

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
BRENNSTOFFZELLEN

HZwei



→ BESONDERER BEDARF BEI
BRENNSTOFFZELLENBUSSEN

→ IN DER POLITIK WÄCHST DAS
INTERESSE AN POWER-TO-GAS



EIN PIONIER GEHT VOM NETZ

Zu Besuch bei Hans-Olof Nilsson in Schweden



Abb. 1: Seit März 2015 wird das drei Stockwerke hohe Haus vollständig netzunabhängig mit Solarstrom und Wasserstoff versorgt

Hans-Olof Nilsson ist ein schwedischer Ingenieur für Elektrotechnik. Bis vor einigen Jahren arbeitete er in der Telekommunikationsbranche. Heute ist er als Berater für erneuerbare Energien mit dem Schwerpunkt auf netzunabhängigen Solarenergie- und Wasserstoffspeicherlösungen tätig. Nilsson hat es geschafft, mit seinem Haus komplett vom Netz zu gehen und die Sommersonne in Form von Wasserstoff zu speichern, um sie auch im kalten schwedischen Winter nutzen zu können. Bei einem Besuch in seiner erstaunlichen 500 Quadratmeter großen, energieautarken Villa – nur zehn Kilometer von Göteborg entfernt – gewährte er mir freundlicherweise ein paar Einblicke in sein außergewöhnliches Energieversorgungssystem.

Als ich mit Herrn Nilsson den Rundgang um das Haus beginne, wird schnell klar, dass es sich hier um ein komplexes und langwieriges Projekt handelt, das sich in einem kontinuierlichen Weiterentwicklungsprozess befindet. Das Haus selbst, das sich jetzt seit fast fünf Jahren im Bau befindet, ist



Abb. 2: Hans-Olof Nilsson ist heute technischer Direktor der Energieberatungsfirma Nilsson Energy AB, die er 2017 mit Partnern gründete

zwar inzwischen im Wesentlichen fertig, auch wenn einige der technischen Installationen noch in naher Zukunft aktualisiert werden sollen. Aber auf der Ostseite des Hauses ist noch Baustelle. Dort soll ein Carport aufgestellt werden. Und das freie Gelände drumherum muss eingeebnet und mit Gras bedeckt werden – mit Ausnahme der Einfahrten und der Parkplätze natürlich.

Am Haus angelangt weist mich der stolze Eigenheimbesitzer auf die Außenwände, die mit Keramikfliesen des deutschen Herstellers Tonality verkleidet sind, hin. Die Fliesen sind auf vertikalen Metallschienen montiert und lassen dem darunter liegenden Dämmmaterial etwa einen Zentimeter Platz, was für eine gute Belüftung und die Vermeidung von Feuchtigkeitsansammlungen in der Konstruktion sorgt. Als ich die Fliesen anfasse, fühlen sie sich trotz der Kraft der Mittagssonne überraschend kühl an. Das ist kein Zufall – wie nichts bei diesem Haus. Nilsson entschied sich für diese Konstruktion, weil sie im Sommer eine hervorragende Belüftung sowie Wärmeabweisung bietet und somit den Kühlbedarf im Innenbereich reduziert. Dabei ist dieser Klimaschutzschild nahezu wartungsfrei und bietet gleichzeitig ausreichend Freiraum für die Kabel der Außeninstallationen wie Lampen oder Kameras.

EIN GROSSER, SIEBEN METER HOHER RAUM Als wir das Haus betreten – es besteht fast nur aus einem großen, offenen Raum – sitzt Frau Nilsson an ihrem Arbeitstisch auf dem Balkon im zweiten Stock. Sie ist die Architektin und hat den Grundriss sowie den gesamten Aufbau des Hauses entworfen. Das Wohnzimmer ist rund sieben Meter hoch und reicht bis zu einer abgewinkelten Decke, an der große, langsam rotierende Ventilatoren für eine gleichmäßige und angenehme Temperatur in dem riesigen Raum sorgen.

Sofort poppen zahlreiche Fragen auf, wenn man die Größe dieses Raums und damit auch die Größe des Projekts von Ehepaar Nilsson zu erfassen versucht, wobei die offensichtlichste ist: Wie viele und welche Art von Installationen sind erforderlich, um ein Haus dieser Größe abseits des öffentlichen Netzes zu versorgen? Und wie viel kostet es, vom Netz zu gehen? Herr Nilsson hat auf alles Antworten parat:

„Ein typisches Hochhaus in Schweden kostet durchschnittlich 32.000 Schwedische Kronen pro Quadratmeter (3.000 Euro). Unser Haus kostet insgesamt 15 Mio. SEK (1,4 Mio. Euro) und verfügt über 500 Quadratmeter, liegt also bei 30.000 SEK pro Quadratmeter (2.830 Euro)“, rechnet er vor.

