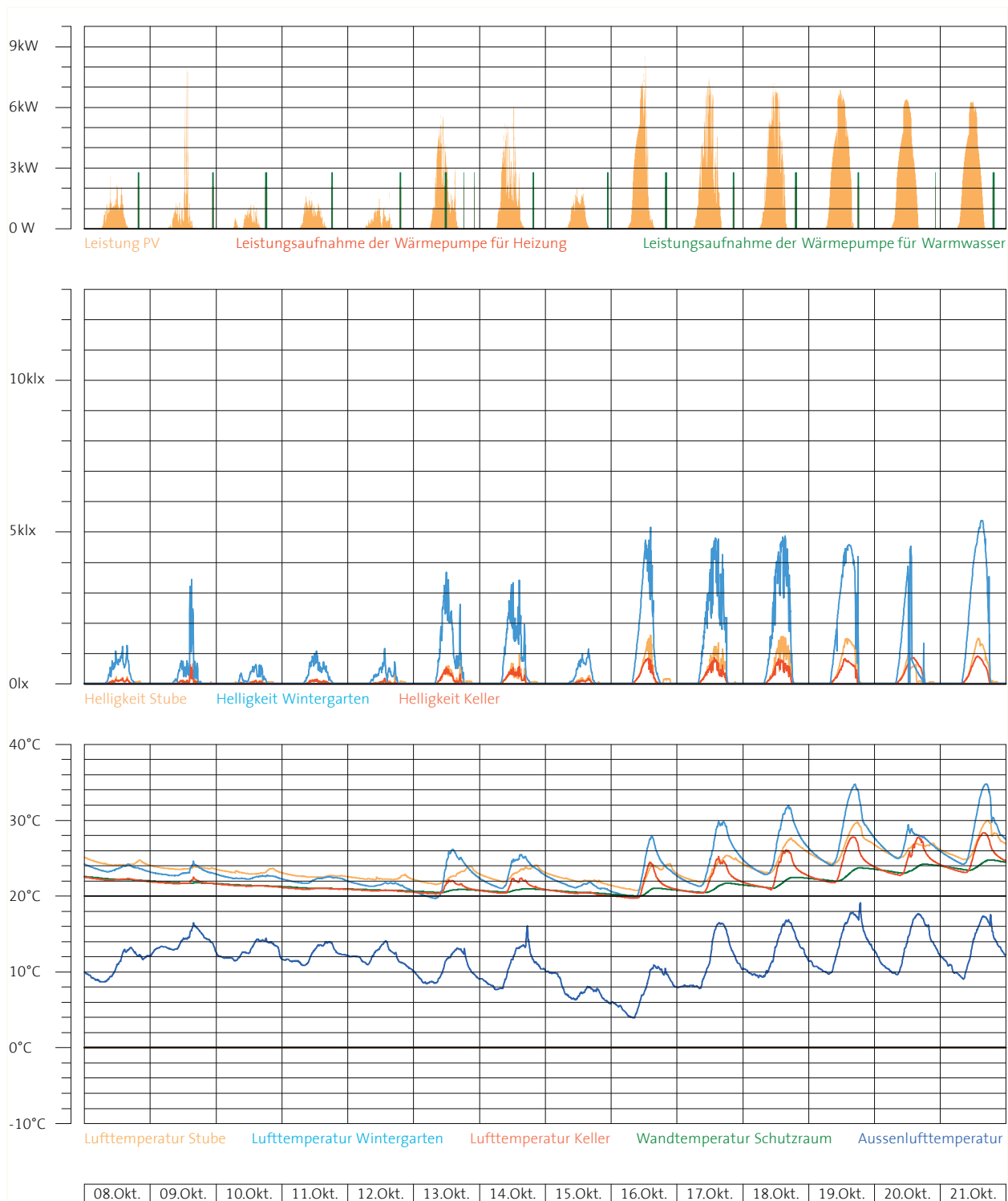
Obwohl noch nicht geheizt wird, bleiben die Innentemperaturen bei angenehmen 25°C, ebenso das ungeheizte Sockelgeschoss. Entsprechend gross sind die Direktgewinne, wie der warme Wintergarten zeigt.

Allgemein

Die Helligkeit des Wintergartens zeigt, dass kaum beschattet wird, so dass jeder Sonnenstrahl genutzt wird.

Energie

Die solaren Stromerträge gehen gegenüber dem Sommer zurück, bleiben aber beträchtlich. Nach wie vor verschwindend ist der Verbrauch der Wärmepumpe, die noch immer nur zur Wassererwärmung genutzt wird.



Klima

Zuerst bewölkt und dann sonniges Herbstwetter mit Temperaturen zwischen 4°C und 19°C, teilweise regnerisch.

Raumklima

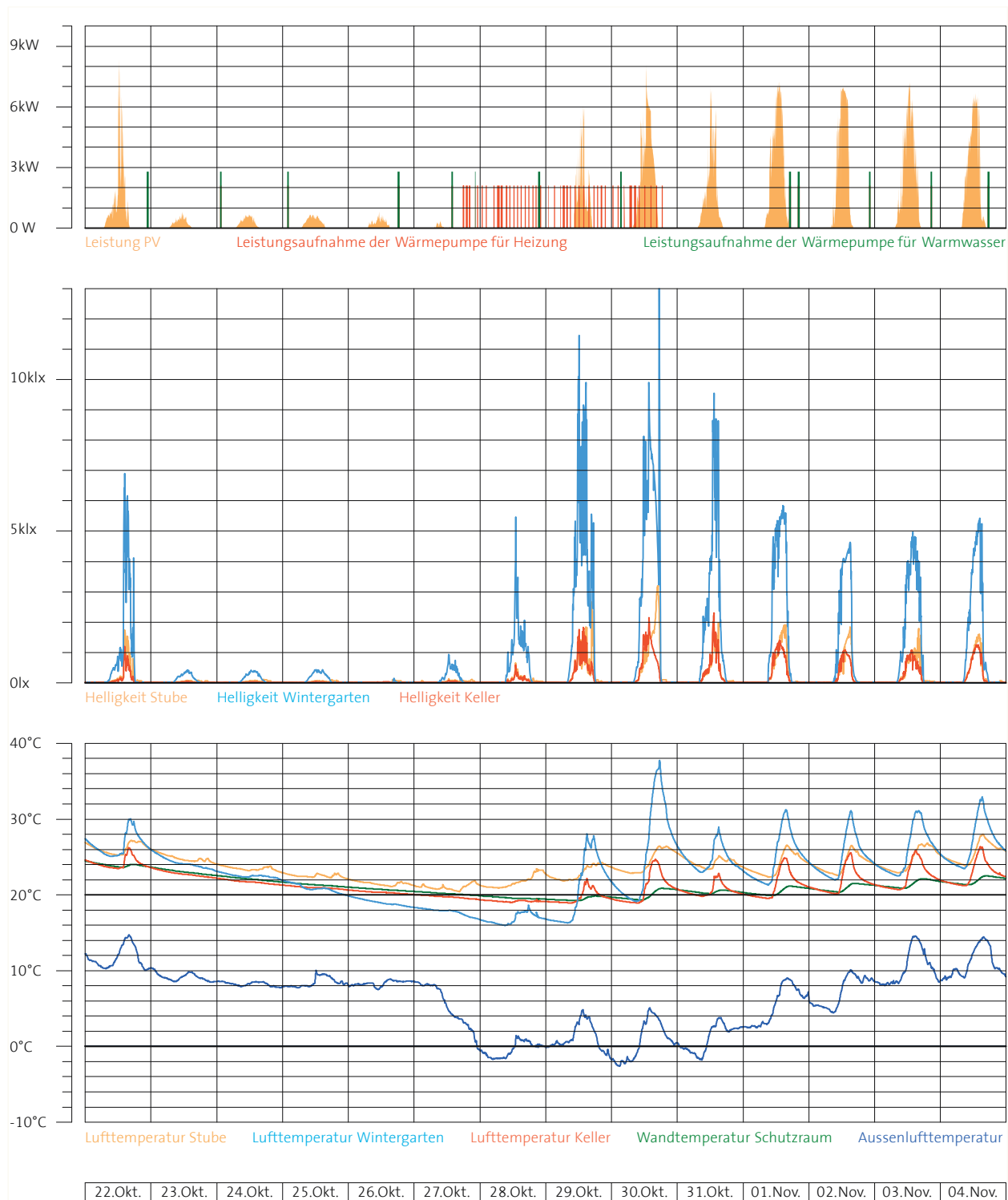
Erstmals seit dem Sommer sinken alle Innentemperaturen während des schlechten Wetters sukzessive gegen 20°C, schaukeln sich aber an den folgenden Sonnentagen wieder auf Werte von deutlich über 25°C auf.

Allgemein

Um die Sonne zu nutzen, wird weiterhin nicht beschattet, wie Helligkeit und Temperaturen im Wintergarten zeigen.

Energie

Kürzere Tage und tieferer Sonnenstand werden nun spürbarer, schöne Tage bringen aber noch immer hohe Erträge an Solarstrom. Der Betrieb der Wärmepumpe bleibt marginal, da noch nicht geheizt wird.



Klima

Zuerst herbstlich mild aber stark bewölkt, dann erster Schnee und erster Frost, anschliessend sonniges Herbstwetter mit zuerst kühlen Nächten.

Raumklima

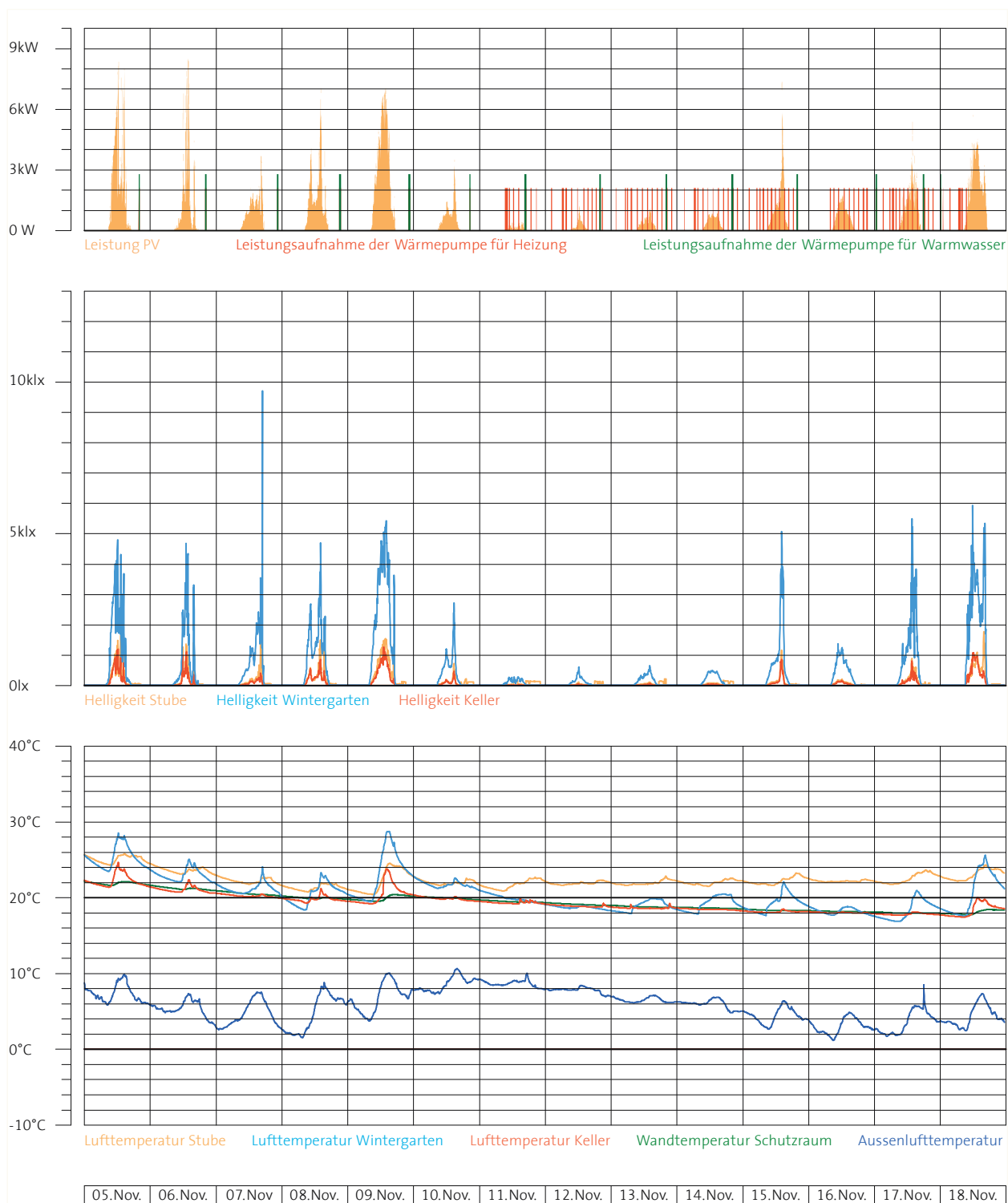
Nach fünf bewölkten Tagen ist die Wohnraumtemperatur auf 20°C gesunken, diejenige im Wintergarten auf 16°C, so dass an drei Tagen erstmals geheizt wird, worauf der Wohnraum rasch wieder um 25°C warm wird.

Allgemein

Der tiefere Sonnenstand erhöht nun die Helligkeit im Wintergarten, der folglich auch verstärkt zur Beheizung beiträgt. Die kurzzeitig extreme Helligkeitskurve ist auf einen Messfehler zurückzuführen.

Energie

Die Solarstromerträge sinken der Jahreszeit entsprechen weiter, übertreffen aber noch immer deutlich der Energieaufnahme der Wärmepumpe - obwohl erstmals an drei Tagen geheizt wird.



