



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Schlussbericht 20. November 2014

Nullenergiegebäude - die nächste Generation energieeffizienter Bauten

IEA EBC Annex 52 / IEA SHC Task 40 "Towards Net Zero Energy Solar Buildings"

Auftraggeber

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

Auftragnehmer

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Institut Energie am Bau, IEBau
St. Jakobs Strasse 84
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch/habg/iebau

Autoren

Dr. Monika Hall, IEBau, FHNW, monika.hall@fhnw.ch

Mitarbeit

Armin Binz, Binz GmbH
Martin Pfirter, Gartenmann Engineering AG

Begleitgruppe

Andreas Eckmanns, BFE
Dr. Charles Filleux, Basler & Hofmann AG
Christian Gaegauf, Ökozentrum Langenbruck
Dr. Werner Hässig, Sustec
Martin Hofmann, Allreal Generalunternehmung AG
Martin Ménard, Lemon Consult
Urs-Peter Menti, HSLU T&A, ZIG
Dr. Ruedi Meier, energie-cluster
Rolf Moser, Enerconom AG
Oliver Meile, BFE
Walter Ott, econcept

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 103324/154384, SI/500217-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichtes verantwortlich.

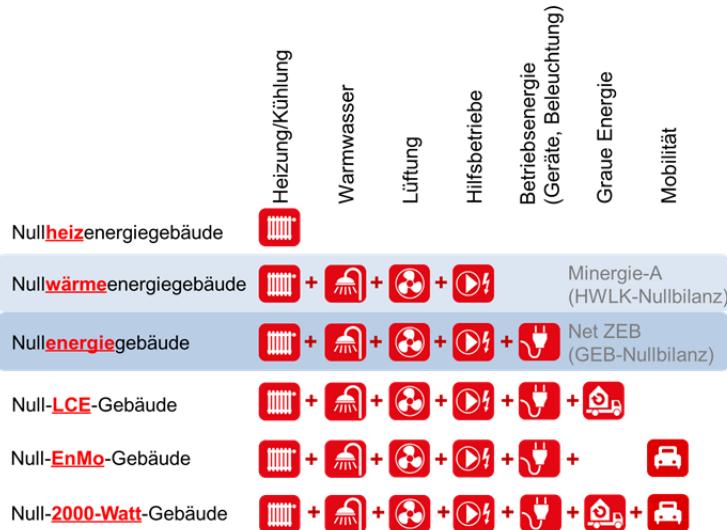
Inhalt

1	Zusammenfassung.....	6
2	Summary.....	9
3	Ausgangslage	12
3.1	Hintergrund	12
3.2	Begriffe und Definitionen.....	13
4	Energetische Bilanzierung von Nullenergiegebäuden	15
4.1	Umfang der Nullbilanz.....	15
4.2	Bilanztyp	16
4.3	Bewertung der Energieträger	18
4.3.1	Nutz-, End- und Primärenergie	18
4.3.2	Statische symmetrische/asymmetrische Bewertungsfaktoren.....	20
4.3.3	Dynamische symmetrische/asymmetrische Bewertungsfaktoren.....	23
4.4	Bilanzgrenze	23
4.5	Bilanzzeitraum	24
4.6	Gleichzeitigkeit von Bedarf und Produktion	25
4.6.1	Netzbelastung.....	25
4.6.2	Speicherung.....	27
4.6.3	Lastverschiebung.....	28
4.7	Standardwerte für Berechnung der Nullbilanz	29
4.8	Monitoring	30
5	Ökologischer Mehrwert [24]	31
5.1	Definition	31
5.2	Förderung der erneuerbaren Energien	31
5.3	Fallbeispiele	32
5.4	Eigentumsverhältnisse.....	33
5.5	Diskussion.....	33
5.6	Jahresbilanz.....	34
5.7	Anwendung in der Praxis	35
6	Graue Energie.....	36
6.1	Hintergrund	36
6.2	Energetische Amortisation von Photovoltaikanlagen.....	37
6.3	Materialisierung.....	37
6.4	Dämmstärke versus Heizwärmebedarf.....	38
6.5	Optimierung	39
7	Erfahrungen mit Minergie-A	40
7.1	Nullbilanz	40
7.2	Graue Energie.....	41
7.3	Heiz- und Warmwassersysteme	43
8	Von Minergie-A zum Nullenergiegebäude	44
8.1	Gesamtenergiebedarf	44

8.2	Life Cycle Energy.....	45
8.3	Neubau und Modernisierung.....	46
9	Diskussion.....	47
10	IEA EBC Annex 52/ SHC Task 40 und EPBD	47
11	Referenzen.....	49
12	Anhang	51

1 Zusammenfassung

Das Thema „Nullenergiegebäude“ ist durch die Diskussion über die Anforderungen an Niedrigstenergiegebäude im Rahmen der EU-Richtlinie [1] und der Schweizer Energiestrategie 2050 seit einigen Jahren stark im Fokus. Damit die Anforderungen an ein „nearly zero energy building“ definiert werden können, ist zuerst die Frage nach der „Null“ zu klären. Die Bilanzierung von Nullenergiegebäuden scheint auf den ersten Blick einfach, jedoch bei näherer Betrachtung ist die "Null" nicht eindeutig. Dies wird in folgender Abbildung schematisch dargestellt.



Prinzipiell hängt die energetische Gesamtbilanzierung eines Gebäudes von verschiedenen Parametern ab. Diese müssen auch für die Bilanz eines Nullenergiegebäudes festgelegt werden. Folgende Aufzählung fasst die Parameter zusammen. Die üblichen Parameter für eine Nullbilanz sind fett gedruckt.

- Umfang der Nullbilanz **Heizung/Kühlung, Warmwasser, Lüftung, Hilfsbetriebe, Betriebsenergie, Graue Energie, Mobilität**
- Bilanzgrenze **Einzelgebäude**, Ausgleich zwischen mehreren Gebäuden, Zertifikate, Anteilsscheine
- Datengrundlage **Planungswerte (Bedarf)**, gemessene Werte (Verbrauch)
- Bilanzzeitraum Stunde, Tag, Woche, Monat, **Jahr**, Lebenszyklus
- Bilanzzeitschritt $\frac{1}{4}$ Stunde, Stunde, Tag, Woche, **Monat, Jahr**, Lebenszyklus
- Bilanztyp **Bedarf/Produktion**, Export/Import
- Angebot/Nachfrage Gleichzeitigkeit von Produktion und Eigenbedarf, Speicherung
- Anrechenbarkeit der Eigenproduktion **Energiekonzept, Ökologischer Mehrwert** (Handel mit den Herkunftszeugnissen für erneuerbare Energie)
- Gewichtung der Energieträger **Primärenergie total/nicht erneuerbar, politische Faktoren, Minergie-Faktoren**, Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkten, Kosten
- Gewichtungsfaktoren der Energieträger für Ex-/Import **symmetrisch** oder asymmetrische Werte, diese können z.B. **fixe**, saisonale, monatliche, stündliche oder momentane Werte sein

Eine offizielle Definition für ein Nullenergiegebäude ist in der Schweiz bislang noch nicht eingeführt. Die beschriebenen Abgrenzungen und Parameter zeigen auf, was alles bei einer Definition berücksichtigt werden muss. In diesem Bericht beruht das Nullenergiegebäude auf der GEB-Nullbilanz.

Der Standard Minergie-A ist ein Schritt Richtung Nullenergiegebäude. Die Kennzahl Wärme beschreibt eine Nullwärmebilanz für Heizung/Kühlung, Warmwasser, Lüftung und Hilfsbetriebe, Haushaltsstrom ist nicht inbegriffen (HWLK-Nullbilanz). Trotzdem liefert die Auswertung von 229 zertifizierten Minergie-A Gebäuden erste Erkenntnisse über einen Standard mit einer Nullbilanz. Grundsätzlich ist die Netto-Nullbilanz für den Bereich Wärme machbar. Das typische Minergie-A Gebäude verfügt über einen sehr guten Dämmstandard, eine Wärmepumpe und eine Photovoltaikanlage. Die Primärerfordernis an den Heizwärmeverbrauch wird im Mittel um 25% und die Anforderung an die Graue Energie wird im Mittel um rund 15% unterschritten. Die Nullbilanz für die Kennzahl Wärme wird hauptsächlich durch die Bilanzierung einer Photovoltaikanlage erreicht. Eine Vielfalt an Heizungs- und Warmwassersystemen kommt zum Einsatz. Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Freiheiten bei der Planung sehr gross sind und auch genutzt werden.

Eine vertiefte Analyse der Minergie-A Gebäude zeigt, dass der Anteil von Heizung und Warmwasser knapp 70% des Bedarfs für HWLK beträgt. Wird der Haushaltsstrom hinzugezählt, reduziert sich der Anteil von Heizung und Warmwasser auf knapp 30% des Gesamtbedarfs. Es zeigt sich, dass bei gut gedämmten Gebäuden der Haushaltsstrom eine sehr grosse Rolle spielt. Wird noch die Graue Energie berücksichtigt, ergibt sich grob eine Aufteilung des Gesamtenergiebedarfs von 30% Graue Energie, 40% Haushaltsstrom und 30% HWLK, unabhängig davon, ob es ein Minergie-A oder ein Nullenergiegebäude ist.

Bei der Netto-Jahresbilanz aus Gesamtenergiebedarf und Grauer Energie weisen Nullenergiegebäude gegenüber Niedrigenergiegebäuden und Minergie-A Gebäuden den geringsten Wert auf. Das Nullenergiegebäude zeigt die beste energetische Gesamtbilanz. Wird das Zusammenspiel mit dem Elektrizitätsnetz betrachtet, weisen Minergie-A Gebäude eine geringere Netzbelastung als Nullenergiegebäude auf.

Bislang gibt es keine Obergrenze für den Verbrauch von Nullenergiegebäuden. So kann ein Nullenergiegebäude sehr viel Energie verbrauchen, solange es im Jahresmittel genügend erneuerbare Energie umwandelt. Auch die Höhe der Netzinteraktion (Im-/Export) wird bei einem Nullenergiegebäude nicht bewertet, obwohl durch die grossen PV-Anlagen ein grosser Austausch mit dem Netz stattfindet. Daher ist zu überlegen, wie ein Nullenergiegebäude energieeffizient und netzfreundlich wird. Folgende Punkte sollten für ein Nullenergiegebäude diskutiert werden:

- sehr gutes Dämmniveau senkt Energieverbrauch im Winter, wenn der Solarertrag gering ist
 - hohe Wärmespeicherfähigkeit in Verbindung mit einer sehr guten Dämmung langsame Temperaturabnahme im Gebäude, so dass die Wärmeerzeugung flexibler an Zeiten mit Solarertrag angepasst werden kann bzw. nutzbare passive Gewinne erhöht werden können
 - energieeffiziente Geräte und Beleuchtung geringer Energieverbrauch über das gesamte Jahr
 - grosser Eigenverbrauch maximale Nutzung von lokal produziertem Strom in Zeiten mit Solarertrag, Reduktion der Netzinteraktion
 - Energiespeicher Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Energiespeicher
 - gelieferte Energie Kaufverpflichtung von Energie aus erneuerbaren Quellen
 - Monitoring Visualisierung verschiedener Verbraucher, so dass dem Nutzer bewusst wird, wann mit welchem Gerät/Verhalten wieviel Energie verbraucht wird

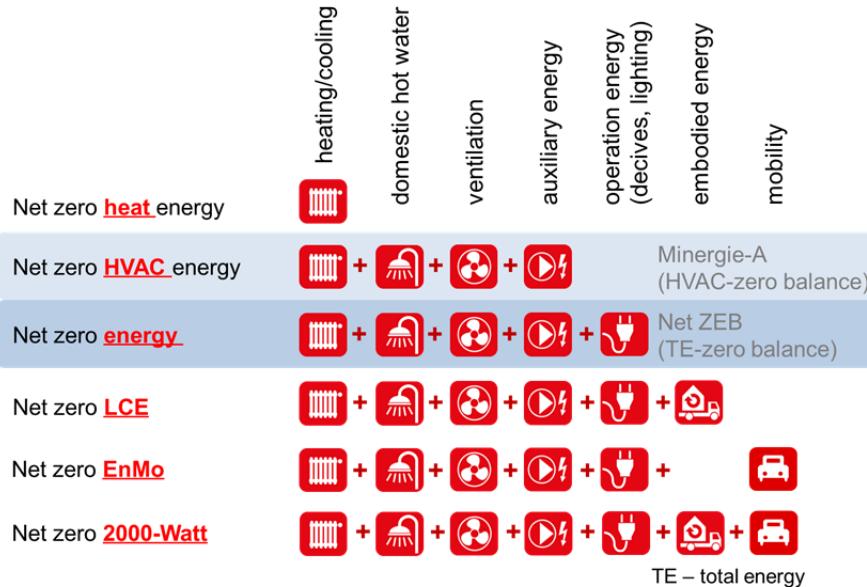
- Energieaudit
- Jährliche Überprüfung der Nullbilanz. Im gleitenden 3-Jahresmittel sollte die Nullbilanz eingehalten werden. Wird die Nullbilanz nicht eingehalten, werden im Rahmen einer Energieberatung der Energieverbrauch untersucht, die Lastprofile analysiert und Verbesserungspotential aufgezeigt.

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 sollen die erneuerbaren Energien stark ausgebaut und Gebäude energieeffizienter werden. Beide Themen werden beim Nullenergiegebäude berücksichtigt und umgesetzt. Somit tragen Nullenergiegebäude dazu bei, die Ziele der Energiestrategie 2050 zu erreichen. Praxisbeispiele zeigen, das Nullenergiegebäude sowohl im Neubau als auch bei der Modernisierung machbar sind. Dies zeigen Beispiele beim Solarpreis der Schweizer Solaragentur und der Datenbank über Plusenergiegebäude vom energie-cluster. Beide Vereinigungen prüfen nicht nur die Planungswerte, sondern auch den tatsächlichen Verbrauch.

2 Summary

Due to the focus on nearly zero energy buildings in the EPBD [1] and the Swiss “EnergyStrategy 2050”, Net Zero Energy Buildings have also been a widely discussed topic for the past years. In order to be able to define “nearly”, the first step is to define what “zero” actually means.

The energy balance for Net Zero Energy Buildings seems simple at first. However, detailed analysis quickly shows that defining “zero” is not altogether straightforward. This is shown in following figure.



The overall energy balance for a building depends on various parameters, which must be clearly defined for a Net Zero Energy Building. The following list gives an overview of the main parameters involved. **Bold** lettering highlights the typical choices made for a Net Zero Energy Building.

- Scope of zero balance **Heating/cooling, DHW, ventilation, auxiliary devices, appliances, embodied energy, mobility**
- Boundary of balance **Single buildings**, across more than one building, warrants, share certificates
- Data base **Design values (demand)**, measured values (consumption)
- Balancing time span Hour, day, week, month, **year**, life cycle
- Balancing time step 1/4 hour, hour, day, **month, year**, life cycle
- Type of balance **Demand/generation**, export/import
- Supply/demand Simultaneous occurrence of generation and self-consumption, storage
- Creditability of generation **Energy-concept, ecological excess value**, (trade with source-certificates for renewable energy)
- Weighting of energy carriers **Primary energy total/non-renewable, policy driven values, Minergie-values**, GHG emissions, environment-pollution-score, cost
- Weighting of energy carriers for supply/demand **Symmetrical** or non-symmetrical values; either **constant** or by season, month, hour or current values

An official Swiss definition for a Net Zero Energy Building does not exist until now. The described delimitations and parameters show, what kind of things are to be considered for the definition. In this report the definition of a Net Zero Energy Building is based on the total energy balance.

The Minergie-A standard is a step forward towards Net Zero Energy Buildings. The "coefficient heat" used therein describes a zero balance for heating/cooling, DHW, Ventilation and auxiliary devices (HVAC zero balance). General appliances are not included. Nonetheless, the evaluation of 229 certified Minergie-A buildings give valuable initial information on a standard which prescribes a zero balance. Generally speaking, the zero balance for the "coefficient heat" is achievable. The typical Minergie-A building will have a very good thermal insulation, a heat pump and PV on the roof. The primary requirement in regard to heat demand according to the current Swiss Standard is undercut by 25 % on average. The requirement in regard to embodied energy is undercut by approx. 15 % on average. The zero balance for the "coefficient heat" is achieved by offsetting PV-generation. A wide range of heating and DHW systems is used. The results show that overall design flexibility is generally maintained and also used.

In-depth analysis of the Minergie-A buildings shows that heating and DHW account for almost 70 % of the HVAC demand. Additionally taking general appliances into account reduces the fraction for heating and DHW to approx. 30% of the overall energy demand. In other words, general appliances are responsible for a large part of energy consumption in well-insulated dwellings. Extending the scope to also include embodied energy leads to a split between embodied energy, general appliances and HVAC of approx. 30 %, 40 % and 30 %, respectively. This split holds true both for Minergie-A and Net Zero Energy Buildings.

When looking at the yearly net total energy balance including embodied energy it is found that Net Zero Energy Buildings have the lowest overall value compared to Minergie-A and low-energy buildings. In other words, the Net Zero Energy Building has the most favorable overall energy balance. On the other hand, Minergie-A buildings have a lower grid-interaction than Net Zero Energy Buildings.

To date, no limit to energy demand exists for Net Zero Energy Buildings. Such a building can require as much energy as it likes as long as the yearly net balance is zero. Also, grid-interaction is not taxed in any way, even though large PV installations heavily interact with the grid. It is to be discussed, therefore, how Net Zero Energy Buildings could be defined in such a way that they are energy efficient and grid friendly. Following issues should be considered:

- very good thermal insulation reduction of winter time heating load in times of low solar radiation
- large thermal heat capacity in combination with a very good thermal insulation the temperature change in times w/o heat supply is low. This gives flexibility in terms of necessary run-times for the heat supply. Useful passive gains can be increased
- energy efficient appliances reduced energy demand
- high self-consumption rate maximize consumption of on-site generated electricity, minimize grid interaction
- energy storage increase self-consumption by introducing additional means for energy storage
- energy from the grid require purchase of energy based on renewable sources, only
- monitoring visualization of individual loads in order to increase user awareness of when which load is responsible for energy consumption
- energy audit yearly check of zero balance. The running average across 3 years should meet the zero balance. If the

balance is not met, appropriate measures for improvement are evaluated based on load profiles from the monitored data.

The Swiss “EnergyStrategy 2050” requires a large increase in renewable energy usage. Also, buildings are to be made more energy efficient. Both issues are considered when looking at Net Zero Energy Buildings. Thus, Net Zero Energy Buildings help to achieve the goals of the Swiss “EnergyStrategy 2050”. Practical examples of buildings show that Net Zero Energy Buildings are possible as new buildings, but also for refurbishments. This can be seen by various examples entered in “Solarpreis” (Swiss Solar Agency) and in the database of Plus Energy Buildings maintained by the “energy-cluster”. Both associations not only check design values but also verify actual performance values.

3 Ausgangslage

3.1 Hintergrund

Die Anforderung „nearly zero energy building (nZEB)“ mit lokaler Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen soll für Neubauten im Rahmen der EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden ab 2021 gelten [1]. Das "Niedrigstenergiegebäude" bzw. "fast Nullenergie-Gebäude", Gebäude die fast keine Energie mehr benötigen für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung soll EU-weit zum Standard werden. Neubauten der öffentlichen Hand sollen bereits ab 2019 diese Anforderung erfüllen. Der beinahe bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschliesslich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden [1].

Auch in der Schweiz werden „nearly zero energy buildings“ bald Pflicht: „Neubauten versorgen sich ab 2020 ganzjährig möglichst selbst mit Wärmeenergie und tragen zur eigenen Stromversorgung bei“ so der Wortlaut der Medienmitteilung vom 2. September 2011 der Konferenz der kantonalen Energiedirektoren (EnDK) [2]. Bild 1 zeigt die den Zeitrahmen zur Einführung der Niedrigstenergiegebäude (nearly zero energy building, nZEB) für Neubauten in der EU und in der Schweiz.

Damit die Anforderung für ein „nearly zero energy building“ definiert werden kann, ist zuerst die Frage nach der „Null“ zu klären. Was soll wann, wie Null werden? Nach wie vor gibt es keine einheitliche Definition für den Begriff „Nullenergiegebäude / net zero energy building (Net ZEB)“. Aus diesem Grund ist es das Ziel einen einheitlichen Standard und eine einheitliche energetische Bewertung für Nullenergiegebäude zu formulieren und die Umsetzbarkeit in die Praxis vorzubereiten. Das nationale Projekt „Nullenergiegebäude – die nächste Generation energieeffizienter Bauten“ [3] ist in das internationale Forschungsprojekt der IEA "Towards Net Zero Energy Solar Buildings (Net ZEB)" im IEA EBC Annex 52, IEA SHC Task 40 [4] eingebettet. In dem IEA Projekt werden die Rahmenbedingungen für ein Nullenergiegebäude erarbeitet, von dem die Definition für ein Niedrigstenergiegebäude abgeleitet werden kann. Ausgehend von der EU-Richtlinie muss jeder EU-Mitgliedstaat auf nationaler Ebene die konkreten Anforderungen an ein Niedrigstenergiegebäude definieren. Diese Definitionsphase ist noch nicht abgeschlossen.

Die im Projekt durchgeföhrten Grundlagenarbeiten zur Definition „Nullenergiegebäude“ sind in der Schweiz in die Entwicklung und Einföhrung des neuen Minergie-A Standards [5] eingeflossen. Dieser wurde im März 2011 erfolgreich lanciert. Mit einer „Null“ für die Kennzahl Wärme ist Minergie-A ein Nullwärmeenergiegebäude und entspricht damit in etwa der Forderung der EnDK.



Bild 1 Zeitrahmen zur Einföhrung von Niedrigstenergiegebäuden (nearly zero energy buildings, nZEB) für Neubauten in der EU und in der Schweiz. Anforderungen an Bestandsbauten werden ebenfalls entwickelt.

