

AVES Pfannenstil

Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES)
Regionalgruppe Pfannenstil www.aves-zh.ch
c/o Dr. Hans R. Moning AG, Gotthardstrasse 10, 8800 Thalwil
Postkonto 80-10120-3



BULLETIN Nr. 75

November 2016

Löbliche Alternative zur Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV)

Liebe Leserin, lieber Leser

Im vorliegenden Bulletin stellen wir ein energetisch sehr interessantes Objekt vor. Es ist das erste energieautarke Mehrfamilienhaus der Welt, ein von der Umwelt Arena Spreitenbach gemeinsam mit ihren Ausstellungspartnern in Brütten erstelltes Neunfamilienhaus. Das Gebäude kommt ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz und ohne jegliche Zufuhr externer Energieträger aus.

Ein bedeutender Pluspunkt dieses Projekts: Die mit Solarpanels erzeugte elektrische Energie dient vollständig dem Eigenbedarf. Das öffentliche Stromnetz wird nicht als Batterie „missbraucht“, in die Überschussstrom zu weit über dem Marktpreis liegenden Vergütungen eingespeist und der bei Bedarf jederzeit Energie zu weit tieferen Preisen entnommen werden kann – zu Lasten der Allgemeinheit. Dezentrale Energieerzeugung mit erneuerbaren Energiequellen für den Eigenbedarf ist ein vorbildliches Konzept, das so rasch wie möglich die heute praktizierte unsinnige kostendeckende Einspeisung in das öffentliche Netz ersetzen sollte.

Mit einigen weiteren wichtigen Aspekten wird man sich anhand von detaillierten Fakten sicher noch eingehend auseinandersetzen müssen. So beispielsweise mit der Wirtschaftlichkeit. Die Baukosten des energieautarken Wohnhauses sind mit 5,3 Millionen Franken rund 18 Prozent höher diejenigen eines herkömmlichen Hauses. Zudem müssen die Unterhalts- und Erneuerungskosten einer sorgfältigen Betrachtung unterzogen werden. Denn die Lebensdauer diverser eingesetzter Elemente wie Batterien, Solarzellen, Brennstoffzellen und Wechselrichter ist begrenzt.

Wie bei jedem vielversprechenden Pilotprojekt stellt sich auch hier die Frage nach der Skalierbarkeit. Lässt sich das Konzept auf einen signifikanten Anteil der Wohnimmobilien unseres Landes expandieren? Das alleinstehende Haus in Brütten profitiert von einer bevorzugten Lage, mit guter Sonneneinstrahlung auf die mit Solarzellen versehenen Dach- und Fassadenflächen, die im Verhältnis zum Rauminhalt des Gebäudes genügend gross sind. Wie sich die Skalierbarkeit mit der immer lauter werdenden Forderung nach verdichtetem Bauen vereinbaren lässt, wird sich weisen.

Und schliesslich müssen die Bewohner eines solchen Hauses gewisse soziale und psychologische Anforderungen erfüllen. Sie bilden eine „Schicksalsgemeinschaft“ mit einem begrenzten Energiebudget, das auf die Wohneinheiten aufgeteilt wird. Auch die gemeinschaftliche Benutzung von zwei Elektroautos mit beschränktem Aktionsradius durch neun Familien erfordert Absprachen und Rücksichtnahme. Bewohner, die sich übermässig viele Freiheiten herausnehmen, könnten die Harmonie der Wohngemeinschaft empfindlich stören.

AVES Regionalgruppe Pfannenstil

Hans R. Moning

Inhalt

Erstes energieautarkes Mehrfamilienhaus der Welt

Seite 2

Erstes energieautarkes Mehrfamilienhaus der Welt

Dr. Arthur Ruh, dipl. Physiker ETH

Am 6. Juni 2016 wurde in Brütten ZH das erste energieautarke Mehrfamilienhaus der Welt eingeweiht. Dieses Neunfamilienhaus ist ein Projekt, das von der Umwelt Arena Spreitenbach¹ gemeinsam mit ihren Ausstellungspartnern realisiert wurde.

Das Gebäude verfügt über keinen Anschluss an das öffentliche Stromnetz, und dem Gebäude werden keine externen Energieträger zugeführt (also z.B. kein Heizöl, kein Erdgas, kein Holz, kein Strom). Den Bewohnern steht für ihr Leben im Haus und für ihre Mobilität ganzjährig nur so viel Energie zur Verfügung, wie das Haus produzieren und speichern kann.