Klima

Sonnenarmer Spätherbst mit Aussentemperaturen zwischen 1°C und 11°C

Raumklima

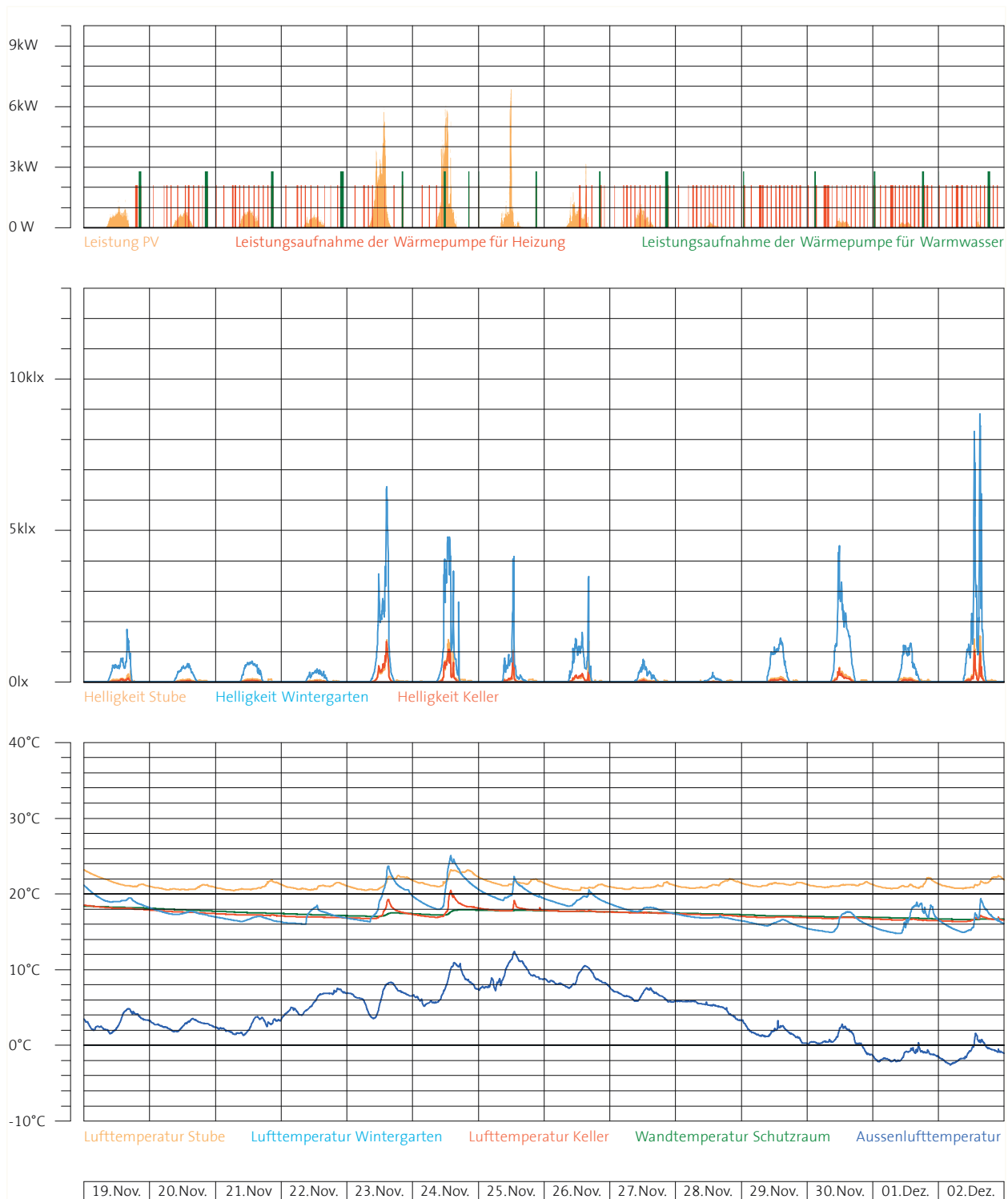
Erstmals sinken die Raumtemperaturen nun auch bei verhaltenem Sonnenschein bis gegen 20°C, so dass nach 11 Tagen wieder geheizt wird, nun für mehrere Tage. Darauf hin bleibt der Wohnraum um 22°C warm.

Allgemein

Das ungeheizte Sockelgeschoss kühlt langsam ab auf gegen 18°C, bleibt also noch immer ein wertvoller Puffer.

Energie

Die Photovoltaikanlage produziert nur wenig Strom, jedoch noch immer mehr, als die Wärmepumpe verbraucht - obwohl nun während mehrerer Tage geheizt wird.



Klima

Unverändert bewölktes Spätherbstwetter, nasskalt, zum zweiten Mal Frost an zwei Tagen.

Raumklima

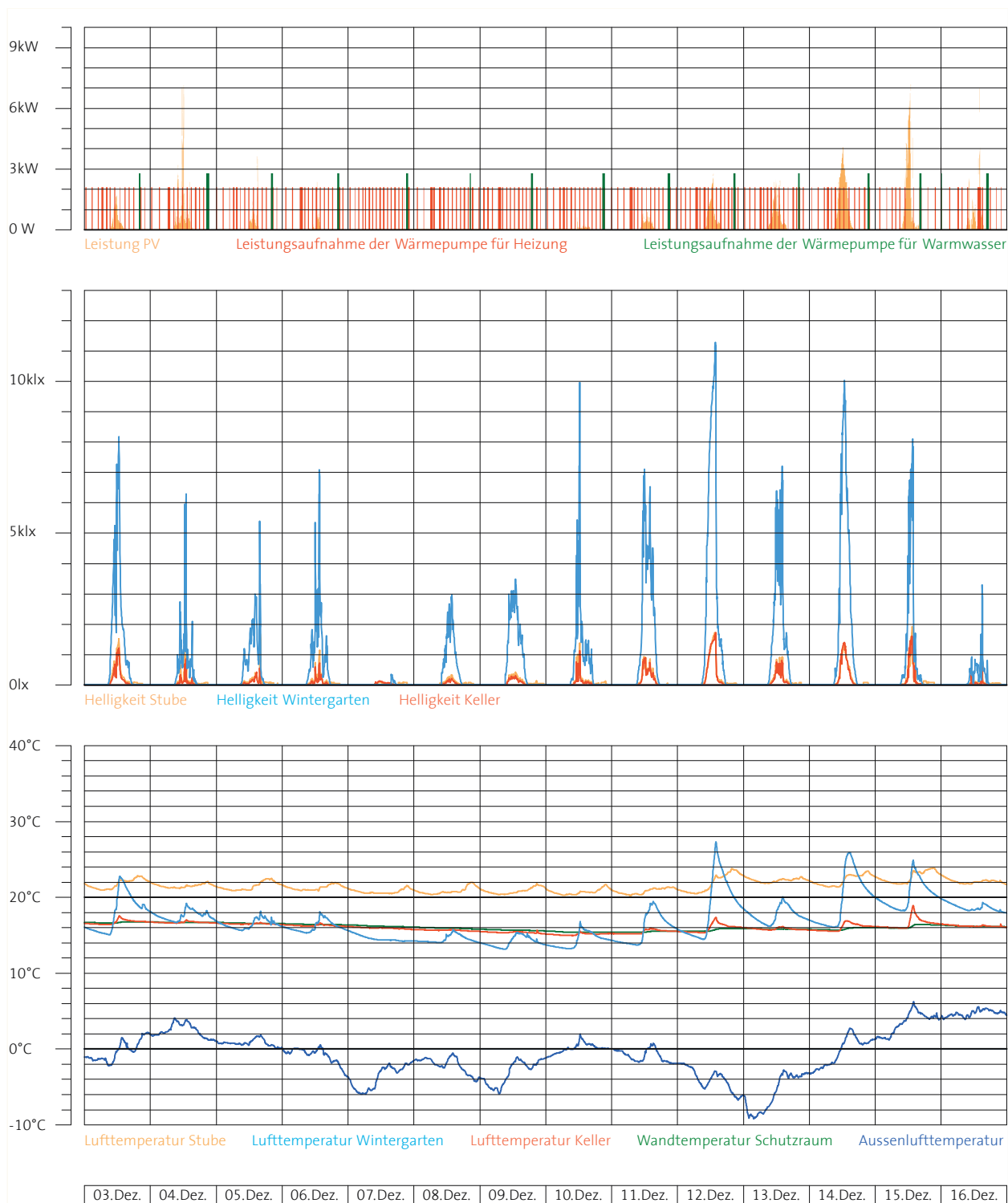
Stabile Wohnraumtemperatur um 21°C dank regelmässigem Heizbetrieb. Langsame Abkühlung des Sockelgeschosses auf 16-17°C.

Allgemein

Trotz offensichtlicher Sonnenstrahlung fehlen an den letzten drei Tagen der Periode weitgehend Solarstromträge. Die mögliche Ursache ist Schnee. Vom 24. bis 26. Nov. wurde nicht geheizt

Energie

Erstmals sind die Solarstromerträge so tief, dass sie nicht mehr deutlich höher sind als der Stromverbrauch der Wärmepumpe (die nun infolge Heizbetrieb deutlich häufiger läuft).



Klima

Kalter aber vermutlich eher sonniger Winterbeginn, regelmässige Minustemperaturen.

Raumklima

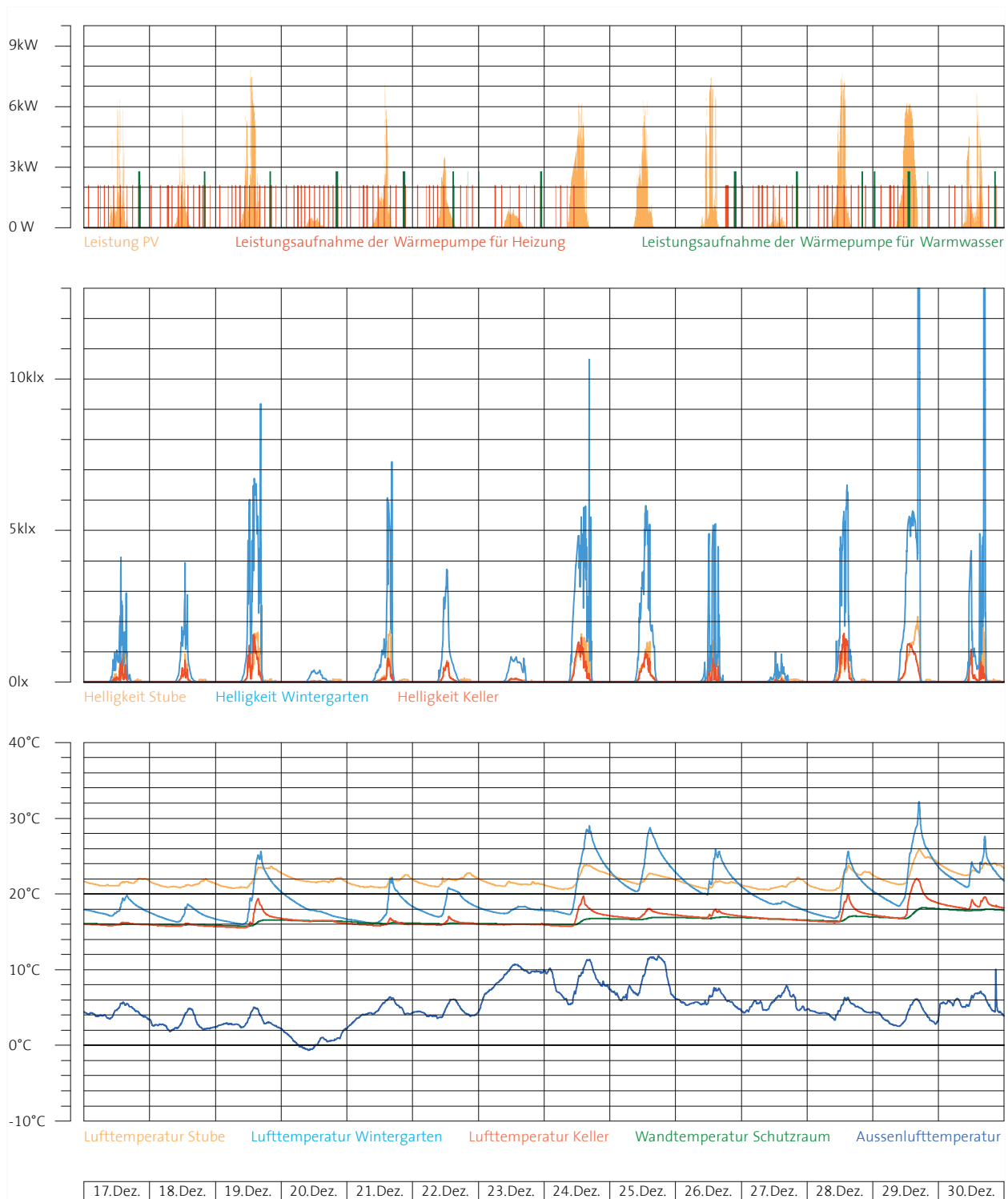
Unverändert stabile Wohnraumtemperaturen um 21°C dank regelmässigem Heizbetrieb. Das unbeheizte Sockelgeschoss stabilisiert sich bei rund 16 °C.

Allgemein

Sehr geringe Solarerträge sind durch Schnee zu erklärbar, während keine Kurve vom 7. bis 10. Dez. auf Datenverlust zurückzuführen ist.

Energie

Tiefen Erträgen an Solarstrom stehen zunehmende Verbräuche an Strom für die Wärmepumpe gegenüber.



Klima

Teilweise sonnige, für winterliche Verhältnisse eher milde Witterung.