3.2 Begriffe und Definitionen

Im Bericht werden folgende Begriffe und Definitionen verwendet:

Gesamtenergiebedarf GEB	- Heizung/Kühlung - Warmwasser - Lüftung - Betriebsenergie (Beleuchtung, Arbeits-, Haushalts-, Unterhaltungs-, Kommunikationsgeräte, sonst. Geräte)	Heizen/Lüftung/Klima: HWLK
Zurück gelieferte Energie, E_{exp}	Energie, die vom Gebäude exportiert wird (Export)	
(Brutto) gelieferte Energie, $E_{\text{del,brutto}}$	Energie, die vom Gebäude importiert wird (Import)	
Netto gelieferte Energie, $E_{\text{del,netto}}$	Differenz von Export/Import	
Netto-Energiebilanz	a) Differenz von Export/Import b) Differenz von Eigenproduktion und Energiebedarf	
Eigenerzeugte Energie aus erneuerbaren Energien, $E_{\text{pr,nren}}$	Durch Anlagen, innerhalb des Bilanzperimeters umgewandelte Energie aus erneuerbaren Quellen, die mindestens zum Teil innerhalb des Bilanzperimeters genutzt wird.	
Life cycle energy balance (LCE)	Netto-Energiebilanz inkl. Graue Energie	
Nurstromhaus	Gebäude, welches nur den Energieträger Elektrizität aufweist	
Null-EnMo-Gebäude	Nullbilanz über Gesamtenergie inkl. Mobilität	
Null-2000-Watt-Wattgebäude	Nullbilanz über die drei Verwendungszwecke des SIA-Effizienzpfads: Betrieb, Graue Energie und Mobilität	
Primärenergiefaktor, f_p	Gesamte Primärenergiemenge, die erforderlich ist, um dem Gebäude eine bestimmte Endenergiemenge zuzuführen, bezogen auf diese Menge.	
Primärenergiefaktor nicht erneuerbar f_{nren}	Anteil der nicht erneuerbare Primärenergiemenge an der gesamten Primärenergiemenge	
nationaler Gewichtungsfaktor, f_{CH}	Von der nationalen Energiepolitik festgesetzte Bewertungsfaktoren (www.endk.ch)	

Abkürzungen

EBF	Energiebezugsfläche
EPnren	nicht erneuerbare Primärenergie
Net ZEB	Nullenergiegebäude ("Net Zero Energy Building")
PV	Photovoltaik
THG	Treibhausgasemissionen

Der *Bilanzzeitraum* T ist der Zeitraum, für den die Bilanzierung durchgeführt wird z.B. ein Jahr (Anlehnung an [6]).

Der *Bilanzzeitschritt* τ ist ein diskretes Zeitintervall (z.B. eine Stunde, ein Monat) im Bilanzzeitraum (Anlehnung an [6]). Ist der gewählte Bilanzzeitschritt ein Vielfaches des *Mess- oder Simulationsintervalls* Δt , werden entsprechend $\tau/\Delta t$ Intervalle aufsummiert.

Der *Eigenverbrauch* EV bezeichnet die Menge an Elektrizität, die im Bilanzzeitschritt gleichzeitig von der PV-Anlage des Gebäudes erzeugt (E_{PV}) und von den Verbrauchern im Gebäude bezogen wird (E_{ges}):

$$EV_\tau = \min(\sum_{i=1}^{\tau/\Delta t} E_{PV,i}; \sum_{i=1}^{\tau/\Delta t} E_{ges,i}) \text{ [kWh]} \quad (1)$$

Die *Eigendeckungsrate* EDR definiert das Verhältnis aus EV und E_{ges} für den Bilanzzeitschritt (in Anlehnung an [6]):

$$EDR_\tau = \frac{EV_\tau}{\sum_{i=1}^{\tau/\Delta t} E_{ges,i}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

bzw. für einen Bilanzzeitraum:

$$EDR_T = \frac{\tau \cdot \sum_{i=1}^{T/\tau} EDR_{\tau,i}}{T} \quad [\%] \quad (3)$$

Gleichzeitigkeit besteht dann, wenn im Bilanzzeitschritt der Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude durch den PV-Ertrag vollständig gedeckt (100% EDR) wird.

Für die Berechnung der folgenden Rate gilt dieselbe Methodik, wie sie für EDR gemäss den Gleichungen (1) bis (3) festgelegt wird. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird sie nur schematisch dargestellt.

Als *Eigenverbrauchsrate* EVR wird das prozentuale Verhältnis aus dem Eigenverbrauch gemäss Gleichung 1 und dem PV-Ertrag bezeichnet:

$$EVR = \frac{EV}{E_{PV}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

4 Energetische Bilanzierung von Nullenergiegebäuden

Die Bilanzierung eines Nullenergiegebäudes scheint auf den ersten Blick einfach: Null ist Null. Aber schon die Fragen „Was wird Null?“ und „Wie wird die Null berechnet?“ können unterschiedlich beantwortet werden. Bislang gibt es für das Nullenergiegebäude keine feste Definition. Bei einer Definition müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden, z.B.:

- Was wird in die „Null“ mit eingerechnet?
- Wo ist die Bilanzgrenze am/im Gebäude, um die „Null“ zu berechnen?
- Soll auf Stufe Nutz-, End- oder gewichtete Endenergie (Primärenergie) die „Null“ erreicht werden?
- Wo ist die Gebäudebilanzgrenze?
- Was ist der Bilanzzeitraum?
- Wie gross ist der Bilanzzeitschritt?
- Wird die Gleichzeitigkeit von Bedarf und Produktion bewertet?
- Wie ist die Abgrenzung der lokalen Energieerzeugung?
- Wird der ökologische Mehrwert berücksichtigt?

In diesem Projekt wird nur die energetische Seite betrachtet. Dieselben Überlegungen können jedoch auch für ein Nullemissionsgebäude angestellt werden.

4.1 Umfang der Nullbilanz

Der Umfang der Nullbilanz eines Gebäudes kann verschieden sein (Bild 2). So schliesst die Anforderung von Minergie-A in der Nullbilanz Heizung/Kühlung/Warmwasser, Lüftung und Hilfsbetriebe (Kennzahl Wärme) ein. Das Nullenergiegebäude nach [7] umfasst zusätzlich die gesamte Betriebsenergie. Wird mehr als für HWLK und Betriebsenergie produziert, erfüllt dies die Definition eines Plusenergiegebäudes nach der Solar Agentur Schweiz, dem energie-cluster und dem Kanton Bern. Ansätze ebenfalls die Graue Energie und die Mobilität mit zu berücksichtigen sind auch denkbar und sind in der Definition vom energie-cluster für das Plusenergiegebäude Kategorie 2 und 3 [8] enthalten. Eine Analyse von rund 300 weltweit bestehenden Nullenergiegebäuden [4] zeigt, dass die meisten Definitionen darauf beruhen, dass die Netto-Jahresbilanz für HWLK und Betriebsenergie Null wird, d.h. dass der Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes in der Jahresbilanz ausgeglichen wird (GEB-Nullbilanz).

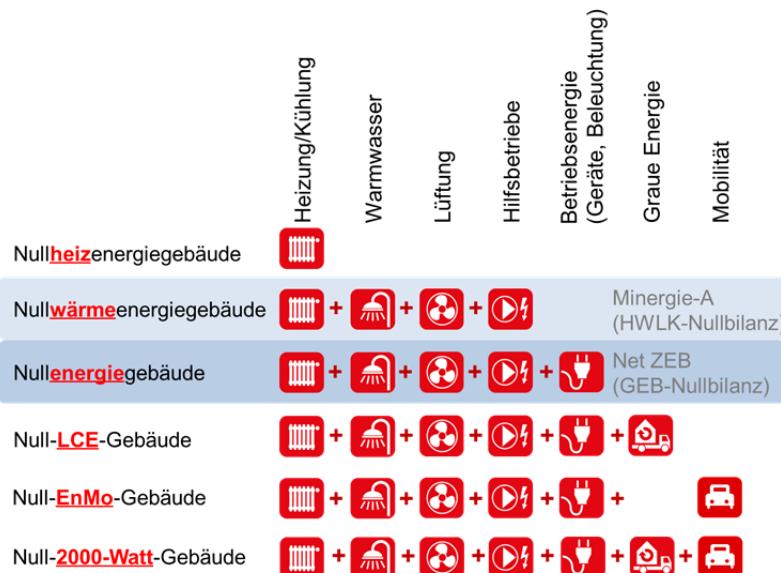


Bild 2 Umfang von verschiedenen Nullenergiestandards.

Es liegt nahe die GEB-Nullbilanz als Definition für die Schweiz zu übernehmen, da

- die "Null" sich auf den gesamten Energieverbrauch im Betrieb bezieht und nicht auf den Energieverbrauch von einzelne Verwendungszwecke,
- die messtechnische Überprüfung einfach ist, da der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes gemessen werden kann und keine Detailmessungen notwendig sind, und
- dies auch international sehr häufig anzutreffen ist.

4.2 Bilanztyp

Die generellen Energieflüsse an einem Gebäude sind in Bild 3 dargestellt. Bei Gebäuden ohne Eigenenergieerzeugung wird der Gesamtenergiebedarf komplett von importierter Energie gedeckt. Ist eine Eigenerzeugung vorhanden, kann ein Teil der Produktion direkt für den Eigenverbrauch verwendet werden. Die überschüssige Energie aus Eigenerzeugung wird exportiert, i.d.R. wird überschüssiger Solarstrom in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Bei Bedarf wird zu einem anderen Zeitpunkt wieder Energie in das Gebäude importiert. Die Differenz aus importierter und exportierter Energie wird als (netto) gelieferte Energie bezeichnet [9].

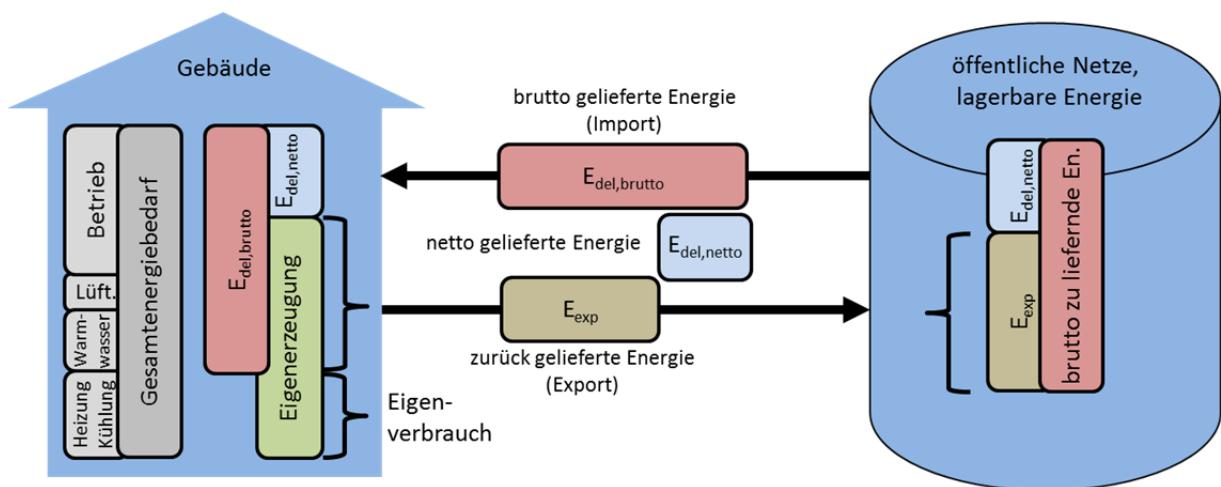


Bild 3 Energieflüsse an einem Nullenergiegebäude.

Die Idee eines Nullenergiegebäudes ist, dass im Jahresverlauf lokal genau so viel Energie aus erneuerbaren Quellen umgewandelt wie benötigt wird (Bild 4).

Zur Berechnung der Jahresbilanz bieten sich zwei Varianten an:

- Export/Import-Bilanz (Betriebsphase)
- Bedarfs/Produktions-Bilanz (Designphase)

Bei der Export-/Importbilanz erfolgt die Bilanzierung über die exportierte und importierte Energie. Der Eigenverbrauch wird dabei berücksichtigt. Die Export-/Importbilanz wird an der Übergabestelle des Gebäudes an das jeweilige Netz bzw. durch Kauf/Verkauf von lagerbaren Energie entsprechend einer Ein- und Ausgabenbilanz, erstellt. Der Gesamtenergiebedarf und der Eigenverbrauch werden in dieser Bilanz nicht erfasst, daher ist die Export-/Importbilanz nicht so detailliert und weist immer kleinere Werte als die Bedarfs-/Produktions-Bilanz auf. Die Export-/Importbilanz ist schwierig zu ermitteln, da eine Vorhersage des Eigenverbrauchs i.d.R. nicht vorhanden ist. Aus diesem Grund wird die Export-/Importbilanz im Normalfall nicht berechnet. Diese Bilanz kann z.B. durch ein Monitoring in der Betriebsphase aufgestellt werden.

In der Bedarfs-/Produktionsbilanz steht der Gesamtenergiebedarf der gesamthaft umgewandelten Energie gegenüber, d.h. auch der Eigenverbrauch geht in die Bilanz ein. In der Praxis erfolgt üblicherweise die Auslegung von Gebäuden auf Basis der Bedarfs-/Produktionsbilanz, da der Eigenverbrauch nicht bekannt ist. Die Bedarfs-/Produktionsbilanz kann aber auch durch ein Monitoring in der Betriebsphase erstellt werden. Die Differenz aus beiden Bilanzen bildet den Eigenverbrauch ab.

In Bild 5 ist der Zusammenhang zwischen den beiden Bilanzen qualitativ dargestellt. Ausgehend von einem Referenzgebäude, gebaut nach den minimalen Anforderungen der nationalen Gesetzgebung, sind zwei Schritte notwendig, um einen Nullbilanz zu erreichen

- a. Reduktion des Energiebedarfs durch Energieeffizienzmassnahmen (x-Achse)
- b. Energieeigenproduktion aus erneuerbaren Energien (y-Achse)

Je nach Bilanzierungstyp ist die Nullbilanz erreicht, wenn die Produktion den Gesamtenergiebedarf deckt bzw. wenn in gleicher Höhe Energie exportiert und importiert wird.

Die Bewertung der Energieträger spielt auf die Bilanzierung eine grosse Rolle. Dies Thema wird in Kapitel 4.3 betrachtet.

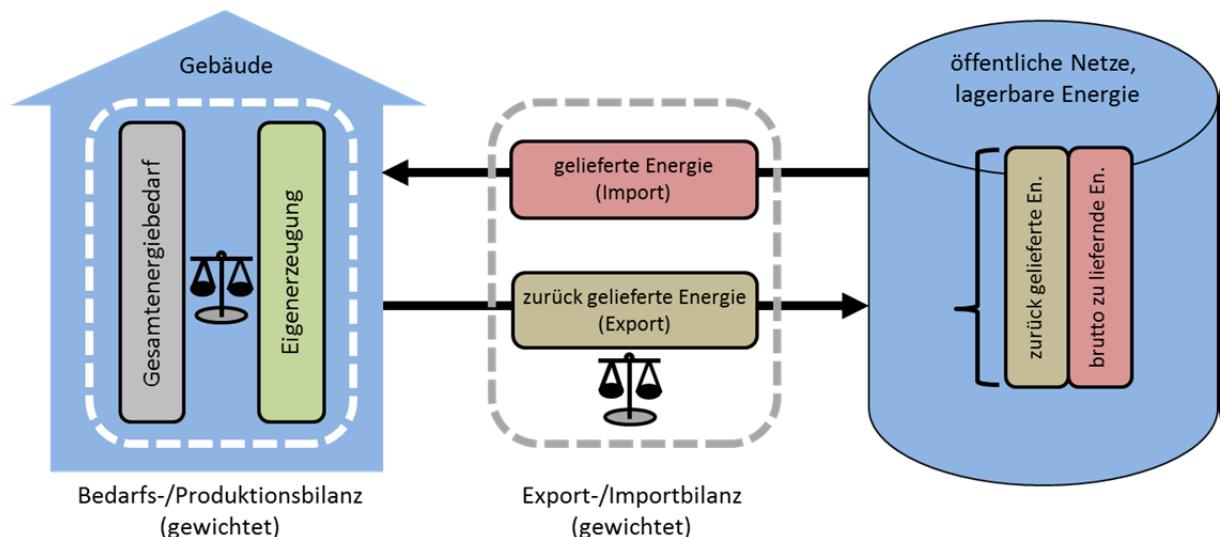


Bild 4 Bilanzierungsmöglichkeiten eines (Netto-)Nullenergiegebäudes auf Basis der Export-/Importbilanz oder der Bedarfs-/Produktionsbilanz (in Anlehnung an [10]).

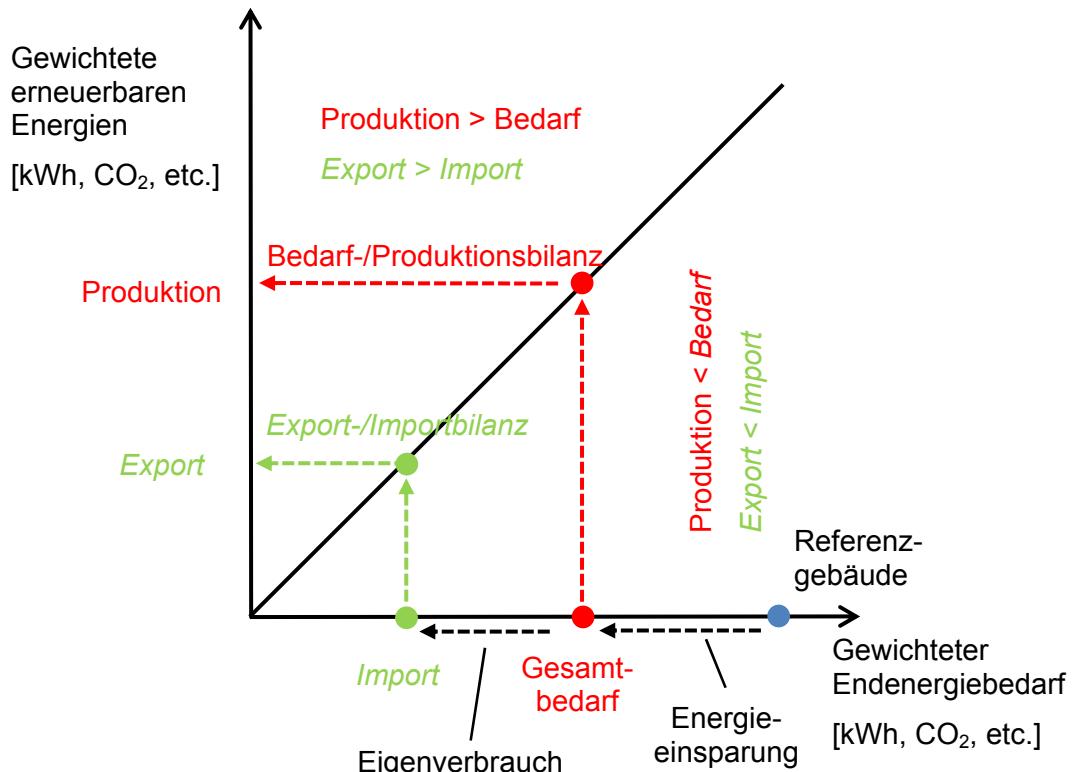


Bild 5 Zusammenhang zwischen Export-/Importbilanz und der Bedarfs-/Produktionsbilanz (in Anlehnung an [10]).

Die Bilanz zwischen Produktion/Bedarf oder Export/Import ist über das Jahr gesehen ausgeglichen. Gemeint ist eine Netto-Jahresbilanz und ein Nullenergiegebäude müsste eigentlich Netto-Nullenergiegebäude heißen. Da dieser Begriff jedoch umständlich und lang ist, wird im üblichen Sprachgebrauch von Nullenergiegebäude gesprochen.

Nullenergiegebäude grenzen sich von energieautarken Gebäuden ab. Energieautarke Gebäude werden netzunabhängig, also als Inselbetrieb, bewirtschaftet. Die saisonale, schwankende Erzeugung von Wärme (Heizung/Kühlung/Warmwasser) und Elektrizität werden über genügend grosse Speicherkapazitäten ausgeglichen. Auf Grund des hohen technischen Aufwandes und der hohen Kosten für die Speicherung ist es im urbanen Verbund nicht sinnvoll energieautarke Gebäude zu bauen.

Nullenergiegebäude sind an das öffentliche Strom- und ggf. Wärmenetz gebunden, die die saisonalen Bedürfnisse puffern. Im englischen Begriff „net zero energy building (Net ZEB)“ kommt diese Anbindung und Austausch besser zum Ausdruck.

4.3 Bewertung der Energieträger

4.3.1 Nutz-, End- und Primärenergie

Der Energiebedarf eines Gebäudes kann auf verschiedenen Stufen bewertet werden. Die Berechnung des Heizwärmeverbrauchs nach SIA 380/1 beruht auf der Stufe Nutzenergie. Es wird nur die benötigte Abgabe der Heizwärme, um die Raumtemperatur auf 20 °C zu halten, betrachtet. Die Energiebereitstellung und -umwandlung im Gebäude (Endenergie) als auch die vorgelagerte Rohstoffgewinnung mit Umwandlung und Transportkette (Primärenergie) ist damit im Heizwärmeverbrauch nicht berücksichtigt.

Die Bewertung/Gewichtung der für die Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger wie z.B. Öl, Gas, Holz oder Elektrizität erfolgt mit sogenannten Primärenergiefaktoren f_p oder mit den nationalen Energiegewichtungsfaktoren f_{CH} . Diese Faktoren spiegeln die vorgelagerte Prozesskette wider, die aus der Gewinnung der Rohstoffe, der Umwandlung und der Verteilung der Energieträger besteht. Sie sind ein Mass für den ressourcenschonenden Umgang mit der Umwelt vom Rohstoff bis zur Bereitstellung der Energieträger am Gebäude. Zur Ermittlung der Primärenergiebilanz wird der entsprechende Endenergiebedarf unter Berücksichtigung des beteiligten Energieträgers mit dem entsprechenden Faktor multipliziert.

