



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ENERGIE IM GEBÄUDE ONLINE (EGON) VORPHASE

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Sandra Stettler, Enecolo AG

Lindhofstrasse 52, sandra.stettler@enecolo.ch, www.enecolo.ch

Peter Toggweiler, Enecolo AG

Lindhofstrasse 52, peter.toggweiler@enecolo.ch, www.enecolo.ch

Impressum

Datum: 07. Dezember 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	1
1. Ausgangslage	2
2. Ziel der Arbeit	3
3. Methode	3
Messkonzept	3
Datenanalyse	4
4. Ergebnisse	5
Messkonzept	5
Datenübertragung	9
Datenanalyse	12
Berechnungsverfahren	14
5. Diskussion	23
Messkonzept	23
Datenanalyse	23
6. Schlussfolgerungen	24
Referenzen	24

Zusammenfassung

Der Energieverbrauch eines Gebäudes ist in den wenigsten Fällen bekannt. Und wenn, dann wird er rechnerisch ermittelt. Um z.B. die Qualität von Bauarbeiten zu überprüfen wären aber Messwerte notwendig. In dieser Studie wurde untersucht, ob eine kostengünstige und aussagekräftige Messung des Energieverbrauchs möglich ist.

Als Grundkonzept wurde angenommen, dass nur der Heizenergieverbrauch gemessen wird. Die Aussentemperatur wird aus Satellitendaten und Wettermodellen bestimmt. Alle Daten werden auf einem zentralen Server ausgewertet. Ein solcher Server inkl. Temperaturbestimmung ist bereits realisiert (www.spyce.ch). In dieser Arbeit wurden verschiedene Methoden zur Messung und Datenauswertung evaluiert.

Der Datenlogger Barionet mit Temperatursensoren erwies sich als kostengünstigstes Messkonzept, das ab CHF 600.- realisiert werden kann. Aus den Temperaturverläufen am Vor- und Rücklauf wird die Betriebsdauer der Heizung abgeschätzt und die Daten über eine LAN-Verbindung an den zentralen Server übermittelt.

Mit Klimadaten aus Meteonorm wurden fiktive Messdaten hergeleitet. Eine Regressionsanalyse der „Messdaten“ zeigte, dass der jährliche Energieverbrauch bereits nach wenigen Tagen „Messzeit“ mit einer Toleranz von weniger als 10% bestimmt werden konnte. Die Trägheit des Gebäudes und der Heizung hatten einen grossen Einfluss auf die notwendige Messzeit. Deshalb sind Messungen an realen Gebäuden notwendig, um zu bestimmen ob diese Methode auch in der Praxis anwendbar ist.

Abstract

Energy standards for buildings usually base only on theoretical calculations. Measurements would be useful to check the quality of building work. In this study a concept for a low cost measurement method was developed and its feasibility investigated.

As measurement concept we assumed that on site only the energy consumption for heating is measured. Temperature and irradiance data for the given site are automatically determined, using satellite

pictures and weather models. Because a central server which calculates such data is already realised (www.spyce.ch), the focus of this study was data measurement and analysis.

As a very promising measurement method resulted the determination of the operation period of the burner pump by measuring the temperature of the flow line. With the data logger Barionet measurement data is transmitted via LAN-connection to the central server. This solution can be realised as of CHF 600.-, depending on the situation on site.

A fictive set of measurement data was calculated with climatologic data from Meteonorm. Using a regression analysis the yearly energy consumption could be prognosticated with less than 10% tolerance with a fictive data set of a few days. Inertia of the building and the heating system seems to have a strong influence on the necessary measurement time. Therefore measurement data from real buildings would be necessary to determine if linear regression is really an appropriate and robust method.

1. Ausgangslage

Bei der Sanierung von Gebäuden und beim Neubau werden Energiestandards aufgrund der eingesetzten Materialien und Dämmstärken berechnet. Eine Überprüfung dieser Werte durch konkrete Messungen findet allerdings nicht statt. So kommt es, dass bei weniger als 1% der in der Schweiz gebauten Häuser der reell erreichte Energiestandard bekannt ist. Besonders die Eigentümer eines Neubaus oder sanierten Gebäudes sollten aber ein Interesse daran haben, den tatsächlichen Energiestandard ihres Gebäudes zu messen. Nur so können allfällige Baumängel entdeckt und geltend gemacht werden.

Trotzdem wurden Messungen der Energiekennzahl bisher nur zu Forschungszwecken an einzelnen Objekten durchgeführt. Das liegt daran, dass es schwierig ist, den Energiestandard eines Gebäudes mit Messungen zu bestimmen. Einerseits müssen zusätzlich zum Energieverbrauch auch die Einstrahlung und die Aussentemperatur gemessen werden, da der Energieverbrauch von diesen Faktoren abhängt. Diese Messungen können nur mit einem hohen Installationsaufwand realisiert werden, die Sensoren sind teuer und müssen gewartet werden um zuverlässige Resultate zu bringen. Weiter kommt erschwerend dazu, dass das Benutzerverhalten (Lüften, Warmwasserverbrauch) ebenfalls einen starken Einfluss auf die Energiekennzahl hat, aber nur schwer gemessen werden kann.

Zur Bestimmung der realen Energiekennzahl eines Gebäudes mit geringem Aufwand wurde nun ein neuer Ansatz vorgeschlagen. Dabei wird die Einstrahlung und Aussentemperatur anstatt mit Messgeräten aus Wettermodellen und Satellitenbildern bestimmt. Im Gebäude selbst muss somit nur noch der Energieverbrauch gemessen werden. Dieser wird an einen zentralen Server übermittelt und dort gemeinsam mit den Wetterdaten automatisiert ausgewertet. Die Resultate werden auf einer passwortgeschützten Homepage im Internet einfach verständlich und jederzeit abrufbar dargestellt (siehe Figur 1).

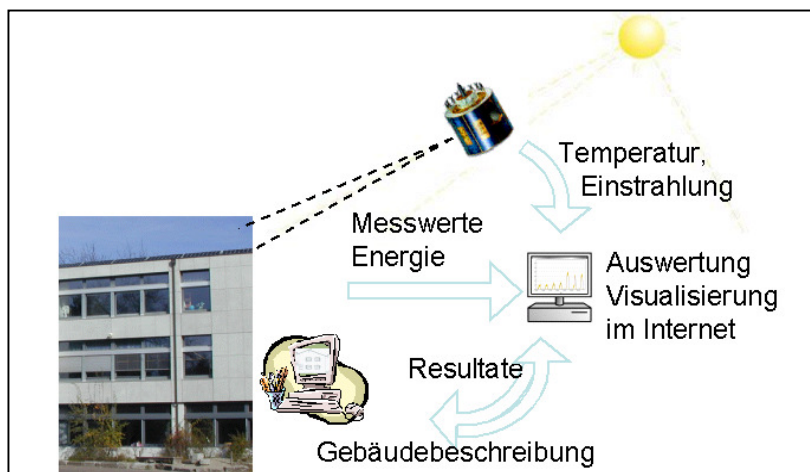


Fig. 1: Prinzipschema von Egon (Quelle: Enecolo AG)

2. Ziel der Arbeit

Ziel ist es, ein Mess- und Auswertekonzept zu entwerfen, das als Standard bei Neubauten und Sanierungen eingesetzt werden könnte, um die Energiekennzahl innerhalb weniger Wochen zu bestimmen. In diesem Vorprojekt soll abgeklärt werden, ob die Bestimmung der effektiven Energiekennzahl eines Gebäudes innerhalb von wenigen Wochen und mit einem Endkundenpreis von weniger als CHF 1000.- möglich ist.