Raumklima

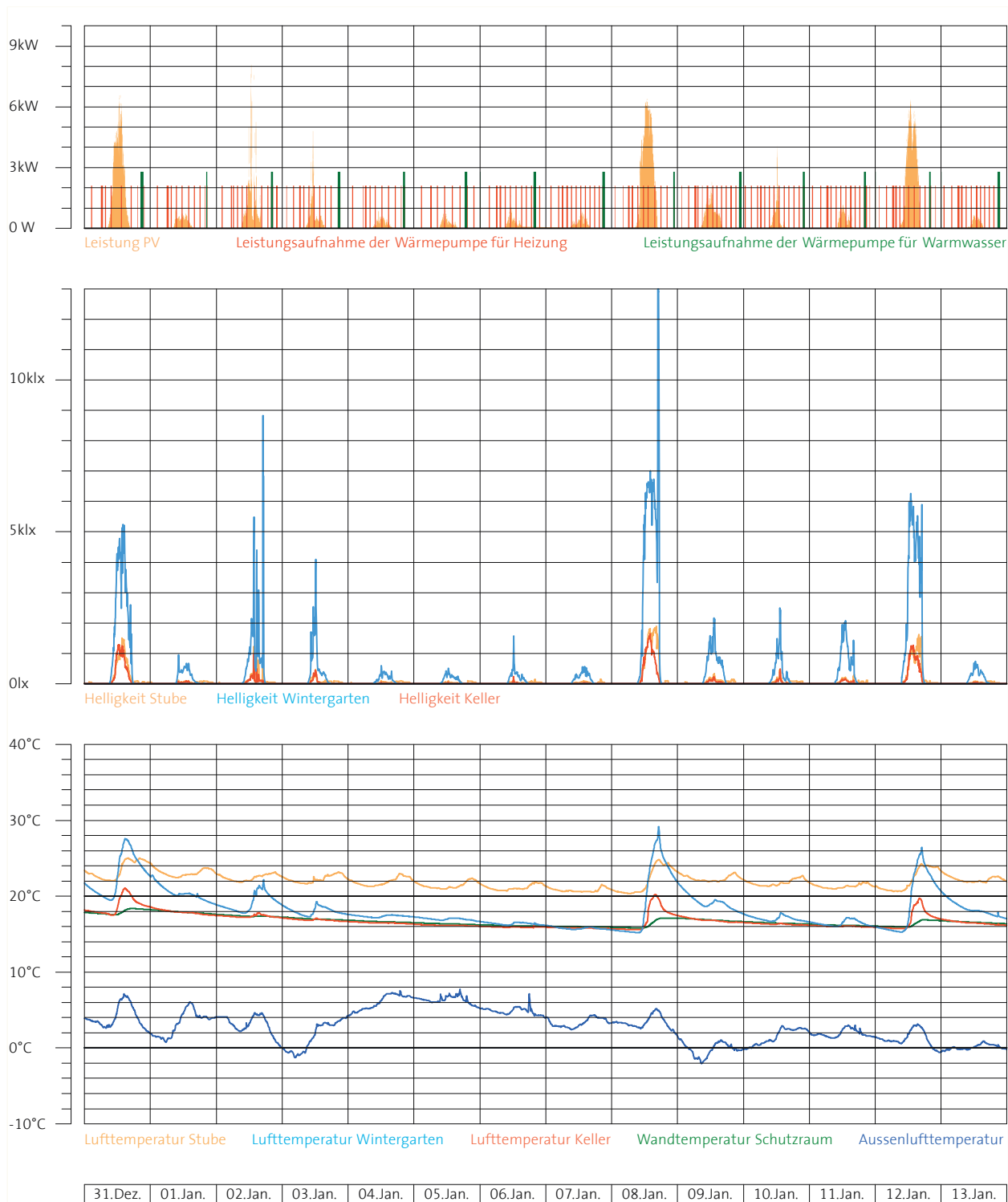
Dank mehrheitlichem Heizbetrieb und etwas solaren Direktgewinnen hält sich die Wohnraumtemperatur um 20-25°C. Der Wintergarten wird kurzfristig bis zu 30°C warm, das unbeheizte Sockelgeschoss erwärmt sich von 16°C gegen 18°C.

Allgemein

Über die Weihnachtstage ist das Haus nicht bewohnt. Die Heizung ist abgeschaltet. Die Raumtemperatur bleibt allein wegen der passiv solaren Gewinne stabil. Die hohen Ausschläge der Helligkeitskurven im Wintergarten sind auf Messfehler zurückzuführen.

Energie

Die täglich anfallenden aber bescheidenen Erträge an Solarstrom entsprechen knapp einem Drittel des Ertrags einer entsprechenden sonnigen Periode im Hochsommer.



Klima

Sonnenarmes Winterwetter mit Temperaturen etwas über dem Gefrierpunkt.

Raumklima

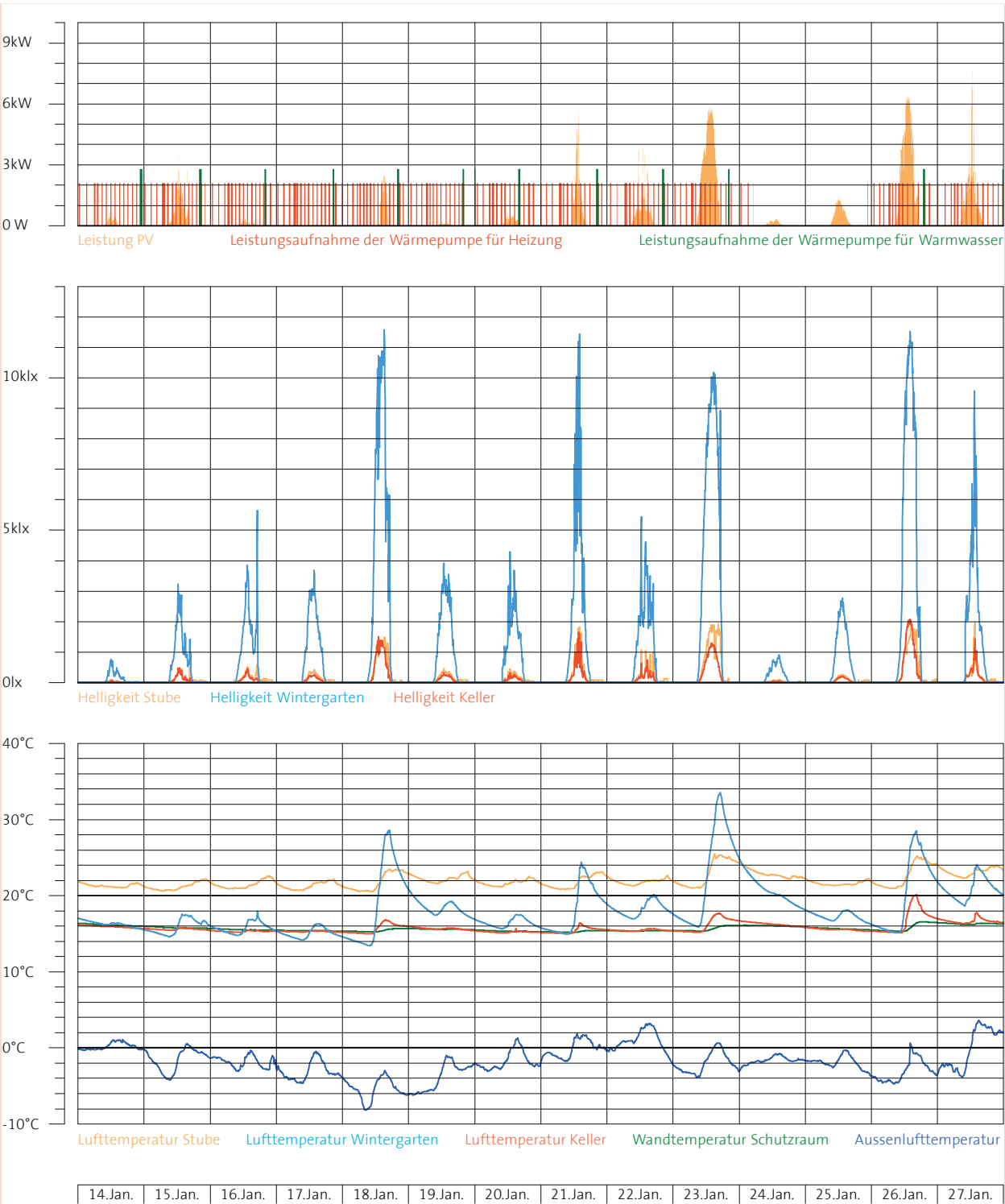
Dank regelmässigem Heizbetrieb pendelt die Raumtemperatur um 22°C, mit spürbaren Ausschlägen bei Sonne. Das Sockelgeschoss kühlt sich, obgleich unbeheizt, nicht unter 16°C ab.

Allgemein

Erneut ist ein Messfehler beim Auslag der Helligkeit im Wintergarten anzunehmen.

Energie

Solarstrom wird nur an drei Tagen spürbar produziert, während die Wärmepumpe regelmässig Strom bezieht.



Klima

Sonniges und kaltes Winterwetter, meist Minustemperaturen.

Raumklima

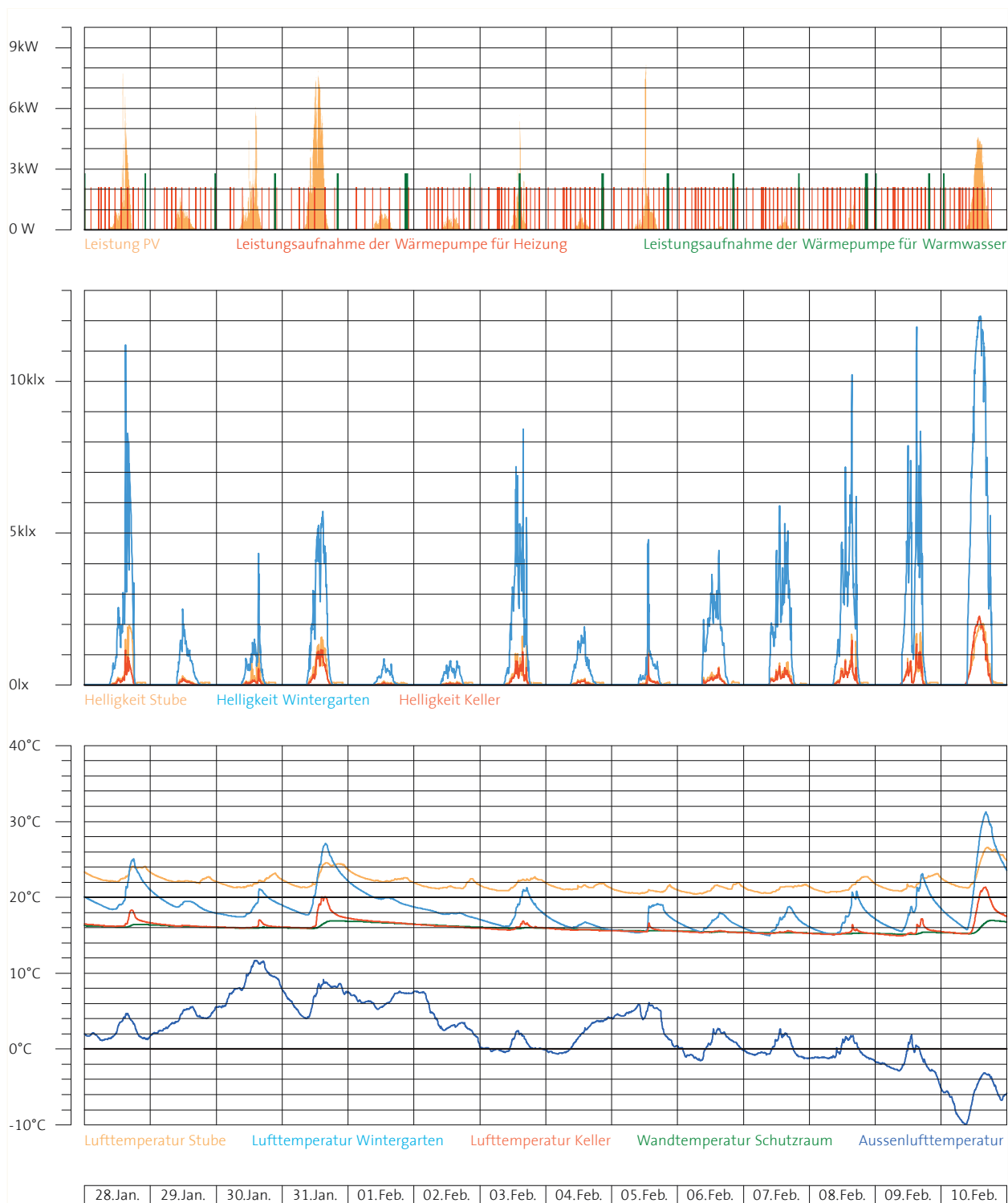
Regelmässiger Heizbetrieb und ebenso regelmässige solare Direktgewinne sichern Wohnraumtemperaturen um 22°C und darüber. Der Wintergarten wird kurz über 30°C warm, der Keller bleibt bei 16°C.

Allgemein

Am 23. und 26. Januar hätte auf den Heizbetrieb verzichtet werden können. Für den 24. und 25. Januar liegen keine Heizdaten vor, dennoch war die Heizung in Betrieb. Die geringen Solarerträge an offensichtlich sonnigen Tagen (18., 21. Januar) dürften auf Schnee zurückzuführen sein.

Energie

Die Erträge an Solarstrom bleiben, vermutlich auch wegen Schnee, gering. Umso regelmässiger ist die Wärmepumpe in Betrieb.



Klima

Eher sonniges Winterwetter mit Temperaturen um - 10°C bis +10°C.