Tabelle 1 Primärenergiefaktoren und nationale Gewichtungsfaktoren [11][12].

Energieträger	Primärenergiefaktor		Nationale Gewichtungsfaktor $f_{CH} [-]$
	total $f_p [-]$	nicht erneuerbar $f_{nren} [-]$	
Heizöl	1.23	1.22	1.0
Erdgas	1.07	1.06	1.0
Kohle Koks / Brikett	1.67/1.19	1.67/1.19	1.0
Stückholz / Holzschnitzel / Pellets	1.06/1.14/1.21	0.05/0.06/0.20	0.7
Fernwärme, Durchschnitt Netze CH	0.87	0.55	0.6
Elektrizität CH-Verbrauchermix	3.14	2.69	2.0

Der Primärenergiefaktor "total" f_p setzt sich aus einem Anteil für erneuerbare und nicht erneuerbare Energie zusammen. Erneuerbare Energien werden aus einer Quelle gewonnen, die durch die Nutzung nicht erschöpft wird, wie z.B. Sonnenenergie, Windenergie, Umweltwärme und Biomasse aus nachhaltiger Land- und Forstwirtschaft [15].

Für die Bilanzierung der „Null“ muss festgelegt werden, mit welchen Faktoren die Gewichtung der Energieträger erfolgt, da dies einen entscheidenden Einfluss z.B. auf die notwendige Grösse der Photovoltaikanlage hat.

Anhand eines Beispielgebäudes wird der Einfluss der Primärenergiefaktoren und des Wärmeerzeugers auf das Ergebnis des Energiebedarfs und damit auf die Nullbilanz dargestellt. Das Beispielgebäude ist ein kleines Mehrfamilienhaus mit einer Energiebezugsfläche von 320 m². Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt entweder über eine Sole-Wasser Wärmepumpe oder über eine Pelletfeuerung. Bild 6 zeigt den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes auf Stufe Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie total und nicht erneuerbar, sowie die gewichtete Endenergie mit nationalen Gewichtungsfaktoren. Je nach Energiestufe und Wärmeerzeuger variiert die Höhe des Energiebedarfs, der für die Nullbilanz über das Jahr ausgeglichen werden muss.

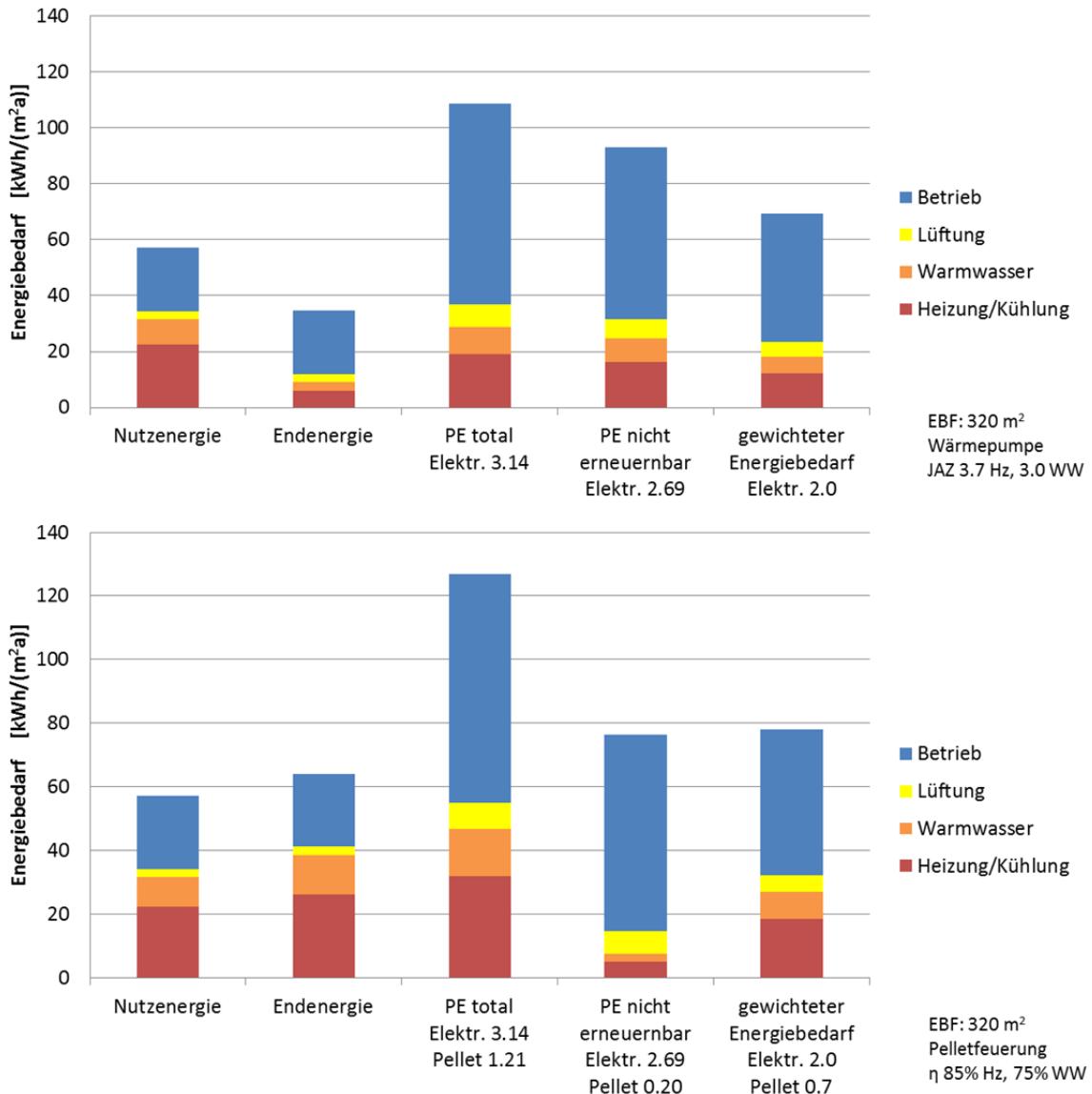


Bild 6 Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes ausgedrückt in Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie (PE) total und nicht erneuerbar [11], sowie gewichtete Endenergie mit nationalen Energiegewichtungsfaktoren [12] (oben: Wärmepumpe, unten: Pelletfeuerung).

4.3.2 Statische symmetrische/asymmetrische Bewertungsfaktoren

In der Regel ist die exportierte Energie Elektrizität. Diese wird üblicherweise mit denselben und über den Jahresverlauf fixen Primärenergie-/Gewichtungsfaktoren beaufschlagt, wie die importierte Elektrizität. Man spricht von (statischen) symmetrischen Faktoren.

Die Frage, ob symmetrische Faktoren die Situation richtig beschreiben ist noch nicht abschliessend beantwortet. In der Energiebilanz von [11] werden die importierten und exportierten Energieträger mit unterschiedlichen Bewertungsfaktoren gewichtet. Wird Energie am oder im Gebäude umgewandelt, wird der Primärenergiefaktor des Energieträgers am Ausgang des Energiewandlers verwendet. Die Gewichtung der importierten Energieträger erfolgt am Eingang des Gebäudes. Diese Vorgehensweise wird mit dem Begriff „asymmetrische Bewertungsfaktoren“ beschrieben.

In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die zwei Bilanzierungsmöglichkeiten nach [11] dargestellt. Das Beispiel ist wieder das kleine Mehrfamilienhaus mit Wärmepumpe/Pelletfeuerung und einer PV-Anlage. Tabelle 2 zeigt die Jahres-Bilanzierung auf Basis der Bedarfs-/Produktionsbilanz. Je nachdem, ob der PV-Jahresertrag höher oder niedriger als der

Energiebedarf ist, ändert sich der Primärenergiefaktor von 1.43 (PV-Überschuss am Gebäude) auf den Primärenergiefaktor der Elektrizität am Eingang des Gebäudes. Ist der gewichtete Energiebedarf ≤ 0 , wird die Nullbilanz eingehalten. Um die Nullbilanz mit der Pelletfeuerung zu erreichen, muss der PV-Ertrag gegenüber dem Nurstromhaus um fast den Faktor 2 erhöht werden.

Tabelle 2 Bilanzierung des Beispielgebäudes nach der Bilanzierung über den Bilanzzeitraum (oben: Wärmepumpe, unten: Pelletfeuerung) [11].

Bilanz der Jahressummen (Bedarf/Produktionsbilanz)		Energie- bedarf	PV-Ertrag	Energieträger			Einheit
				Pellet	Elektrizität	gew. Gesamtend- energiebedarf	
Endenergie	Heizung	1'941			1'941	2'776	kWh/a
	Warmwasser	984			984	1'407	kWh/a
	Lüftung	848			848	1'213	kWh/a
	Geräte	7'313			7'313	10'458	kWh/a
	PV-Ertrag		-11'086		-11'086	-15'853	kWh/a
	gelieferte bzw. zurück gelieferte Energie				0		kWh/a
Gewichtung	Gewichtungsfaktoren				1.43 *		-
	Gewichteter Energiebedarf				0	0	kWh/a
Kennzahl	Energiebezugsfläche	320					m ²
	gew. Energiekennzahl					0	kWh/(m ² a)

Bilanz der Jahressummen (Bedarf/Produktionsbilanz)		Energie- bedarf	PV-Ertrag	Energieträger			Einheit
				Pellet	Elektrizität	gew. Gesamtend- energiebedarf	
Endenergie	Heizung	8'320		8'320		12'979	kWh/a
	Warmwasser	3'840		3'840		5'990	kWh/a
	Lüftung	848			848	1'213	kWh/a
	Geräte	7'313			7'313	10'458	kWh/a
	PV-Ertrag		-21'426		-21'426	-30'639	kWh/a
	gelieferte bzw. zurück gelieferte Energie			12'160	-13'265		kWh/a
Gewichtung	Gewichtungsfaktoren			1.56	1.43 *		-
	Gewichteter Energiebedarf			18'970	-18'969	1	kWh/a
Kennzahl	Energiebezugsfläche	320					m ²
	gew. Energiekennzahl					0	kWh/(m ² a)

*Wechsel des Gewichtungsfaktors, je nach Vorzeichen der gelieferte/zurückgelieferten Energie.

Tabelle 3 zeigt die Bilanzierung, wenn eine Eigendeckungsrate von z.B. 30% bezogen auf den Bilanzzeitschritt „Stunde“ berücksichtigt wird (Im-/Exportbilanz). Die gelieferte Energie wird mit dem Primärenergiefaktor "am Eingang des Gebäudes" – hier Elektrizität aus dem Stromnetz (CH-Verbrauchermix) – und die zurückgelieferte Energie mit dem Primärenergiefaktor "am Ausgang des Energiewandlers im Gebäude" – hier PV-Ertrag am Gebäude – gewichtet. Da die zurückgelieferte Elektrizität einen deutlich geringeren Primärenergiefaktor als die gelieferte aufweist (Tabelle 3, oben), muss der Ertrag der Photovoltaikanlage um 84% gesteigert werden, um eine Nullbilanz zu erreichen. Anstatt die PV-Fläche zu vergrössern, kann "grüner" Strom bezogen werden. Der Primärenergiefaktor z.B. für den CH-Mix aus zertifizierten Stromprodukten ist mit 1.21 angegeben [11]. In diesem Fall kann die PV-Anlage sogar verkleinert werden (erforderlicher PV-Ertrag: 9'891 kWh/a).

Für den Fall Pelletfeuerung sind ein hoher PV-Ertrag sowie der Zukauf von "grünem" Strom notwendig, um die Nullbilanz zu erreichen. Die Momentan-Bilanzierung fördert, dass im- und exportierter Strom aus erneuerbaren Quellen stammt.

Die generellen Auswirkungen von asymmetrischen Gewichtungsfaktoren von einer Nullbilanz sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 3 Bilanzierung des Beispielgebäudes nach der Momentan-Bilanzierung [11] unter der Annahme, dass die Eigendeckungsrate 30% beträgt (3.14 Primärenergiefaktor für CH-Verbrauchermix).

Bilanz unter Berücksichtigung von 30% Eigendeckungsrate (Import/Exportbilanz)	Energie- bedarf	PV-Ertrag	Energieträger				Einheit
			Pellet	gelieferte Elektrizität	zurückgelieferte Elektrizität	gewichteter Energiebedarf	
Endenergie	Heizung	1'941		1'941		6'095	kWh/a
	Warmwasser	984		984		3'090	kWh/a
	Lüftung	848		848		2'663	kWh/a
	Geräte	7'313		7'313		22'963	kWh/a
	PV-Ertrag	-20'366		-3'326	-17'040	-34'810	kWh/a
	gelieferte bzw. zurück gelieferte Energie			7'760	-17'040		kWh/a
Gewichtung	Gewichtungsfaktoren			3.14	1.43	-	
	Gewichteter Energiebedarf			24'367	-24'367	0	kWh/a
Kennzahl	Energiebezugssfläche	320					m ²
	gew. Energiekennzahl						0 kWh/(m ² a)

Bilanz unter Berücksichtigung von 30% Eigendeckungsrate (Import/Exportbilanz)	Energie- bedarf	PV-Ertrag	Energieträger				Einheit
			Pellet	gelieferte Elektrizität	zurückgelieferte Elektrizität	gewichteter Energiebedarf	
Endenergie	Heizung	8'320	8'320			12'979	kWh/a
	Warmwasser	3'840	3'840			5'990	kWh/a
	Lüftung	848		848		2'663	kWh/a
	Geräte	7'313		7'313		22'963	kWh/a
	PV-Ertrag	-20'548		-2'448	-18'100	-28'845	kWh/a
	gelieferte bzw. zurück gelieferte Energie		12'160	5'713	-18'100		kWh/a
Gewichtung	Gewichtungsfaktoren		1.56	1.21	1.43	-	
	Gewichteter Energiebedarf		18'970	6'912	-25'883	-1	kWh/a
Kennzahl	Energiebezugssfläche	320					m ²
	gew. Energiekennzahl						0 kWh/(m ² a)

Tabelle 4 Auswirkungen von asymmetrischen Gewichtungsfaktoren bei einer Nullbilanz.

Gewichtungsfaktor: Export > Import	Gewichtungsfaktor: Export < Import
<ul style="list-style-type: none"> Eigenproduktionsanlagen werden kleiner als bei symmetrischen Faktoren Bei gleicher Primärenergie werden physikalisch weniger Kilowattstunden exportiert, als importiert Netz muss weniger dezentral eingespeiste Energie verwalten Eigenverbrauch steigt Anreiz um "grünen" Strom zu kaufen sinkt 	<ul style="list-style-type: none"> Eigenproduktionsanlagen werden grösser als bei symmetrischen Faktoren Bei gleicher Primärenergie werden physikalisch mehr Kilowattstunden exportiert, als importiert. Netz muss mehr dezentral eingespeiste Energie verwalten Anreiz den Eigenverbrauch zu erhöhen steigt Anreiz für Speicherung steigt Anreiz um "grünen" Strom zu kaufen steigt

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass die Wahl der Bilanzierungsmethode und der Primärenergiefaktoren einen grossen Einfluss nicht nur auf die Bilanz des Gebäude hat, sondern auch auf bauliche Massnahmen, die Netzinteraktion und letztendlich auch finanzielle Auswirkungen für den Bauherren und die Netzbetreiber.

4.3.3 Dynamische symmetrische/asymmetrische Bewertungsfaktoren

Neben den über das Jahr konstanten symmetrischen oder asymmetrischen Bewertungsfaktoren ist es auch möglich, dass die Faktoren sich flexibel mit dem Strommix im Netz anpassen. So könnte in Zeiten von viel Erneuerbarer Energie im Netz der Bewertungsfaktor geringer sein, als in Zeiten mit wenig Erneuerbarer Energie. Eine flexible Bewertung ist z.B. im 15-Minuten-, Stunden- oder Tagestakt möglich.

Die Festlegung der dynamischen Bewertungsfaktoren ist jedoch mit Schwierigkeiten verbunden. So ist der Erzeugungsmix der Schweiz zwar bekannt, jedoch der Verbrauchermix durch den Börsenhandel bestimmt. Für die Bewertung des Energieverbrauchs könnten im Nachhinein die entsprechenden dynamischen Bewertungsfaktoren des Verbrauchermix bestimmt werden. In der Planungsphase eines Gebäudes sind dynamische Bewertungsfaktoren nicht geeignet, da die zukünftigen Werte nicht bekannt sind. Gerade für die Planungssicherheit ist es wichtig, mit definierten Werten zu rechnen, die auch über mehrere Jahre konstant sind. Anforderungen im Bauwesen sind ebenfalls auf längerfristige fixe Bewertungsfaktoren angewiesen, damit definiert ist, wie die Anforderungen zu berechnen sind und überprüft werden kann, ob sie eingehalten werden. Eine Lösung wären quasi dynamische Bewertungsfaktoren. Die Bewertungsfaktoren könnten pro Monat verschieden sein, jedoch die einzelnen Monatswerte gelten für mehrere Jahre.

4.4 Bilanzgrenze

Der Begriff Nullenergiegebäude fokussiert auf das einzelne Gebäude. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten an welchem Ort die erneuerbare Energie erzeugt wird (Bild 7). Üblich ist die lokale Energieerzeugung an/auf dem betrachteten Gebäude („Net ZEB auf Fussabdruck“) oder an/auf funktional zum Gebäude gehörigen Bauten auf der Parzelle erfolgen („Net ZEB am Gebäude“), z.B. auf dem Dach/Garagendach oder an einer Stützmauer. Eine deutliche Ausweitung des Begriffs „Nullenergiegebäude“ ist möglich, wenn der Zukauf von Erneuerbarer Energie in die Bilanz angerechnet werden kann. Besitzt der Gebäudeeigentümer Anteile z.B. an einer Windkraftanlage, kann der erzeugte Strom in Höher des Anteils in der Bilanz angerechnet werden. Mit dieser Variante wird die strenge Definition der lokalen Energieerzeugung auf der Parzelle erweitert. Produzierte Energie aus Gemeinschaftsanlagen mit verschiedenen Teilhabern, z.B. einer Photovoltaikanlage auf einem Parkhaus, können angerechnet werden. Die Nullbilanz wird nicht mehr direkt am Gebäude sondern durch Anteile an standortfernen Anlagen erreicht („Net ZEB durch Anteile“). Ohne Eigenproduktion oder einer Beteiligung kann ein Nullenergiegebäude nur durch Zukauf von „grüner“ Energie realisiert werden („Net ZEB durch Zukauf“) analog Merkblatt SIA 2040 [9].

Die sehr enge gebäudebezogene Bilanzgrenze mit lokaler Energieerzeugung stösst im Vollzug sehr schnell an Grenzen. Der Bilanzausgleich zwischen mehreren zusammengehörigen Gebäuden, z.B. von einer Überbauung, führt zu einer Nullenergieüberbauung. Ebenso kann ein Portfolio bewirtschaftet werden. Der Vorteil einer Nullenergieüberbauung oder eines Nullenergie-Portfolios ist, dass nicht jedes einzelne Gebäude die Null erreichen muss, sondern die Nullbilanz wird im Verbund erreicht („Net ZEB durch Verbund“). Auch in diesem Fall muss die Erzeugung lokal vor Ort erfolgen, jedoch die Umsetzung ist flexibler.

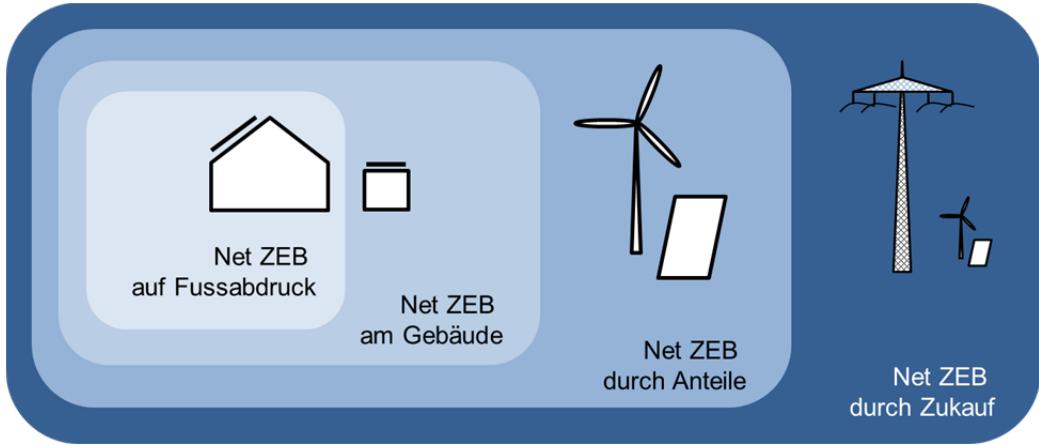


Bild 7 Überblick über verschiedene Möglichkeiten an welchem Ort die erneuerbaren Energien erzeugt werden (analog [13]).

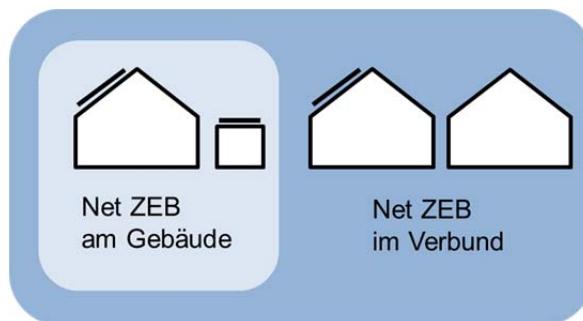


Bild 8 Nullbilanz für ein Gebäude bzw. über mehrere Gebäude.