3. Methode

Damit Egon funktionstüchtig ist, sind folgende Schritte notwendig:

1. Messung der Energieflüsse (Heizenergie und Strom) vor Ort. Die Messdaten werden von einem Low-Cost Datenlogger gesammelt und in regelmässigen Abständen an einen zentralen Server (Standort Meteotest, Bern) geschickt.
2. Bestimmung der Aussentemperatur und Sonneneinstrahlung am Gebäudestandort mit Hilfe von Satellitendaten und Wettersimulationsmodellen in stündlicher Auflösung. Dies geschieht völlig automatisch auf dem zentralen Server. Die Installation von Messgeräten zur Erfassung der Meteodaten ist nicht notwendig.
3. Auswertung: Der gemessene Heizenergieverbrauch wird mit den Temperatur- und Einstrahlungswerten verglichen und ausgewertet.
4. Visualisierung: Alle Messdaten sowie die Auswertungen werden in einem passwortgeschützten Bereich im Internet visualisiert. Das selbe Internetportal dient auch als Eingabeschchnittstelle zum Kunden. Er hat dort die Möglichkeit, eine energetische Beschreibung seines Gebäudes zu hinterlegen.

In dieser Vorstudie werden nur die Schritte 1 (Messung) und 3 (Auswertung) untersucht. Einen wichtigen Beitrag zu dieser Vorstudie leistete der Betreuer des Projekts Egon von Seiten des BFE, Herr Charles Filleux. Neben seinem Input waren auch die intensiven Diskussionen mit der Begleitgruppe von Egon, bestehend aus Marco Berg, Thomas Nordmann und Charles Weinmann wichtig für das Gelingen des Projekts. Ausserdem wurde mit verschiedenen Firmen im Bereich Messtechnik und Heizung Kontakt aufgenommen. Fragen zur Genauigkeit der Wetterprognosemodelle hat Jan Remund von Meteotest [31] beantwortet.

Die Schritte 2 (Meteodaten) und 4 (Visualisierung) sind in sehr ähnlicher Weise bereits im Web-Service SPYCE zur Überwachung von Photovoltaik-Anlagen realisiert (www.spyce.ch). In SPYCE werden die Einstrahlung und die Aussentemperatur in stündlicher Auflösung für jede überwachte Photovoltaik-Anlage aus Satellitendaten und Wetterprognosemodellen berechnet. Die Daten werden analysiert und auf dem Internetportal von SPYCE visualisiert. Die Kunden können über eine passwortgeschützte Homepage auf die Daten zugreifen. SPYCE hat einen Endkundenpreis ab CHF 75.- jährlich. Die Machbarkeit der Schritte 2 und 4 ist somit gegeben und wird nicht weiter abgeklärt.

MESSKONZEPT

In einem ersten Schritt werden die Anforderungen an das Messkonzept definiert. Darin sollen folgende Punkte abgeklärt werden:

- Heizsysteme (mit welchen Heizsystemen soll Egon kompatibel sein?)
- Messdaten (Art, Zeitintervall)
- Datenübertragung (Übertragungsart, Zeitintervall)
- Preis
- Kosten für Hardware
- Installationskosten

Enecolo AG kann auf eine grosse Liste verschiedener Datenlogger zurückgreifen, die sie in verschiedenen Projekten eingesetzt hat. Um diese Vorstudie auszuarbeiten wurden zusätzlich ver-

schiedene Firmen aus dem Bereich Heiztechnik telefonisch nach Möglichkeiten zur Messung von Öl- und Gasverbrauch befragt. Besonders hilfreich waren die Hinweise von Herr Birrer, Firma GWF [1], der Firma Weishaupt [2] und der Erdgas Zürich AG [3]. Zusätzlich wurden im Internet Informationen zu Messgeräten wie z.B. Betriebsstundenzähler gesammelt. Dabei wurden besonders Produkte von Aquametro [4], Amess Abrechnung und Messtechnik [5], Siemens [6] und ELV Elektronik AG [7] berücksichtigt. Auch die Begleitgruppe konnte Input zu möglichen Messgeräten geben. Informationen zu Datenloggern wurden von den Firmen ENVIDATEC [8], Meteocontrol [9], Döbelt [10], Inroi [11], Barix [12], SolarLog [13] und AS-Solar [14] geliefert.

DATENANALYSE

Um ein Konzept zur Datenanalyse auszuarbeiten, werden zuerst einige Grundanforderungen definiert:

- Ziel der Datenanalyse
- Genauigkeit der Resultate
- Welche Inputdaten kann der Gebäudeeigentümer liefern? (Beschreibung des Gebäudes)
- Darstellungsart der Resultate

Auf dieser Grundlage wird anschliessend ein Modell zur Datenanalyse entwickelt. Mit Modell-Datensätzen aus Meteonorm wird die grundsätzliche Anwendbarkeit des Modells überprüft.

Informationen zur Bearbeitung und Darstellung der Daten auf dem zentralen Server konnten aus den Projekten PVSAT [15] und ENVISOLAR [16] übernommen werden, sowie vom bestehenden Service SPYCE [17].

Die Anforderungen an die Datenanalyse und zwei verschiedene Modelle zur Datenauswertung wurden von Enecolo AG ausgearbeitet. Als Entscheidungsgrundlage dienten dabei unter anderem die Anforderungen von Minergie [18], Antragsformulare für das Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen [19] und die DIN 12831 – Berechnung der Heizlast von Gebäuden [20]. Die Vorschläge wurden in der Begleitgruppe diskutiert und anschliessend von Enecolo AG überarbeitet.

Das Modell wurde mit meteorologischen Daten aus der Meteonorm unter verschiedenen Annahmen getestet und somit auf seine Robustheit untersucht.

4. Ergebnisse

MESSKONZEPT

Egon soll mit allen handelsüblichen Öl- und Gasheizungen sowie mit Wärmepumpen-Heizungen kompatibel sein. Der Einsatz im Bereich Holzheizungen wurde nicht untersucht, da der Energieverbrauch (Holzbedarf) nur sehr schwer automatisiert gemessen werden kann.

Gemessen werden soll der Primärenergieverbrauch, d.h. der Öl-, Gas- oder Stromverbrauch, je nach Heizungstyp. Damit wird in den meisten Fällen nicht nur der Energiebedarf zum Heizen, sondern auch zur Warmwasseraufbereitung erfasst. Je nach Heizungstyp gibt es verschiedene Möglichkeiten, den Primärenergieverbrauch zu erfassen:

- Energiezähler mit Impulsausgang

Energiezähler messen den Stromverbrauch einer Wärmepumpe, eines Öl- oder Gasbrenners. Bei einer Wärmepumpe entspricht der Stromverbrauch direkt dem Primärenergieverbrauch. Bei einem Öl- / Gasbrenner mit konstantem Durchsatz und ohne Nachlaufzeit ist der Stromverbrauch proportional zum Öl-/Gasverbrauch.