Das ist ein beeindruckend niedriger Betrag, wenn man bedenkt, welche hochwertigen Materialien überall verwendet werden, plus PV- und Thermopaneelen sowie einer beträchtlichen Anzahl von Steuergeräten, Wechselrichtern, Tanks usw. (s. unten). Fast alle Komponenten und Geräte sind miteinander durch Kabel oder Rohre oder beides verbunden – insgesamt 15 Kilometer Rohre und 150 Kilometer elektrische Leitungen. Alle Schalter und Steckdosen im Haus gehen an eine zentrale Schalttafel im Untergeschoss (insgesamt gibt es sieben im Haus) und können über das KNX-System zur Gebäudeautomatisierung individuell programmiert und überwacht werden.



Abb. 3: Ladegeräte und Wechselrichter (gelb) auf der einen Seite ...



Abb. 4: ... und Akkumulatoren auf der anderen Seite der Wand

Wir gehen weiter zur Tiefgarage, die 55 Quadratmeter des Erdgeschosses einnimmt. Hier wird ein BMW i3 geparkt und geladen. Mit dem i3 und dem Renault Zoe verfügen Herr und Frau Nilsson über zwei Elektroautos fürs tägliche Pendeln und für Besorgungen. Das Haus produziert ausreichend Strom, um beide E-Autos täglich aufladen zu können. Außerdem haben die beiden aber noch einen Volvo mit konventionellem Verbrennungsmotor für lange Fahrten. Herr Nilsson plant jedoch, ihn demnächst durch ein Brennstoffzellenmodell, einen Toyota Mirai, zu ersetzen.

In der Garage befindet sich eine Wendeltreppe zum Untergeschoss, dem Herzstück des Hausenergiesystems. Jetzt wird es ein wenig technischer und wir starten eine spannende Reise durch den Kontroll- und Produktionsraum dieses Inselenergiesystems:

DAS ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM Die Energiezentrale, in die der Photovoltaikstrom eingespeist wird, unterteilt sich in das Akkuladesystem, die Wasserelektrolyse und das interne Stromnetz des Hauses. Die gelben Kästen (s. Abb. 3) sind kombinierte Wechselrichter und Ladegeräte. Sie sorgen für die Aufladung der Akkumulatoren (s. Abb. 4), wenn überschüssige PV-Leistung zur Verfügung steht, oder liefern Wechselstrom zurück ins Hausnetz. Sie ziehen also Strom aus den Akkus, wenn keine Solarenergie geliefert wird. Jede dieser gelben Boxen kann mit bis zu 8 kW_{effekt} versorgt werden.

Die grauen Kästen (je 12 kW) oben rechts sind reine Wechselrichter (keine Ladegeräte), die den unmittelbaren Wechselstrombedarf des Hauses abdecken. Wenn ausreichend Solarenergie verfügbar ist, wird der Überschuss an die gelben Kästen, die die Akkus aufladen, weitergeleitet. Jeder graue Wechselrichter bezieht sich auf drei der gelben Kästen und ist redundant aufgebaut. Auf diese Weise arbeiten beide Wechselrichter unabhängig voneinander und versorgen das Haus stets mit ausreichend Energie. Die rote Box ist ein 3-kW-Wechselrichter für die Fassaden-PV-Paneele, die direkt in Phase 2 des dreiphasigen AC-Systems des Hausnetzes einspeist.

Die Stromspeicher (Typ: Bleisilizium, Kapazität: 144 kWh) sind ausreichend für den Betrieb des Hauses für fünf volle Tage inklusive Wärme, allerdings ohne Elektroaufladung. Wenn die Zellen zu 85 Prozent geladen sind, wird der Strom aus der Solaranlage zu dem Wasserelektrolyseur zur H₂-Erzeugung umgeleitet. Sinkt der Ladezustand der

Akkus unter 30 Prozent, beispielsweise nach ein paar trüben Tagen mit geringer PV-Produktion, wird Wasserstoff von einer Brennstoffzelle zum Nachladen beige-steuert. Die verwendeten Bleisilizium-Akkus sind versiegelt und bauen keine gefährlichen Gase oder schädliche Beschichtungen auf den Zellen auf, wie es mitunter bei herkömmlichen Blei-Akkus der Fall ist.

Als ehemaliger Eigentümer eines Kälteversorgungsunternehmens für mobile Anwendungen versteht Hans-Olof Nilsson genug von Klempnerei, um alle Schläuche, Anschlüsse, Ventile usw. selbst anzuschließen. Qualität und Detailgenauigkeit des Systems sind dennoch beeindruckend.