4.5 Bilanzzeitraum

Der Bilanzzeitraum beträgt üblicherweise ein Jahr. Der über das Jahr kumulierte Bedarf und Ertrag werden in der Nettobilanz gegenübergestellt.

Überlegungen andere Zeiträume, wie z.B. eine saisonale oder monatliche Bilanzierung durchzuführen, führt einerseits zu Fragen der lokalen Speichermöglichkeiten und andererseits zu grösseren Photovoltaik- und Solarkollektoranlagen. Der Bedarf und die Produktion sind oft zeitlich verschoben und es könnte z.B. die Verrechnung von Überschüssen aus der Sommersaison nicht mit der Wintersaison erfolgen. In diesem Fall müssten alle Anlagen auf die Deckung der Wintersaison ausgelegt und damit deutlich grösser werden. Dies hat wiederum zur Folge, dass in der Sommersaison noch mehr produziert wird und der grosse Überschuss entweder in ein Netz eingespeist, lokal gespeichert oder vernichtet werden muss. Für Wärme aus z.B. thermischen Solaranlagen ist eine lokale, saisonale Speicherung möglich, jedoch die lokale Speicherung von grösseren Mengen an Elektrizität ist zwar technisch machbar, aber noch sehr teuer.

In Hinblick auf die Zielerreichung der Energiestrategie 2050 sind grösser PV-Anlagen erwünscht. Für die saisonale Speicherung könnten die Überkapazitäten im Sommer zentral gewandelt und z.B. in Power-to-Gas Anlagen [14] gespeichert werden.

4.6 Gleichzeitigkeit von Bedarf und Produktion

4.6.1 Netzbelastung

Die ausgeglichene Jahresbilanz eines Nullenergiegebäudes macht keine Aussage über die Gleichzeitigkeit von Bedarf und Produktion. Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen speisen einen grossen Teil der produzierten Elektrizität ins öffentliche Stromnetz ein, weil einerseits der produzierte Strom oftmals nicht zeitgleich genutzt werden kann und andererseits im Sommer deutlich mehr produziert wird als notwendig ist. Um das Stromnetz zu entlasten sollte jedoch die eigenproduzierte Energie möglichst direkt selbst genutzt werden. Damit kann der Bezug von Fremdenergie und die Netzinteraktion reduziert werden.

Bild 9 zeigt die monatlichen Verbrauchsdaten und den PV-Ertrag für ein kleines Mehrfamiliengebäude. Um die Grösse der PV-Anlage variiert, wird die Grösse der PV-Anlage variiert. Mit einer PV-Anlage von knapp 5 kWp kann die Nullwärmebilanz des Minergie-A Standard erfüllen werden. Für eine Nullenergiebilanz ist eine PV-Anlage von rund 12 kWp notwendig. Das reale Gebäude ist mit einer 20 kWp PV-Anlage ausgerüstet. Im Sommer steigt der Überschuss mit der Grösse der PV-Anlage, dagegen ist im Winter bei grossen Anlagen die Eigendeckung höher. Aus diesem Grund weisen Minergie-A Gebäude eine geringere Überschussproduktion und damit eine geringere Netzbelastung bei höherer Gleichzeitigkeit von Bedarf und Produktion als Nullenergiegebäude auf.

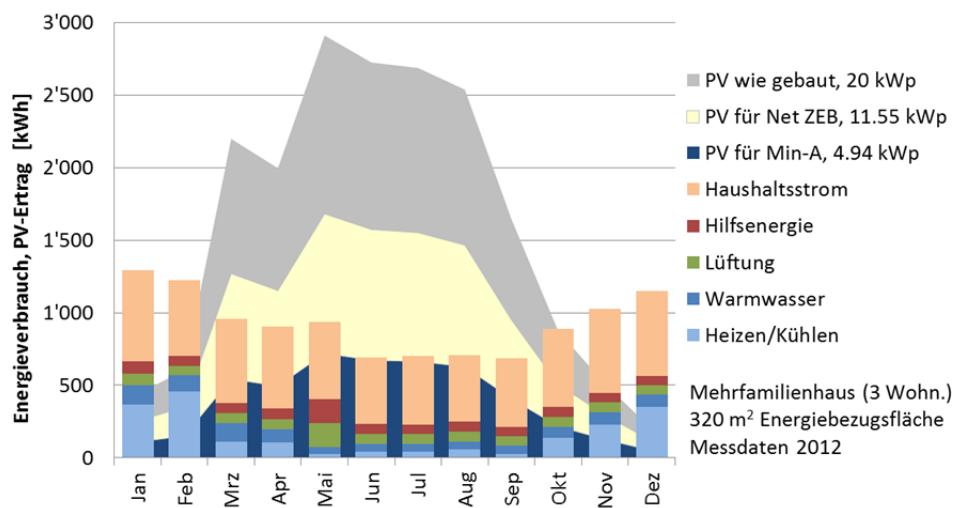


Bild 9 Monatliche Netzbelastung von unterschiedlichen Energiestandards [15].

Mit einer Eigendeckungsrate kann das Verhältnis von Eigenproduktion und Bedarf berechnet werden. Die Nullbilanz auf Stufe Minergie-A (Nullwärmeenergie) weist die höchste Deckungsraten bei unterschiedlich grossen PV-Anlagen auf (Tabelle 5). Ist die PV-Anlage für eine bestimmte Nullbilanz ausgelegt, weisen die Gebäude in der Jahresbilanz eine Eigendeckung von 100% und in der monatlichen Betrachtung von 70% auf. Dies entspricht den Angaben aus [16] und [17]. Wird die jeweilige Grösse der PV-Anlage ungefähr verdoppelt, vergrössert sich die Eigendeckung nur um rund 10%. Diese relativ geringe Erhöhung liegt daran, dass hauptsächlich in den Wintermonaten der zusätzliche PV-Ertrag zur Steigerung der Eigendeckung beiträgt, da im Sommer schon eine komplette Deckung vorhanden ist. Die geringe Einstrahlung im Winter führt jedoch nur zu einer geringen Erhöhung der Eigendeckung.

Aus den Betrachtungen lässt sich ableiten, dass je kleiner die PV-Anlage ist, desto höher ist der Eigenverbrauch und geringer der Überschuss. Gleichzeitig sinkt bei kleinen Anlagen die Eigendeckung, da der PV-Ertrag im Verhältnis zum Gesamtbedarf gering ist.

Tabelle 5 Mittlere monatliche Eigendeckung [15], [18].

PV kWp	Bilanzierung für	
	Min-A	Net ZEB
4.94 ^x	70 %	49 %
11.55 ^{xx}	81 %	70 %
20	91 %	79 %

^x notwendig für Minergie-A Null-Bilanz

^{xx} notwendig für Net ZEB Bilanz

Bei der Bilanzierung ist die zeitliche Auflösung wichtig. Liegt die Eigendeckung bei einer Photovoltaikanlage, die in der Jahressumme den Gesamtbedarf deckt bei 100%, reduziert sich die Eigendeckung derselben Anlage bei einer Jahresbilanzierung auf monatlichen Werten auf die Größenordnung von 70-80%. Bei einer Jahresbilanzierung auf Basis von Stundenwerten sinkt der Deckungsgrad in den Bereich von rund 30% [16], [17].

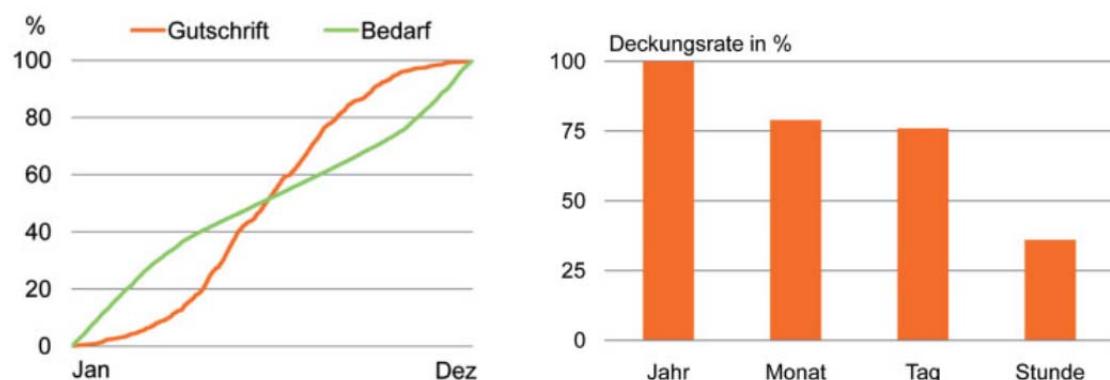


Bild 10 Berechneter Verlauf der PV-Produktion und Energiebedarf für das Gebäude der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010. Die Solarstromanlage ist so skaliert, dass der Jahresbedarf des Nur-Strom-Gebäudes vollständig gedeckt wird. Der kumulierte Verlauf im linken Diagramm beschreibt das saisonale Ungleichgewicht von Erzeugung und Bedarf. Das rechte Diagramm zeigt die Jahresmittelwerte für die Deckungsrate bei unterschiedlicher zeitlicher Auflösung [16].

Neben der Eigendeckungsrate kann auch die Eigenverbrauchsrate bestimmt werden. Dieser charakterisiert, welcher Anteil des PV-Ertrags selbst genutzt wird. Die Differenz aus eigengenutztem PV-Ertrag und dem gesamten PV-Ertrag wird als Überschuss in das Netz exportiert. Für ein kleines Nullenergie-Mehrfamilienhaus mit einer 11.55 kWp PV-Anlage sind die drei Kenngrößen, basierend auf Monatswerten, in Bild 11 dargestellt. Der Gesamtenergiebedarf kann in den Monaten März/April bis September zu 100% gedeckt werden (blaue Linie). Minimale Eigendeckung tritt im Dezember 2012 mit 10% auf. Der eigengenutzte Anteil des PV-Ertrags ist in den Wintermonaten am höchsten. Der komplette PV-Ertrag kann in den Monaten Oktober bis Februar/März im Gebäude verwendet werden (rote Linie). In den anderen Monaten muss exportiert werden, dies kann in den Sommermonaten um die 50 - 60% des gesamten PV-Ertrags liegen (grüne Linie).

Die monatlichen Durchschnittswerte betragen bei diesem Beispiel: Eigendeckungsrate 69%, Eigenverbrauchsrate 78% und Exportanteil 22%.

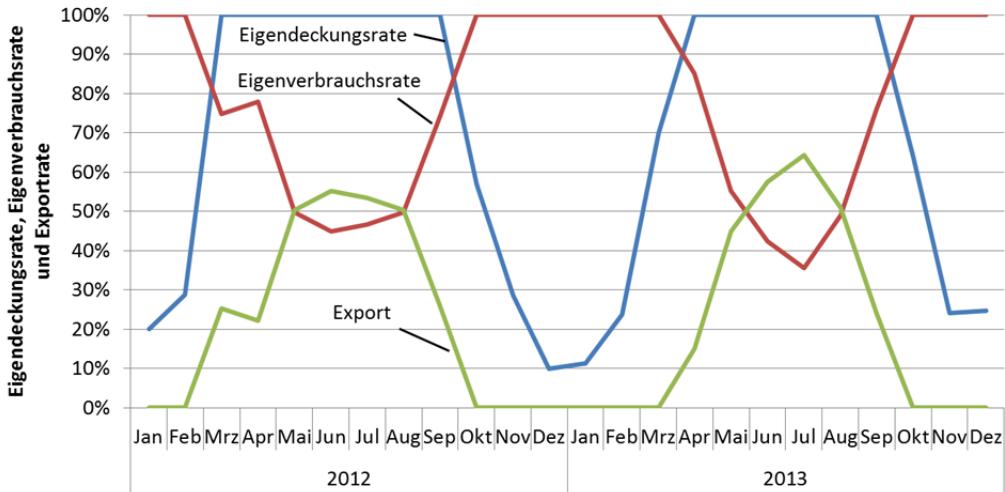


Bild 11 Monatliche Werte für die Eigendeckungsrate, Eigenverbrauchsrate und Exportanteil für ein kleines Nullenergie-Mehrfamilienhaus.

4.6.2 Speicherung

Um die lokale Eigenbedarfsdeckung zu erhöhen, bieten sich Akkumulatoren an. Im folgenden werden Akkumulatoren betrachtet, welche für einen Netzausfall konzipiert sind. Diese Akkumulatoren verfügen über Speicherkapazitäten, welche wenige Stunden überbrücken können, so dass abends/nachts die tagsüber eingespeicherte Energie abgerufen und am folgenden Tag der Speicher wieder geladen werden kann (Bild 12). Eine saisonale Speicherung wird nicht betrachtet.

Vergleichsrechnungen an einem Net ZEB-Einfamilienhaus (s. Anhang) mit einer 8 kWp Photovoltaikanlage zeigen auf, dass mit verschiedenen grossen Backupsystemen die stündliche Eigenbedarfsdeckung von rund 24% auf 38% bzw. 50% gesteigert werden kann (Bild 13). Eigendeckungsraten von 60-70% werden mit weiterentwickelter Speicher-technologie erwartet [19].

Bei einer Überdimensionierung der Photovoltaikanlage (12 kWp) zeigt sich, dass die Eigendeckung nur um ca. 3 % steigt, jedoch gleichzeitig 50% mehr Elektrizität in das Netz eingespeist wird. Bei einer Vergrösserung der PV-Anlage wird einerseits mehr Strom in Zeiten produziert, in denen er nicht direkt verwertet werden kann andererseits kann mehr in die Akkumulatoren eingespeist werden. Sind diese jedoch voll und werden nicht bis zum nächsten Tag geleert, kann der zusätzliche Ertrag nicht genutzt werden und muss ins Netz eingespeist werden.

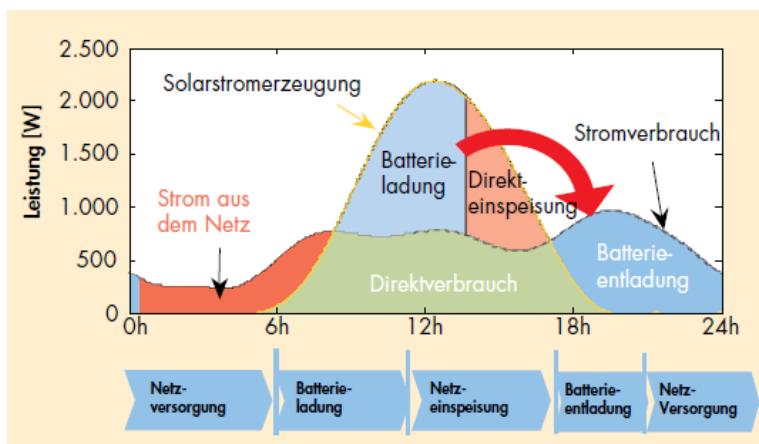


Bild 12 Simulierter Tagesverlauf mit Energiespeicherung eines 4-Personenhaushaltes [19].

Prinzipiell kann ein Akkumulator zur täglichen Kurzzeitspeicherung den Eigenbedarfsanteil stark erhöhen und gleichzeitig das Netz entlasten, in dem die Leistungsspitze der Photovoltaikanlage am Mittag aufgefangen wird. Es zeigt sich, dass es für den Eigenverbrauch sinnvoller ist, einen Akkumulator einzubauen, als eine Vergrösserung der PV-Anlage zu realisieren.

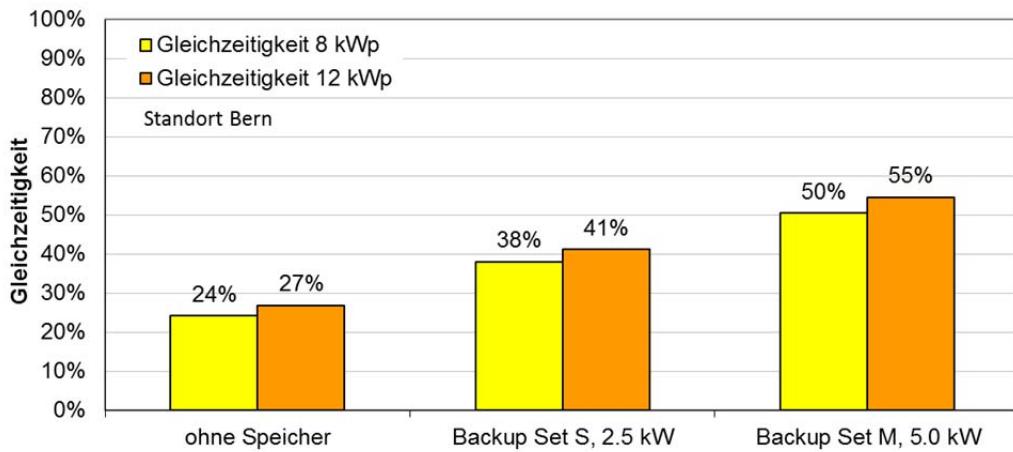


Bild 13 Einfluss von Akkumulatoren auf die Gleichzeitigkeit. Die 8 kWp Photovoltaikanlage ist für das EFH so dimensioniert, dass die Jahresbilanz Null ergibt (Jahresbilanz auf Stundenwerte berechnet).

Um einen möglichst grossen Teil der produzierten Elektrizität selbst nutzen zu können, bieten sich verschiedene Möglichkeiten: In erster Linie sollten die PV-Anlagen nicht überdimensioniert werden, weitere Lösungsansätze liegen in der Speicherung des produzierten Stroms direkt im Gebäude mittels Akkumulatoren oder im Einsatz von intelligenten Haushaltgeräten welche ihren eigenen Stromverbrauch in Zeiten mit hoher Eigenproduktion verschieben können. Hierfür eignet sich insbesondere die Wärmepumpe [17].

4.6.3 Lastverschiebung

Bei dem P&D Projekt „Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rapperswil“ haben die Messwerte gezeigt, dass im Zeitraum von September 2011 bis April 2012 die Gleichzeitigkeit von Verbrauch und Ertrag in dem täglichen Zeitfenster zwischen 10-16 Uhr bei ca. 28% liegt. Ausserhalb dieses Zeitfensters ist der grösste Bezüger die Wärmepumpe mit einem Anteil von ca. 27%. Dies legt nahe, dass eine Laufzeitverschiebung der Wärmepumpe in die Tagesstunden die Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsproduktion durch die Photovoltaikanlage und dem Gesamtverbrauch erhöhen würde. D.h. die Eigendeckung würde gesteigert und die Interaktion mit dem Netz entsprechend reduziert. Die Wärmepumpenlaufzeit wurde am realen Gebäude für den Betrieb von Heizung und Warmwasser auf 10-19 Uhr limitiert. Es kann gezeigt werden, dass dadurch der Stromverbrauch im Winter um etwa 1'000 kWh aus den Abend- und Nachstunden in die Tagesstunden verschoben wird. Dies führt zu einer Erhöhung der Gleichzeitigkeit von 21% (Heizperiode 11/12) auf 34% (Heizperiode 13/14) [20].

Damit in einem Gebäude solch eine Laufzeitbeschränkung ohne Komforteinbusse realisiert werden kann, muss dieses Gebäude eine entsprechende energetische Flexibilität aufweisen. D.h. es muss genügend Wärmespeicherfähigkeit und Trägheit vorhanden sein, um über mehrere Stunden ohne Heizbetrieb auszukommen.

Aus diesem Grund wurde in [21] an Hand von thermischen Gebäudesimulationen untersucht, ob die am realen Gebäude durchgeführte Laufzeitbeschränkung auch in einem Massiv- und Leichtbau funktioniert und ob auch kürzere Laufzeiten ohne Komforteinbusse möglich sind.

Als Basis für die Untersuchungen dient das P&D Projekt „Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rapperswil“. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass auch bei einem sehr gut gedämmten Gebäude eine mittlere bis hohe Wärmespeicherfähigkeit vorhanden sein muss, damit die Laufzeit der Wärmepumpe ohne Komforteinbusse auf die Tagesstunden limitiert werden kann [21]. Die Laufzeitverschiebung ist bei einem Leichtbau nicht möglich.

Diese Limitierung auf die Tagesstunden bedingt einen Betrieb der Wärmepumpe mit zwei langen Blockzeiten. Dies hat zur Folge, dass die Temperaturen im Gebäude stärkeren Schwankungen unterworfen sind, als wenn ein kontinuierlicher Betrieb gefahren wird oder nur sehr kurze Speerzeiten, wie sie bei Wärmepumpentarifen zugrunde liegen, vorhanden sind. Diese Temperaturschwankungen haben wiederum einen Einfluss auf die Behaglichkeit. Die normativen Anforderungen an die Behaglichkeit beziehen sich auf das Niveau und die Breite des zulässigen Temperaturbands der operativen Temperatur. Tiefe operative Temperaturen und eine hohe Schwankungsbreite begünstigen zwar die flexible Betreibung der Wärmepumpe zu Zeiten mit Solarertrag, jedoch kann dies mit den Anforderungen an die Behaglichkeit kollidieren. Diese Problematik wird in Zukunft verstärkt diskutiert werden müssen.