Energiezähler mit einer sogenannten S0-Schnittstelle können von einem Datenlogger ausgelesen werden. Wärmepumpen benötigen meistens einen dreiphasigen Stromzähler, die Hardware-Kosten betragen ca. CHF 200.-.

Bei einer Öl- oder Gasheizung ist meistens nur ein einphasiger Energiezähler nötig, der ca. CHF 70.- kostet. Allerdings beeinflusst die Nachlaufzeit der Pumpe den Stromverbrauch bei diesen Heizungen wesentlich. Die Stromzählung ist deshalb bei Öl- und Gasheizungen sehr ungenau.



Fig. 2: Einphasiger Energiezähler mit S0-Schnittstelle (Quelle: EMU AG)

- Reedsensor

Reed-Schaltkontakte sind unter Vakuum oder Schutzgas in einen Glaskolben eingeschmolzene Kontaktzungen, die zugleich die Kontaktfeder und den Magnetanker bilden. Die Kontaktbetätigung erfolgt durch ein von außen einwirkendes Magnetfeld, das von einem in die Nähe gebrachten Dauermagneten (Reed-Kontakt) oder in einer zugehörigen Magnetspule elektrisch erzeugt wird (Reed-Relais). Durch das Magnetfeld ziehen sich die beiden Kontaktzungen an und schließen somit die Schaltung. Sobald das Magnetfeld abfällt oder eine bestimmte Kraft unterschreitet öffnet sich der Kontakt aufgrund der Federwirkung wieder. [21]

Übliche Balgengaszähler [22, 23] sind bereits mit einer passenden Öffnung für einen Reedkontakt ausgerüstet [24]. Reedkontakte für Gaszähler kosten ca. CHF 70.- [1], die Installation ist einfach.



Fig. 3: Gaszähler mit Reedkontakt (Quelle: [24])



Fig.4: Bauteile eines Reedkontakts (Quelle: [35])

- Optischer Sensor für digitalen / mechanischen Zähler

Ein optischer Sensor ist ein optisches Auge, das mit Hilfe einer Infrarot-Sendediode und mit einem Infrarot-Empfangstransistor realisiert ist. Durch die Positionierung des Auges genau über einer Zahlenscheibe der Zähleruhr kann ein Zahlenwechsel erkannt und dadurch eine Ermittlung des Verbrauchs über die Zeit realisiert werden [7].

Optoköpfe sind in unterschiedlichen Qualitäten und Preissegmenten erhältlich. Die kostengünstigsten Sensoren erfassen ca. 90% der Impulse und kosten ca. CHF 50 (EM1000-GZS [7]). Sie können auf beliebige mechanische Zählwerke wie z.B. Gaszähler aufgesetzt werden. Zuverlässigere Geräte sind ab ca. CHF 250.- erhältlich (z.B. [25]). Diese werden auf einen optischen Signalgeber aufgesetzt und erfassen so die Impulse. Optische Signalgeber sind vor allem bei Stromzählern verbreitet.

Die Installation ist im Prinzip sehr einfach, allerdings muss die Positionierung des Sensors sehr genau stimmen, damit die Ablesung zuverlässig funktioniert. Ein weiteres Problem ist, dass kostengünstige Sensoren die Zähleranzeige abdecken, die dadurch unlesbar wird.



Fig. 5: Infrarot-Sensor zur Auslesung eines Gaszählers (Quelle: [7])

- Spannung der Brennerpumpe abgreifen

Bei Öl- und Gasheizungen wie auch bei der Wärmepumpe kann die Betriebszeit der Pumpe gemessen werden, indem die Spannung der Pumpe abgegriffen wird. Da die Pumpenspannung 230 V AC beträgt, ist ein einfacher Gleichrichter, ein Netzteil oder ein Spannungs-Frequenzwandler notwendig, welcher die Spannung auf ein genügend tiefes DC-Niveau umwandelt, damit sie von einem Datenlogger ausgelesen werden kann. Mit einer geeigneten Schaltungstechnik kann so z.B. ein analoges oder digitales Signal erzeugt werden. Die Kosten für die Bauteile betragen ca. CHF 50.-. Bei vielen Ölbrennern sind bereits Anschlüsse für einen Betriebsstundenzähler vorgesehen [5], so dass der Installationsaufwand gering ist. Wenn dies nicht der Fall ist, muss ein Kabel zur Brennerpumpe gelegt werden.

Betriebsstundenzähler sind nur dann für die Energiemessung geeignet, wenn der Energieverbrauch proportional zur Pumpenlaufzeit ist. Bei modulierenden Öl- und Gasheizungen kann dieses System deshalb nicht angewendet werden. Ausserdem muss darauf geachtet werden, dass nur die Laufzeit der Brennerpumpe und nicht der gesamten Heizung erfasst wird. Bei vielen Systemen läuft die Pumpe nach dem Ausschalten des Brenners noch eine gewisse Zeit weiter, um die restliche Wärme im System zu verteilen. Diese sogenannte Nachlaufzeit darf nicht zur Betriebszeit hinzugerechnet werden, da kein Brennstoff verbraucht wird.

- Ventilöffnungszeit erfassen

Bei Öl- und Gasheizungen gibt es vor dem Brenner ein Ventil, welches den Gas- bzw. Ölfluss steuert. Mit einer induktiven, magnetischen Spule kann erfasst werden, ob das Ventil offen oder geschlossen ist. Bei Systemen mit einem konstanten Durchsatz kann dann aufgrund der Zeitdauer mit offenem Ventil auf den Brennstoffverbrauch geschlossen werden [26]. Gegenüber dem Abgreifen der Pumpenspannung hat diese Methode den Vorteil, dass nicht in die Schaltung der Heizung eingegriffen werden muss und dass die Nachlaufzeit keinen störenden Einfluss hat. Die Spule wird einfach auf das Ventil aufgesetzt. Die Installation ist somit sehr einfach. Allerdings besteht ein höheres Fehlerrisiko als beim Abgreifen der Brennerpumpe. Z.B. könnten Öffnungs- und Schliesszeiten vertauscht werden, oder andere magnetische Gegenstände in der Umgebung könnten die Spule beeinflussen. Ausserdem muss die Grösse der Spule mit der Ventilgrösse

übereinstimmen. Je nach Ausführung des Ventils (z.B. Einfassung in einen Eisenkern) kann es auch schwierig sein, die Spule richtig zu positionieren.

- Temperaturunterschiede Vor- und Rücklauf

Wenn eine Öl- oder Gasheizung einschaltet, wird der Vorlauf wärmer als der Rücklauf. Sobald die Heizung ausschaltet, nimmt die Temperatur am Vorlauf wieder ab und praktisch zeitgleich geht auch die Temperatur im Rücklauf zurück. Aufgrund des Temperaturverhaltens im Vor- und Rücklauf kann somit auf die Betriebsdauer der Pumpe geschlossen werden.