23

PRODUKTION, SPEICHERUNG UND H₂-VERBRAUCH Im Jahr 2018 wurde der bis dahin verwendete Prototyp des alkalischen Elektrolyseurs durch einen neuen und effizienteren PEM-Elektrolyseur, den HyProvide P1 des dänischen Herstellers GreenHydrogen, ersetzt. Das neue Gerät produziert 2 Nm³ Wasserstoff pro Stunde. Für die H₂-Herstellung werden 5,5 kWh Strom und ein Liter deionisiertes Wasser pro Normkubikmeter benötigt. Der Energiegehalt (Brennwert) von 1 Nm³ Wasserstoff beträgt 3,3 kWh. Bei der Rückreaktion in der Brennstoffzelle können aus einem Normkubikmeter Wasserstoff rund 1,5 kWh Strom und 1,5 kWh thermische Energie erzeugt werden.

Die jährliche H₂-Produktion liegt bei rund 3.000 Nm³. Das Haus selbst verbraucht etwa 2.200 Nm³ zur Strom- und Wärmeerzeugung. Weitere 800 bis 1.000 Nm³ sind dann übrig. Die will Herr Nilsson zukünftig als Kraftstoff für ein Toyota-Mirai-Brennstoffzellenauto verwenden. Mit dieser Wasserstoffmenge könnte der Mirai rund 10.000 Kilometer fahren. Reiner Sauerstoff, der auch bei der Elektrolyse entsteht, macht etwa die Hälfte der Wasserstoffmenge aus und wird derzeit an die Außenluft abgegeben, könnte aber auch der Lüftungsanlage zugeführt werden, wenn man dies wünscht, und trüge so zu einem sauerstoffreicheren Raumklima bei.

Erst kürzlich wurde ein neuer und effizienterer thermischer Metallhydridverdichter der norwegischen Firma Hystorsys installiert. Er hat keine beweglichen Teile und arbeitet durch Temperaturdifferenzierung. Er verbraucht etwa 0,5 kWh für die Verdichtung des Wasserstoffs auf 300 bar. >>



Abb. 5: PEM-Elektrolyseur (l. im Unterschrank) und einer von drei 1.000-L-Warmwasserspeichern (M.)



Abb. 6: Kompressor von Hystorsys

Ähnlich wie der Elektrolyseur wurde auch das bisherige Brennstoffzellensystem, ein Prototyp, durch ein kommerzielles Produkt ersetzt: das PS-5 des schwedischen Produzenten PowerCell. Neben Strom erzeugt die Brennstoffzelle 65 bis 70 °C warmes Wasser, das in das bestehende Warmwassersystem zur Raumheizung und Warmwasserversorgung eingespeist wird. Die PS-5 erzeugt bis zu 5 kW elektrische und 5 kW thermische Leistung.

Die Wasserstoffspeicher befinden sich außerhalb des Hauses. Hierbei handelt es sich um miteinander verbundene Hochdruckflaschen mit insgesamt zwölf physikalischen Kubikmetern Speicherplatz, die bei einer Verdichtung auf 300 bar etwa 3.600 Nm³ Wasserstoff aufnehmen können. Das ist mehr als ausreichend, um den Energiebedarf des Hauses sowie Wasserstoff für ein geplantes Brennstoffzellenauto abzudecken.

CONTROLLING UND MONITORING Die Regelung all dieser Anlagen erfolgt über die Hauptschalttafel. Hier kann Hans-Olof Nilsson alle Schalter und Netzstecker des Hauses steuern und programmieren. Hierfür wurden KNX-Produkte eingesetzt, um intelligente integrierte Gebäudeleittechnik-Lösungen für das Haus nutzen zu können. Im Fehlerfall schaltet das System in das bereits erwähnte redundante Wechselrichtersystem. Es gibt 67 permanente Energiemonitore, die den gesamten Stromverbrauch protokollieren, sowie 14 Kamstrup-Monitore, die kontinuierlich Daten aus dem Wasser- und Heizungssystem des Hauses erfassen. Zudem werden zehn verschiedene Parameter von der Wetterstation auf dem Dach protokolliert. Der Hausherr sammelt all diese Daten zur Simulation von Energieströmen und Verbrauchsmustern in Energieverbrauchsprognosen und Energiekonzepten.

Darüber hinaus ist ein AC-Netzqualitätsüberwachungssystem bei der Technischen Universität Luleå online. Die Ingenieurwissenschaftler der Hochschule sind sehr interessiert an der Leistungsfähigkeit und Qualität eines netzfernen Systems, wie Ehepaar Nilsson es betreibt. Diese Partnerschaft ist für beide Seiten von Vorteil, da die Forscher Herrn Nilsson jedes Mal kontaktieren, wenn Unregelmäßigkeiten oder ungewöhnliche Produktions-/Konsummuster auftreten. Dann wollen sie wissen, ob er etwas Ungewöhnliches getan hat, wie zum Beispiel zwei Autos gleichzeitig laden, während er Staub saugt, Kleidung oder Geschirr wäscht und das System potenziell belastet.