Oft kann in Medienmitteilungen gelesen oder gehört werden, dass eine bestimmte Solarzellenanlage so und so viel Haushalte versorgen könne. Das ist natürlich jeweils perfekter Unsinn. Wenn es dunkel ist, kann die Anlage nicht einen einzigen Haushalt versorgen. Die von der Solarzellenanlage „versorgten“ Haushalte sind nach wie vor am öffentlichen Stromnetz angeschlossen, und das Problem der Versorgungssicherheit wird einfach auf den Netzbetreiber abgeschoben. Im Gegensatz dazu ist das energieautarke Haus in Brütten jedoch unabhängig vom Stromnetz und verfügt über einen Kurzzeit- und einen Langzeit-Speicher für den überschüssigen Solarstrom.

Wohnungen

Das Haus umfasst 7 Vierzimmerwohnungen, eine Dreieinhalbzimmerwohnung und eine Zweieinhalbzimmerwohnung. Der Mietzins für die Vierzimmerwohnungen beträgt rund 2500 Franken. [1]

Gebäudehülle

Da ein wesentlicher Anteil des gesamten Energieverbrauchs eines Gebäudes auf den Heizenergiebedarf entfällt, muss bei einem Gebäude, das energieautark sein soll, die Gebäudehülle eine möglichst gute Wärmedämmung aufweisen. Die Wärmedämmung eines Teils der Gebäudehülle wird durch seinen Wärmedurchgangskoeffizienten beschrieben. Dieser wird in W/m^2K angegeben, d.h. wie viel Watt Wärme-

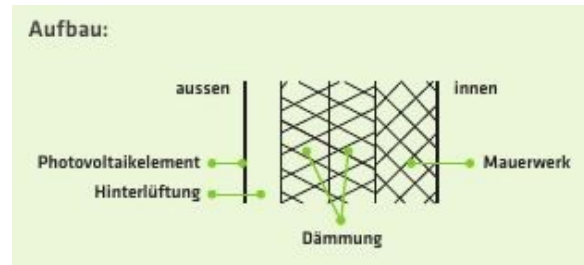
leistung geht durch einen Quadratmeter Gebäudehülle bei einem Kelvin (oder einem Grad Celsius) Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen.

Beispiel:

Wärmedurchgangskoeffizient eines Wandteils = $0.11 W/m^2K$, Temperatur innen = 20 °C , Temperatur aussen = -5 °C , Fläche = 5 m^2 .

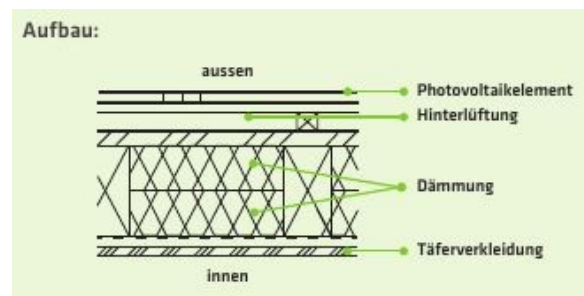
Dann gehen durch dieses Wandelement $0.11 W/m^2K \cdot 25\text{ K} \cdot 5\text{ m}^2 = 13.8\text{ W}$ verloren.

Aussenwände



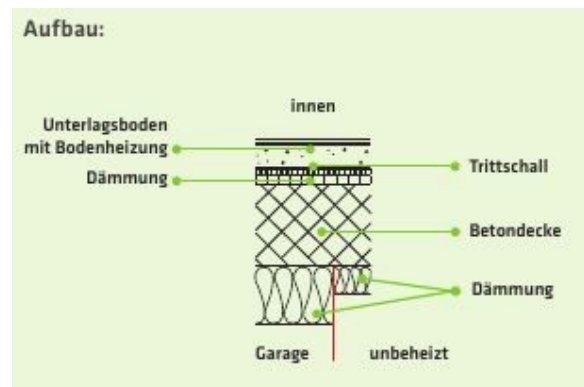
Wärmedurchgangskoeffizient: $0.11 W/m^2K$

Dach



Wärmedurchgangskoeffizient: $0.15 W/m^2K$

Kellerdecke



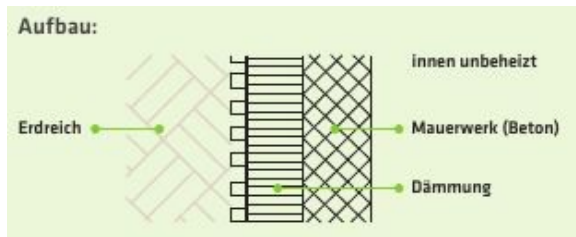
Wärmedurchgangskoeffizient

Kellerdecke gegen unbeheizt: $0.22 W/m^2W$

Kellerdecke gegen Garage: $0.14 W/m^2W$

¹ Umwelt Arena Spreitenbach AG
Türliackerstrasse 4
8957 Spreitenbach
www.umweltarena.ch