Bei Heizsystemen mit konstantem Durchfluss kann daraus der Brennstoffverbrauch berechnet werden. Aufgrund des Temperaturanstiegs und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf kann bei modulierenden Systemen auf die Heizstufe geschlossen und somit ebenfalls der Verbrauch berechnet werden. Der Vorteil gegenüber der Spannungserfassung bei der Brennerpumpe ist, dass die Nachlaufzeit der Pumpe erkannt werden kann und die Installation sehr einfach ist, da nicht in die Schaltung eingegriffen werden muss. Da die Temperaturunterschiede nur zum Erfassen der Betriebsdauer benötigt werden, ist auch keine hochpräzise Messung notwendig. 1-Wire Temperatursensoren z.B. sind für CHF 18.- pro Stück erhältlich und können einfach auf den Vor- bzw. Rücklauf aufgeklebt werden.

Allerdings kann diese Methode nur dann eingesetzt werden, wenn die Heizung keinen internen Speicher hat. Falls ein interner Speicher vorhanden ist, erfolgen die Temperaturverläufe zeitlich verzögert zum Primärenergieverbrauch.

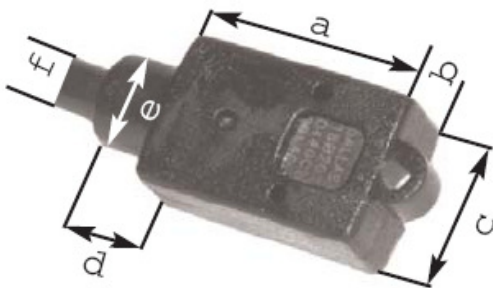


Fig. 6: 1-Wire Temperatursensor (Quelle: [12])

- Durchfluss- / Volumenmessung

Für modulierende Öl- und Gasheizungen ist die Durchfluss- oder Volumenmessung neben der Temperaturmessung die einzige Möglichkeit, den Verbrauch zu erfassen. Dies kann entweder mit einem Ultraschallvolumenmessteil oder mit einem Durchflussmesser realisiert werden. Der Endkundenpreis liegt je nach Grösse des Geräts und Bauart bei ca. CHF 400.- bis CHF 600.- [27, 4]. Ultraschallvolumenmessteile sind einfacher zu installieren, da sie nur auf das Rohr aufgesetzt werden können. Normale Durchflussmesser werden direkt in den Vorlauf eingebaut, d.h. es ist notwendig das Rohr zu öffnen.

Volumen- und Durchflussmesser sind mit verschiedenen Ausgängen, z.B. mit Reedkontakten oder Open Collector Transistoren erhältlich.



Fig. 7: Ölmengenzähler (Quelle: [4])

Zusammenfassung Messgeräte

Auf eine Temperaturmessung (Innen- und Aussentemperatur) wird verzichtet, da die Verkabelung der Temperatursensoren einen hohen Aufwand bedeutet. Innentemperaturen können ausserdem von Raum zu Raum unterschiedlich sein, so dass mehrere Sensoren installiert werden müssten. Die Aussentemperatur wird mit Hilfe von Wetterprognosemodellen bestimmt. Die durchschnittliche Raumtemperatur wird vom Kunden angegeben. Dabei muss mit einer Unsicherheit von 1 bis 2°C gerechnet werden. In einem durchschnittlich isolierten Haus in der Schweiz bedeutet dies eine Unsicherheit in der Energiekennzahl von 7 bis 14%.

Die Messdaten werden in stündlicher Auflösung erfasst, da auch die Wetterdaten in stündlicher Auflösung vorhanden sind. Ob die Auswertung der Daten auf stündlicher Basis möglich ist, wird im Kapitel Datenanalyse untersucht.

Eine Zusammenstellung der Installations- und Hardwarekosten für die verschiedenen Messmethoden zeigt, dass die Durchflussmessung mit Abstand am teuersten ist (Tabelle 1, Fig. 8). Allerdings ist diese Messmethode als einzige universell einsetzbar. Sehr kostengünstig und bei den meisten Systemen einsetzbar ist die Temperaturmessung. Bei Gasheizungen ist der Reedkontakt eine zuverlässige und einfache Methode. Der einphasige Energiezähler kann nur beschränkt eingesetzt werden, da damit nicht zwischen Brenner- und Nachlaufzeit unterschieden werden kann. Optische Sensoren und die Messung der Ventilöffnungszeit sind störungsanfällig und damit nicht sehr zuverlässig.

Messverfahren	Eignung	Hardware	Installation	Total
Energiezähler, 3phasig	WP	SFr. 200	SFr. 170	SFr. 370
Energiezähler, 1phasig	Öl- und Gasheizungen ohne Nachlaufzeit nicht geeignet für modulierende Systeme	SFr. 70	SFr. 95	SFr. 165
Optokopf	WP einfache Modelle für alle mechanischen Zählwerke (ungenau)	SFr. 250	SFr. 170	SFr. 420
Pumpenspannung	WP, Gas, Öl Nicht geeignet für modulierende Systeme Nachlaufzeit der Heizung problematisch	SFr. 50	SFr. 170	SFr. 220
Ventilöffnungszeit	Gas, Öl Nicht geeignet für modulierende Systeme Störungsanfälligkeit?	SFr. 100	SFr. 95	SFr. 195
Temperaturen	WP, Gas, Öl Nicht geeignet bei internem Speicher	SFr. 40	SFr. 95	SFr. 135
Reed-Kontakt	Gaszähler mit vorhandenem Reed-Anschluss	SFr. 70	SFr. 95	SFr. 165
Durchflussmessung	Öl- und Gasheizungen	SFr. 400	SFr. 270	SFr. 670

Tabelle 1: Zusammenstellung der verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung des Primärenergieverbrauchs

