

## Nullenergie-Gebäude – die nächste Generation energieeffizienter Bauten

Dr. Monika Hall

Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik,  
St. Jakobs-Strasse 84, 4132 Muttenz, monika.hall@fhnw.ch, www.fhnw.ch/habg/iebau

**Zusammenfassung**

**Abstract**

**Résumé**

Ziel des Projekts "Nullenergie-Gebäude - die nächste Generation energieeffizienter Bauten" ist die Dokumentation und Analyse exemplarischer Gebäude nahe der Nullenergiebilanz, um dabei Methodik und Werkzeuge für die Arbeit mit diesen Gebäuden zu entwickeln. Damit sollen Grundlagen bereitgestellt werden, um neue zukunftsweisende bauliche Energieeffizienzstandards auf Basis von Nullenergie-Gebäuden (net zero energy building NZEB) in transparenter Weise zu erarbeiten. Eine einheitliche energetische Bewertung für Nullenergie-Gebäude wird formuliert und die Umsetzbarkeit in die Praxis vorbereitet. Die Erkenntnisse fliessen auch in die Entwicklungsarbeit von MINERGIE<sup>®</sup>, zur Schaffung eines neuen Gebäudestandards MINERGIE<sup>®</sup>-A, der sich im Bereich Nullenergie bewegen soll, ein.

The aim of the project "zero energy building – the next generation of energy efficiency buildings" is the documentation and analysis of existing near net zero energy buildings (NZEB) in order to develop the methods how to deal with that kind of buildings. This shall yield basics to create new forward-looking efficiency levels for NZEB in a transparent way. A consistent definition and energy assessment for NZEB shall be compiled. Basics for MINERGIE<sup>®</sup>, aiming at a MINERGIE<sup>®</sup>-A-standard on a zero energy level shall be delivered.

## 1. Ausgangslage

Es ist soweit: Das "Niedrigstenergiegebäude" bzw. "fast Nullenergie-Gebäude" soll EU-weit zum Standard werden. Im Kampf gegen den Klimawandel will die EU in den kommenden Jahren die Energieeffizienz von Gebäuden stark verbessern. Ab 2021 sollen alle Neubauten in der EU fast keine Energie mehr benötigen für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung. Neubauten von Behörden sollen bereits ab 2019 diese Anforderung erfüllen. Dieses fordert die novellierte "EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden". Niedrigstenergiegebäude sind Gebäude mit einer sehr hohen Gesamtenergieeffizienz. 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 die Schweiz geht in Richtung „Niedrigst-/ fast Nullenergie-Gebäude“. Durch die verschärften Anforderungen der MuKE [2] ist das heutige MINERGIE®-Gebäude schon annähernd zum Standard geworden. In naher Zukunft wird der MINERGIE®-P-Standard zum MINERGIE®-Basisstandard und ein neues MINERGIE®-Label Richtung Niedrigstenergiegebäude soll positioniert werden.

Das BFE-Forschungsprojekt "Nullenergie-Gebäude - die nächste Generation energieeffizienter Bauten" geht noch ein Schritt weiter. Ein Nullenergie-Gebäude ist ein Gebäude, welches in der Jahresbilanz nicht mehr Energie benötigt, als durch erneuerbare Energien erzeugt wird. Da der Begriff "Nullenergie-Gebäude" momentan nicht eindeutig definiert ist, müssen zuerst klare Definitionen und Systemgrenzen erarbeitet und anschliessend entsprechende Anforderungen formuliert werden.

Die Laufzeit für das Projekt beträgt: Nov. 2009 – Juni 2012. Das Forschungsprojekt ist an das internationale Projekt IEA-SHC Task 40, IEA-ECBCS Annex 52 "Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEB)" [3] angegliedert.