Raumklima

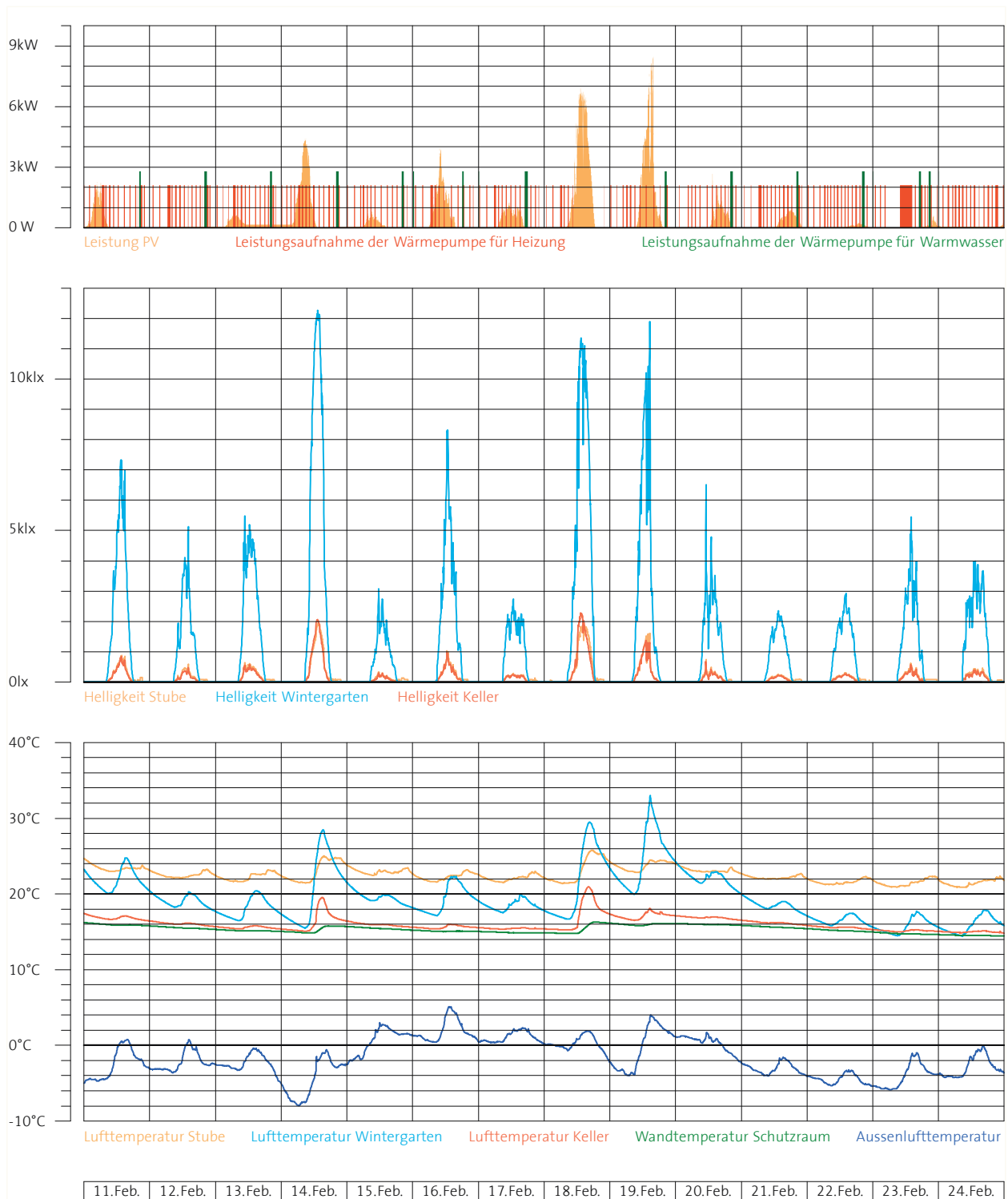
Die Raumtemperaturen sind stabil um 21°C, der Wintergarten ist, auch bei Sonne, meist kälter. Das Kellergeschoss bleibt stabil um 16°C.

Allgemein

Die Türen zwischen Wintergarten und Wohnraum bleiben offenbar geschlossen, was den Wintergarten, obgleich gut gedämmt, zum willkommenen Wärmepuffer macht.

Energie

Unverändert bescheidene Solarstromerträge - zum Teil wegen Schnee - bei regelmäßigem Betrieb der Wärmepumpe.



Klima

Recht sonniges Winterwetter mit Temperaturen meist unter den Gefrierpunkt.

Raumklima

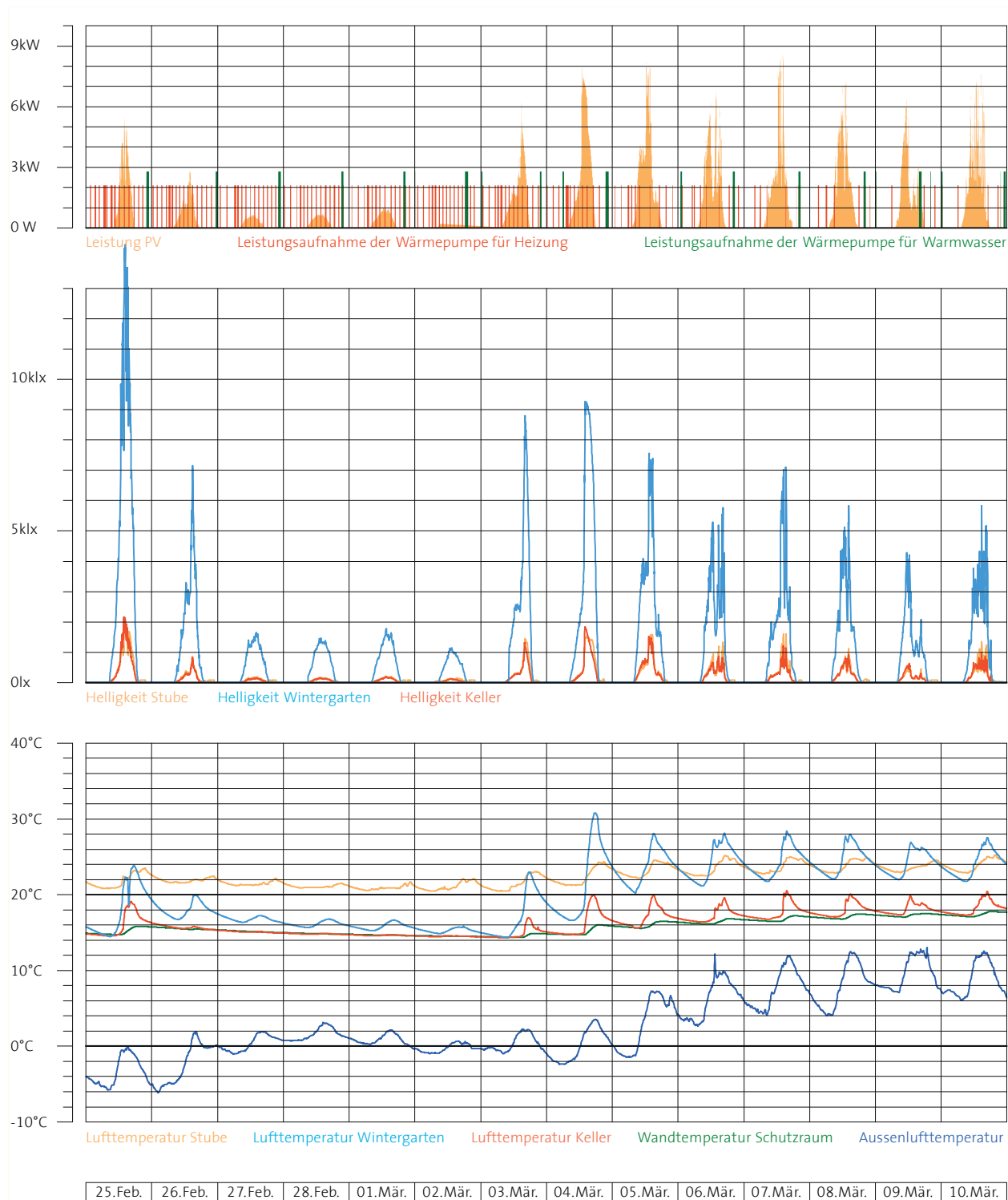
Raumtemperaturen von 22°C und mehr dank regelmässiger Heizung und Direktgewinnen. Der Wintergarten ist meist kälter, für einige Stunden aber auch wärmer. Das Sockelgeschoss sinkt erstmals etwas unter das bisherige Minimum von 16°C.

Allgemein

Erneut fehlen Solare Stromgewinne bei offenbar hellem aber – vermutlich wegen Nebels – diffusem Tageslicht. Die Heizdaten für den 23. Feb. sind fehlerhaft; normaler Heizbetrieb.

Energie

Unverändert bescheidene Solarstromerträge bei regelmässigem Betrieb der Wärmepumpe.



Klima

Zuerst bewölkt mit Temperaturen um den Gefrierpunkt, dann sonnig mit Werten bis zu 12°C.

Raumklima

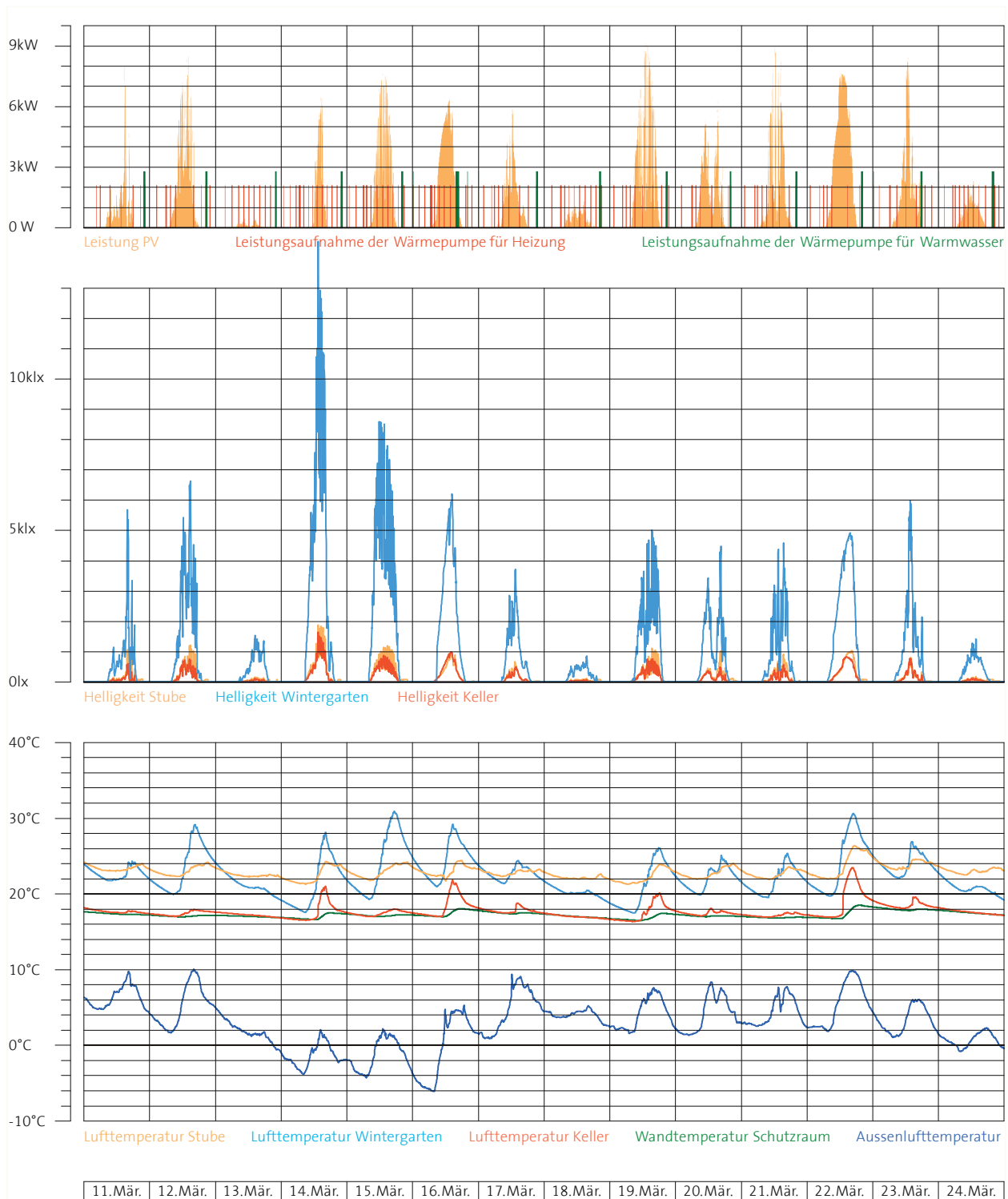
Die Stube ist zuerst rund 21°C warm, dann, bei reduziertem Heizbetrieb aber erheblichen solaren Direktgewinnen, bis zu 25°C warm. Der Wintergarten heizt mit Spitzen bis zu 30°C mit. Der Keller erholt sich vom Tiefstwert von 15°C auf bis zu 20°C.

Allgemein

Die Wirkung passivsolare Wärmegevinne ist erstmals im neuen Jahr, noch vor Erreichen der Frühlings-sonnenwende, deutlich spürbar, sowohl für das beheizte Wohngeschoss als auch für das Sockelgeschoss.

Energie

Seit November sind erstmals wieder während mehrerer Tage gute Solarstromerträge festzustellen, die den Verbrauch der Wärmepumpe deutlich übertreffen.



Klima

Eher sonniger aber kalter Frühlingsbeginn.

Raumklima

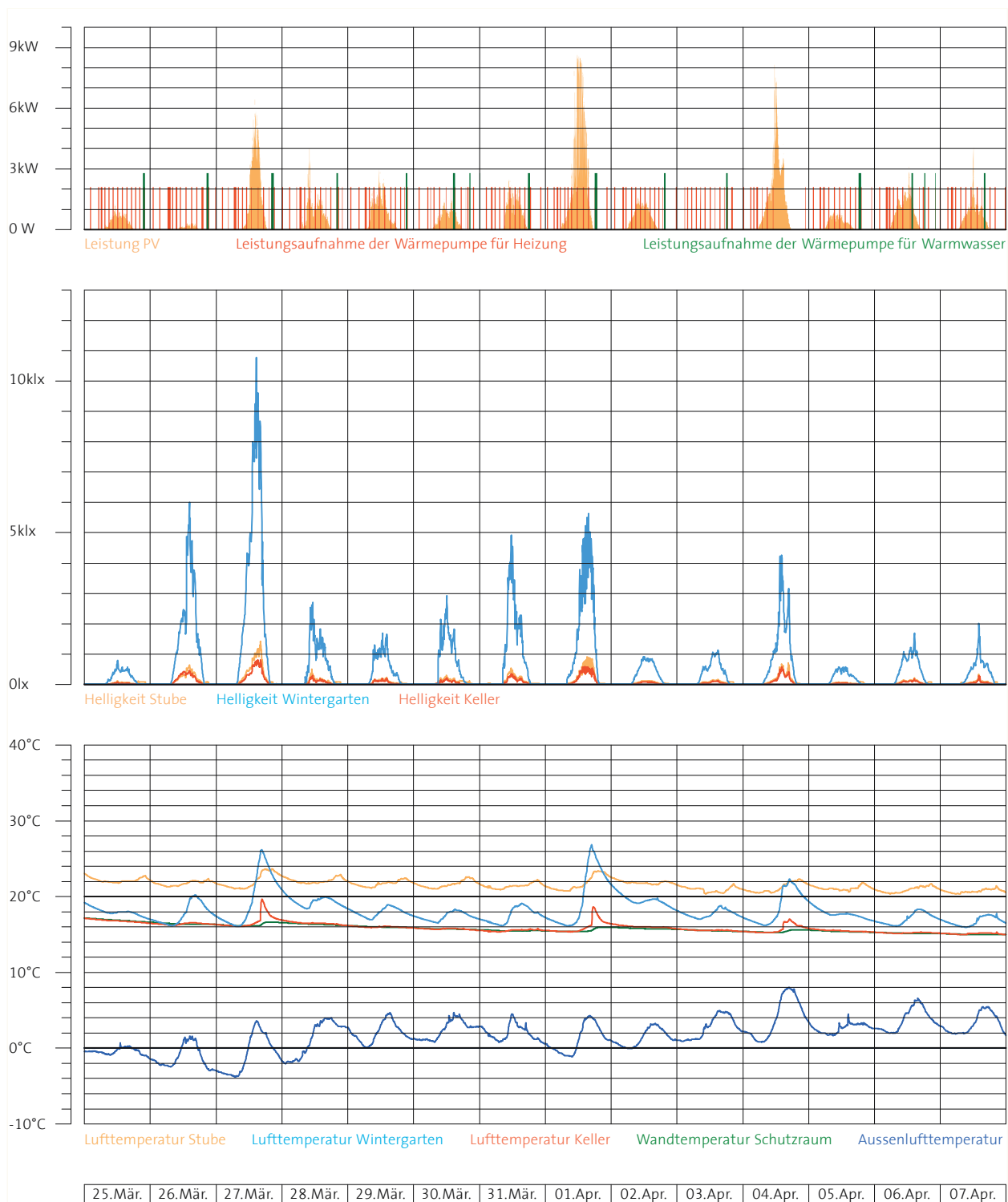
Die Wohnraumtemperaturen pendeln zwischen 22 und 26°C, diejenigen des Wintergartens zwischen 18 und 28°C, so dass schon spürbare passive Heizeffekte erfolgen. Das Sockelgeschoss ist rund 18°C warm.