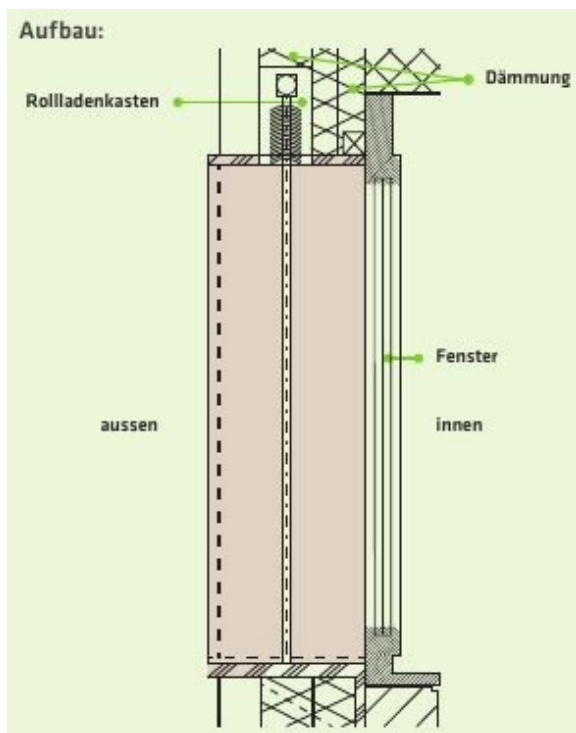
Aussenwand gegen Erdreich



Wärmedurchgangskoeffizient

Erdreich gegen unbeheizt: $0.17 \text{ W/m}^2\text{W}$

Fenster (Glas)



Wärmedurchgangskoeffizient: $0.6 \text{ W/m}^2\text{W}$

Photovoltaik-Anlage

Für die Photovoltaik-Anlage auf dem Dach werden monokristalline Solarzellen verwendet. Monokristalline Module haben einen hohen Wirkungsgrad.

An der Fassade werden Dünnschicht-Solarzellen verwendet. Dünnschichtmodule haben ein gutes Diffus- und Schwachlichtverhalten, was bei der Fassade entscheidend ist, da diese meist nur kurze Zeit einer direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Damit die Fassade nicht spiegelt, wurden die Module vor der Montage speziell behandelt.

Leistung der Zellen: 160 W/m^2

Modulfläche Dach: 512 m^2

Leistung Dach: 79.54 kW peak

Ertrag Dach: $65'000 - 75'000 \text{ kWh}$

Modulfläche Fassade: 485 m^2

Leistung Fassade: 46.96 kW peak

Ertrag Fassade: $25'000 - 30'000 \text{ kWh}$

Leistung gesamt: 126.5 kW peak

Ertrag gesamt: $90'000 - 105'000 \text{ kWh}$

Im Sommer reicht eine Stunde Sonnenschein, um den Energiebedarf der Bewohner des Hauses einen Tag lang zu decken. Mit der Energie, die während der weiteren Sonnenstunden produziert wird, können die Kurzzeit- und Langzeit-speicher geladen werden.

Kurzzeitspeicherung von Strom

Als Kurzzeitspeicher dient eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie. Wenn die Photovoltaik-Anlage momentan mehr Energie liefert, als gerade gebraucht wird, kann die überschüssige Energie in der Batterie gespeichert werden. Wenn andererseits bei schwacher Sonnenstrahlung oder nachts die PV-Anlage zu wenig oder gar keine Energie liefert, kann die Batterie während einzelnen Stunden bis zu 3 Tagen die verlangte Energie liefern.

Kapazität brutto: 192 kWh

Kapazität netto: 153 kWh

Batteriewirkungsgrad: $> 97 \%$

Systemwirkungsgrad: $> 85 \%$

Da eine Batterie durch eine Tiefentladung beschädigt wird, kann nur ein gewisser Bruchteil der gespeicherten Energie wieder abgegeben werden. Deshalb ist die praktisch nutzbare Speicherkapazität (Kapazität netto) kleiner als die theoretische Kapazität (Kapazität brutto).

Der Batteriewirkungsgrad ist das Verhältnis der abgegebenen Energie bei der Entladung zur zugeführten Energie bei der Ladung. Zu den Verlusten des Ladungs-Entladungszyklus der Batterie kommen die Verluste der Elektronik des Laderegler und des Wechselrichters hinzu. Daher ist der Systemwirkungsgrad kleiner als der Batteriewirkungsgrad.

Lithium-Eisenphosphat-Batterien haben eine niedrige Selbstentladung ($< 3 \%$ pro Monat), eine hohe Zyklen-Festigkeit ($\sim 5000 - 6000$ Zyklen) und eine hohe Lebensdauer ($\sim 10 - 15$ Jahre).