Die Forscher überwachen die PV-Produktion, den gesamten Hausverbrauch, die AC-Hertzrate, die Wechselspannung und viele andere Parameter. Neben der Beurteilung der Auswirkungen von Schwankungen in Produktion, Verbrauch und AC-Qualität hilft das Monitoring zu ermitteln, wie das System den Wechsel zwischen dem reinen PV-Betrieb an Sommertagen, während der Nacht oder bei trübem Wetter mit Batterien und in der Winterzeit mit Wasserstoff handhabt.

KLIMATISIERUNG UND WASSERVERSORGUNG An die Zentralheizung des Hauses sind unter anderem auch drei 1.000-Liter-Tanks angeschlossen, die 35 °C warmes Wasser für ein Schnee- und Eisschmelzsystem im Freien unter der gepflasterten Einfahrt und dem Hof speichern. Kunststoffrohre sind dort großflächig, 10 cm unter dem Pflasterbelag, verlegt. Sobald das warme Wasser zirkuliert, erwärmt es die Oberfläche und bringt im Winter Eis und Schnee zum Schmelzen, wobei das System lediglich bei Bedarf und nur für kurze Zeit eingeschaltet werden muss.



Abb. 7: Die Brennstoffzelle im Power-Rack

Ergänzend gibt es zwei 400-Liter-Tanks, die 50 °C warmes Wasser für den Haushalt enthalten. Einer davon sichert lediglich die Redundanz bei Ausfall wie Leckagen oder bei außergewöhnlicher Nutzung von warmem Leitungswasser im Haus ab. Beide werden einmal wöchentlich auf 65 °C erwärmt, um mögliche Legionellen zu beseitigen.

Als zentrale Wärmequelle ist eine 13 kW leistende geothermische Viessmann-Wärmepumpe installiert, die ihre Energie aus zwei 180 m tiefen Geothermiebohrungen gewinnt. Die Wärmepumpe liefert die Energie für Raumheizung (Fußbodenheizung) und Warmwasser, wenn die Wärme der Brennstoffzelle von November bis Februar nicht ausreicht. Andersherum kann die Installation aber auch zur Kühlung dienen, indem im Sommer mittels Wärmetauscher Kälte aus dem Rohrsystem genutzt wird. Die Bodentemperatur beträgt das ganze Jahr über 6 bis 7 °C. Zusätzlich wird die Wärme der abgeführten Raumluft an die einströmende Außenluft übergeben, um so potentielle Energieverluste zu minimieren.

Darüber hinaus existiert noch ein Reserve-Trinkwasserbehälter mit 500 Litern Fassungsvermögen nebst Wasseraufbereiter. Bei Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung steht dem Haushalt somit für drei Tage Wasser zur Verfügung, >>

NILSSON ENERGY AB

Das Unternehmen von Hans-Olof Nilsson ist spezialisiert auf solarbetriebene netzferne Energielösungen für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser mit Druckwasserstoff als Langzeit-Energiespeicher kombiniert mit Batteriespeichern als Kurzzeitspeicher.

25

AREVA H₂Gen

We make it happen

SAFETY



Product line from 5 to 200 Nm³/h

All in one platform



RELIABILITY



H₂ INDUSTRY

H₂ ENERGY

PEM ELECTROLYSERS

Today's flexible, cost effective technology

Multi MW Hydrogen production solutions using PEM Electrolysis technology



EFFICIENCY



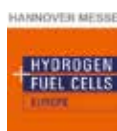
SIMPLICITY



Besuchen Sie uns !
Wir freuen uns auf interessante Gespräche mit Ihnen !



www.arevah2gen.com



April 1-5, 2019
Hall 27 - Stand C53





FAZIT Ich finde es sehr beeindruckend, was Herr Nilsson, seine Frau und die Projektpartner geschaffen haben. Es wurde ein erstaunliches Haus gebaut, und es ist mehr als bewiesen, dass Netzunabhängigkeit heute auch in einem kalten gemäßigten Klima wie an der schwedischen Westküste möglich ist. ||

Energiespeicherung		
15.000 kWh Solarenergie werden per Elektrolyse in 3.000 Nm³ Wasserstoff umgewandelt.	Davon werden 2.200 Nm³ im Winter für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt.	800 Nm³ werden für das geplante Brennstoffzellenauto gespeichert.

HZwei 02 | APRIL 2019