Allgemein

Betrachtet man die Raumlufttemperaturen, hätte an den meisten Tagen weniger oder gar nicht geheizt werden können.

Energie

Mehrere Tage weisen gute Erträge auf, die den Verbrauch der Wärmepumpe trotz regelmässiger Heizung übertreffen.



Klima

Bedecktes und kühles Frühlingswetter, Aussentemperaturen nur knapp über dem Gefrierpunkt, Schneefall.

Raumklima

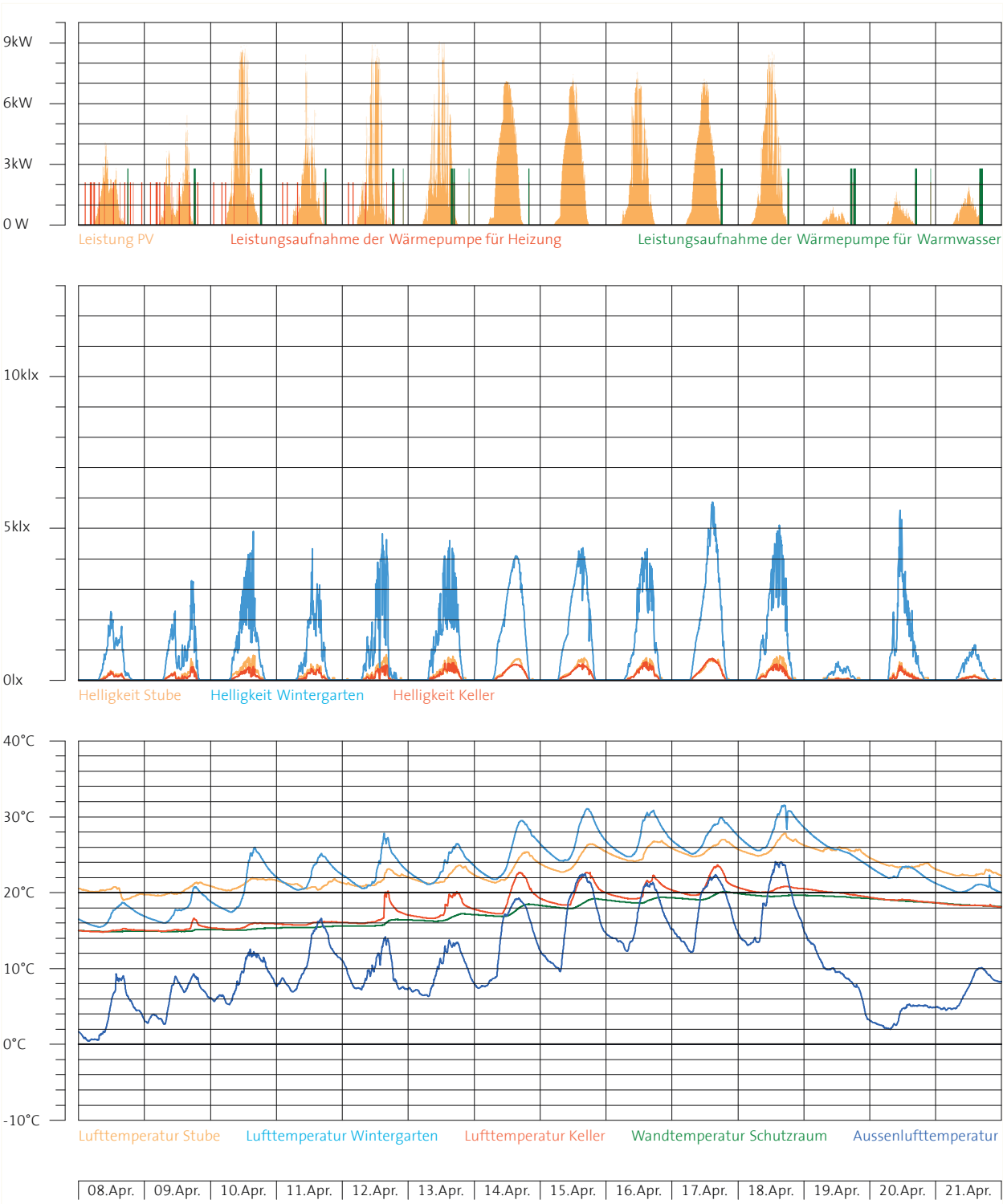
Konstante Raumlufttemperaturen um 21°C bei regelmässigem Heizbetrieb, meist tieferen Temperaturen im Wintergarten und eher geringen direkten Gewinnen.

Allgemein

Kaum Solarstromertrag am 26. März trotz hellem Tageslicht.

Energie

Der Witterung entsprechend geringe Solarstromerträge bei regelmässigem Stromverbrauch der Wärmepumpe (Heizung).



Klima

Frühlingswetter mit rascher Erwärmung vom Gefrierpunkte auf über 20°C und neun sonnigen Tagen, gefolgt von nochmaligem Wintereinbruch mit Schnee.

Raumklima

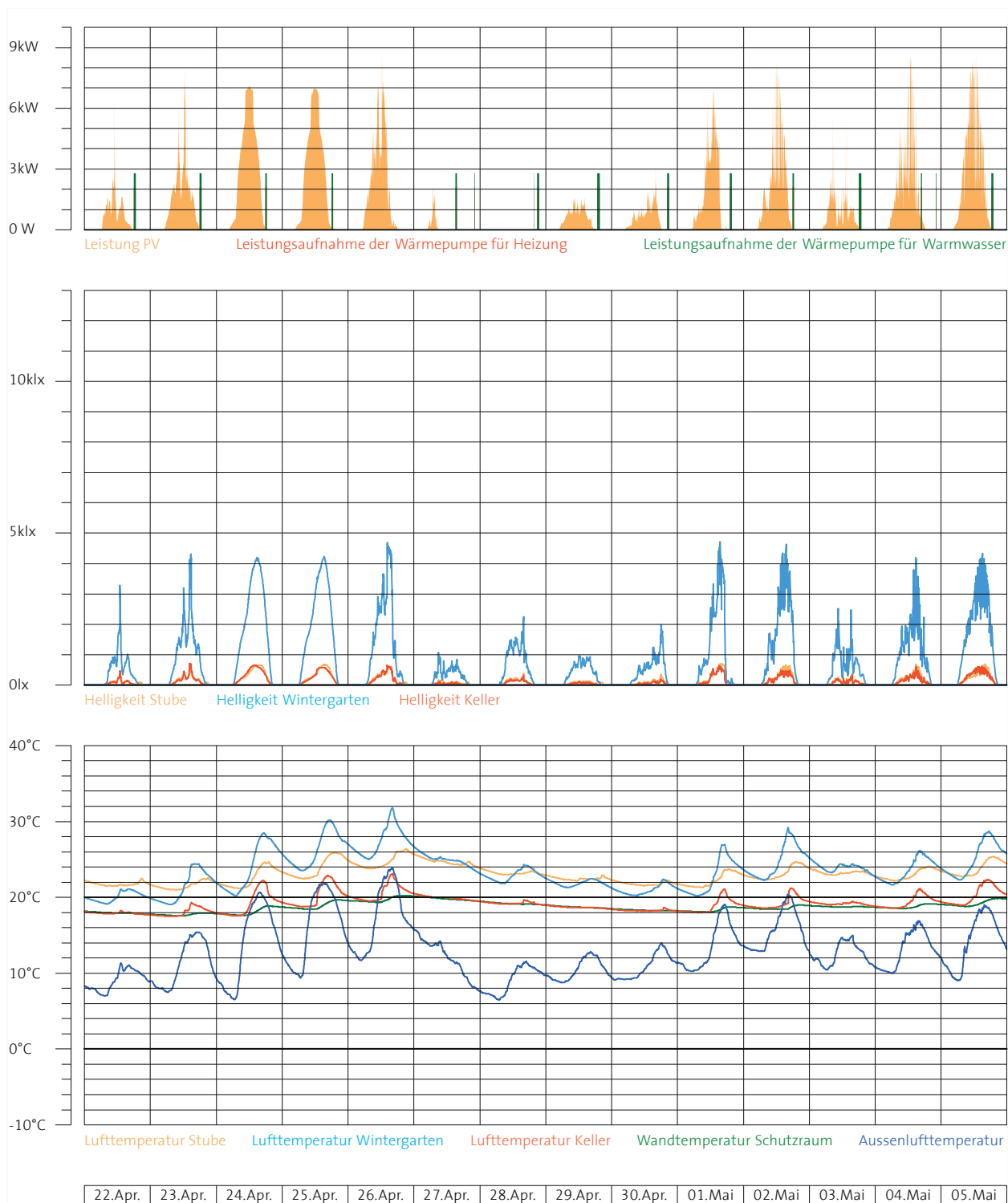
Erst knapp genügende Wohnraumtemperaturen gefolgt von einer Erwärmung auf bis zu 28°C (!), alleine durch direkte Gewinne. Dank dieser Erwärmung kann auch der vorübergehende neue Wintereinbruch ohne Heizung überbrückt werden.

Allgemein

Am 8. April stand wegen einer Küchenlieferung die Haustür mehrere Stunden offen, daher die eher tiefere Temperatur. Der 12. April ist der letzte Tag der Wintersaison, an dem geheizt wird. Am 20. April kaum PV-Ertrag infolge Schnee.

Energie

Erhebliche Solarstromgewinne stehen einem stark rückläufigen Verbrauch der Wärmepumpe gegenüber, da der Heizbetrieb beendet wird.



Klima

Ziemlich sonniges Frühlingswetter.

Raumklima

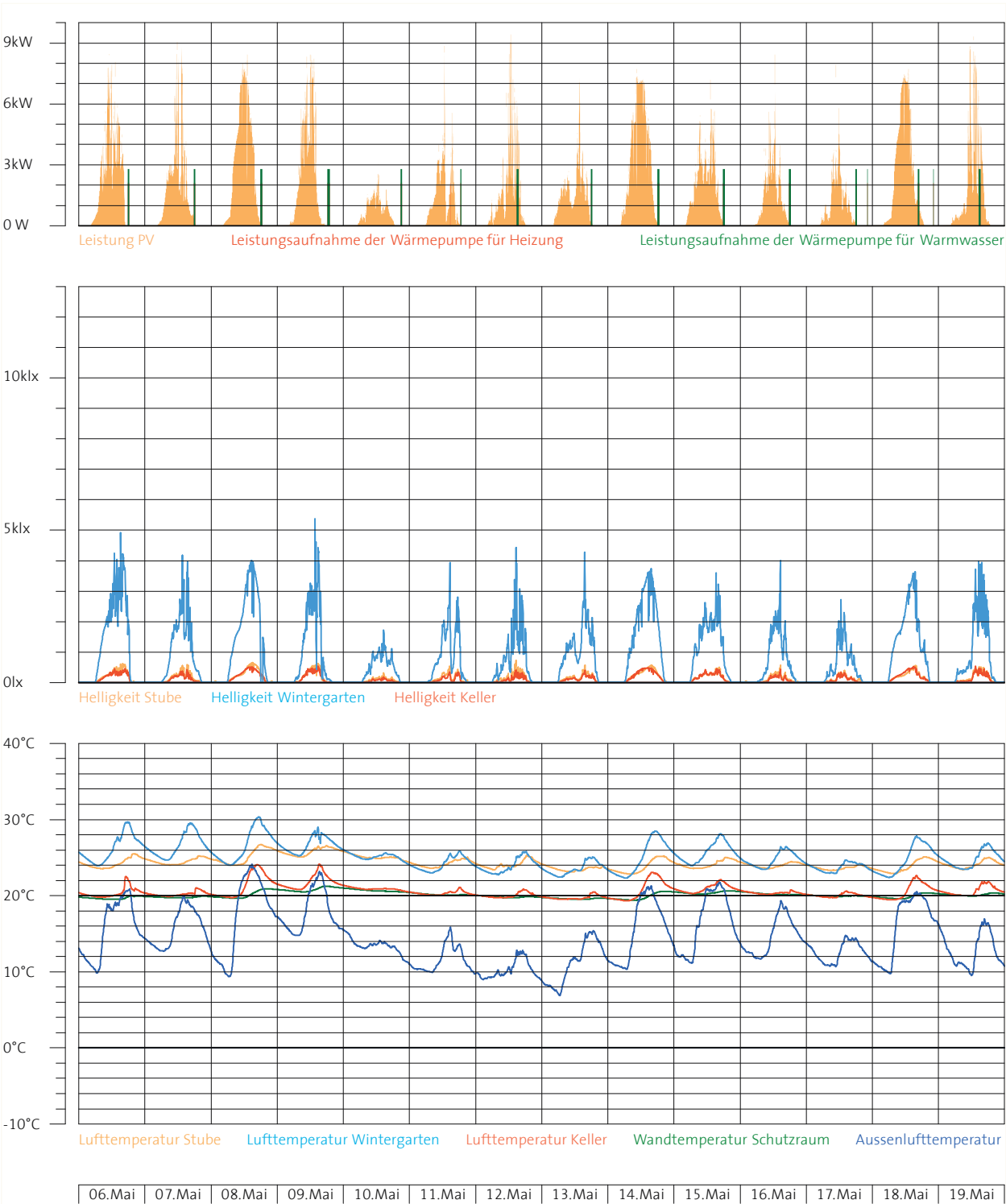
Der Wohnraum ist 21 bis 26°C warm, geheizt wird nicht mehr, der Wintergarten ist meist wärmer. Die Kellertemperatur nähert sich, obgleich unbeheizt, nun 20°C.