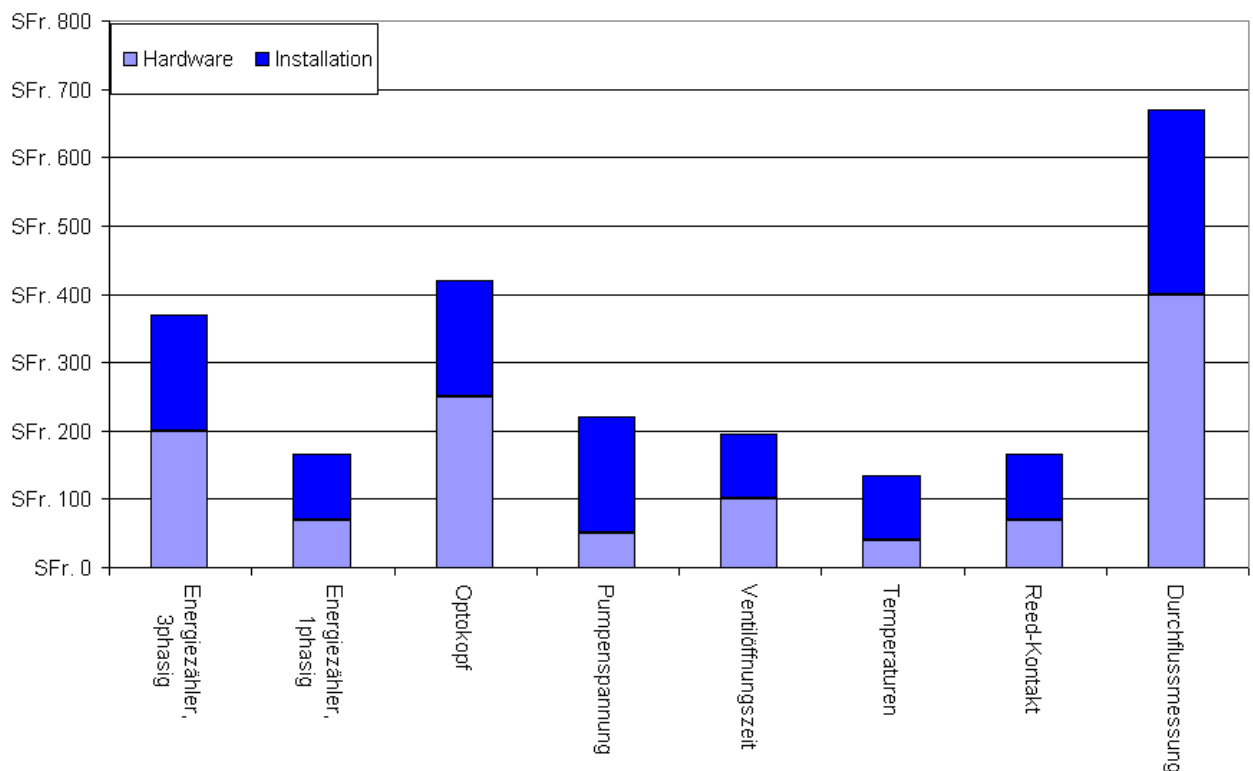


Fig. 8: Installations- und Hardwarekosten für verschiedene Messmethoden

DATENÜBERTRAGUNG

Die Messwerte müssen von einem Datenlogger im Gebäude zum zentralen Server übertragen werden. Die Datenübertragung kann direkt via Internet, mit einem analog-Modem über die Telefonleitung oder via GSM/GPRS erfolgen.

- Internet

Falls in der Nähe des Heizsystems ein Internetanschluss vorhanden ist, können die Daten direkt mit einem TCP-IP Protokoll über das LAN verschickt werden. Dies ist meistens die kostengünstigste Lösung, da praktisch keine Übertragungskosten anfallen und kein zusätzliches Modem benötigt wird. Wenn sich der Internetanschluss in einem anderen Raum befindet, können die Daten über W-LAN oder D-LAN innerhalb des Gebäudes bis zum Router übertragen werden.

Mögliche Datenlogger sind z.B. PEPPER mit 1 digitalen Input [17] oder Barionet [12] mit mehreren analogen und digitalen Eingängen. PEPPER hat einen Endkundenpreis von CHF 475.-, Barionet von CHF 410.-. Für die D-LAN-Übertragung kann z.B. ein Devolo D-LAN Kit [28] für CHF 144.- benutzt werden.

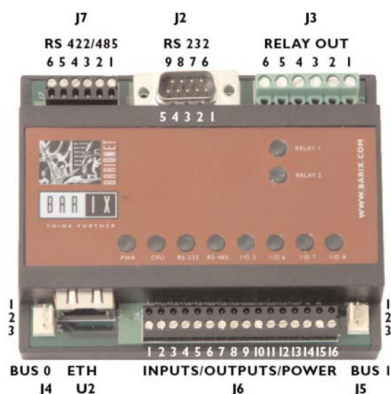


Fig. 9: Datenlogger Barionet (Quelle: [12])

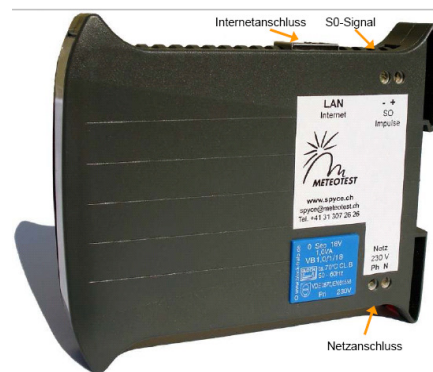


Fig. 10: Datenlogger PEPPER (Quelle: [17])



Fig. 11: D-Lan Set von Devolo (Quelle: [28])

- Analog-Telefonanschluss

Wenn in der Nähe der Heizung ein Telefonanschluss verfügbar ist, können die Daten mit einem analogen Modem über das Telefonnetz verschickt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Datenlogger während den Übertragungszeiten die Telefonleitung besetzt. Je nach Art des Datenloggers ist eine Zeitschaltuhr notwendig, um zu verhindern dass der Datenlogger Anrufe entgegen nimmt.

Die Datenübertragung über eine bestehende analog-Leitung ist sehr kostengünstig, wenn kein zusätzlicher Telefonanschluss benötigt wird. Als Datenlogger können z.B. der WEBlog-analog von Meteocontrol [9] (ab CHF 675.-) oder der VIDA-Logger analog (ca. CHF 900.-) von Envidatec [8] eingesetzt werden. Oder die Internet-Datenlogger Barionet und PEPPER werden mit einem Internet-Router und einem Analog-Modem kombiniert und so analog-fähig gemacht (Router und Modem zusammen ca. CHF 170.- [13]).



Fig. 12: Datenlogger WEBlog (Quelle: [9])

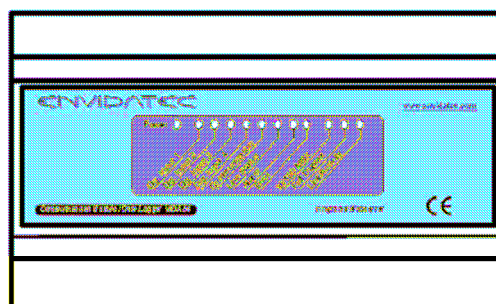


Fig. 13: Datenlogger VIDA (Quelle: [8])

Evtl. lohnt es sich sogar, einen DSL-Anschluss zu installieren. Beim Abschluss eines DSL-Abonnements von Swisscom erhält man den DSL-Router gratis (Stand Dez. 2007 [29]), wenn man das günstigste Jahresabonnement für CHF 108.- löst. Sobald der DSL-Router installiert ist, kann man mit den Datenloggern PEPPER oder Barionet Daten direkt ins Internet schicken.

- GSM / GPRS

Diese Variante ist meistens am teuersten, da die GSM-Übertragungskosten relativ hoch sind und ein GSM-Modem deutlich teurer als ein analog-Modem ist. Wenn in der Nähe des Heizsystems aber kein Telefon- oder Internetanschluss vorhanden ist, bleibt die GSM-Übertragung als einzige Lösung übrig. Voraussetzung dazu ist ein stabiler GSM-Empfang.

Als Datenlogger können z.B. der WEBlog-GSM von Meteocontrol (ab CHF 2300.-) [9], der dxGO Profi von Döbelt (ab CHF 2600.-) [10] oder der SPYCE-Log GSM von AS-Solar (ab CHF 1050.-) [14] eingesetzt werden. Eine andere Möglichkeit ist, die Internet-Datenlogger Barionet oder PEPPER mit einem Internet-Router (ab CHF 500.-) [30] auszurüsten. Bei einer Datenübertragung via GSM müssen zusätzlich noch die Kosten für eine SIM-Karte (ca. CHF 40.-) und die Abonnementkosten (ca. CHF 9.- pro Monat) berücksichtigt werden.