## 2. Vorgehen

In einem ersten Schritt, werden in der Schweiz gut dokumentierte bestehende Nullenergie- bzw. fast Nullenergie-Gebäude zusammengetragen. Bauten vom Typus "Nullenergie-Gebäude (NZEB)" liegen im Trend der Pioniere des energieeffizienten Bauens. Es gibt in der Schweiz eine ganze Reihe von Gebäuden, die in den letzten Jahren realisiert wurden, welche auf die Etiket NZEB Anspruch anmelden könnten. Viele dieser Bauten werden von ihren Schöpfern als "Nullenergie-", "Plusenergie-" oder "Kraftwerk-Häuser" bezeichnet und sind z.T. als MINERGIE®-P-Gebäude zertifiziert. Die energetischen Ansätze von einigen dieser Pionier-Gebäude werden analysiert und zusammengefasst.

Ausgehend von diesen Gebäuden und Ansätzen werden die Möglichkeiten hinsichtlich der Gebäudehülle und -technik unter verschiedenen Gesichtspunkten evaluiert und weiterentwickelt.

Fragen der Systemabgrenzung, der Gewichtung von Energieträgern und der Festlegung von Umwandlungswirkungsgraden sollen beantwortet werden. Zur Abgrenzung gehört die Klärung von Fragen, ob und wie

- graue Energie, Haushaltsstrom, induzierte Mobilität, Eigentumsverhältnisse, etc. in die Definition einbezogen und
- Energie aus Netzen (heisse und kalte Fernwärme, Wärmeverbundsysteme, Fotovoltaik, Greenpower) verrechnet werden sollen bzw. können.

Die gewonnenen Aussagen bilden die Grundlage für praktikable Lösungsansätze von standardisierten Nullenergie-Gebäuden. Die Definition eines Nullenergie-Gebäudes wird hinsichtlich der technischen Anforderungen, Bewertung und Nachweis klar definiert. Die Definitionen sollen Bezug nehmen auf alle Wohn- und Dienstleistungsbau-Kategorien und sowohl Neubau wie die Altbausanierung umfassen. Das Nullenergie-Gebäude soll auch im verdichteten Bauen umsetzbar sein.

### 3. Resultate

#### 3.1 Datenaufnahme von bestehenden Gebäuden

Die Recherche über fast Nullenergie-Gebäude und Nullenergie-Gebäude zeigt, dass in der Schweiz schon einige solcher Gebäude existieren. Als Basis dient i.d.R. ein MINERGIE®-P Standard mit einer Wärmepumpe und einer Photovoltaik-Anlage, d.h. eine sehr gute Gebäudehülle in Kombination mit einer auf erneuerbaren Energien gestützte Heizungs- und Warmwassertechnik bilden die Grundlagen für ein effizientes Gebäude.

Bislang liegen Daten von 21 Gebäuden (11 EFH, 5 MFH, 4 Verwaltung und 1 Schule) vor. Die Liste der 21 dargestellten Gebäude erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit an fast Nullenergie-Gebäude und Nullenergie-Gebäude in der Schweiz. Alle Gebäude werden mit einer Wärmepumpe, Fernwärme oder Holzfeuerung beheizt. Einige Gebäude verfügen über eine thermische Solaranlage, die hauptsächlich für die Warmwasserbereitung eingesetzt wird. Prinzipiell erfolgt die Warmwasserbereitung über Wärmepumpen, Elektroboiler bzw. Elektrodurchlauferhitzer oder Holzfeuerung mit oder ohne Unterstützung einer thermischen Solaranlage. Bis auf ein MFH verfügen alle Gebäude über eine Photovoltaik-Anlage. Alle Wohn- und Verwaltungsbauten haben eine mechanische Lüftungsanlage. Das Baujahr der Gebäude liegt zwischen 2000 – 2008, inkl. zwei Modernisierungen. Im folgenden werden die Gebäude unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet.

Tabelle 1 zeigt die Aufteilung der Gebäude in verschiedene Nullenergie-Klassen. Die Einstufung erfolgt auf der Stufe gewichteter Endenergie, betrachtet als Jahresbilanz. In der Kategorie Einfamilienhaus gibt es auffällig viele Gebäude, die den Bedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Hilfsbetriebe und Haushaltsstrom über das Jahr gesehen abdecken können. Drei Objekte können sogar auch den Einsatz der Graue Energie für die Produktion der Baumaterialien und Erstellung/Entsorgung des Baukörpers und der Gebäudetechnik kompensieren.