Aus [21] kann abgeleitet werden, dass folgende Punkte einen wesentlichen Einfluss auf die Verschiebbarkeit der Wärmepumpenlaufzeit in die Tagesstunden haben:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| • Sehr gut gedämmtes Gebäude | Geringer Wärmeverlust |
| • Hohe Wärmespeicherfähigkeit | In Verbindung mit der guten Dämmung langsame Temperaturabnahme zwischen den Betriebsintervallen |
| • Suffiziente Nutzer | Anspruch an das Niveau der operativen Temperatur nicht zu hoch und Bereitschaft, die Kleidung für kurze Zeiten anzupassen |
| • Normen | <ul style="list-style-type: none">- Niveau und Breite des zulässigen Temperaturbands der operativen Temperatur- Zeitlich begrenzte Ausnahmen vom erlaubten Temperaturband- Abstimmung der Normen untereinander |

4.7 Standardwerte für Berechnung der Nullbilanz

Üblicherweise wird ein Nullenergiegebäude auf Planungsdaten bilanziert. Um die Höhe der Eigenproduktion abschätzen zu können, muss der Gesamtenergiebedarf des Gebäudes bekannt sein. Die Daten für den Heizwärmeverbrauch, Lüftung und Hilfsbetriebe werden gebäudespezifisch berechnet. Für den Warmwasserbedarf wird entweder der Standardwert nach SIA 380/1 herangezogen oder der Planer nimmt einen Erfahrungswert an. Die Höhe des Haushaltsstrombedarfs wird in der Regel ebenfalls auf Grund der Erfahrung des Planers ausgelegt. Bei Büro und Schulbauten wird in der Regel der Bedarf an Beleuchtung berechnet. Sind die Leuchtmittel noch nicht bekannt, wird auf Normwerte zurückgegriffen. Gleiches gilt für z.B. Arbeitshilfen. Auf dieser Grundlage fällt das Niveau der „Null“ je nach Planer unterschiedlich aus.

Um ein Nullenergiegebäude zu standardisieren, müssen klare Anforderungen und Berechnungsmethoden nicht nur an den Heizwärmeverbrauch sondern auch an den Bedarf des Warmwassers und den Haushaltsstrom bzw. Betriebsstrom gestellt werden. Verschiedene Normen und Merkblätter geben Feststellung. Für einen standardisierten Nachweis müssten jedoch Referenzwerte definiert werden.

4.8 Monitoring

In der Regel erfolgt keine Überprüfung des Verbrauchs. So ist nicht klar, ob die Planungswerte in der Betriebsphase eingehalten werden oder nicht. Die Nullbilanz ist nicht nur vom Nutzer abhängig, sondern auch von dem tatsächlichen Verbrauch der Geräte abweichend von den Herstellerangaben und vom aktuellen Wetter. Je nach kürzeren oder längeren Perioden mit tiefen Außenlufttemperaturen, schneedeckten PV-Anlagen und/oder wenig Sonneneinstrahlung verschiebt sich die Bilanz indem z.B. mehr oder weniger Heizenergie benötigt und die Eigenproduktion der Photovoltaikanlage höher oder niedriger ausfällt.

So kann das Gebäude in einem Jahr ein Nullenergiegebäude, in einem anderen Jahr jedoch kein Nullenergiegebäude sein. Aufgrund der Witterungsschwankungen und evtl. Schwankungen im Nutzerverhalten ist es sinnvoll die Eigenproduktion um mindestens 10% höher als das Nullniveau zu legen, damit die „Null“ gewährleistet ist [22]. Bild 14 zeigt verschiedene Jahresbilanzen für ein Einfamilienhaus. Bislang ist der Ertrag der PV-Anlage grösser als der Verbrauch, jedoch schwankt der Deckungsgrad zwischen 115-150%. Seit 2013 wird vom energie-cluster eine Internetseite betrieben, auf der die Planungswerte und gemessenen Werte von Plusenergiegebäuden dargestellt werden und die Bilanz auf Basis von Messwerten mit "erreicht/nicht erreicht" klassifiziert wird [23]. Diese Datenbank soll fortlaufend ergänzt und erweitert werden.

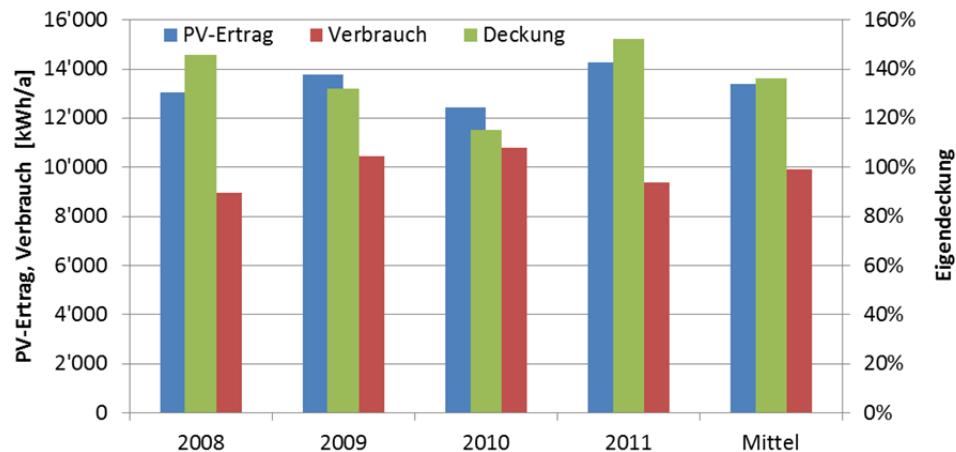


Bild 14 Jahresbilanzen von einem Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung.

Durch die jährliche Verbrauchsabrechnung für jedes Gebäude sind die Verbrauchsdaten vorhanden, jedoch müssen diese ausgewertet werden. Die Überprüfung der Nullbilanz ist für Nutzer eines Eigenheims möglich, jedoch schon in einem Mehrfamiliengebäude wird es schwierig, da jede Wohnung einen eigenen Vertrag mit dem Elektrizitätswerk hat. Im Mehrfamilienhaus treten auch verschiedenen Parteien auf: Mieter, Vermieter, Eigentümer. Die Interessen dieser Parteien sind sehr unterschiedlich und solange es keine Pflicht gibt, den realen Energieverbrauch des gesamten Gebäudes bei z.B. einem Energieaudit zu bestimmen, wird es keinen Abgleich zwischen Planung und Realität geben.

Es ist eine grosse Herausforderung die Nullbilanz in der Realität einzuhalten. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, eine jährliche Überprüfung der Energiebilanz durchzuführen. Es wird vorgeschlagen, dass die Nullbilanz im gleitenden 3-Jahresmittel eingehalten werden sollte. Wird die Nullbilanz nicht eingehalten, wird im Rahmen einer Energieberatung der Energieverbrauch untersucht, die Lastprofile analysiert und Verbesserungspotential aufgezeigt.

5 Ökologischer Mehrwert [24]

Die lokale Energieumwandlung aus erneuerbaren Quellen ist Standard für Null- und Plusenergiegebäude als auch z.B. bei den Standards Minergie-P und Minergie-A. Insbesondere der Einsatz von Photovoltaikanlagen erweist sich als unkompliziert. Eine lokale Energieumwandlung heisst, dass die Erzeugung vor Ort am Gebäude selbst oder zu mindestens auf funktional zugehörigen Bauten, erfolgt.

Hierbei stellt sich immer die Frage, ob die erzeugte Energie auf die Gebäudebilanz angerechnet werden darf, oder nicht. Die Energiebilanz und die Buchhaltung des ökologischen Mehrwerts sind dabei unabhängige Größen.

5.1 Definition

Elektrizität kann mittels fossiler Energieträger, nuklear oder aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden. Physikalisch werden die erzeugten Kilowattstunden in ein Stromnetz eingespeist. Durch den Herkunftsnnachweis wird belegt, auf welche Art, wann und wo die eingespeisten Kilowattstunden erzeugt wurden [25]. Der Herkunftsnnachweis ist handelbar. Er kann auch in Form von Zertifikaten vertrieben werden. Ein Beispiel für den Handel ist die Ökostrombörsen. Der Käufer kauft eine bestimmte Menge ökologisch produzierter Elektrizität. Das Zertifikat geht vom Verkäufer auf den Käufer über. Durch die Möglichkeit des Handels ist die Buchhaltung der Herkunftsnnachweise bzw. Zertifikate unabhängig von der realen Herkunft der momentanen Stromzusammensetzung im Netz. Die Elektrizitätsbuchhaltung stellt sicher, dass die Kilowattstunden tatsächlich ökologisch produziert und nur einmal gutgeschrieben werden.

Neben dem Herkunftsnnachweis bzw. Zertifikat für ökologisch produzierter Elektrizität existiert der Begriff des ökologischen Mehrwerts: „Mehrwert, den ökologisch produzierter Strom gegenüber konventionell produziertem Strom aufweist. Dieser ist z.B. via Zertifikate separat vom physischen „Graustrom“ handelbar“ [26]. Im folgenden Text wird der Begriff „ökologischer Mehrwert“ im Zusammenhang mit der Elektrizitätsbuchhaltung von ökologisch produzierter Elektrizität verwendet.

5.2 Förderung der erneuerbaren Energien

Zur Förderung der erneuerbaren Energien in der Energieverordnung (EnV) sieht das Gesetz drei Modelle für die Elektrizitätsbuchhaltung, vor [27].

1. „Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) und die Pflicht der Netzbetreiber, Elektrizität aus erneuerbaren Energien abzunehmen (Modell 1).“
2. Verträge zwischen Produzenten und Netzbetreibern (freier Markt). Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind gesetzlich verpflichtet, Zubaumengen von Elektrizität aus erneuerbaren Energien sowie den Handel mit dem ökologischen Mehrwert dieser Elektrizität zu vereinbaren (Modell 2).
3. Pflicht der Netzbetreiber, Elektrizität aus erneuerbaren Energien abzunehmen und zu marktorientierten Bezugspreisen zu vergüten (Modell 3).

Wer nach dem Modell der kostendeckenden Einspeisevergütung produziert (Modell 1), darf den „ökologischen Mehrwert“ des Stroms aus erneuerbaren Energien nicht zusätzlich vermarkten, da dieser mit der Einspeisevergütung bereits abgegolten ist. Bei den Modellen 2 und 3 kann der Produzent den ökologischen Mehrwert des „grünen“ Stroms“ frei vermarkten (z.B. Verkauf des Stroms an Ökostrombörsen oder in Form von Zertifikaten, Modell 2).“

Alle drei Modelle sind gedacht, um den Bauherren oder Investoren finanziell bei der lokalen Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen zu unterstützen und damit deren Ausbau zu fördern. Auf der anderen Seite wird klar herausgestellt, dass bei der Anmeldung der selbstproduzierten Elektrizität aus erneuerbaren Quellen zur KEV, an die Solarbörse oder bei

dem Verkauf von Zertifikaten der ökologische Mehrwert an Dritte verkauft wird, so dass die selbstproduzierte Energie nicht mehr der Energiebilanz des eigenen Gebäudes angerechnet werden kann. Der Bauherr muss also abwägen, ob er seine produzierte Energie verkauft und damit die Investitionskosten versucht zu decken bzw. einen finanziellen Mehrwert zu erzielen oder ob er ohne finanzielle Unterstützung Energien aus erneuerbaren Quellen erzeugt und diese seinem Gebäude gutschreiben lassen möchte.

Wird die in 2014 eingeführt Einmalvergütung (EIV) in Anspruch genommen, wird dies nicht als Verkauf des ökologischen Mehrwerts gewertet, d.h. dem Eigentümer stehen Model 2 und 3 zur Wahl.

5.3 Fallbeispiele

Um die Buchhaltung des ökologischen Mehrwertes zu verstehen, werden o.g. drei Modelle näher erläutert. Als Basis für die Erläuterung ist der Eigentümer des Gebäudes auch der Eigentümer der produzierenden Photovoltaikanlage. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und

- KEV bezogen (Modell1) oder
- an die Solarstrombörsen verkauft (Model 2) oder
- nicht verkauft (Model 3)

Seit Anfang 2009 wird in der Schweiz Strom aus erneuerbaren Energien mit der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) gefördert. Alle Schweizer Stromkonsumenten bezahlen einen Zuschlag pro verbrauchter Kilowattstunde Strom in einen Vergütungstopf.

Für die KEV-Vergütung (Modell 1) wurde bislang die Bruttoproduktion zu Grunde gelegt, Ab 2014 kann auch die Nettoproduktion – Bruttoproduktion minus Eigenverbrauch – mit der KEV vergütet werden. Der Anlageneigentümer erhält die KEV-Vergütung für jede angemeldete Kilowattstunde aus dem Vergütungstopf. Da dieser Topf von der Allgemeinheit getragen wird, gehört der ökologische Mehrwert des über die KEV abgerechneten Stroms der Allgemeinheit. Das Energieversorgungsunternehmen (EVU) ist verpflichtet die Administration und die Durchleitung sicherzustellen und darf den KEV-Strom nicht als höherwertigen Solarstrom verkaufen. Der eingespeiste Solarstrom wird vom EVU dem normalen Strommix zugerechnet, erhöht dort den Anteil der Energie aus erneuerbaren Quellen und muss in der Stromkennzeichnung gesondert ausgewiesen werden [26].

Verkauft der Eigentümer seinen selbstproduzierten Solarstrom an eine Solarstrombörsen, kann dort der ökologische Mehrwert des Solarstroms von einem Dritten gekauft und diesem gutgeschrieben werden (Modell 2). Das EVU ist verpflichtet die Administration und die Durchleitung sicherzustellen und darf den Strom nicht im Strommix ausweisen. In der Regel wird die komplette Bruttostromproduktion an der Solarstrombörsen verkauft. Es ist aber auch möglich, nur einen Teil des produzierten Solarstroms an der Börse zu verkaufen.

Bei Modell 3 wird der selbsterzeugte Solarstrom weder bei der KEV noch bei einer Solarstrombörsen angemeldet. In diesem Fall wird die Nettoeinspeisung betrachtet. Der Eigenverbrauch wird von der Gesamtproduktion abgezogen und nur die Netzeinspeisung des Überschusses wird vom EVU vergütet. Der Eigentümer nutzt selbst einen Teil der lokal produzierten Energie und behält somit den ökologischen Mehrwert dieses Teils. Das EVU hat die Möglichkeit den Überschussstrom in den eigenen, erneuerbaren Anteil des Strommixes zuzuführen oder ihn an der Solarbörse zu verkaufen. Verkauft das EVU den Strom an der Solarbörse, muss es dies dem Eigentümer mitteilen und diesem einen höheren Preis vergüten.

Die drei Modelle legen die Vorgehensweise fest, so dass der ökologische Mehrwert des lokal erzeugten Stroms nicht doppelt bilanziert wird. In Tabelle 6 sind die genannten Fälle zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 6 Ökologischer Mehrwert des Solarstroms.

Eigentümer/ Teilhaber einer lokalen Solaranlage	Verkauf/Kauf des Solarstroms:	Finanzierung des Solar- stroms durch:	Ökologische Mehrwert des Solarstroms gehört:	Bilanzierung am eigenen Gebäude möglich?
ja	Verkauf an KEV (Modell 1)	Allgemeinheit	Allgemeinheit	nein
ja	Verkauf an Solarbörsen, Zertifikate, etc. (Modell 2)	Dritte	Dritte	nein
ja	kein Verkauf in Höhe des Eigenbedarfs (Modell 3)	Eigentümer	Eigentümer	ja
nein	Kauf von Solarbörsen, etc.	Käufer	Käufer	ja

5.4 Eigentumsverhältnisse

Ein weiterer Gesichtspunkt bei der Bilanzierung sind die Eigentumsverhältnisse. Nicht immer sind die Eigentümer des Gebäudes und der produzierenden Anlage dieselben. Wenn der Gebäudeeigentümer die produzierende Anlage nicht selbst finanziert, diese jedoch in das Energiekonzept des Gebäudes gehört, stellt sich die Frage, wie die Bilanzierung zu erfolgen hat.

Ohne Berücksichtigung von Eigentumsverhältnissen kann eine energetische Jahresbilanz aufgestellt und so nachgewiesen werden, dass lokal die geforderte Energiemenge erzeugt werden kann. Diese Betrachtungsweise hat den Vorteil, dass sie nur auf das Energiekonzept fokussiert. Mit Berücksichtigung von Eigentumsverhältnissen, gehört die erzeugte Energie einem Dritten. Sie kann nicht in der ökologischen Jahresbilanz des Gebäudes angerechnet werden.

5.5 Diskussion

Die komplexen Zusammenhänge werden an dem Beispiel des Bürogebäudes Marché International, Kemptthal [28] diskutiert. Die dachintegrierte Photovoltaikanlage des Gebäudes erzeugt so viel Energie, wie beim Betrieb des Gebäudes verbraucht wird, jedoch gehört die Anlage den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ). Der produzierte Strom wird komplett vom EKZ an der EKZ-Strombörse verkauft. Marché International hat sich verpflichtet, ein Viertel des produzierten Stromes von der Solarstrombörse zurück zu kaufen. Der restliche Stromverbrauch wird mit dem konventionellen Strommix gedeckt.

Das Energiekonzept des Gebäudes ist so ausgelegt, dass lokal die benötigte Energie erzeugt wird und die energetische Jahresbilanz ausgeglichen ist. Damit ist das Energiekonzept für ein Nullenergiegebäude (Net ZEB) erfüllt. Werden die Eigentumsverhältnisse betrachtet, gehört der erzeugte Strom dem EKZ. Der lokal erzeugte Strom darf in der ökologischen Bilanz des Gebäudes nicht angerechnet werden. Durch die Verpflichtung 25% der Solarstromproduktion über den Rückkauf aus der Solarbörse zu decken, kann nur

dieser Betrag in die Jahresbilanz eingehen. Das Marché International weist ein energetisches Nullenergiiekonzept auf, aber infolge Eigentums- und Liefervertragsverhältnisse kann für das Gebäude keine ökologische Jahresbilanz ausgewiesen werden.

Aus der Diskussion ergeben sich drei Einflussgrößen, die bei der Bilanzierung von lokal erzeugter Energie aus erneuerbaren Quellen beachtet werden müssen (Tabelle 7).

Tabelle 7 Drei Einflussgrößen auf die Bilanzierung von lokal erzeugter Energie aus erneuerbaren Quellen.

Einflussgröße	Auswirkung
Energiekonzept	Möglichkeit lokal Energie zu erzeugen
Eigentumsverhältnisse von Gebäude und Anlage	Anrechenbarkeit
Ökologischer Mehrwert	Bilanzierung nur einmal möglich

5.6 Jahresbilanz

Bei der Jahresbilanzierung sollte die Möglichkeit bestehen in eine Beurteilung des Energiekonzeptes unabhängig vom ökologischen Mehrwert und der Eigentumsverhältnisse sowie einer Bilanzierung unter Berücksichtigung des ökologischen Mehrwertes und der Eigentumsverhältnisse zu unterscheiden. Folglich muss in zwei verschiedenen Bilanzen unterschieden werden

- energetische Jahresbilanz (Betrachtung des Energiekonzepts)
- ökologische Jahresbilanz (Betrachtung des ökologischer Mehrwerts)

Die beiden Bilanzen fokussieren auf unterschiedliche Ziele:

- der Ausbau von erneuerbaren Energie wird mit der energetischen Bilanz gefördert und
- die ökologische Bilanz stellt sicher, dass der ökologische Mehrwert nur einmal berechnet wird.

In Bild 15 ist ein Entscheidungsbaum für die Anrechenbarkeit der lokal erzeugten Energie aus erneuerbaren Quellen für diese beiden Bilanzen aufgezeigt. Die Begriffe aus Bild 7 werden unter Berücksichtigung des Ökologischen Mehrwerts verwendet. Dieser Entscheidungsbaum ist auch anwendbar für Gebäude, an denen es keine Möglichkeit gibt, Anlagen zur Produktion von Energien aus erneuerbaren Quellen zu installieren oder sinnvoll zu betreiben. Diese Gebäude können die Jahresbilanz erfüllen, wenn

- ein langfristiger Liefervertrag von Energien aus erneuerbaren Quellen vorhanden ist (analog SIA-Effizienzpfad Energie [9]) (Net ZEB durch Zukauf) oder
- eine Miteigentümerschaft für eine lokale Anlage zur Produktion von Energien aus erneuerbaren Quellen besteht und die erzeugte Energie nicht an KEV, Börsen usw. verkauft wird (Net ZEB durch Anteile).

Die Miteigentümerschaft an z.B. einer gemeinschaftlichen Photovoltaikanlage auf einer nahen Gewerbefläche ermöglicht es, die erzeugte Elektrizität entweder nur in der energetischen oder ggf. auch in der ökologischen Bilanz anzurechnen. Die enge Bilanzgrenze vom Standort des Gebäudes wird damit erweitert. „Lokal“ wird in diesem Sinne als ein Umkreis von 20-30 km definiert. Dieser lokale Umkreis ermöglicht es Gemeinden, grössere Anlagen zu erstellen, die anteilmässig verschiedenen Eigentümern gehören.