Langzeitspeicherung von Strom

Da ein Langzeitspeicher zur Deckung der Stromdefizite vor allem in den Monaten Dezember und Januar mit Hilfe einer Batterie wirtschaftlich nicht realisierbar ist, wird zur Langzeitspeicherung Wasserstoff verwendet.

Im Sommer wird mit dem überschüssigen Strom der Photovoltaik-Anlage durch Elektrolyse Wasserstoff produziert, der in zwei grossen Tanks gespeichert wird. Wenn die PV-Anlage im Winter während längerer Zeit den Strombedarf nicht decken kann, wird mit dem gespeicherten Wasserstoff mit Hilfe einer PEM-Brennstoffzelle Strom produziert.

Elektrolyseur

Für die Elektrolyse wird ein PEM-Elektrolyseur verwendet, der den Wasserstoff bei einem Druck von 30 bar erzeugt.

Leistung elektrisch: 14.5 kW

Leistung thermisch: 8 kW 35 °C

Produktion: 2 Nm³/h Wasserstoff²

Die bei der Elektrolyse entstehende (Verlust-) Wärme dient als Wärmequelle für die Wärmepumpe.

Tankanlage

Inhalt:	120 m ³
Betriebsdruck:	max. 30 bar
Fülldruck:	27.5 bar
Tank 1	
Länge:	9.2 m
Durchmesser:	2.7 m
Masse:	17 t
Inhalt:	48 m ³
Tank 2	
Länge:	113.5 m
Durchmesser:	2.7 m
Masse:	24 t
Inhalt:	72 m ³

Beide Tanks bestehen aus einem speziellen wasserstoffbeständigen Stahl mit einer mittleren Wanddicke von 2.5 cm. Aussen haben die Tanks eine Kunststoffbeschichtung aus Epoxydharz. Zusätzlich wurde ein kathodischer Korrosionsschutz installiert.

² Nm³ bedeutet Normkubikmeter. Da das Volumen eines Gases vom Druck und von der Temperatur abhängt, wird das Normvolumen angegeben, d.h. das Volumen des Gases bei 20 °C und bei 1.01325 bar.

Brennstoffzelle

PEM-Brennstoffzelle³

Leistung elektrisch: 6.2 kW

Dauerleistung: 5.6 kW

Leistung thermisch: 5.5 kW 60 °C

Der Wasserstoff wird von den Speichertanks über eine Druckreduzierstation der Brennstoffzelle bei einem Druck von 2 bar zugeführt. Der von der Brennstoffzelle erzeugte Gleichstrom wird direkt an die Batterie geliefert.

Die freiwerdende Wärme wird für die Brauchwasser-Erwärmung und für das Heizen eingesetzt.

Beleuchtung und Haushaltgeräte

Um einen energieautarken Betrieb möglich zu machen, muss nicht nur der Wärmebedarf, sondern auch der Verbrauch elektrischer Energie möglichst tief gehalten werden. Daher werden zur Beleuchtung ausnahmslos LED-Leuchtmittel⁴ eingesetzt. In den allgemeinen Räumen (Treppe, Haus, Tiefgarage usw.) sorgen entweder Bewegungssensoren oder Taster mit automatischer Ausschaltung dafür, dass die Leuchten nicht unnötig in Betrieb sind.

In den Wohnungen, in den Küchen und in den Korridoren werden LEDs eingesetzt, die bei einer Leistungsaufnahme von 8 Watt einen Lichtstrom von 500 Lumen liefern. Ihre Lichtausbeute von 63 lm/W ist somit rund 4.5 mal höher als die Lichtausbeute normaler Glühlampen, die etwa 14 lm/W beträgt. Anders ausgedrückt: Bei gleicher Lichtmenge brauchen die LED 4.5 mal weniger Energie als die normalen Glühlampen.

In der Tiefgarage, im Keller und in den Technikräumen sind LEDs mit 30 W und 3250 Lumen montiert. Mit 108 lm/W ist ihre Lichtausbeute 7.7 mal höher als diejenige normaler Glühlampen.

Für die Haushaltgeräte (Waschmaschine, Wäschetrockner, Kühl-Gefrier-Kombination, Backofen, Glaskeramik-Kochstelle, Geschirrspüler, Dunstabzughaube) wurden Geräte der jeweils höchsten Energieeffizienzklasse ausgewählt.

Wärmepumpe

Als Heizung dient eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe, die eine maximale Heizleistung von 28 kW liefert. Je nach Situation werden als Wärmequelle die Erdsonden, die Aussenluft, der Wärmespeicher oder die Abwärme der Elektrolyse und Wechselrichter verwendet.