Tab. 1: Zusammenstellung von 21 Nullenergie-Gebäuden in Abhängigkeit von der Gebäudekategorie und der Einstufung, welcher gewichtete Endenergiebedarf "Null" wird (Basis nat. Gewichtungsfaktoren).

Nullenergie für	MFH	EFH	Verwaltung	Schule
Heizung	1	-	-	-
Heizung/WW	2	-	-	-
Heizung/WW, Lüftung, Hilfsenergie	1	2	-	-
Heizung/WW, Lüftung, Hilfsenergie, Haushaltsstrom	1	6	2	1
Heizung/WW, Hilfsenergie, Haushaltsstrom, Graue Energie (Gebäudekonstruktion/-technik)	-	3	2	-

Die Werte für Heizung/Warmwasser, Lüftung und Hilfsenergie werden dem MINERGIE®-P-Nachweis entnommen. Wenn keine Angaben über Haushaltsstrom und Graue Energie vorhanden sind, gelten folgende Annahmen:

Haushaltsstrom:

Die Berechnung des Haushaltsstroms (inkl. Beleuchtung) basiert auf Werten aus der SIA 380/4 [4] mit Ergänzungen von topten-Geräten [5] und weiteren Daten [6] sowie Annahmen zur Anzahl von Koch-, Wasch- und Geschirrspülvorgängen. Für ein EFH (4 Personen) wird der Wert von 2640 kWh/a, bei einem MFH (2 Personen pro Wohnung) wird pro Wohnung ein Wert von 1950 kWh/a zugrunde gelegt.

Graue Energie

Holzbau	28 kWh/(m <sup>2</sup> a)	ECO Holzbau	25 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Mischbau	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	ECO Mischbau	29 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Massivbau	35 kWh/(m <sup>2</sup> a)	ECO Massivbau	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Abb. 1 stellt für 5 EFH den gewichteten Energiebedarf und die gewichtete Energieerzeugung mittels einer Photovoltaik-Anlage, berechnet mit Primärenergiefaktoren, da. Es zeigt sich, dass die Summe von Haushaltsstrom und die Graue Energie am Gesamtbedarf einen sehr hohen Anteil hat. Die gleiche Aussage wird erhalten, wenn der Energiebedarf mit den nationalen Gewichtungsfaktoren berechnet wird (Abb. 2). Deutlich ist der Einfluss der verschiedenen Bewertungsfaktoren zu erkennen. Da Werte für die Graue Energie nur in Primärenergie vorliegen, werden bei einer Gewichtung der Bedarfswerte nach nationalen Energiegewichtungsfaktoren unterschiedliche Bezugsgrößen miteinander verrechnet. Dies ist nicht ganz korrekt, aber in diesem Fall erlaubt, da es zu einer strengeren Beurteilung führt.

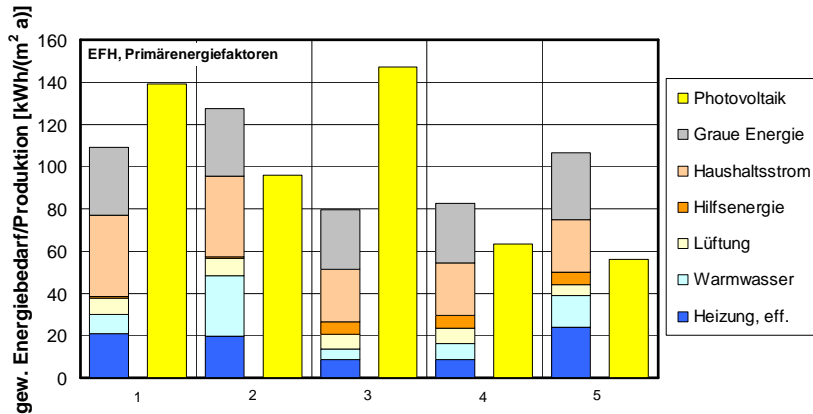


Abb. 1: Gewichteter Energiebedarf und gewichtete Energieproduktion berechnet mit Primärenergiefaktoren.