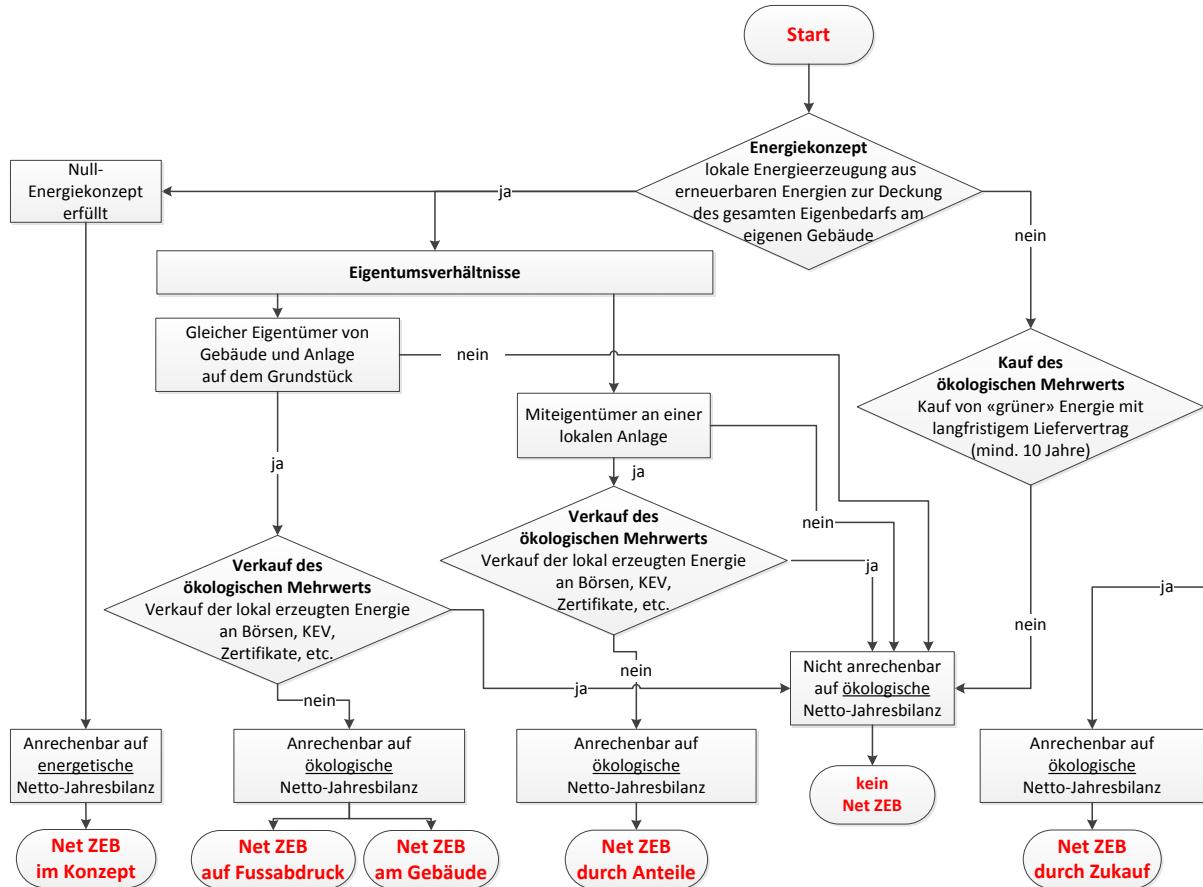


Bild 15 Anrechenbarkeit der lokal erzeugten Energie aus erneuerbaren Quellen für ein Nullenergiegebäude (Net ZEB) unter Berücksichtigung des ökologischen Mehrwerts.

5.7 Anwendung in der Praxis

Die Kennzahl Wärme von Minergie basiert für alle Standards auf der ökologischen Bilanz. Die Umsetzung in der Praxis ist schwierig, da die ökologische Bilanz auf Verträgen beruht, die jederzeit gekündigt werden können. Die energetische Bilanz ist im Vollzug einfacher. Sie wird z.B. in SIA 380 [11], in der Definition des Plusenergiehauses vom Kanton Bern und des energie-cluster sowie für den Schweizer Solarpreis der Solaragentur umgesetzt. Der SIA-Effizienzpfad Energie [9] erlaubt auch den Zukauf von Erneuerbarer Energie.

6 Graue Energie

6.1 Hintergrund

Energie wird nicht nur zum Betreiben eines Gebäudes benötigt, sondern auch bei den Herstellungsprozessen, dem Transport und der Entsorgung von Baumaterialien aus denen ein Gebäude besteht. Diese Energie wird Graue Energie (embodied energy) oder auch kumulierter Energieaufwand KEA genannt. Bei dem Vergleich der Grauen Energie verschiedener Gebäude ist es wichtig, eine einheitliche Basis zu finden [29]. Die Datengrundlage ist abhängig von

- der verwendeten Datenbank,
- dem Alter der Daten,
- der eingesetzten Amortisationszeit von Materialien und Komponenten,
- wie und welche Bauteile und Komponenten berücksichtigt werden,
- dem Zeitraum der Betrachtung,
- dem Umfang des betrachteten Lebenszykluses und
- der Gewichtung der Energieträger.

Die Graue Energie umfasst nach Merkblatt SIA 2032 "Graue Energie" den Energieaufwand für

- die Rohstoffgewinnung,
- die Herstellung einzelner Materialien, Bauteilen und Komponenten,
- den Transport/Lagerung sowie
- die Entsorgung der Materialien.

Der gesamte Lebenszyklus einzelner Baumaterialien und Komponenten ist in dem "cradle to grave"-Ansatz berücksichtigt. Die Graue Energie wird in nicht erneuerbare Primärenergie ausgedrückt und ist damit ein Mass für den Aufwand an nicht erneuerbaren Ressourcen für den Lebenszyklus eines Baustoffes. Für jedes Material bzw. jede Komponente wird eine definierte Amortisationszeit zugrunde gelegt.

Insbesondere für ein Nullenergiegebäude sollte es ein Ziel sein, ein energetisch sehr gutes Gebäude zu bauen, ohne das die Grauen Energie stark ansteigt. Prinzipiell verteilt sich die Graue Energie von Gebäuden in den Energieaufwand für den Baukörper sowie für die verwendete Gebäudetechnik auf. Je nach Ausstattung der Gebäudetechnik kann ihr Anteil an der gesamten Grauen Energie für ein Gebäude zwischen rund 20-50% ausmachen (Bild 16).

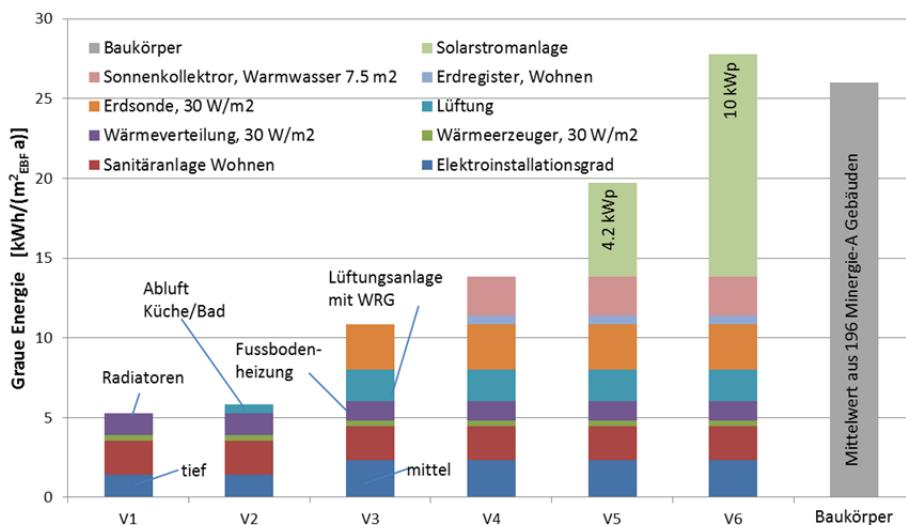


Bild 16 Graue Energie von verschiedenen Standards der Gebäudetechnik im Vergleich zum Baukörper [30].

6.2 Energetische Amortisation von Photovoltaikanlagen

Bei Nullenergiegebäuden spielt eine Photovoltaikanlage eine grosse Rolle. Immer wieder wird die hohe Grauen Energie für eine Photovoltaikanlage als Argument genannt, dass der Einsatz einer Photovoltaikanlage in einer Gesamtbilanz nicht zu befürworten ist. Die energetischen Amortisationszeiten einer Photovoltaikanlage zeigt Bild 17. Nach 2-6 Jahren hat die Anlage so viel Elektrizität erzeugt, wie sie an Grauer Energie zur Herstellung und Entsorgung benötigt. Detaillierte Berechnungen führen zu kürzeren energetischen Amortisationszeiten. In [31] wird z.B. eine Amortisationszeit von 1.5 Jahren bei einer Betrachtung von nicht erneuerbaren Primärenergie und 2.6 Jahre bei der Betrachtung der Treibhausgasemissionen angegeben. Dies zeigt, dass bei einer Lebensdauer von 25 – 30 Jahren eine Photovoltaikanlage deutlich mehr Energie produziert, als für ihre Herstellung und Entsorgung notwendig ist. Es ist somit sinnvoll, eine Photovoltaikanlage einzusetzen.

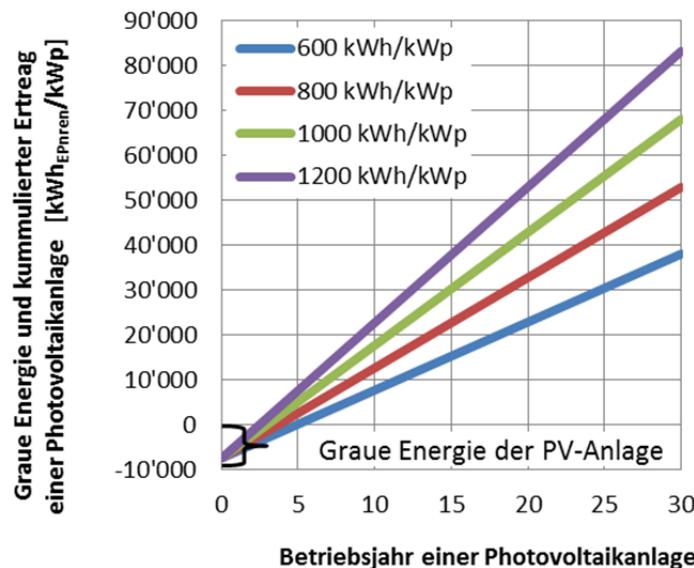


Bild 17 Amortisationszeit von Photovoltaikanlagen (Graue Energie: 244 kWh/(kWp a) [32], 30 Jahre Nutzungsdauer, 10% Ertragsverlust über die Zeit).

6.3 Materialisierung

Die Graue Energie für verschiedene Materialien mit der gleichen Funktionalität ist sehr unterschiedlich hoch. Beispielsweise ist für verschiedenen Dämmmaterialien die Graue Energie sehr unterschiedlich [32], [30]. Der Vergleich der Grauen Energie von Dämmstoffen muss immer in Abhängigkeit des erforderlichen Dämmwertes erfolgen (Tabelle 8). Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes bestimmt die notwendige Dämmstärke für einen angestrebten Dämmwert und damit die Menge an Dämmmaterial und Grauer Energie. Bei der Wahl von Materialien ist grundsätzlich darauf zu achten, dass die tatsächlich eingebauten Mengen berücksichtigt werden, da Gewicht und Ausmass den effektiven Wert der Grauen Energie bestimmen.

Tabelle 8 Nicht erneuerbarer Primärenergie und Treibhausgasemissionen von verschiedenen Dämmstoffen für einen Wärmedurchlasswiderstand von $R_D = 5$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$).

Dämmstoff	Dichte [kg/m ³]	λ [W/(mK)]	EP nren [MJ/kg]	THG [kg/kg]	Dicke [m] für $R_D = 5$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)	eff. Masse [kg/m ²]	EP nren [MJ/m ²]	THG [MJ/m ²]
Glaswolle	50	0.031	26.7	1.12	0.155	7.75	207	8.7
Steinwolle	30	0.038	15.4	1.1	0.190	5.7	88	6.3
Korkplatten	120	0.047	23.9	1.34	0.235	28.2	674	37.8
EPS	15	0.030	105	7.53	0.150	2.25	236	16.9
XPS	33	0.035	98.6	13.9	0.175	5.775	569	80.3
Zellulosefaser	30	0.037	3.76	0.257	0.185	5.55	21	1.4

Bild 18 zeigt den Einfluss des Rahmenmaterials und der Verglasung auf die Graue Energie eines Fensters. Die Wahl des Rahmenmaterials hat einen grösseren Einfluss auf die Graue Energie als der Wechsel von 2-fach- auf 3-fach-Verglasung.

Grundsätzlich hat die Materialisierung einen starken Einfluss auf den Gesamtwert der Grauen Energie.

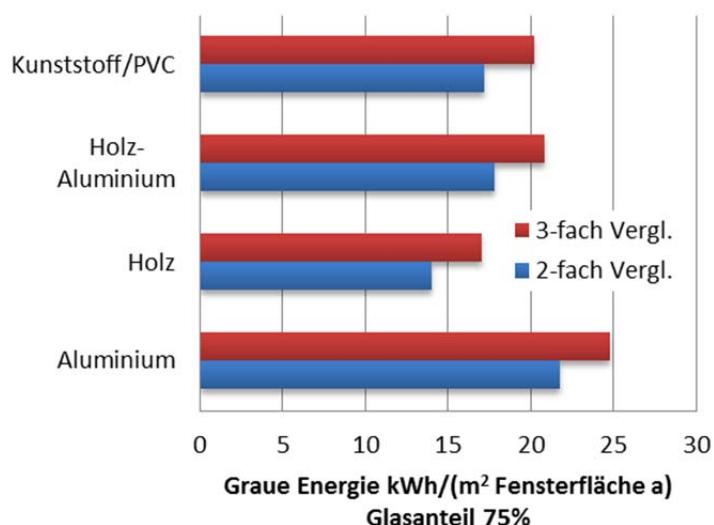


Bild 18 Graue Energie von 2- und 3-fach verglasten Fenster mit verschiedenen Rahmenmaterialien [32].

6.4 Dämmstärke versus Heizwärmeverbrauch

In der Regel haben Nullenergiegebäude einen guten bis sehr guten Dämmstandard. Dies führt zu einem erhöhten Materialeinsatz, als bei Standardgebäuden. Prinzipiell steht der zusätzlichen Grauen Energie eine viel grössere Einsparung des Heizwärmeverbrauchs gegenüber. Wird der Wärmeerzeuger mit betrachtet richtet sich der optimale U-Wert nach dem Wärmeerzeuger (Energieträger/Nutzungsgrad der Anlage) und dem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit/Graue Energie). Die meisten Optima führen zu einem sehr guten Wärmeschutz. Nur die Kosten und eine umweltfreundliche Energieerzeugung (z.B. Holzschnitzelheizung) machen einen Wärmeschutz nach MuKEN 2008 oder noch besser teilweise fraglich [33].

6.5 Optimierung

Die Analyse von rund 230 MINERGIE-A Wohngebäude zeigt, dass die Optimierung der Grauen Energie hauptsächlich von der konkreten Materialisierung abhängt. Infolge der Vorgabe eines fixen Grenzwertes des MINERGIE-A Standards wird die Graue Energie unabhängig von der Kompaktheit und der Bauweise (s. Kapitel 7.2, Bild 21). Einflussfaktoren auf die Graue Energie sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Materialien und Komponenten mit einem geringen Wert an Grauer Energie und einer langen Lebensdauer sind zu bevorzugen.

Tabelle 9 Einflussfaktoren auf die Graue Energie [30].

Einflussfaktor	Auswirkungen
Bauweise	Einfaches und kompaktes Bauen ist zu bevorzugen. Insbesondere Tragstruktur und Untergeschosse weisen einen hohen Wert an Grauen Energie auf.
Materialisierung	Verschiedene Materialien mit gleicher Funktionalität haben unterschiedliche Werte der Grauen Energie. Materialien mit einem geringen Gehalt an Grauer Energie sind zu bevorzugen.
Lebensdauer	Bauteile/Komponenten mit langer Lebensdauer verwenden. Bei Bestandsbauten: Lebensdaueranalyse von bestehenden Bauteilen/Komponenten durchführen. Bauteile/Komponenten nur austauschen, wenn die Funktionalität nicht mehr gegeben ist, die Lebensdauer nahezu oder vollständig abgelaufen oder die Energieeffizienz von neuen Komponenten z.B. von modernen Pumpen, deutlich gestiegen ist.
Trennbarkeit von Materialien/Bauteilen	Die Trennbarkeit von Materialien/Bauteilen gewährleistet, dass bei einem Ersatz nicht das gesamte Bauteil ausgetauscht werden muss.
Gesamtbilanz	Die Betrachtung der Gesamtbilanz aus Betriebsenergie und Grauer Energie führt zu optimalen Dämmstärken in Abhängigkeit vom Dämmmaterial und Wärmeerzeugung. Die Bewertung erfolgt in nicht erneuerbarer Primärenergie.

7 Erfahrungen mit Minergie-A

7.1 Nullbilanz

Auf dem Weg zum Nullenergiegebäude bietet der Nullwärmeenergiestandard von Minergie-A eine Basis, um Erfahrungen in der Umsetzung eines Standards mit einer Nullbilanz zu sammeln. Weltweit ist Minergie-A der erste Standard mit einer Nullwärmebilanz sowie einer Anforderung an die Graue Energie. Er wurde im März 2011 eingeführt. Die Auswertung der ersten 229 Gebäude (184 Einfamilienhäuser, 45 Mehrfamilienhäuser) gibt einen Überblick wie die Energiekonzepte auf die Nullwärmebilanz abgestimmt werden und wie sich die Graue Energie bei diesen Gebäuden zusammensetzt.

Bezüglich des Heizwärmeverbrauchs, der Netto-Jahresbilanz und der Grauen Energie müssen für ein Minergie-A Zertifikat für Wohnbauten folgende Anforderungen eingehalten werden:

- Die Primäranforderung an die Gebäudehülle lautet: Der Heizwärmeverbrauch darf maximal 90% des Grenzwertes nach SIA 380/1 (2009) [34] bei Standardbedingungen erreichen (Stufe Nutzenergie).
- Die Kennzahl Wärme muss für Heizung/Kühlung, Warmwasser, Lüftungs- und Hilfsenergie in der Netto-Jahresbilanz Null werden (Stufe Primärenergie).
- Die Graue Energie darf $50 \text{ kWh}_{\text{EPnren}}/(\text{m}^2\text{a})$ nicht überschreiten (Stufe nicht erneuerbare Primärenergie). Wird mehr Graue Energie benötigt, kann die Differenz mit der erzeugten Elektrizität aus einer Photovoltaikanlage kompensiert werden.

Der mittlere Heizwärmeverbrauch der zertifizierten und provisorisch zertifizierten Gebäude beträgt $64 \pm 12\%$ des Grenzwertes für den Heizwärmeverbrauch nach SIA 380/1 und ist damit sehr nahe bei der Primäranforderung für Minergie-P (60% des Grenzwertes nach SIA 380/1). Für Einfamilienhäuser (EFH) beträgt die Qualität der Gebäudehülle $67 \pm 11\%$, für Mehrfamilienhäuser (MFH) $60 \pm 10\%$ des SIA Grenzwertes. Dies entspricht einem mittleren Heizwärmeverbrauch von $27 \pm 6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für EFH resp. $17 \pm 6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für MFH (Bild 19).

In Bild 19 ist die Primärenergie des Bedarfs und der Produktion aufgetragen. Die Höhe des Bedarfs ist abhängig von dem effektiven Heizwärmeverbrauch sowie der eingesetzten Gebäudetechnik für Heizung/Kühlung, Warmwasser und Lüftung/Hilfsbetriebe. Aus diesem Grund ist der auszugleichende Primärenergiebedarf eine individuelle Gebäudegröße. Damit liegt die „Null“ der Netto-Jahresbilanz für die Kennzahl Wärme bei jedem Gebäude auf einem anderen Niveau. Der Mittelwert für Heizung/Kühlung, Warmwasser und Lüftung/Hilfsbetriebe beträgt $20 \pm 13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Endenergie und $32 \pm 8 \text{ kWh}_{\text{ECH}}/(\text{m}^2\text{a})$ gewichtete Endenergie, welche über die Nullbilanz ausgeglichen werden muss. Fast alle erfüllen den Ausgleich mit Hilfe einer Photovoltaikanlage. Nur 12 Gebäude (5%) nehmen den Biomassenbonus in Anspruch. Der mittlere PV-Ertrag liegt bei $42 \pm 17 \text{ kWh}_{\text{ECH}}/(\text{m}^2\text{a})$ und ist damit 31% höher als benötigt.

Eine Übersicht über die Mittelwerte des auszugleichenden Primärenergiebedarfs für die Nullbilanz und der eingesetzten Photovoltaikanlagen zeigt Tabelle 10. Photovoltaikanlagen mit einer Fläche von knapp 20% der Energiebezugsfläche werden im Schnitt benötigt um die Nullenergiebilanz zu erfüllen. Im Mittel werden $24 \pm 8 \text{ Wp}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$ installiert, was um den Faktor 2-3 höher ist, als für die Eigenstromerzeugung bei Neubauten im Entwurf der MuKEN 2014 steht.

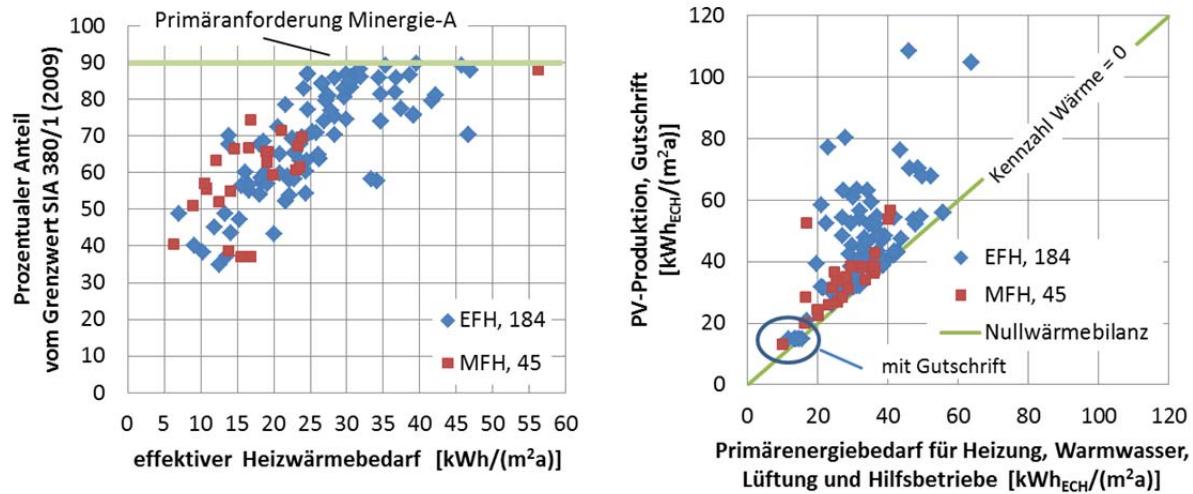


Bild 19 Qualität der Gebäudehülle bezogen auf den SIA380/1 Grenzwert.

Tabelle 10 Mittelwerte des Primärenergiebedarfs und der eingesetzten Photovoltaikanlagen, die für die Minergie-A Nullbilanzen zugrunde liegen. (229 Gebäude).