³ Siehe Bulletin Nr. 50

⁴ LED: light emitting diode, Leuchtdiode

Vorlauftemperatur Gebäudeheizung: 28 °C
 Vorlauftemperatur Speicherladung: bis 67 °C
 Erdsonden: 2 x 338 m (11°C beim WP-Eintritt)

Thermischer Speicher

Um die im Sommer überschüssige oder leicht zu gewinnende Wärme für den Winter und das Frühjahr zu speichern, wird ein Wasserspeicher eingesetzt. Als Speicherbehälter werden zwei Stahl-Email-Tanks von je 125 m³ verwendet.

Die Wärmeabgabe oder Wärmeentnahme erfolgt im Innern der Tanks über Rippenrohre mit einer Gesamtlänge von 1300 m. Die Tanks sind oben und unten und über den ganzen Umfang mit einer 200 mm dicken Wärmedämmung aus Polystyrol Hartschaum versehen.

Wasserspeicher

Durchmesser: 6 m
 Höhe: 4.8 m
 Wasservolumen: 2 x 125 m³
 Max. Nutztemperatur: 65 °C
 Min. Speichertemperatur: 6 °C

Die Speicher sind drucklos; die Wärmeausdehnung des Wassers wird durch eine Reservehöhe der Tanks und einen Überlauf mit Syphon ermöglicht.

Wand- und Bodenheizung

Je tiefer die Vorlauftemperatur der Heizung ist, desto höher ist die Leistungszahl der Wärmepumpe. Es wurde eine relativ tiefe Vorlauftemperatur von 28 °C gewählt. Mit dieser Vorlauftemperatur reicht in einigen Räumen (ausenliegende Badezimmer und hohe Räume im Dachgeschoss) die Bodenfläche nicht aus, um mit einer Bodenheizung allein die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. In diesen Räumen wurde zusätzlich eine Wandheizung installiert.

Als Heizungsrohre werden diffusionsdichte Mehrschichtverbundrohre verwendet.

innen

Vernetztes Polyethylen
 Adhäsionsschicht
 Aluminium
 Adhäsionsschicht

Hochwärmestabilisiertes polymeres Aussenrohr
 aussen

Im Sommer kann die Wärmepumpe so betrieben werden, dass mit Hilfe der Wand- und Bodenheizungselemente die Räume gekühlt werden können. Mit der dabei von der Wärmepum-

pe abgegebenen Wärme kann die Erdsonde regeneriert werden.

Kontrollierte Lüftung

Werden zum Lüften die Fenster längere Zeit gekippt, geht viel Energie verloren. Wesentlich besser ist es, die Fenster jeweils ganz zu öffnen, aber nur einige Minuten offen zu lassen. Das verlangt aber eine gewisse Disziplin und leicht bleibt manchmal ein Fenster 30 Minuten oder länger offen. Mit einer kontrollierten Wohnungslüftung über einen Luft-Luft-Wärmetauscher können diese Probleme vermieden werden.

Im energieautarken Haus können die Fenster zwar ganz geöffnet, aber nicht gekippt werden. Im Winter wird die angesaugte Aussenluft gefiltert und über einen Luft-Luft-Wärmetauscher geführt, in dem die warme Abluft aus den Wohnungen die kalte Aussenluft aufheizt. Damit der Wärmetauscher nicht durch die Feuchtigkeit in der Abluft einfrieren kann, wird die Aussenluft wenn nötig durch einen Vorwärmer aufgeheizt. Dieser wird durch die Energie der Erdsonde oder durch die Abwärme der Batterie gespeist.

Im Sommer wird die warme Abluft direkt ins Freie geführt und der Wärmetauscher wird nicht benützt.

Die Luftverteilung erfolgt über Verteilleitungen im Keller, Steigzonen in den Wänden und Verteilleitungen im Boden. Das Leitungssystem wurde so ausgelegt, dass möglichst geringe Druckverluste entstehen. In den Wohnungen wird die Luft entsprechend der in der Abluft gemessenen Luftqualität auf die einzelnen Zimmer verteilt.

Warmwasser

Mit Hilfe von Wasserspararmaturen, Wärmerückgewinnung und effizienter Warmwassererzeugung wird der Energieverbrauch möglichst tief gehalten. Ein in den Duschboden integrierter Wärmetauscher reduziert den Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung. Damit können in einem 4-Personen-Haushalt pro Jahr bis zu 1000 kWh Wärme zurückgewonnen werden.

Statt eines konventionellen Boilers wird eine Frischwasserstation eingesetzt. Durch diese können die thermischen Speicher der Heizungsanlage optimal genutzt und die Leistung individuell an den momentanen Verbrauch angepasst werden.