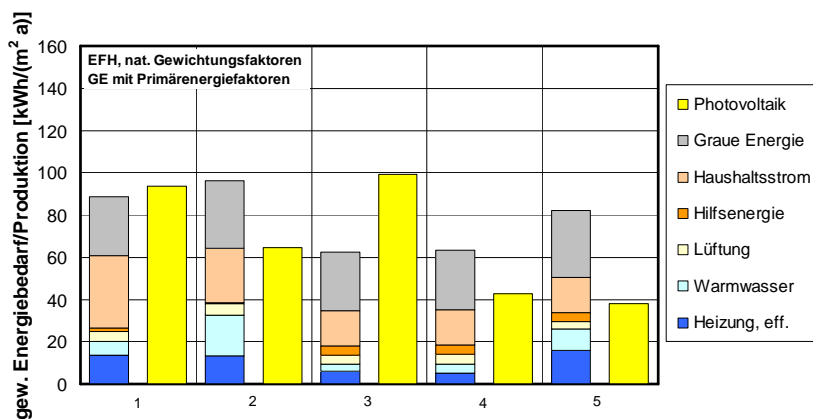


Abb. 2: Gewichteter Energiebedarf und gewichtete Energieproduktion berechnet mit nationalen Energiegewichtungsfaktoren. Die Graue Energie ist mit Primärenergie berechnet.

In Tabelle 2 sind die U-Werte einzelner Bauteile zusammengefasst. Der Mittelwert der flächengemittelten U-Werte über die gesamte Gebäudehülle liegt bei den betrachteten Gebäuden bei  $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ a})$ .

Tab. 2: Zusammenstellung der U-Werte von 21 Nullenergie-Gebäuden.

Bauteile	U-Wert [ $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ]				
	Mittelwert	MFH	EFH	Verwaltung	Schule
Fenster	0.75	0.68	0.74	0.87	1.44
Boden gegen unbeheizt/Erdreich	0.15	0.17	0.14	0.13	0.20
Aussenwand	0.13	0.15	0.12	0.12	0.18
Innenwände gegen unbeheizt/Erdreich	0.23	0.27	0.25	0.11	0.60
Dach	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13
Gesamt U-Wert	0.20	0.23	0.19	0.20	0.31

Die Verteilung der Heizsysteme und der Warmwasserbereitung sind in den Tabellen 3 und 4 dargestellt. Bei ca. 70 % der Gebäude wird der Heizenergiebedarf mit einer Wärmepumpe erzeugt. Bei der Warmwasserbereitung dominiert der Einsatz der Wärmepumpe als alleiniger Wärmeerzeuger, ebenfalls aber mit ca. 40% nicht so stark. Die Kombination von Solarthermie und WP oder Elektroboiler werden zu gleichen Anteilen verwendet.

Tab. 3: Zusammenstellung der Heiztechnik von 21 Nullenergie-Gebäuden.

Heizungstyp	MFH	EFH	Verwaltung	Schule	Anteil [%]
Wärmepumpe	4	7	3	1	71
Holzfeuerung/Pellet	-	3	1	-	20
Solarthermie	1	1	-	-	9

Tab. 4: Zusammenstellung der Technik für die Warmwassererwärmung von 21 Nullenergie-Gebäuden.