Allgemein

Vom 27. und 28. April fehlen Daten über den Solarstromertrag.

Energie

Erneut erhebliche Erträge an Solarstrom und nur noch geringer Stromverbrauch der Wärmepumpe dank Einstellung des Heizbetriebs.



Klima

Sonniges und mildes Frühlingswetter.

Raumklima

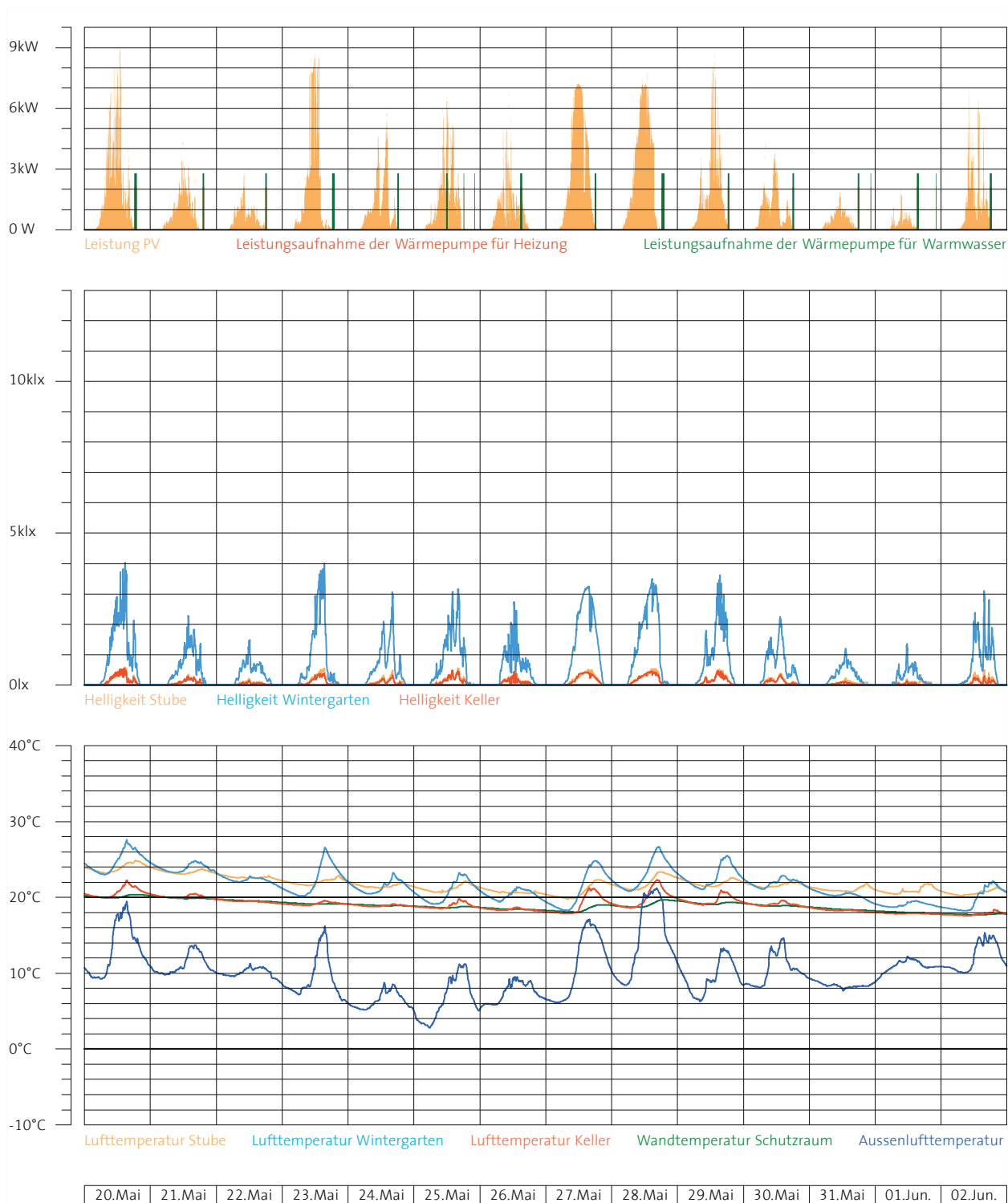
Mit rund 24°C ist der Wohnraum komfortabel warm. Der Wintergarten ist meist wärmer und heizt somit, wobei drei Tage lang die Türen vom Wintergarten zur Stube offen blieben und sich die Temperaturen angeglichen.

Allgemein

Die Helligkeit des Wintergartens entspricht nicht mehr den winterlichen Werten. Hier spiegelt sich der wieder höhere Sonneneinstrahlungswinkel wieder.

Energie

Hohe Solarstromerträge und nur noch sehr geringe Verbräuche der Wärmepumpe entsprechen wieder der sommerlichen Situation. Der 14. Mai ist mit 47.3 kWh der ertragreichste Tag der Messperiode.



Klima

Erneut sonniges und warmes Frühlingswetter.

Raumklima

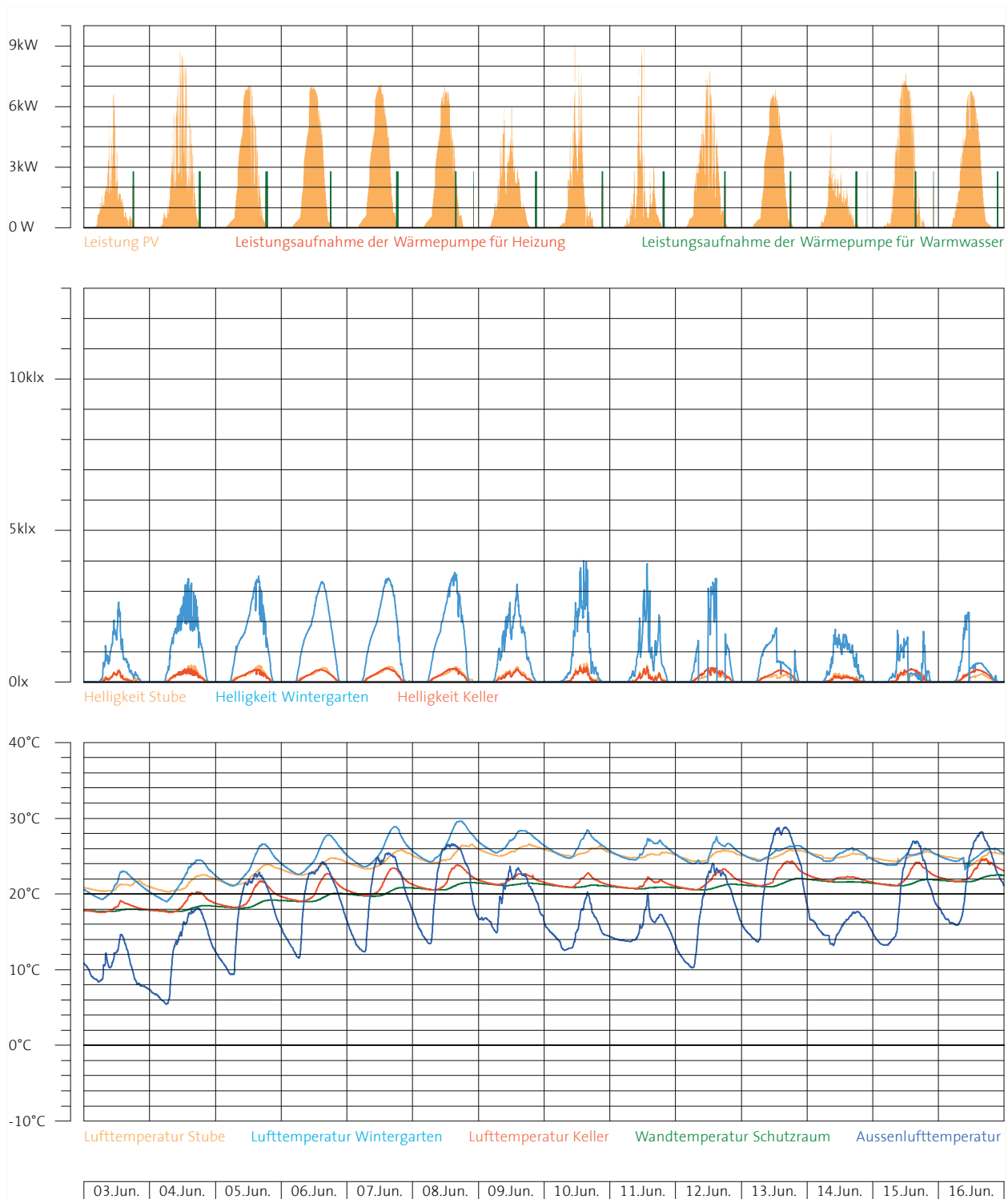
Komfortable Wohnraumtemperaturen, geringere Ausschläge im Wintergartentemperaturen (höherer Sonnenstand) und Kellertemperaturen zwischen 18 und 20°C entsprechen fast sommerlichen Verhältnissen.

Allgemein

Auch bei Aussentemperaturen zwischen 3 und 12°C (an drei Tagen) kann die Wohnraumtemperatur über 20°C gehalten werden, ohne dass geheizt werden muss.

Energie

Seit mehreren Wochen unverändert hohe PV-Erträge und tiefe Verbräuche der Wärmepumpe.



Klima

Frühsommerliches, warmes und sonniges Wetter.

Raumklima

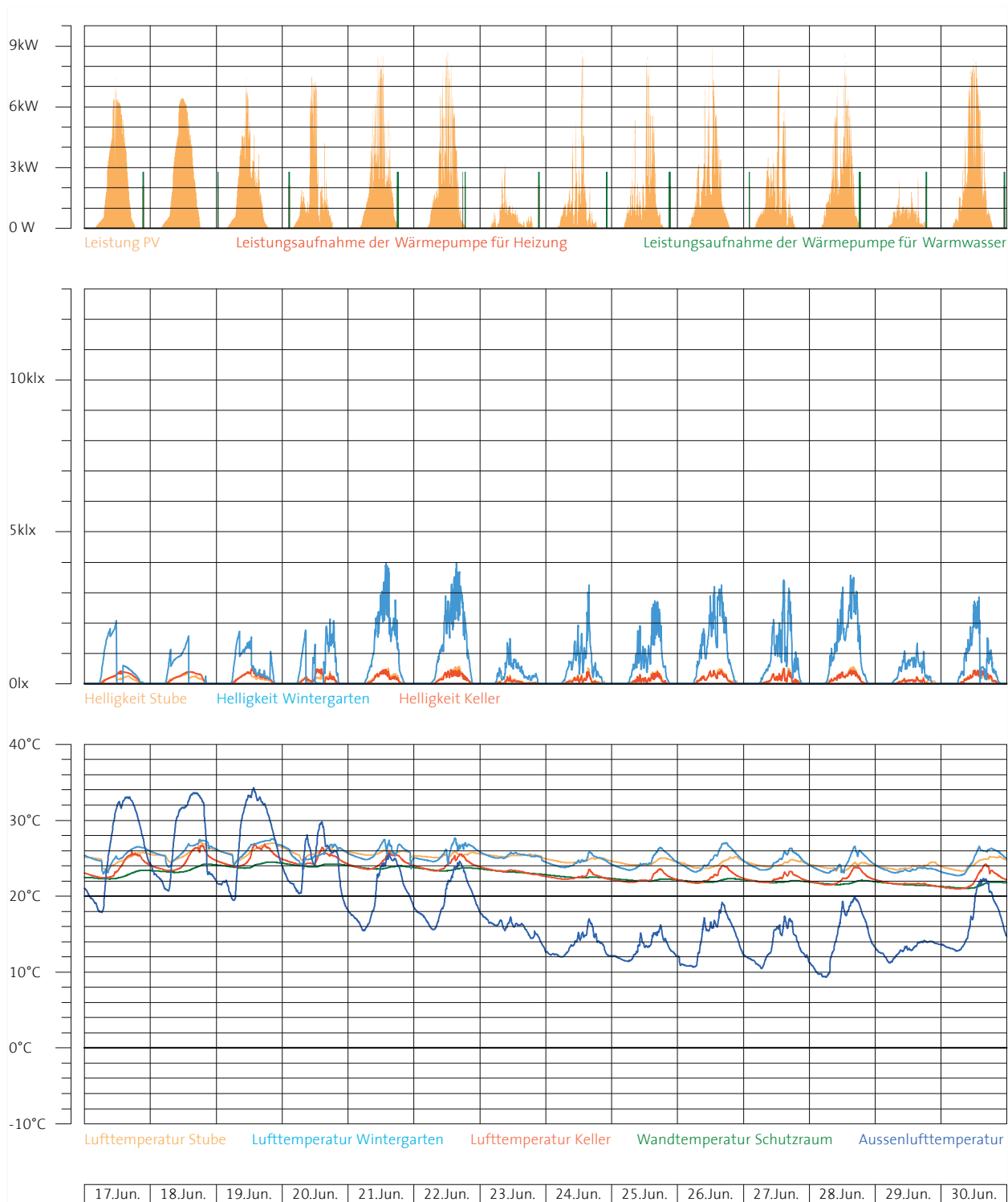
Anfangs kann die Wohnraumtemperatur ohne Beschattung im Komfortbereich zwischen 20°C und 26°C gehalten werden. Ab 12. Juni werden die Storen regelmässig benutzt. Auch im Sockelgeschoss steigen nun die Temperaturen auf bis auf 24°C.