Haussteuerung

Bei der Haussteuerung hat man sich in Brütten für ein System entschieden, welches in jeder Wohnung einzeln die Beleuchtung, Steckdosen und Storen steuert. Die Bedienung erfolgt wei-

terhin über Taster und Schalter wie in konventionellen Wohnungen. Diese sind allerdings nicht fest mit Verbrauchern verbunden, sondern können mit Hilfe eines Tablets auf einfache Weise verknüpft werden. Damit ist es möglich, die individuellen Bedürfnisse der Mieter umzusetzen und gleichzeitig Verknüpfungen anzulegen, welche Verbraucher vom Netz getrennt werden sollen, wenn diese nicht benötigt werden.

Zusätzlich steuert das System automatisch die Beschattung der Wohnungen, um ein Überhitzen im Sommer zu vermeiden. Im Winter werden die solaren Gewinne genutzt bzw. in der Nacht die Storen geschlossen, um Wärmeverluste zu verringern. Die Bewohner haben auch die Möglichkeit, neben den individuellen Verknüpfungen Zeitschaltprogramme für die Verbraucher anzulegen, damit diese nur dann in Betrieb sind, wenn sie auch genutzt werden. Das System verfügt über eine Konfiguration, welche von den Mietern an ihre Bedürfnisse angepasst werden kann. Dies ist möglich aufgrund einer konventionellen Verkabelung der Komponenten, mit der diese zentral oder dezentral über ein einfaches Zweidraht-Bussystem angesteuert werden.

Benutzerinformation

Die Mieter zahlen keine direkten Energiekosten für Strom und Wärme. Jede Wohnung erhält ein Energiebudget von 2200 kWh pro Jahr. Dies entspricht der Hälfte des Verbrauchs durchschnittlicher Mietwohnungen. Die Verrechnung erfolgt anschliessend nach dem Bonus-Malus-Prinzip. Der aktuelle Verbrauch und das Budget werden in einer einfachen Anwendung auf dem Tablet der Haussteuerung dargestellt. Die Mieter

wissen damit jederzeit, wo sie stehen und können auf ihren Energieverbrauch entsprechend reagieren.

Mobilität

Den Bewohnern des energieautarken Mehrfamilienhauses in Brütten stehen zwei Fahrzeuge im Carsharing zur Verfügung, ein Biogasauto und ein Elektroauto. Beide Fahrzeuge beziehen ihre Energie aus erneuerbaren Quellen.

Das Biogasauto, ein VW Erdgas-Golf TGI BlueMotion, wird mit den Küchenabfällen betrieben, welche separat gesammelt und in einer Kompogasanlage zu Biogas und Dünger verarbeitet werden.

Das Elektroauto, ein VW e-up!, wird an der hauseigenen Ladestation mit Sonnenstrom aus der Photovoltaikanlage geladen.

Baukosten

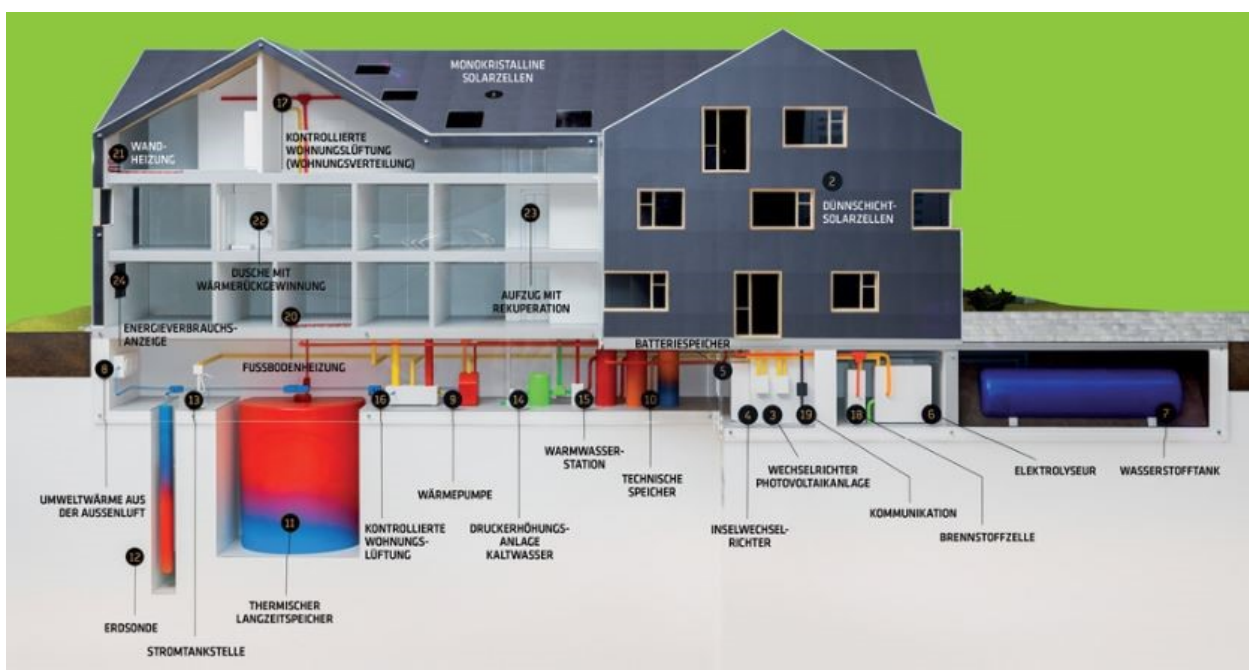
Die Baukosten betragen rund 5,3 Millionen Franken, 800'000 Franken mehr als für ein herkömmliches Haus [1].