	Gesamt	EFH	MFH	Einheit
Auszugleichender gewichteter Endenergiebedarf für die Nullbilanz	32 ± 8	33 ± 8	29 ± 9	kWh _{ECH} /(m ² a)
Peak-Leistung	9 ± 10	5.0 ± 2	25 ± 12	kWp
Peak-Leistung / Energiebezugsfläche*	24 ± 8	25 ± 9	20 ± 9	Wp/m ²
Fläche der Photovoltaikanlage**/ Energiebezugsfläche	0.17 ± 0.08	0.17 ± 0.06	0.18 ± 0.11	m ² _{PV} /m ²

* ähnliche Werte wie in [8], **wenn PV-Fläche unbekannt: 7 m²/ kWp

7.2 Graue Energie

Erstmals wird in einem Minergie-Standard eine Anforderung an die Graue Energie gestellt. Als Grundlage für die Berechnung der Grauen Energie dient das Verfahren gemäss SIA Merkblatt 2032 [8]. Die graue Energie wird in diesem Verfahren mit dem „cradle to grave“ Ansatz bestimmt. Der Grenzwert von 50 kWh_{EPnren}/(m²a), bewertet mit nicht erneuerbarer Primärenergie [6], darf nicht überschritten werden. Ein höherer Wert muss durch Elektrizitätsproduktion durch eine Photovoltaikanlage ausgeglichen werden. Die Graue Energie wird für 60 Jahre berechnet und anschliessend anteilig pro Jahr ausgewiesen.

Bild 20 zeigt für die verschiedenen Minergie-A Gebäude die Graue Energie unterteilt in Baukörper, Standard Gebäudetechnik, thermische Solaranlage und Photovoltaikanlage. Die Standard Gebäudetechnik beinhaltet das Wärme- und Verteilsystem, die Lüftungsanlage, Sanitär- und Elektroinstallationen. Es zeigt sich, dass rund Zweidrittel der Grauen Energie für den Baukörper anfällt. Für den reinen Baukörper liegt der Mittelwert der Grauen Energie in dem Bereich von 27 ± 6 kWh_{EPnren}/(m²a). Der Mittelwert für die gesamte Graue Energie beträgt 42 ± 6 kWh_{EPnren}/(m²a) und damit rund 85% der Anforderung. Nur bei einem Gebäude

übersteigt die Graue Energie den Grenzwert und wird durch die erzeugte Elektrizität der Photovoltaikanlage kompensiert. Knapp 40% der betrachteten Gebäude verfügen über den Label Zusatz „ECO“. Der Zusatz steht für besondere Aspekte der Bauökologie und Gesundheit und beinhaltet bereits seit Einführung des Standards im Jahr 2006 eine qualitative Anforderung an die Graue Energie und seit Anfang 2011 eine quantitative. Ein Drittel der Gebäude ist in Massivbauweise erstellt.

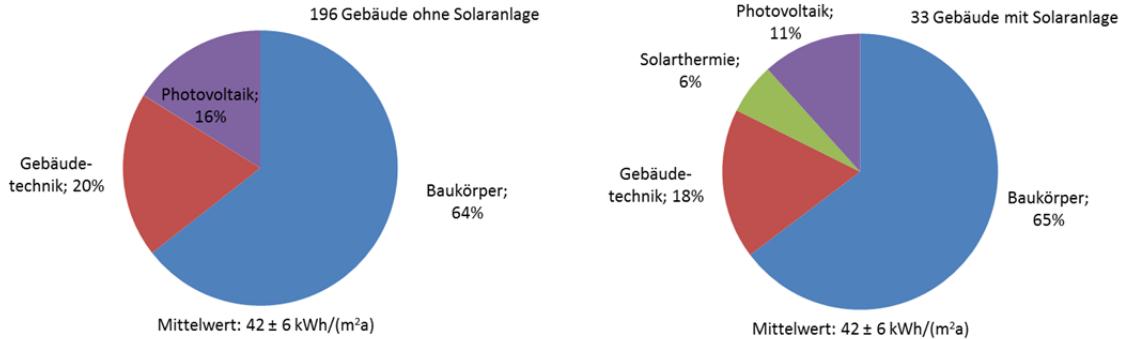


Bild 20 Durchschnittliche Verteilung der Grauen Energie bei 229 Minergie-A Gebäuden (links: Gebäude ohne Solaranlage, rechts; Gebäude mit Solaranlage).

Die Analyse der rund 230 MINERGIE-A Wohngebäude zeigt, dass die Optimierung der Grauen Energie hauptsächlich von der konkreten Materialisierung abhängt. Infolge der Vorgabe eines fixen Grenzwertes des MINERGIE-A Standards wird die Graue Energie unabhängig von der Kompaktheit und der Bauweise (Bild 21) Graue Energie der Baukörper in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl und der Bauweise (links) und prozentualer Anteil der Grauen Energie der PV-Anlage zur gesamten Grauen Energie des Gebäudes in Abhängigkeit von der Peakleistung (rechts). Bild 21). Es zeigt sich, dass Minergie-A-Eco Gebäude mit Mittel rund $1.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Graue Energie weniger als Standardgebäude aufweisen und etwas kompakter sind.

Im Mittel beträgt der Anteil der Grauen Energie für die Photovoltaikanlage $16 \pm 4\%$ der gesamten Grauen Energie des Gebäudes. Damit hat die PV-Anlage einen signifikanten Einfluss auf die Graue Energie. Die Gebäude weisen einen weiten Bereich bzgl. installierter Peakleistung pro Energiebezugsfläche auf. Im Mittel beträgt dieser Wert $24 \pm 8 \text{ Wp/m}^2$ (Tabelle 10).

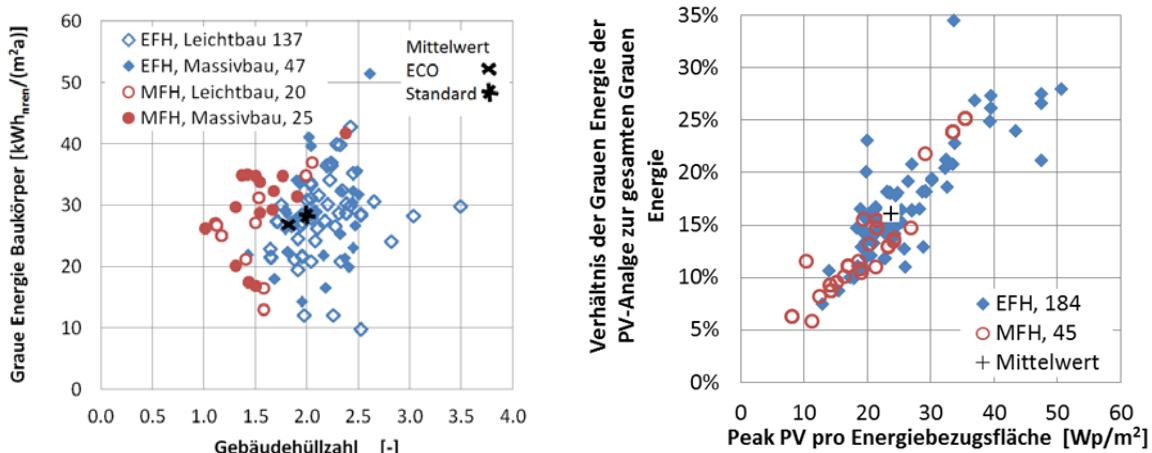


Bild 21 Graue Energie der Baukörper in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl und der Bauweise (links) und prozentualer Anteil der Grauen Energie der PV-Anlage zur gesamten Grauen Energie des Gebäudes in Abhängigkeit von der Peakleistung (rechts).

7.3 Heiz- und Warmwassersysteme

Die eingesetzten Heiz- und Warmwassersysteme sind sehr vielfältig (Tabelle 11). 12% der Gebäude hat zwei Heizsysteme. Zwei Drittel der Gebäude verfügt über zwei Systeme zur Warmwassererzeugung, ein Gebäude benötigt sogar drei Systeme zur Warmwassererzeugung. Bei 14% der Gebäude wird zur Warmwassererzeugung eine thermische Solaranlage eingesetzt (Deckungsgrad 40-90%). In 7% Gebäuden unterstützt eine thermische Solaranlage die Heizung (Deckungsgrad 4–55%). Die Hauptwärmeerzeuger sind Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen (83%). Pellet- und Holzfeuerungen werden hauptsächlich in Einfamilienhäusern eingesetzt.

Tabelle 11 Eingesetzte Wärmeerzeuger.

	Einfamilienhaus (184)						Mehrfamilienhaus (45)					
	Heizung		Warmwasser			Heizung		Warmwasser				
	1.	2.	1.	2.	3.	1.	2.	1.	2.	3.		
Luft / Wasser Wärmepumpe	59	-	58	3	-	1	-	2	-	-		
Sole / Wasser Wärmepumpe	94	-	88	6	-	39	-	34	4-	-		
Grundwasser Wärmepumpe	1	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	
Pellet	17	2	11	8	-	-	-	-	-	-	-	
Holz	8	3	1	7	-	1	1	-	2	-		
Thermischer Kollektor	4	13	25	1	-	1	3	7	1	-		
Fernwärme	1	-	-	1	-	2	-	2	-	-		
Elektroboiler	-	15 ¹⁾	-	96 ²⁾	1 ²⁾	-	1 ¹⁾	-	8 ²⁾	-		
Summe	184	33	184	122	1	45	5	45	16	-		

¹⁾ ~1-5% des Bedarfs, ²⁾ ~5-10% des Bedarfs

8 Von Minergie-A zum Nullenergiegebäude

8.1 Gesamtenergiebedarf

Der Schritt von einem Minergie-A Gebäude zu einem Nullenergiegebäude (Net ZEB) liegt darin, dass die „Null“ der Netto-Jahresbilanz eines Nullenergiegebäudes auch den Haushaltsstrom beinhaltet. Um den Einfluss des Haushaltsstroms auf die Gesamtbilanzierung zu zeigen, wird im ersten Schritt der Gesamtbedarf mit und ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms auf Basis von 229 Minergie-A Gebäude verglichen. Für den Haushaltsstrom wird $42.8 \text{ kWh}_{\text{EPnren}}/(\text{m}^2\text{a})$ angenommen (energieeffiziente Haushaltsgeräte und energieeffiziente festinstallierte Leuchten und Lampen sind für Minergie-A Pflicht). Dies entspricht 17 kWh/a Endenergie. Im zweiten Schritt wird die Graue Energie sowie die Erhöhung der Grauen Energie infolge einer grösseren Photovoltaikanlage berücksichtigt, die es benötigt, um den Haushaltsstrom zu kompensieren [35].

Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung des Haushaltsstroms einen deutlichen Einfluss auf die prozentuale Verteilung des Gesamtbedarfs hat (Bild 22). Ohne Haushaltsstrom beträgt der Anteil von Heizung und Warmwasser rund 70 % am HWLK-Bedarf, wobei der Anteil jedes Verwendungszwecks gleich gross ist. Grob kann für Minergie-A Gebäude gesagt werden, dass sich der Bedarf für HWLK aus je einem Drittel für Heizung, Warmwasser und Lüftung/Hilfsbetriebe zusammensetzt. Wird der Haushaltsstrom mitberücksichtigt, ist sein Anteil rund 60 % am Gesamtbedarf. Der Anteil der HWLK sinkt auf dann auf ein Drittel des Gesamtbedarfs.

Der Einbezug des Haushaltsstroms hat einen entscheidenden Einfluss auf den Gesamtbedarf und die Gesamtbilanz. Nicht nur die prozentualen Anteile verschieben sich, sondern auch der absolute Wert.

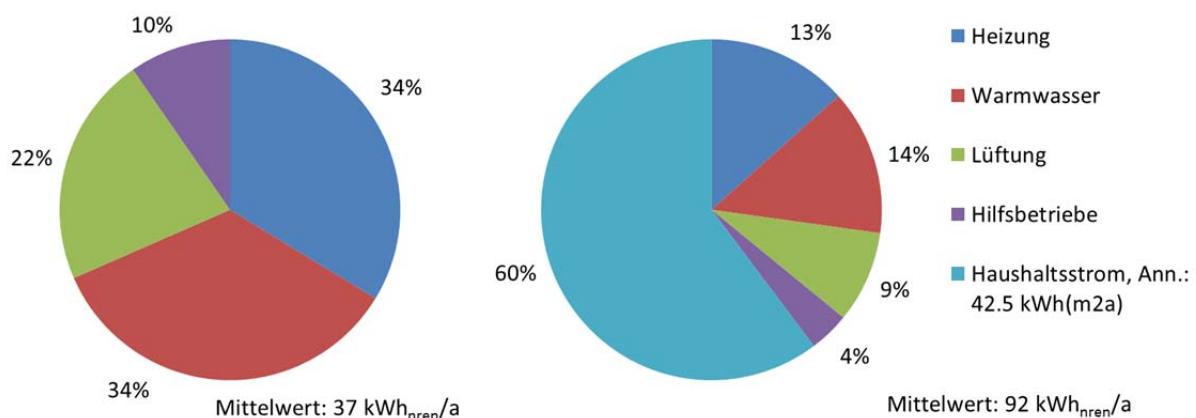


Bild 22 Prozentuale mittlere Aufteilung des Gesamtbedarfs (nicht erneuerbare Primärenergie) ohne und mit Haushaltsstrom.

Für die energetische Gesamtbilanzierung werden der Gesamtenergiebedarf und die Graue Energie gleichberechtigt betrachtet. Bild 23 links zeigt die prozentuale Aufteilung der Gesamtenergie der Minergie-A Gebäude mit Berücksichtigung des Haushaltsstroms und der Grauen Energie. Die nicht erneuerbaren Primärenergie teilt sich wie folgt grob auf: 40% Haushaltsstrom, 30% Graue Energie und 30% Heizung/Warmwasser, Lüftung, Hilfsbetriebe.

Bei Nullenergiegebäuden wird die Graue Energie der zusätzlich benötigten Photovoltaikfläche mitberücksichtigt, die zur Deckung des Haushaltsstroms notwendig ist (Bild 23 rechts). Die Gesamtverteilung verschiebt sich nur wenig im Vergleich zu Minergie-A mit Berücksichtigung des Haushaltsstroms. Der Anteil der Grauen Energie nimmt nur leicht zu.

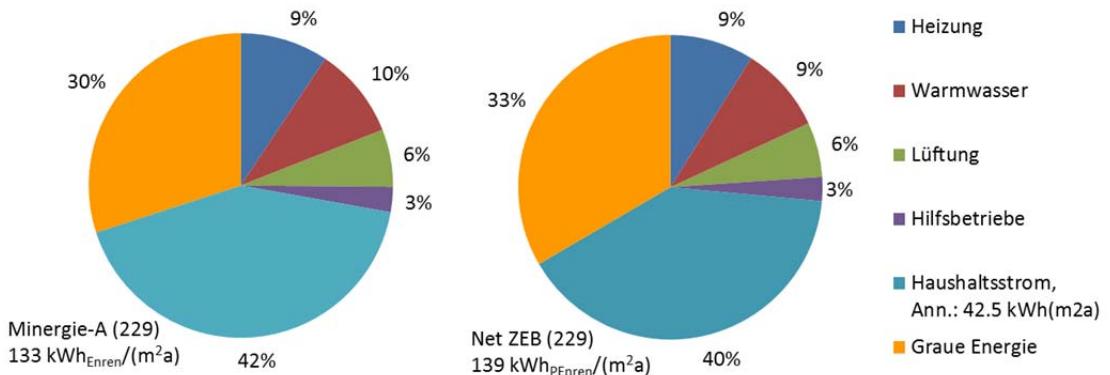


Bild 23 Prozentuale mittlere Aufteilung der Gesamtenergie für Minergie-A Gebäude (links) und Nullenergiegebäude (rechts).

8.2 Life Cycle Energy

Die Summe aus Netto-Betriebsenergie und Grauer Energie wird als Lebenszyklus Energie – im englischen Sprachraum Life Cycle Energy (LCE) – bezeichnet. Um zu zeigen, wie sich die Netto-Jahresbilanz des Gesamtenergiebedarfs und der Graue Energie verhalten, werden Untersuchungen auf Basis der Minergie-A Gebäude durchgeführt. Drei Gebäudestandards werden definiert, in dem die Grösse der Photovoltaikanlage (PV) so variiert wird, dass verschiedene Netto-Jahresbilanzen eingehalten werden. Die Gebäude haben

- keine PV (Niedrigenergiegebäude)
- eine PV, um die Kennzahl Wärme von Minergie-A zu erreichen
- eine PV, um die Netto-Jahresbilanz eines Net-ZEBs zu erreichen.

Bild 24 zeigt die Verteilung der Grauen Energie, der Netto-Betriebsenergie und der Life Cycle Energy für die oben genannten drei Standards. Die Graue Energie steigt von einem Niedrigenergiegebäude zu einem Net-ZEB um rund 32% an, während gleichzeitig per Definition, die Netto-Jahresbilanz der Betriebsenergie auf „Null“ fällt. Die Life Cycle Energy eines Net-ZEBs liegt um rund 64% tiefer als die eines Niedrigenergiegebäudes. Die Gesamtbetrachtung zeigt, dass der Einsatz von nicht erneuerbarer Primärenergie für ein Minergie-A Gebäude deutlich geringer ist, als für ein Niedrigenergiegebäude. Den niedrigsten Wert weist ein Net-ZEB auf [35].

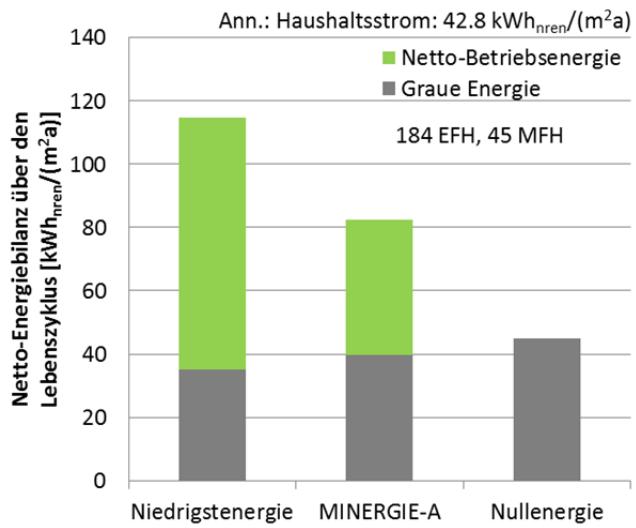


Bild 24 Life Cycle Energy für verschiedene Gebäudestandards.

8.3 Neubau und Modernisierung

Minergie-A und der Nullenergiestandard ist für Neubauten als auch für Modernisierungen machbar. Dies zeigen z.B. die Gebäudedatenbank von Minergie [5], die Solarpreise für Plusenergiebauten [36] und die Plusenergiehausdatenbank vom energie-cluster [8]. Weitere Beispiele befinden sich in einer internationale Datenbank mit Nullenergiegebäude [37], welche im Rahmen des IEA Projekts EBC Annex 52/Task 40 „Towards Net zero Energy Buildings“ entstand.

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 sollen die erneuerbaren Energien stark ausgebaut und Gebäude energieeffizienter werden. Beide Themen werden beim Nullenergiegebäude berücksichtigt und umgesetzt. Somit unterstützen Nullenergiegebäude die Zielerreichung der Energiestrategie 2050 und sollten daher vermehrt umgesetzt werden.

9 Diskussion

Der Hauptaugenmerk liegt bei den Nullenergiegebäude momentan in der Bilanzierung und Gewichtung der Endenergie. Über die Höhe der Endenergiemenge an sich wird i.d.R. nicht diskutiert. Einzig der Heizwärmebedarf ist durch die Anforderung der SIA 380/1 limitiert. Manche Kantone und Gemeinden fordern einen geringeren Heizwärmebedarf als die Norm. Die Kennzahl Wärme geht bei Minergie noch einen Schritt weiter und limitiert den gewichteten Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Hilfsbetriebe. Für Nichtwohngebäude stellt Minergie Anforderungen an die Beleuchtung. Im Wohnbereich verlangt Minergie Bestgeräte bei der Weissen Ware, jedoch wird nicht der gesamte Haushaltsstrom berücksichtigt.

Wieviel ein Nullenergiegebäude tatsächlich verbraucht, ist in der Regel unbekannt und wird nicht überprüft. So kann ein Nullenergiegebäude sehr viel Energie verbrauchen, solange es im Jahresmittel genügend erneuerbare Energie umwandelt. Auch die Höhe der Netzinteraktion (Im-/Export) wird bei einem Nullenergiegebäude nicht bewertet, obwohl durch die grossen PV-Anlagen ein grosser Austausch mit dem Netz stattfindet. Daher ist zu überlegen, wie ein Nullenergiegebäude energieeffizient und netzfreundlich wird. Folgende Punkte sollten für ein Nullenergiegebäude diskutiert werden:

- sehr gutes Dämmniveau senkt Energieverbrauch im Winter, wenn Solarertrag gering ist
 - hohe Wärmespeicherfähigkeit in Verbindung mit einer sehr guten Dämmung langsame Temperaturabnahme im Gebäude, so dass die Wärmeerzeugung flexibler an Zeiten mit Solarertrag angepasst werden kann
 - energieeffiziente Geräte und Beleuchtung geringer Energieverbrauch über das gesamte Jahr
 - grosser Eigenverbrauch maximale Nutzung von lokal produzierter Energie in Zeiten mit Solarertrag, Reduktion der Netzinteraktion
 - Energiespeicher Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Energiespeicher
 - Monitoring Visualisierung verschiedener Verbraucher, so dass der Nutzer bewusst wird wann, mit welchem Gerät/Verhalten, wieviel Energie verbraucht wird.
 - Energieaudit Jährliche Überprüfung der Nullbilanz, im gleitenden 3-Jahresmittel sollte die Nullbilanz eingehalten werden. Wird die Nullbilanz nicht eingehalten, wird im Rahmen einer Energieberatung der Energieverbrauch untersucht, die Lastprofile analysiert und Verbesserungspotential aufgezeigt.