Allgemein

Dank moderaten Aussen-temperaturen besteht noch keine Überhitzungsgefahr. Bei Bedarf könnte die nötige Kühlung jederzeit durch nächtliches Lüften erfolgen.

Energie

Unverändert hohe PV-Erträge und sehr tiefe Verbräuche der Wärmepumpe.



Klima

Erste sommerliche Hitzetage mit bis zu 34°C und nächtlichen Werten über 20°C, danach etwas bedeckt und kühler.

Raumklima

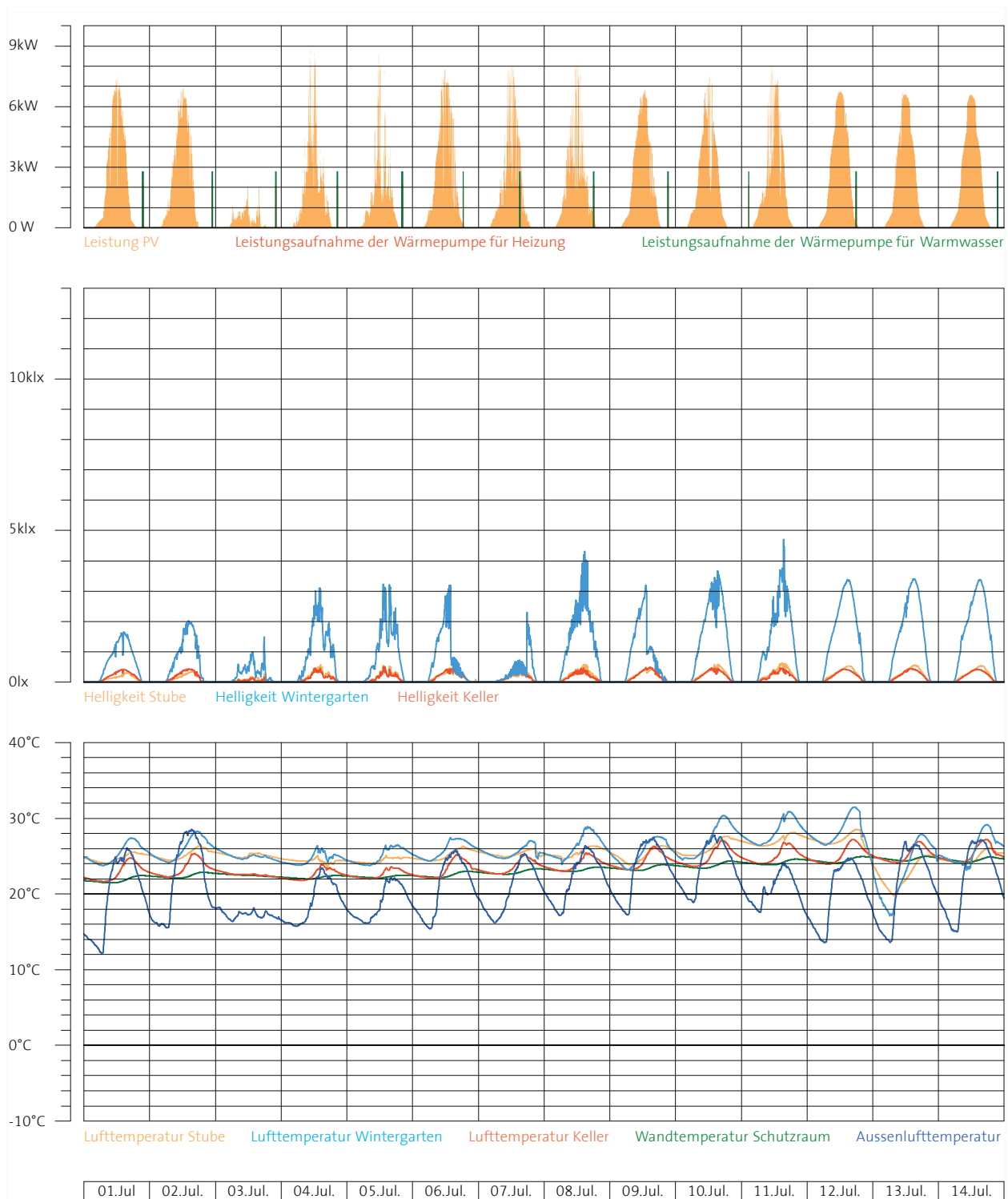
Dank Beschattung und gezieltem Lüften bleibt die Raumtemperatur im Komfortbereich unter 26°C und klar unter der Aussentemperatur. Dies gilt auch für die Temperatur im (beschatteten) Wintergarten.

Allgemein

Die Komfortlüftung wird am 22. Juni abgestellt.

Energie

Unverändert gute PV-Erträge und sehr tiefe Verbräuche der Wärmepumpe.



Klima

Warmes Sommerwetter mit viel Sonnenschein.

Raumklima

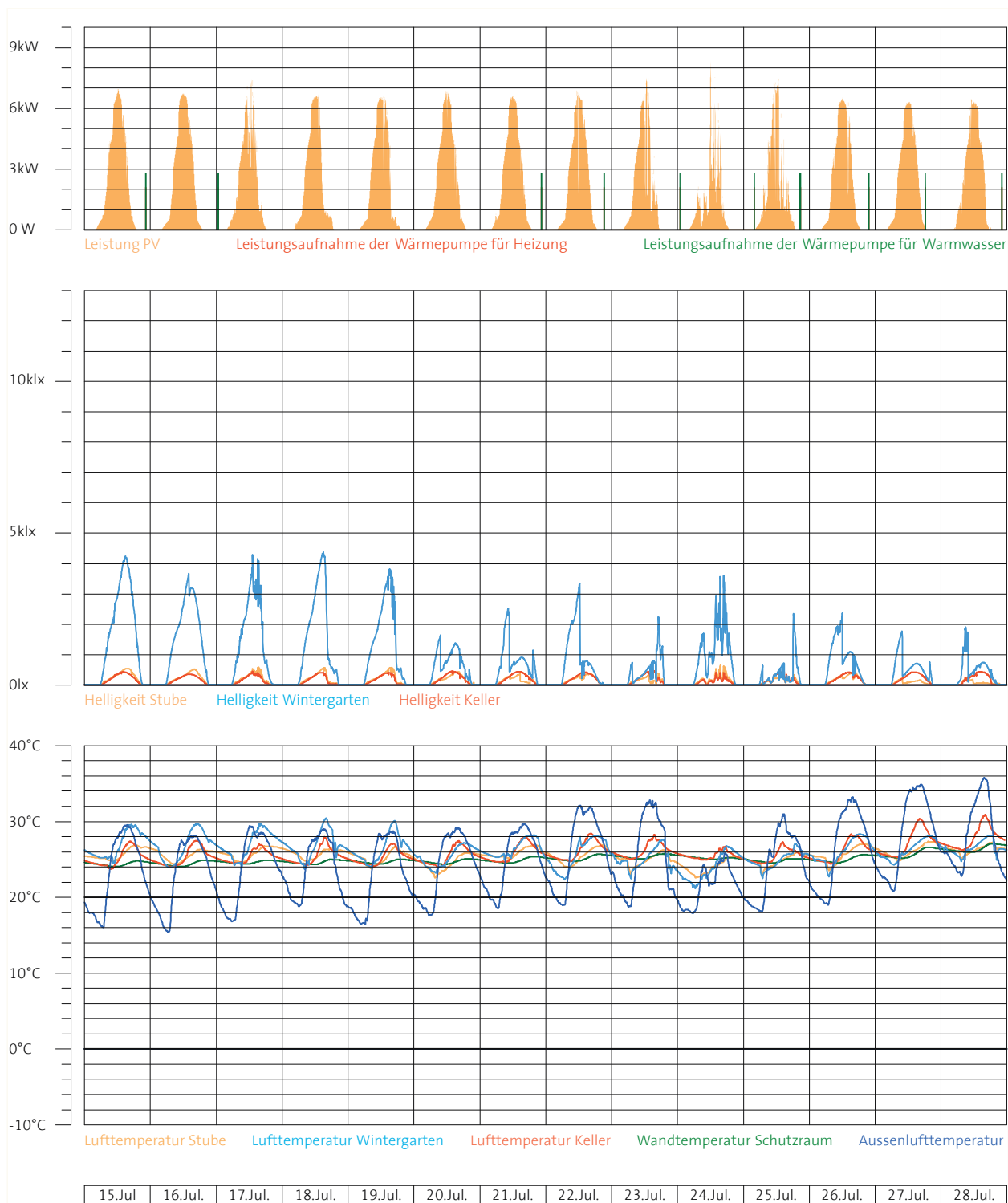
Obwohl kaum beschattet wird, bleiben die Wohnraumtemperaturen meist unter 26°C. Vom 10. bis 12. Juli steigen sie höher, hier hätte verschattet werden müssen.

Allgemein

Die Komfortlüftung wird am 22. Juni abgestellt.

Energie

Unverändert hohe PV-Erträge und sehr tiefe Verbräuche der Wärmepumpe.



Klima

Heisses und sonniges
Hochsommerwetter.

Raumklima

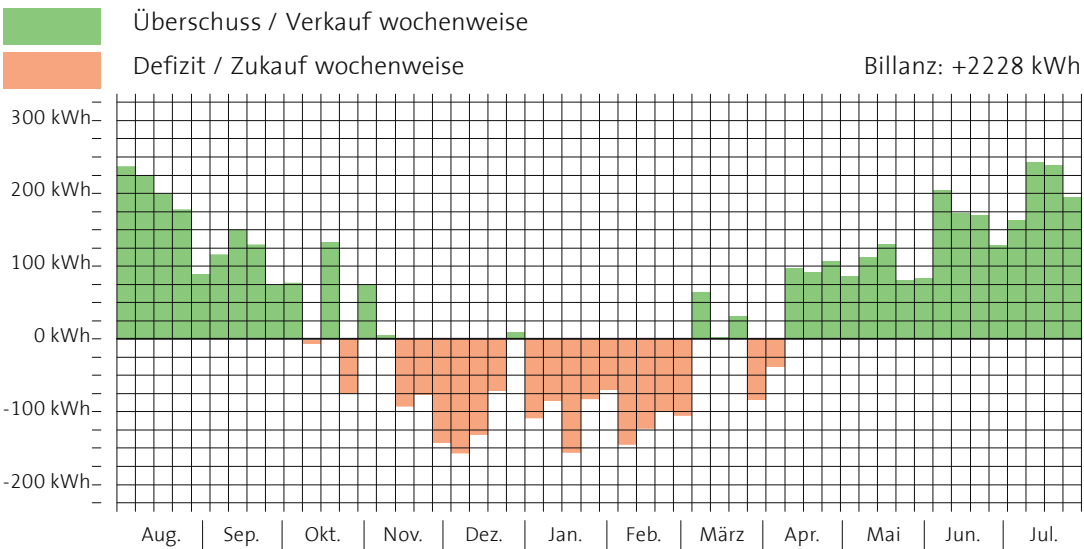
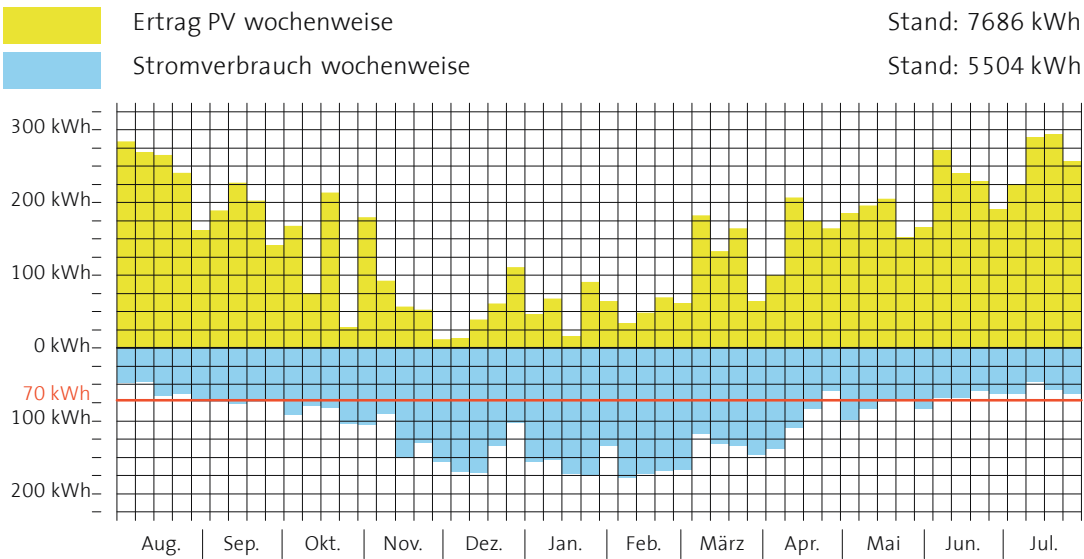
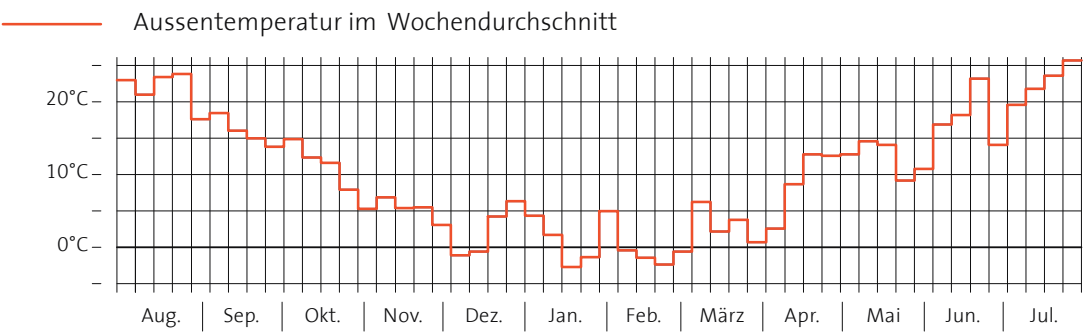
Überhitzung wird durch
Beschattung ab dem
20. Juli vorgebeugt.
Somit bleiben die Raum-
temperaturen trotz
Sommerhitze in der Regel
unter 26°C.