Quellen

Umwelt Arena Spreitenbach

www.umweltarena.ch

[1] <http://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2016/06/EA-MFH-Ich-werde-es-der-Welt-erzählen-2016-06-07.pdf>





Ergänzungen und Bemerkungen

Energiespeichervermögen der Wasserstofftanks

Die Wasserstofftanks können natürlich nicht vollständig entleert werden. Sobald der Druck in den Tanks gleich dem Aussendruck von rund 1 bar ist, strömt das Gas nicht mehr aus. Damit der Wasserstoff in nutzbarer Weise ausströmt, muss der Überdruck mindestens noch etwa 2 bar betragen. Wenn die beiden Tanks mit total 120 m^3 bei 15 °C bis zu einem Überdruck von 27.5 bar gefüllt und bis zu einem Überdruck von 2 bar entleert werden, können 258 kg Wasserstoff gespeichert werden.

Da der Brennwert von Wasserstoff 141.8 MJ/kg beträgt, können in den Wasserstofftanks somit $3.66 \cdot 10^{10}$ Joule gespeichert werden. Wenn die Brennstoffzelle mit einem Wirkungsgrad von 50 % arbeitet, kann sie mit der in den Wasserstofftanks gespeicherten Energie total 5080 kWh elektrische Energie liefern.

Pro Familie stehen also nur 565 kWh gespeicherte elektrische Energie zur Verfügung.

Biogasauto

Das Erdgas-Auto VW Golf TGI BlueMotion hat 2 Erdgastanks mit einem Fassungsvermögen von

total 15 kg Erdgas und einen Benzintank mit einem Fassungsvermögen von 50 Liter. Bei einem Verbrauch von 3.5 kg Erdgas auf 100 km ergibt sich die angegebene Reichweite von 420 km bei Betrieb mit Erdgas.

Erdgas besteht zu 75 bis 99 % aus Methan, zu 1 bis 15 % aus Ethan und zu 1 bis 10 % aus Propan, Butan, Ethylen und Pentanen. Es hat einen Brennwert von rund 40 MJ/m^3 . Biogas enthält hingegen in Abhängigkeit von der Betriebsweise des Faulbehälters und der Zusammensetzung der verwendeten Biomasse nur etwa 50 bis 70 % Methan. Die übrigen Gasanteile, Kohlendioxid, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff und Ammoniak tragen mit Ausnahme des Wasserstoffs nichts zum Brennwert bei.

Biogas mit einem typischen Methananteil von rund 60 % Methan hat daher nur einen Brennwert von etwa 24 MJ/m^3 . Der Verbrauch des Erdgas-Autos bei Biogas-Betrieb ist deshalb 5.8 kg auf 100 km und die Reichweite beträgt nur 250 km statt 420 km bei Erdgas-Betrieb.

Pro Person ergeben sich etwa 60 kg Küchenabfälle pro Jahr [2]. Von 30 Personen⁵ können somit 1800 kg Biomasse pro Jahr erwartet werden.

⁵ Annahme: Die 7 Vierzimmerwohnungen sind von je 4 Personen, die Dreieinhalbzimmerwohnung von 2 Personen und die Zweieinhalbzimmerwohnung von 1 Person bewohnt.

Bioabfälle von Haushalten liefern etwa 0.1 m^3 Biogas pro kg Biomasse [3]. Das energieautarke Mehrfamilienhaus produziert folglich 180 m^3 Biogas pro Jahr. Da die Dichte von Biogas rund 1.2 kg/m^3 beträgt, sind das 216 kg Biogas. Bei einem Verbrauch von 5.8 kg/100 km ergibt sich eine Fahrstrecke von 3724 km.

Pro Wohnung können mit dem Biogas-Auto also gerade mal 414 km im Jahr „energieautark“ gefahren werden.