Fig. 14: GPRS-Router (Quelle: [30])



Fig. 15: Datenlogger SPYCE-Log (Quelle: [17])



Fig. 16: Datenlogger DxGO (Quelle: [10])

Zusammenfassung Datenlogger

Eine Zusammenstellung der Kosten zeigt, dass es deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Übertragungsarten gibt. Wenn die Datenübertragung via GSM/GPRS erfolgt, muss mit einem Endkundenpreis von rund CHF 1000.- für die Hardware und Installation des Datenloggers gerechnet werden. Die Kosten für die Datenübertragung (SIM-Karte und Abonnement) sind dabei noch nicht enthalten. Sowohl bei der LAN-Variante wie auch bei der analog-Variante wurde davon ausgegangen, dass der entsprechende Anschluss in der Nähe ist, die Installation von geschultem Personal vorgenommen wird und keine speziellen Probleme auftreten.

Mit Abstand am günstigsten ist es, wenn die Daten direkt über ein vorhandenes LAN-Netzwerk verschickt werden können. Falls der Kunde ein Flatrate-Abonnement hat, fallen dabei auch keine Datenübertragungskosten an. Leicht teurer, aber immer noch unter CHF 1000.- ist die Datenübertragung über das analoge Telefonnetz. Falls ein bestehender Telefonanschluss genutzt werden kann sind auch die Datenübertragungskosten sehr gering, da nur einmal pro Nacht ein kurzer Anruf getätigt wird. Im selben Kostenbereich oder sogar günstiger ist die Installation eines DSL-Anschlusses am vorhandenen Telefonanschluss.

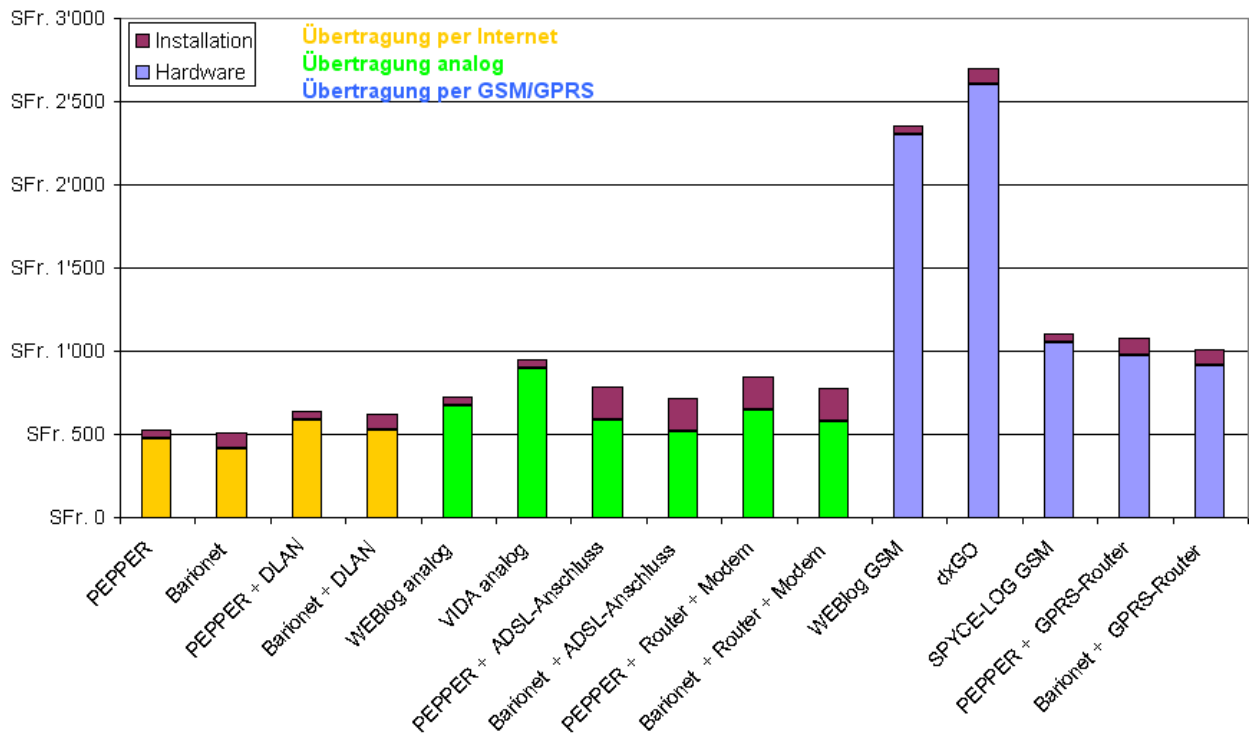


Fig. 17: Geschätzte Endkundenpreise für Datenlogger inkl. Installation

DATENANALYSE

Anhand der gemessenen Daten soll der Jahresenergieverbrauch des Gebäudes für ein Standardjahr abgeschätzt werden. Ziel ist es, bereits nach wenigen Wochen Messdauer eine Aussage über den Jahresenergieverbrauch machen zu können, die eine Toleranz von maximal $\pm 10\%$ aufweist. So soll z.B. bei Neubauten oder Sanierungen überprüft werden, ob der berechnete Jahresenergieverbrauch eingehalten wird. Falls sich bei den Messungen herausstellt, dass der gemessene Jahresenergieverbrauch deutlich zu hoch ist, kann dies ein Hinweis auf bauliche Mängel sein und sollte vom Gebäudebesitzer weiter abgeklärt werden.

Um die gemessenen Daten analysieren zu können, sind technische Beschreibungen des Gebäudes notwendig. Diese Beschreibungen werden vom Kunden (Gebäudebesitzer) über eine Homepage an den zentralen Server übermittelt. Je mehr technische Details zum Gebäude bekannt sind, umso genauer kann die Auswertung gemacht werden. Allerdings ist damit zu rechnen, dass in den wenigsten Fällen eine Berechnung des Energieverbrauchs nach SIA vorliegt und die Kunden absolute Laien auf dem Gebiet Heiz- und Gebäudetechnik sind. Somit können von den meisten Kunden nur sehr rudimentäre Inputdaten erwartet werden.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde ein zweistufiges Verfahren zur Dateneingabe beschlossen. Obligatorisch ist nur die Eingabe von sehr wenigen Parametern wie z.B. Standort, Baujahr und Heizungstyp, die auch Laien bekannt sein sollten. Aufgrund dieser wenigen Angaben wird dann der Standard-Jahresverbrauch für das Haus abgeschätzt.

Falls der Kunde weitere Daten zu seinem Gebäude kennt (z.B. Fensterflächen und U-Werte), kann er diese optional eingeben. Dadurch kann die Datenanalyse verfeinert werden.