10 IEA EBC Annex 52/ SHC Task 40 und EPBD

Das Forschungsprojekt ist ein nationales Projekt, welches die Teilnahme am internationalen IEA EBC Annex 52 / SHC Task 40 Projekt "Towards Net Zero Energy Buildings" ermöglichte. Die Autoren möchten sich ganz herzlich bei dem BFE für diese Möglichkeit der Teilnahme bedanken.

Insgesamt haben 19 Länder an dem IEA-Projekt von 2008-2013 teilgenommen. Die Autoren haben im Subtask A "Definition & Large-Scale Implications" mitgearbeitet und das Thema der Grauen Energie und die Entwicklung sowie die ersten Erkenntnisse aus der Einführung von Minergie-A eingebracht. Der Austausch mit den internationalen Kollegen floss in diesen Schlussbericht ein.

Im Rahmen des gesamten IEA-Projektes entstand eine grosse Anzahl an Veröffentlichungen. Einige werden in diesem Bericht an entsprechender Stelle referenziert. Dies sind zum einen eigene Veröffentlichungen der Autoren dieses Berichts zum anderen aber auch von anderen Autoren. Alle Veröffentlichungen des IEA-Projekts sind unter <http://task40.iea-shc.org/> aufgeführt.

Die EPBD war nicht Bestandteil des IEA-Projektes. Der Recarst der EPBD kam 2010, da war das IEA-Projekt schon 1.5 Jahre am Laufen. Da die Themen um das "net zero energy building" auch für das "nearly zero energy building" der EPBD von Bedeutung sind, war es selbstverständlich, dass das "nearly zero energy building" der EPBD auch im Subtask A diskutiert wurde. Im späteren Verlauf des IEA-Projektes wurde daher in den Meetings öfters von einzelnen Ländern Überlegungen zur Umsetzung der EPBD bzgl. nearly zero energy building berichtet. In die Überlegungen der Länder flossen Erkenntnisse aus dem IEA-Projekt ein, jedoch waren sie während der Projektlaufzeit nicht abgeschlossen und daher wird diese Thematik in diesem Bericht nicht aufgeführt.

Als Information kann genannt werden, dass 2013 eine Studie "Towards nearly zero-energy buildings: Definition of common principles under the EPBD" [38] als Guideline für die Mitgliedstaaten und die Europäische Kommission entstand. In diesem Report werden Überlegungen von einzelnen Ländern zur Definition und zur Erhöhung der Anzahl von nearly zero energy buildings vorgestellt. Weiter wird die Beurteilung von nearly zero energy buildings in verschiedenen europäischen Klimabedingungen dargestellt, sowie das Kosten-Nutzen-Verhältnis analysiert. In diese Studie sind sehr viele Ergebnisse aus dem IEA-Projekt eingeflossen.

11 Referenzen

- [1] “EU Gebäuderichtlinie 2010 für energieeffiziente Gebäude European Directive Energy Performance of Buildings EPBD,” 2010. [Online]. Available: <http://www.enev-online.de/epbd/2010/>.
- [2] “Energiepolitik der EnDK, Eckwerte und Aktionsplan,” www.endk.ch, 2011.
- [3] M. Hall, “Nullenergie-Gebäude IEA Annex 52/Task 40 NZEB,” *Diverse Veröffentlichungen*. [Online]. Available: <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppenbau/nullenergie-gebaeude>.
- [4] “IEA Projekt EBC Annex 52/Task 40 „Towards Net zero Energy Buildings”.” [Online]. Available: <http://task40.iea-shc.org/>.
- [5] “www.minergie.ch.” .
- [6] DIN EN 15603, *Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte*. 2008.
- [7] K. Voss and E. Mushall, *Nullenergiegebäude*. Detail Green Books, 2011.
- [8] “Plusenergiedefinition vom energie-cluster,” www.energie-cluster.ch..
- [9] Merkblatt SIA 2040, “SIA-Effizienzpfad Energie.” 2011.
- [10] I. Satori, A. Napolitano, and K. Voss, “Net zero energy buildings: A consistent definition framework,” *Energy Build.*, vol. 48, pp. 220–232, May 2012.
- [11] SIA 380, “Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden.” 2015.
- [12] “Nationale Gewichtungsfaktoren der Schweiz,” 2009. [Online]. Available: www.endk.ch.
- [13] A. J. Marszal, J. S. Bourelle, E. Musall, P. Heiselberg, A. Gustavsen, and K. Voss, “Net Zero Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Building Codes,” in *EuroSun Conference*, 2010.
- [14] A. Niederhäuser, “Regio Energie Solothurn: Strom-, Gas- und Wärmenetz verknüpfen,” www.ee-news.ch, 13-May-2013.
- [15] M. Hall, B. Burger, and A. Geissler, “Two years of experience with a net zero energy balance – analysis of the Swiss MINERGIE-A standard,” in *Proceedings of SHC Conference 2013, Freiburg (D), Energy Procedia*, Vol. 48, 2014, pp. 1282–1291.
- [16] K. Voss, E. Musall, and M. Lichtmeß, “Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven,” *Bauphysik*, vol. 32, no. 6, pp. 424–434, Dec. 2010.
- [17] M. Hall, F. Dorusch, and A. Geissler, “Optimierung des Eigenverbrauchs, der Eigendeckungsrate und der Netzbelaistung von einem Mehrfamiliengebäude mit Elektromobilität,” *Bauphysik*, vol. 36, no. 3, pp. 117–129, Jun. 2014.

- [18] K. Voss, I. Satori, A. Napolitano, S. Geier, H. Gonzalves, M. Hall, P. Heiselberg, J. Widén, J. A. Candanedo, and E. Musall, "Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings," in *EUROSUN*, 2010.
- [19] G. Hirn, "Multifunktionale Wechselrichter und Speicher für Solarstrom," *Bine Informationsd.*, 2010.
- [20] F. Dorusch, M. Hall, and R. Dott, "Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rapperswil," FHNW, Institut Energie am Bau, Schlussbericht, BFE SI/500645 // SI/500645-01, www.fhnw.ch/habg/iebau, 2014.
- [21] M. Hall and A. Geissler, "Netzbelastung durch Nullenergiegebäude," FHNW, Institut Energie am Bau, Schlussbericht, BFE 810000723, SI/500217-02, www.fhnw.ch/habg/iebau, 2014.
- [22] A. Gütermann, "Plus-Energie-Mehrfamilienhaus in Bennau – Erste Erfahrungen," in *Status-Seminar Zürich*, 2010.
- [23] energie-cluster, "Datenbank von Plusenergiegebäuden in der Schweiz," *Bern*, 2014. [Online]. Available: www.energie-cluster.ch.
- [24] H. Bürgi, M. Hall, B. Hari, H. Huber, E. Musall, R. Rüegg, J. Tödtli, K. Voss, and A. Witzig, *Zero - Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser*. Faktor Verlag AG Zürich, 2013.
- [25] F. Megert, "Strom ist nicht gleich Strom – Herkunftsachweise sagen, wieso," *Bull. SEV/AES*, no. 2, pp. 39–40, 2009.
- [26] Bundesamt für Energie, "Leitfaden Stromkennzeichnung Vers. 4.1," 2012.
- [27] Bundesamt für Energie, "Kostendeckende Einspeisevergütung," 2008.
- [28] "Marché International Kemptthal/ZH." [Online]. Available: www.solaragentur.ch, www.ekz.ch.
- [29] B. Berggren, M. Hall, and M. Wall, "LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings," *Energy Build.*, vol. 62, pp. 381–391, 2013.
- [30] J. Bichsel, A. Binz, A. Geissler, M. Hall, H. Huber, G. Steinke, and B. Weickgenannt, *Energiegerecht Bauen – Konzepte*. Faktor Verlag AG Zürich, 2014.
- [31] H. Huber, T. Metzler, and D. Rufer, *Plusenergie-Haus*. Faktor Verlag AG Zürich, 2013.
- [32] "KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1." 2014.
- [33] M. Ragonesi, "Effizienzstrategie," *Fakt. Verlag AG, Zürich*, vol. 36, no. Wärmeschutz, pp. 26–35, 2012.
- [34] SIA 380/1, "Thermische Energie im Hochbau." 2009.
- [35] M. Hall, "Von Minergie-A zu Nullenergiegebäuden," *Bauphysik*, vol. 34, no. 5, pp. 197–203, 2012.
- [36] "Schweizer Solarpreis." [Online]. Available: www.solaragentur.ch.

- [37] "Karte mit Standorten von Nullenergiegebäuden." [Online]. Available: <http://www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/>.
- [38] A. Hermelink, S. Schimschar, T. Boermans, L. Pagliano, P. Zangheri, R. Armani, K. Voss, and E. Musall, "Towards nearly zero-energy buildings: Definition of common principles under the EPBD," Ecofys, Politecnico di Milano, University of Wuppertal, www.buildup.eu/publications/36942, 2013.
- [39] Merkblatt SIA 2024, "Standardnutzungsbedingungen für Energie – und Gebäudetechnik." 2006.

12 Anhang

Berechnungsgrundlagen zum Kapitel 4.6.2 "Speicherung"

Für die Untersuchungen wird ein Einfamilienhaus verwendet werden, welches die Anforderungen an ein Net ZEB Gebäude erfüllt. Dies bedeutet, dass die jährliche Stromproduktion gleich gross sein muss wie die Elektrizität welche für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Hilfsenergien, Haushaltgeräte und Beleuchtung pro Jahr benötigt wird - die Graue Energie soll hierbei nicht berücksichtigt werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass sowohl verschiedene Aussentemperaturen als auch Strahlungsdaten berücksichtigt werden. Das Gebäude verfügt über eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, welche sowohl die Wärme für die Heizung als auch für die Erzeugung des Warmwassers zum Einsatz kommt. Ein Schema des Systems ist in Bild 25 ersichtlich. Aufgrund der gewählten Gebäudetechnik setzt sich der Elektrizitätsbedarf des Gebäudes zusammen aus dem benötigten Strom für:

- Wärmepumpe (Heizung & Warmwasser)
- Umwälzpumpe Fussbodenheizung
- Speicherladepumpe
- Solepumpe für Erdsonde
- Komfortlüftung
- Haushaltgeräte
- Beleuchtung

Da die Elektrizität den einzigen verwendeten Energieträger bildet ist eine Gewichtung nicht notwendig, aus diesem Grund wird in den Berechnungen darauf verzichtet. Da der Energieverbrauch der einzelnen Umwälzpumpen sehr klein ausfällt, werden diese in den nachfolgenden Berechnungen zu einem einzigen Verbraucher "Umwälzpumpen" zusammengefasst.

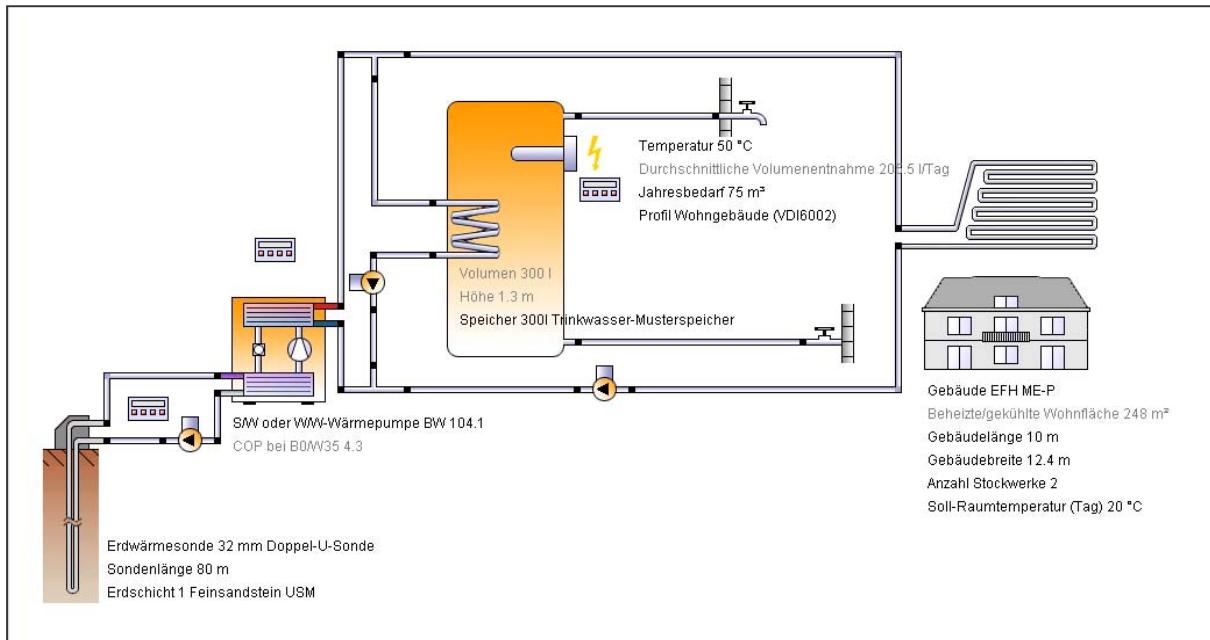


Bild 25 Gebäudetechnik-Schema des verwendeten Einfamilienhauses

In der nachfolgenden Tabelle 12 sind Informationen zur Gebäudehülle und -technik des verwendeten Objektes aufgeführt. Die Dimensionierung der Erdsondenlänge erfolgte unter Berücksichtigung der Annahme, dass eine spezifische Entzugsleistung von 50 W/m bzw. eine Entzugsenergie von 90 kWh/(m a) nicht überschritten werden sollte.

Der elektrische Energiebedarf für die Wärme- sowie die Umwälzpumpen wird durch Simulationen mittels Polysun im Stundenschrittverfahren ermittelt. Der Elektrizitätsbedarf für Lüftung, Haushaltgeräte und Beleuchtung ergibt sich durch Nutzungsprofile und Verbrauchswerte welche dem Merkblatt SIA 2024 [39], Raum 1.1 "Wohnraum, Schlafzimmer" entnommen sind (Tabelle 14).

Das Merkblatt SIA 2024 gibt immer eine Wertebereich an. Es wird davon ausgegangen, dass für Net ZEB-Gebäuden nur energieeffiziente Geräte eingesetzt werden aus diesem Grund werden für die Berechnungen die Minimalwerte verwendet. Um den stündlichen Energiebedarf für die in Tabelle 13 aufgeführten Verbraucher bestimmen zu können, werden Nutzungsprofile verwendet welche sich ebenfalls an das Merkblatt SIA 2024 anlehnen. Die Auslastung der Geräte wird hierbei 1:1 übernommen, für die Verwendung der Beleuchtung sowie der Lüftung werden jedoch Anpassungen gemacht. Hierbei wird zwischen Sommer- und Winterfall unterschieden: Für die Beleuchtung wird angenommen, dass diese im Sommer weniger im Betrieb ist als im Winter, dies bedeutet, dass zwischen 09:00 und 19:00 Uhr die Beleuchtung ausgeschaltet bleibt. Die Lüftung wird im Winter mit Nennleistung betrieben, im Sommer jedoch ausgeschaltet, da der erforderliche Luftaustausch in den warmen Monaten per Fensterlüftung erbracht werden kann. Die Sommerperiode dauert hierbei von Mai bis August. Eine Zusammenstellung der verwendeten Profile ist in den Bild 26 und Bild 27 ersichtlich.

Tabelle 12 Für die Berechnungen relevante Daten zum Untersuchungsgebäude

Klimastation	Bern-Liebefeld
Energiebezugsfläche A_E	248 m ²
Gebäudehüllfläche A_{th}/A_E	2.42

Mittlerer U-Wert opake Bauteile	0.12 W/(m ² K)
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	0.78 W/(m ² K)
Mittlerer g-Wert Fenster	0.62
Wärmebedarf Warmwasser	13.9 kWh/m ²
Wärmeerzeuger (für Heizung & Warmwasser)	Sole/Wasser-Wärmepumpe
Erdsonde	32 mm Doppel-U-Sonde
Photovoltaik-Module	Conergy S 175 M (monokristallin)
Lüftungssystem	Komfortlüftung mit WRG
Luftvolumenstrom	170 m ³ /h
Wärmeverteilung (Vor- / Rücklauftemperatur)	FBH (35°C / 30°C)
Effektiver Heizwärmeverbrauch nach SIA 380/1	13.4 kWh/m ²
Norm-Aussentemperatur	-7°C
Heizlast nach SIA 384.201	4.7 kW
Erforderliche Leistung (inkl. WW & Sperrzeiten)	5.8 kW
Wärmepumpenhersteller	CTA AG
WP-Typ	Optiheat 6e
WP-Leistung (B0/W35)	6.1 kW
Erdsondenlänge	100 m
Wärmeleitfähigkeit Erdreich	2.5 W/(mK)

Tabelle 13 Spezifische elektrische Leistungen nach Merkblatt SIA 2024

Bezeichnung	Wert
Haushaltgeräte	1.00 W/m ²
Beleuchtung	6.3 W/m ²
Lüftung	0.6 W/(m ³ /h)

Tabelle 14 Zusammensetzung Elektrizitätsbedarf des Mustergebäudes

	Bern	
	Elektrizitätsbedarf [kWh/m ²]	Anteil
Wärmepumpe	6.1	20%
Umwälzpumpen	2.1	7%
Lüftung	2.4	8%

Haushaltgeräte	4.6	15%
Beleuchtung	15.9	50%
Total	31.1	100%

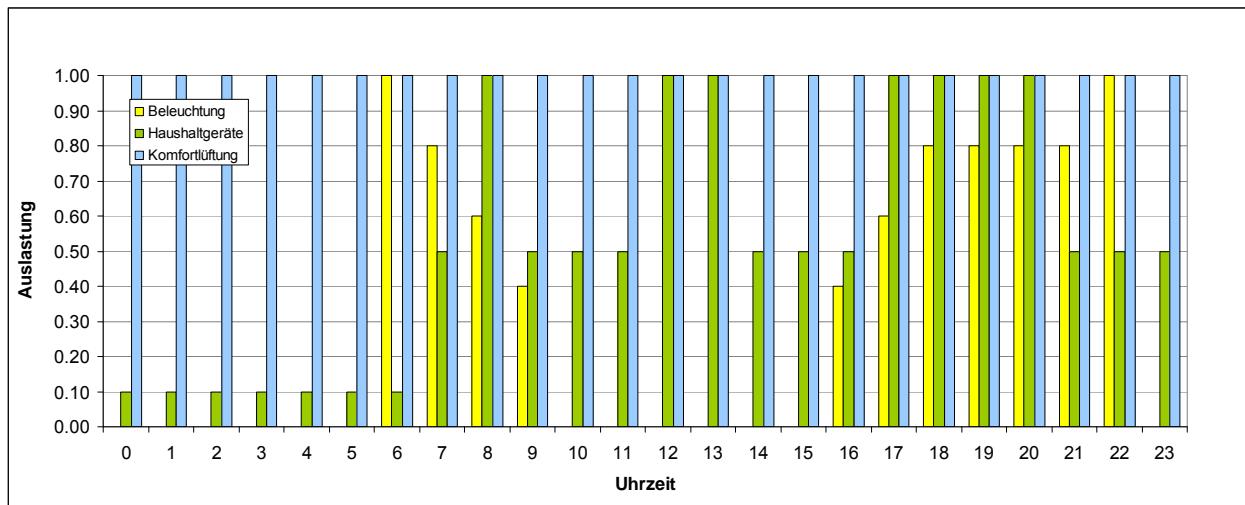


Bild 26 Tagesgang der Auslastung Beleuchtung, Haushaltgeräte und Wohnungslüftung in der Winterperiode von September bis April

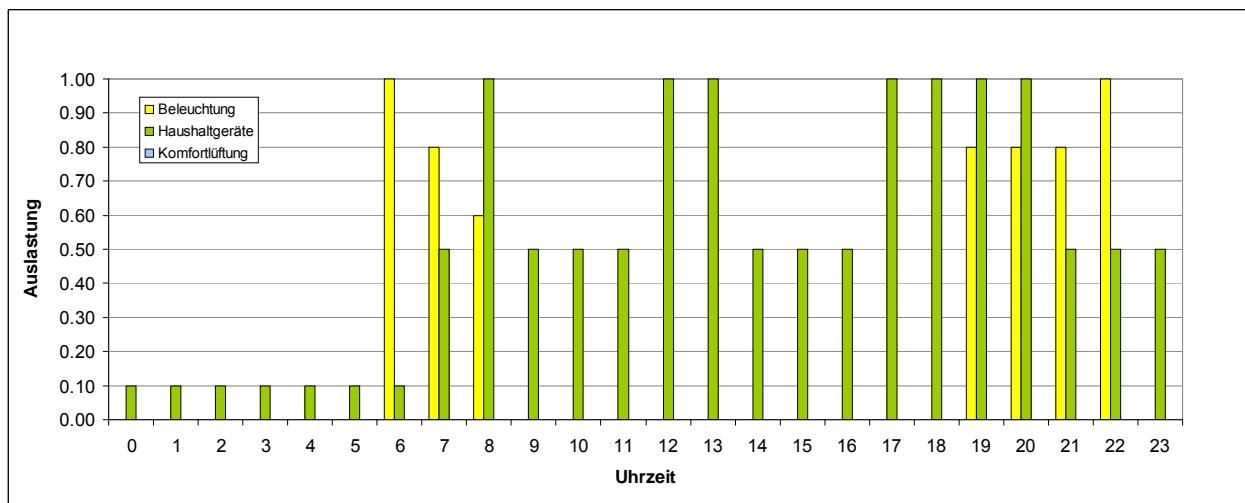


Bild 27 Tagesgang der Auslastung Beleuchtung, Haushaltgeräte und Wohnungslüftung in der Sommerperiode von Mai bis August