Warmwasserbereitung	MFH	EFH	Verwaltung	Schule	Anteil [%]
Wärmepumpe	2	4	1	1	39
Solarthermie	1	1	1	-	14
Solarthermie / Pellet	-	1	1	-	9
Solarthermie / WP	2	2	-	-	19
Solarthermie / Elektro	-	3	1	-	19

Die Daten für die verwendeten thermischen Solaranlagen und den Photovoltaik-Anlagen sind in den Tabelle 5 und 6 zusammengefasst. Da die vorhandenen Flächen und Erträge innerhalb einer Gebäudekategorie sehr stark variieren, werden die Werte als Medianwerte angegeben. Es ist zu erkennen, dass die Flächen der thermischen Solaranlagen deutlich geringer sind als die der PV-Anlagen. Auffällig ist der hohe spezifische Photovoltaik-Ertrag bei der Kategorie Verwaltung. D.h., dass grosse PV-Anlagen auf eine relativ kleine Energiebezugsfläche installiert werden. Dies spiegelt den erhöhten Elektrizitätsbedarf in Verwaltungsbauten wieder. Ebenfalls fallen die relativ grosse Fläche von PV-Anlagen bei den EFH auf. Hier muss man erwähnen, dass die betrachteten EFH einzelstehende Gebäude sind und tendenziell grössere Dachfläche aufweisen, als Reiheneinfamilienhäuser.

Tab. 5: Medianwerte für die thermischen Solaranlagen für 13 "Nullenergie-Gebäude".

Medianwerte	Einheit	MFH	EFH	Verwaltung	Schule
Fläche	[m <sup>2</sup> ]	150	6.7	5	-
Ertrag	[kWh/a]	30'000	2'450	3'200	-
spez. Ertrag	[kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a)]	22	10	3.5	-

Tab. 6: Medianwerte für die Photovoltaikanlagen für 19 "Nullenergie-Gebäude".

Medianwerte	Einheit	MFH	EFH	Verwaltung	Schule
Fläche	[m <sup>2</sup> ]	275	60	250	353
Peak	[kWp]	24	7.5	30	43
Ertrag	[kWh/a]	22'700	6'700	25500	42'350
spez. Ertrag	[kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a)]	11	28	48	30

### 3.2 Der Weg zum Nullenergie-Gebäude

Das Prinzip eines Nullenergie-Gebäudes zeigt Abb. 3. Ausgehend von einem Energiebedarf, der durch Normen und Labels vorgegeben wird, kann der Bedarf durch weiter Anstrengungen an der Gebäudehülle und –technik aber auch durch das Benutzerverhalten reduziert werden. Jedoch erst durch den Einsatz von erneuerbaren Energien z.B. von Umweltwärme oder Solarstrom, zur Kompensation des restlichen Energiebedarfs, kann ein Nullenergie-Gebäude erreicht werden.

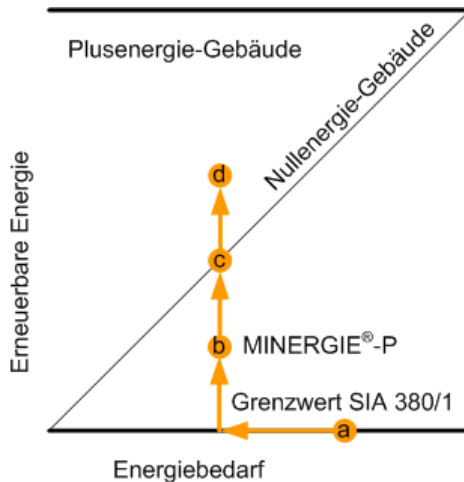


Abb. 3: Herleitung der positiven Jahresbilanz. Dargestellt ist der Weg zum Null- bzw. Plusenergie-Gebäude.