Unbedingt notwendig und somit obligatorisch ist die Eingabe folgender Werte:

- Adresse des Gebäudes

Anhand der Adresse des Gebäudes werden die Koordinaten bestimmt. Diese sind notwendig, um aus Satellitendaten und Wetterprognosemodellen die Aussentemperatur und die Einstrahlung beim Gebäude bestimmen zu können. Die Adresse ist ebenfalls nötig, um die Klimadaten für ein Standardjahr am jeweiligen Standort zu bestimmen.

- Messsystem

Die gemessenen und an den zentralen Server gesendeten Daten müssen den richtigen Gebäuden zugeordnet werden. Dazu muss auf dem Portal bei jedem Gebäude die Seriennummer oder eine andere Kennzeichnung des dazugehörenden Datenloggers angegeben werden. Weil das Messsystem von geschultem Personal und nicht von den Kunden installiert wird, sollten diese Daten vom Installateur der Messung in das Portal eingetragen werden.

Je nach Heizsystem und Messmethode sind ausserdem weitere Angaben notwendig, um die übertragenen Werte interpretieren zu können. Wird z.B. die Betriebsdauer gemessen, muss der Volumenfluss / Zeit bekannt sein. Wenn ein Energiezähler ausgelesen wird, benötigt man dagegen die Anzahl Impulse / kWh.

- Heizsystem

Unabhängig von der Messmethode sollte mindestens der Heizungstyp (WP, Öl oder Gas) bekannt sein. Zur Interpretation der Messdaten ist ausserdem wichtig zu wissen, ob mit der Heizung auch das Warmwasser erwärmt wird. Um die Trägheit der Heizung beurteilen zu können, sollte auch angegeben werden, ob die Wärme über eine Bodenheizung oder mit Radiatoren im Gebäude verteilt wird und ob ein externer Wärmespeicher vorhanden ist.

Mit den Messdaten und der Adresse des Gebäudes kann bereits der Energieverbrauch des Gebäudes in Abhängigkeit von Temperatur und Einstrahlung aufgezeigt werden. Aufgrund dieser Korrelation und mit Hilfe klimatologischer Daten für den jeweiligen Standort kann auch der Standard-Jahresenergieverbrauch für das Gebäude abgeschätzt werden. Optional kann dieser Wert auf dem Portal auch mit dem durchschnittlichen Verbrauch für ein Gebäude der selben Kategorie und Grösse verglichen werden. Als weitere Möglichkeit kann der Kunde einen angestrebten Standard-Jahresverbrauch angeben, mit dem die gemessenen Werte verglichen werden. Daraus ergeben sich folgende weitere Angaben:

- Angestrebter Jahresenergieverbrauch in kWh/m²/Jahr

Falls der Kunde z.B. aus Berechnungen des Architekten weiss, welchen Jahresenergieverbrauch sein Gebäude maximal haben sollte, kann er diesen Wert im Portal eintragen. Falls er den Verbrauch nicht weiss, kann er das Baujahr des Gebäude und allfällige Zertifizierungen (Minergie) angeben. Je nach Baujahr ordnet das Portal den Gebäuden dann automatisch einen typischen Jahresenergieverbrauch zu.

- Beheizte Grundfläche in m²

Dieser Wert wird benötigt, um den Soll-Jahresenergieverbrauch des gesamten Gebäudes zu berechnen

- Gebäudetyp

Der Kunde kann auswählen, ob sein Gebäude ein Wohnhaus, Büro, Einkaufscenter, Gewerbe etc. ist. Falls der Kunde einen angestrebten Jahresenergieverbrauch angegeben hat, dienen diese Angaben zur Plausibilitätsüberprüfung. Ansonsten dienen diese Angaben dazu, den Soll-Jahresverbrauch besser abzuschätzen.

- Benutzerverhalten

Der Kunde gibt seine durchschnittliche Raumtemperatur an. Es muss damit gerechnet werden, dass diese Angabe einen Bias von bis zu 1 °C aufweist. Die Raumtemperatur wird benutzt, um den Soll-Jahresenergieverbrauch nach oben oder unten zu korrigieren.

Eventuell ist es nötig, das Benutzerverhalten noch weiter zu evaluieren. Um z.B. den Warmwasserbedarf abzuschätzen wäre die Anzahl Bewohner eine hilfreiche Grösse.

- Detaillierte technische Angaben

Falls der Kunde technische Kenntnisse seines Heizsystems und seines Gebäudes besitzt, kann er weitere Angaben machen, welche die Interpretation der Messwerte erleichtern. Dazu gehören z.B. die Grösse des externen Speichers, die Grösse und Ausrichtung der Fensterflächen und die Dämmwerte der Aussenhülle.

Adresse des Gebäudes		
Strasse	Musterstrasse 44	
Ort	1234 Muster	
Heizsystem		
Art der Heizung	Ölheizung	(Öl, Gas oder Wärmepumpe?)
Verteilsystem	Radiatoren	(Bodenheizung oder Radiatoren?)
externer Speicher	200 L	(ja oder nein. Falls bekannt, Grösse des Speichers in Liter angeben)
Warmwasser	ja	(Wird das Warmwasser ebenfalls durch die Heizung erwärmt?)
Messung		
Seriennummer Datenlogger	M1C3244KH	(Diese ist auf der Rückseite des Datenloggers aufgedruckt)
Durchflussrate Brenner	2 L/h	(Ist auf der Heizung angeschrieben)
Jahresenergieverbrauch		
Standard-Jahresverbrauch (Energiekennzahl)	35 kWh/m ² /Jahr	(Diese Angabe entspricht einem Sollwert. Falls bekannt geben Sie die Energiekennzahl Ihres Gebäudes in kWh/m ² /Jahr ein. Beispiel MINERGIE-Haus: 42 kWh/m ² /Jahr)
Zertifizierung	Minergie-Plus	Ist Ihr Gebäude mit einem Label zertifiziert? (Passivhaus, Minergie)
Baujahr	1987	
Gebäudetyp	Wohnhaus	(Wohnhaus, Büro, Gewerbe, Einkaufscenter, Spital, andere)
Beheizte Fläche	200 m ²	(Angabe in m ²)
Benutzerverhalten		
Durchschnittliche Raumtemperatur	21 °C	(Angabe in °C)
Anzahl ständige Bewohner	4	
Fensterflächen		
von Südost bis Südwest	10 m ²	
von Nordwest bis Südwest	4 m ²	
von Nordost bis Südost	4 m ²	
Dachfenster (> 30° Neigung)	0 m ²	
Aussenflächen		
Aussenwand	400 m ²	
Boden	100 m ²	
Decke	40 m ²	
U-Werte		
Aussenwand	3.3 W/m ² /K	
Boden	1 W/m ² /K	
Decke	1.2 W/m ² /K	
Fenster	2.8 W/m ² /K	

Tabelle 2: Zusammenstellung der benötigten Inputdaten. Weiss sind obligatorische Daten. Blau ist optional und rot sollte vom Installateur der Messeinrichtung angegeben werden.