Allgemein

Der unbeheizte und unange-
dämmte Keller weist fast
ganzjährig angenehme
Wohnraumtemperaturen auf.

Energie

Unverändert hohe PV-
Erträge und sehr tiefe
Verbräuche der Wärme-
pumpe.



Bilanz der Betriebsenergie

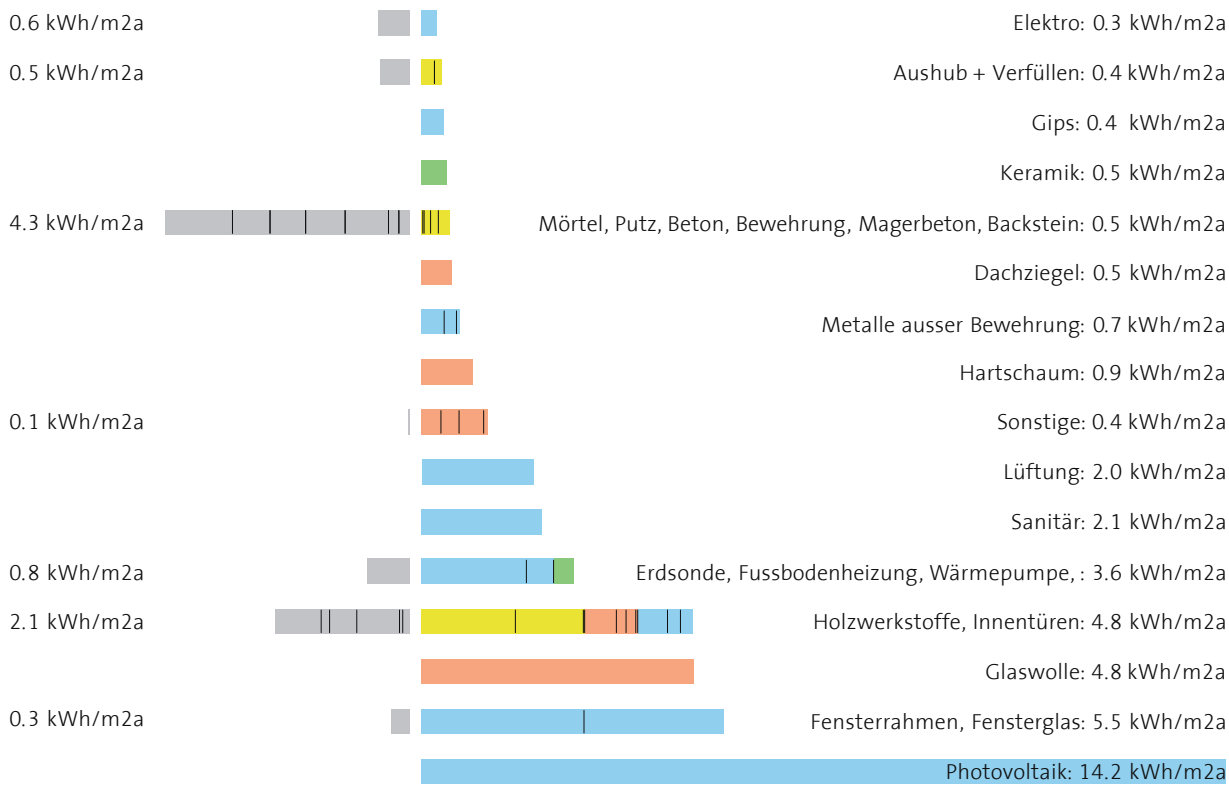
Über einen Zeitraum von 52 Wochen wurde eine Solarstromproduktion von 7'686 kWh und ein Verbrauch von 5'504 kWh für Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom und Haushalt gemessen. Es bleibt ein Überschuss von 2228 kWh.

Angesichts des ungewöhnlich trüben und sonnenscheinarmen Winters und des hohen Stromverbrauchs für letzte Bauarbeiten und Austrocknung kann vermutet werden, dass der langjährige Schnitt noch höhere Überschüsse ergeben wird.

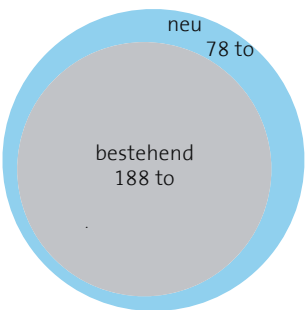
Nebestehende Graphiken zeigen wesentliche Wochenbilanzen für Stromertrag und -verbrauch.

Erwartungsgemäss gehen niedrige Temperaturen und wenig Sonnenschein von Mitte November bis März einher mit einem höheren Stromverbrauch. Es hat sich gezeigt, dass ein weitgehend konstanter Verbrauch von durchschnittlich 70kWh pro Woche das ganze Jahr über besteht. Dieser Sockelbetrag von knapp 2/3 des Jahresenergieverbrauches ist auf Warmwassererzeugung und die Benutzung von Haushaltsgeräten zurückzuführen. Bemerkenswert ist, dass der zusätzliche Verbrauch in der kalten und dunklen Jahreszeit, welcher mutmasslich wegen der Erzeugung von Heizwärme und für Beleuchtung zustande kam, im Durchschnitt der Heizwochen nicht mehr als weitere 70kWh pro Woche Betrug, was am Jahresverbrauch lediglich gut ein Drittel ausmacht.

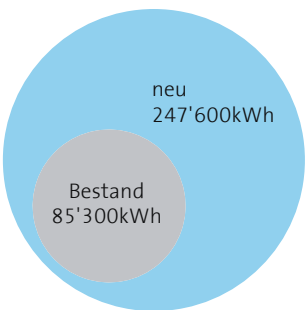
Mit ein Grund für den sehr niedrigen Heizwärmeverbrauch dürfte sein, dass zum Keller trotz der Vielzahl der Wärmebrücken kaum Wärme abfließt: Dank der Südverglasung wird der Keller allein durch passiv solare Wärmegewinne fast ganzjährig nahe Raumtemperaturen gehalten (absoluter Tiefstwert 16°C).



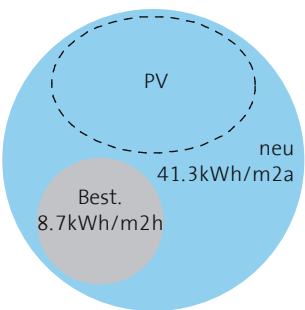
8.7 kWh/m2a	Total Graue Energie Bestand	Total Graue Energie neu	41.3 kWh/m2a
-------------	-----------------------------	-------------------------	--------------



Gebäudemasse



Graue Energie absolut



Graue Energie spezifisch

Graue Energie

Unter Grauer Energie versteht man die nicht erneuerbare Primärenergiemenge, die aufgebracht wird, um etwas herzustellen. Von der Rohstoffgewinnung bis zur Übergabe an den Endverbraucher werden alle Energieaufwendungen für Materialien, Bearbeitungsschritte, Transporte, Entsorgung und anteilig für alle Produktions- und Transportmittel addiert.

Die Norm SIA 2032 definiert, wie die Graue Energie für die Erstellung von Gebäuden zu ermitteln ist. Sie legt fest, welche Bauteile zu berücksichtigen sind und wo pauschale Annahmen zulässig sind. Sie hält ebenfalls fest, welche Nutzungsdauer für die jeweiligen Bauteile anzunehmen ist. Dabei nimmt die Norm Bezug auf eine Liste der gängigen Baumaterialien und ihrer Grauen Energie, welche die Konferenz der öffentlichen Bauherren der Schweiz (KBOB) publiziert hat.

Auf dieser Grundlage wurde beim vorliegenden Objekt eine Graue Energie von rund 250'000 kWh für die neuen Bauteile ermittelt. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzungsdauern ergibt dies eine Energiemenge von 41 kWh pro m² Energiebezugsfläche und Jahr.

Hätten die bestehenden Bauteile auch neu erstellt werden müssen, würden zusätzliche 9 kWh pro m² hinzukommen.

Obwohl die neuen Bauteile leicht sind (sie machen weniger als die Hälfte der wiederverwendeten Masse aus), enthalten sie also vergleichsweise viel Graue Energie. Dies liegt insbesondere an denjenigen Bauteilen, welche die hohe Energieeffizienz im Betrieb ermöglichen, also Dämmung, Haustechnik und Photovoltaik.

Der Grenzwert für Graue Energie des neuen Standards ‚Minergie A‘, 50 kWh/m²a, ist eingehalten.

Auch der Effizienzpfad Energie (s.S. 11) ist eingehalten: Er schreibt eine Summe von höchstens 86 kWh/m²a für Graue Energie und nicht erneuerbare Primärenergie für Betrieb vor, ein Wert, der hier massiv unterschritten ist.

Bauherrschaft	Karin und Martin Stahl, Wil/SG
Architekt	dransfeldarchitekten ag, Ermatingen
Baukonstruktion	Christian Keiser, St. Gallen
Energiekonzept	Naef Energietechnik, Zürich
Holzbau	Willi Roth, Oberbüren
Maurerarbeiten	Bruno Traxler, Wil/SG
Fenster	Swiss Windows, Mörschwil
Spengler	M. Schönenberger AG, Wil/SG
Photovoltaik	BE Netz AG, Ebikon
Heizung & Lüftung	Fuchs AG, Aadorf
Erdsonde	Heim Bohrtechnik AG, AU/SG
Sanitär	Paul Angele, Bronschhofen
Estriche	Dörig Unterlagsböden AG, Oberegg
Bodenbeläge	Kaufman Bodenbelags- und Teppich AG, Wil/SG
Kamine	Neff Kaminbau, Bottighofen

Schluss

Das Ziel, ein einfaches Haus von 1960 mit hohem Energieverbrauch und bescheidenem Komfort zum Plusenergiehaus zu machen, wurde einwandfrei erreicht. Die Kosten der Sanierung waren verhältnismässig, die Mehrkosten gegenüber der blossen Einhaltung der Energievorschriften liegen zwischen 10 und 20%. Die Sanierung im bewohnten Zustand war anspruchsvoll aber machbar. Wohnqualität und Komfort sind heute exzellent.

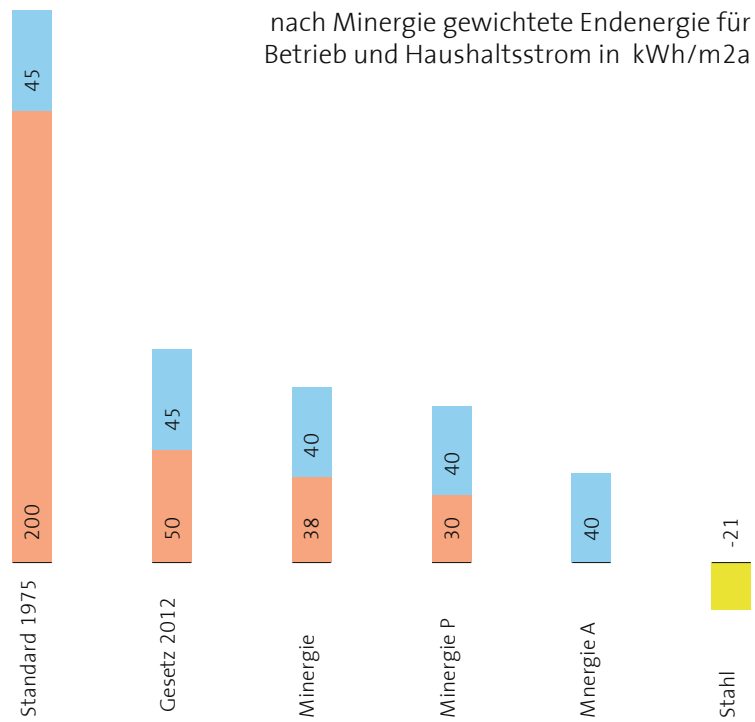
Die Plus-Energie-Sanierung Stahl erfüllt ohne Vorbehalt die ehrgeizigsten Vorgaben wie Minergie A und Effizienzpfad Energie: Minergie A verlangt lediglich eine Nullenergiebilanz in Bezug auf Heizung und Warmwasser, hier wird hingegen auch nach Abzug des Haushaltsstroms noch Energie gewonnen. Der Effizienzpfad Energie verlangt für Umbauten maximal 122 kWh/m²a nicht erneuerbare Primärenergie für Mobilität, Erstellung und Betrieb. Hier wird weniger als die Hälfte benötigt: Das Saldo für das Projekt Stahl ergibt lediglich 55 kWh/m²a (ohne den Stromüberschuss zu gewichten). Da Familie Stahl nicht Auto fährt, liegt auch der Wert für die Mobilität deutlich unter den ehrgeizigen Vorgaben.

Zu bemerken ist schliesslich, dass die exzellenten Ergebnisse auf privater Initiative beruhen. Eine mutige Bauherrschaft und qualifizierte Fachleute aus der Region haben - trotz wertvoller Bundesbeiträge - grosse Risiken in Kauf genommen. Die Herausforderung wurde angenommen und rundum erfolgreich bewältigt, mit einem Ergebnis, das in Bezug auf Innovation europaweit einzigartig ist.

Eine Zertifizierung nach Minergie wäre einfach, nach Minergie A ebenfalls (mit dem Vorbehalt, dass die Dichtigkeit der Hülle nicht gemessen wurde). Eine Zertifizierung nach Minergie P wäre schwierig wegen der (faktisch bedeutungslosen) Wärmebrücken zum Keller hin. Da der Kanton St.Gallen keine Minergie-Förderung kennt, wurde auf jegliche Zertifizierung verzichtet. Umso erfreulicher ist, dass die gemessenen Resultate weitaus besser sind, als es jegliche Zertifikate fordern.







Die Plusenergiesanierung der Familie Stahl erreicht Resultate an der Spitze der europäischen Entwicklung, deutlich bessere, als die neuesten ehrgeizigen Vorgaben gemäss Minergie A oder dem Effizienzpfad Energie des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA).