Die Feststellung „Die Menge an Grüngut und Küchenabfällen, welche von Axpo-Kompogas AG verarbeitet wird, reicht für ca. $10'000 \text{ km}^2$ “ [4] nimmt eine 2.7mal grössere Fahrstrecke an. Dazu müssten die Grünabfälle 1.7mal mehr Biomasse liefern als die Küchenabfälle.

Elektroauto

Das Elektroauto VW e-up! hat einen Lithium-Ionen-Akku mit einer Masse von 230 kg und einer Kapazität von netto 18.7 kWh. Mit dieser Batterieladung kann das Auto 120 km zurücklegen [5].

Wenn von der mit dem Wasserstoffspeicher zur Verfügung stehenden elektrischen Energie nur etwa 5 % für das Elektroauto verwendet werden sollen, ergibt das 254 kWh und damit eine totale Fahrstrecke von rund 1630 km. Während der sonnenscheinarmen Zeit steht also pro Wohnung eine Fahrstrecke von 181 km zur Verfügung.

Bevorzugte Lage

Das energieautarke Mehrfamilienhaus profitiert von einer bevorzugten Lage. Einerseits ist es freistehend und andererseits liegt Brütten über der Nebelgrenze [6]. In dichten Überbauungen mit mehrstöckigen Mehrfamilienhäusern, die sich gegenseitig beschatten, dürfte Energieautarkie schwierig zu erreichen sein. Grosse Wohnblöcke haben auch nicht genügend Fassaden- und Dachflächen für Solarzellen, um die grosse Zahl ihrer Wohnungen zu versorgen. Nur ein kleiner Teil der Bevölkerung wird das Privileg haben, in energieautarken Häusern wohnen zu können.

Unterhalts- und Erneuerungskosten

Zwar stellt die Sonne keine Rechnung, wie oft betont wird, aber zu den hohen Investitionskosten kommen beträchtliche Unterhalts- und Erneuerungskosten hinzu.

Nach 10 bis 15 Jahren muss die Batterie ersetzt werden, und auch die Brennstoffzelle hat eine begrenzte Lebensdauer.

Mit zunehmender Betriebsdauer nimmt die Leistung der Solarzellen ab. Nach 10 Jahren kann nur noch mit etwa 90 % der installierten Leistung gerechnet werden und nach 20 Jahren mit etwa 80 %.

Die Lebensdauer von Wechselrichtern wird auf etwa 10 Jahre geschätzt.

Ob die anfallenden Unterhalts- und Erneuerungskosten mit den zur Zeit verlangten Mietzinsen gedeckt werden können, erscheint fraglich.

Das Problem der Stromversorgung bleibt ungelöst

Wenn die schweizerischen Kernkraftwerke stillgelegt werden, fallen 40 % der Stromproduktion weg. Im Jahr 2015 betrug der Stromverbrauch der Haushalte 32 % des gesamten Stromverbrauchs [7]. Selbst wenn alle Wohnlagen für den Bau energieautarker Häuser geeignet wären, könnte eine Energieautarkie aller Haushalte nicht vor dem Jahr 2100 erreicht werden, da der Erneuerungszyklus von Wohngebäuden mindestens 80 Jahre oder mehr beträgt. Bis dahin hat aber der Stromverbrauch infolge des ungebremsten Bevölkerungswachstums (durch Zuwanderung) noch weiter zugenommen.

Industrie, Gewerbe, Verkehr und Dienstleistungen sind auf eine zuverlässige und unterbrechungsfreie Stromversorgung angewiesen. Für den Ausgleich der stark fluktuierenden Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen und Windräder müssen daher Energiespeicher zur Verfügung stehen. Im Bereich von $100'000 \text{ MWh}$ bis $1'000'000 \text{ MWh}$ sind aber Batterien oder Wasserstoffspeicher technisch und finanziell kaum noch realisierbar (siehe auch Bulletin Nr. 68).

Quellen

[2] <http://www.energieschweiz.ch/de-ch/utilities/ueber-energieschweiz/news/2015/wenn-zwiebelschalen-vollgas-geben.aspx>

[3] <http://www.iwb-blog.ch/biomasse-garten-und-kuchenabfalle-werden-zu-umweltfreundlicher-heizenergie/>
http://www.allschwil.ch/de/verwaltung/dokumente/dokument_e/Bio-FLyer_1349880279.pdf

http://www.bio-power.ch/files/4GQ89DX/biogasertrag_und_co2_anteil.pdf

[4] http://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2016/02/energieautarkes_MFH.pdf

[5] <http://www.auto-motor-und-sport.de/einzeltests/vw-e-up-test-7897480.html>

[6] <http://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2016/06/EA-MFH-Einweihung-2016-06-07.pdf>

[7] <http://www.bfe.admin.ch/dossiers/00867/index.html?lang=de>