Immer wird von Nullenergie gesprochen, doch was heisst Nullenergie genau? Auf dem Weg zu einer Definition für ein Nullenergie-Gebäudes sind noch einige Frage zu klären. Dabei muss z.B. geklärt werden, was überhaupt "Null" werden soll. Soll der Energiebedarf/-verbrauch (Stufe: Nutzenergie/Endenergie/Primärenergie), die CO<sub>2</sub>-Emissionen oder die Kosten "Null" werden? Gleichzeitig ist zu definieren, welche Parameter in der Nullbilanz enthalten sein sollen. Gilt die Nullbilanz für

- Heizen?
- Heizen, WW?
- Heizen, WW, Hilfsenergie, Lüftung?
- Heizen, WW, Hilfsenergie, Lüftung, Strom für Beleuchtung/Geräte?
- Heizen, WW, Hilfsenergie, Lüftung, Strom für Beleuchtung/Geräte, Graue Energie?
- Heizen, WW, Hilfsenergie, Lüftung, Strom für Beleuchtung/Geräte, Graue Energie, Mobilität?

Des weiteren muss festgelegt werden, in welchen Zeitschritten die Berechnung vom Bedarf erfolgen soll und welcher Zeitraum ist für die Nullbilanz entscheidend?

- jährlicher Mittelwert für Nullbilanz basierend auf monatlichen, wöchentlichen, täglichen oder stündlichen Werten?
- monatliche Mittelwerte für Nullbilanz basierend auf wöchentlichen, täglichen oder stündlichen Werten?
- Saisonale Werte (Winter/Sommer) für Nullbilanz basierend auf monatlichen, wöchentlichen, täglichen oder stündlichen Werten?

Da die Eigenproduktion eine entscheidende Rolle bei einem Nullenergie-Gebäude spielt muss auch diskutiert werden, welche Art von Energieproduktion anrechenbar ist. Ist eine

- Produktion am Haus,
- Produktion auf dem Grundstück,
- Produktion „nahe“ des Grundstücks,
- Produktion im Siedlungsverbund oder der
- Einkauf von erneuerbarer Energie (z.B. Grüner Strom) erlaubt?

## 4. Ausblick

Die Zusammenstellung der Daten über Nullenergie-Gebäude in der Schweiz zeigt, dass schon einige Gebäude das ambitionierten Ziel der Kompensation von Betriebsenergie inkl. Haushaltsstrom durch den Einsatz von regenerativen Energiequellen umgesetzt haben. Einige Objekte kompensieren sogar die gesamten Betriebsenergie und die Graue Energie durch Eigenenergieproduktion. Die Objektliste wird im weiteren Verlauf des Projektes ergänzt. Die vorhandenen Objekte werden hinsichtlich der einzelnen Energiekonzepte weiter ausgewertet.

Für eine Definition eines Nullenergie-Gebäudes sind noch einige Parameter zu untersuchen. So ist z.B. klären, ob die jährliche Nullbilanz auf Stundenwerten oder auf den üblichen Monatsmittelwerten basieren soll. Hierzu werden Vergleichsrechnungen durchgeführt. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Graue Energie. Es muss geprüft werden, ob und wie die Graue Energie in die Nullbilanz einfließen kann. Das Projekt wird sich auch mit der integralen Betrachtung der Gebäudehülle und –technik befassen, um dort Möglichkeiten und Grenzen auszuloten. Ziel ist es, einen zukunftsweisender Nullenergiestandard zu definieren, der nicht nur für Insellösungen konzipiert, sondern auch im verdichteten Bauen umsetzbar, ist.

Es ist davon auszugehen, dass für ein Nullenergie-Gebäude die Einbindung von regenerativen Energiequellen für die Wärme- und Stromerzeugung am Standort unerlässlich wird. Die ästhetische Einbindung der Anlagen in die Hüllkonstruktion sollte daher selbstverständlich und Bestandteil einer zukunftsorientierten Architektur werden.

## 5. Literatur/Referenzen

- [1] [www.enev.de](http://www.enev.de)
- [2] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n 2008), [www.endk.ch](http://www.endk.ch)
- [3] IEA Joint Project: Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBs), Final Draft, IEA ECBCS Annex 52, Task 40, 2008
- [4] SIA 380/4: Elektrische Energie im Hochbau, 2006
- [5] [www.topten.ch](http://www.topten.ch)
- [6] Nipkow, J., Gasser, S.: Der typische Haushalt-Stromverbrauch. Bulletin SEV/VSE 19/2007