BERECHNUNGSVERFAHREN

Das Ziel der Datenanalyse ist es, den Jahresenergieverbrauch des Gebäudes für ein Standardjahr abzuschätzen. Falls der Kunde weitere Angaben zum Gebäude gemacht hat, kann auch analysiert werden, ob der bestimmte Jahresenergieverbrauch dem erwarteten Wert entspricht. Für die Auswertung sind folgende Daten vorhanden:

- Stundenwerte des Primärenergieverbrauchs
- Stundenwerte der Globalstrahlung und der Aussentemperatur
- Heizungstyp, beheizte Fläche und Baujahr des Gebäudes. Evtl. weitere Angaben wie z.B. Speichervolumen, Verteilsystem, durchschnittliche Raumtemperatur und Fensterflächen.

Um diese Daten zu interpretieren gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze:

- Variante „Simulationsprogramm“

Mit einem Gebäudesimulationsprogramm, der gemessenen Strahlung und der Aussentemperatur wird der Energieverbrauch des Gebäudes simuliert. So kann für jeden Tag oder sogar für jede Stunde ein „Sollverbrauch“ berechnet werden. Dieser Sollverbrauch wird mit dem gemessenen tatsächlichen Verbrauch verglichen (Figur 18).

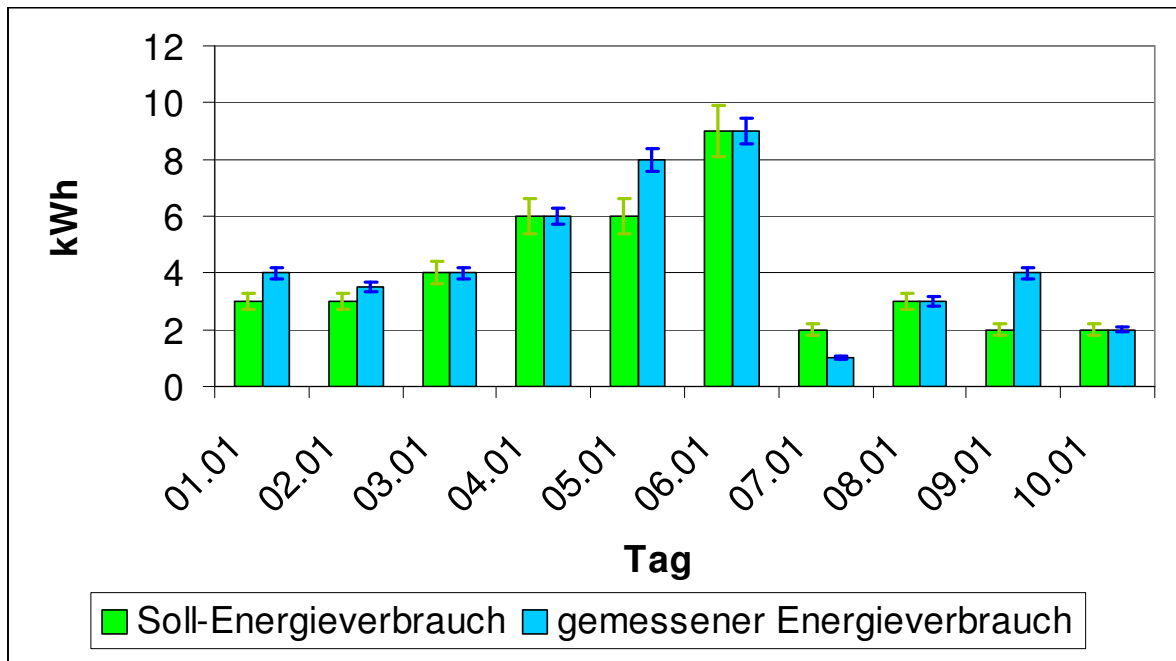


Fig. 18: Vergleich von Soll- und Ist-Verbrauch. Als Grundlage für die Sollverbrauchsrechnung dient ein Gebäudesimulationsprogramm.

Die Vorteile dieser Variante sind, dass die Berechnung des Soll-Energieverbrauchs auf physikalischen Grundlagen beruht und deshalb plausible Resultate ergeben sollte. Der Soll-Verbrauch kann prinzipiell für jede Stunde berechnet werden, d.h. bereits ab dem ersten Messtag kann ein Vergleich durchgeführt werden.

Allerdings hat diese Variante einige schwerwiegende Nachteile. Das grösste Problem ist, dass die Qualität der Sollwertberechnung stark von der Gebäudebeschreibung abhängt. Für eine genaue Berechnung sind umfangreiche technische Angaben zum Gebäude notwendig, wie z.B. Isolationsstärken, Trägheit des Heizsystems etc. Wie im Kapitel „Inputdaten“ beschrieben, sind diese Daten für das Gebäude in den meisten Fällen nicht bekannt und müssen deshalb grob abgeschätzt werden. Das führt zu Fehlern in der Simulation, die leicht 10% überschreiten können.

Weiter kommt hinzu, dass das Benutzerverhalten (Raumtemperatur, Lüften, Warmwasserverbrauch) ebenfalls einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch hat, aber nur sehr schlecht simuliert werden kann. Besonders auf einer kleinen Zeitskala von einer Stunde hat das Benutzerverhalten einen entscheidenden Einfluss. Es wird deshalb mit der Variante „Gebäudesimulation“ nicht möglich sein, einen zuverlässigen Soll-Ist-Vergleich auf Basis von Stundenwerten durchzuführen.

Gebäudeprogramme bestehen aus komplexen Rechenschritten, und es besteht immer noch Forschungsbedarf. Die Implementation eines Gebäudeprogramms in EGON wäre deshalb mit einem relativ hohen Aufwand und konstanter Weiterentwicklung verbunden.

- Variante „Regressionsanalyse“

In dieser Variante wird auf ein Gebäudesimulationsprogramm verzichtet. Die gemessenen Daten werden gesammelt und in Abhängigkeit zur Aussentemperatur (und evtl. Einstrahlung) gesetzt. So kann aufgrund der Messdaten das Verhalten des Gebäudes als Funktion der Temperatur charakterisiert werden. Sobald diese Funktion bekannt ist, kann der Energieverbrauch des Gebäudes für eine beliebige Temperatur vorhergesagt werden. Mit Hilfe der klimatischen Daten für den jeweiligen Standort ist es dann möglich, den Energieverbrauch des Gebäudes für ein Standardjahr vorherzusagen. Dieser prognostizierte Jahresenergieverbrauch kann dann mit dem typischen Jahresenergieverbrauch ähnlicher Gebäude oder (falls vorhanden) mit der berechneten Energiekennzahl verglichen werden.

Diese Variante hat den Vorteil, dass sie fast ausschliesslich auf den gesammelten Messwerten basiert und praktisch keine zusätzlichen Inputdaten benötigt. Es wird somit das reale Verhalten des Heizsystems abgebildet. Das Problem der fehlenden oder evtl. fehlerhaften Gebäudebeschreibung kann somit umgangen werden. Auf die Implementierung eines Gebäudeprogramms kann verzichtet werden.

Die Nachteile dieser Variante bestehen vor allem darin, dass es noch nie so detailliert angewendet wurde und deshalb unbekannt ist, wie gut die Korrelation zwischen dem Energieverbrauch und den Klimadaten in der Realität sind. Somit ist unbekannt, wie lange gemessen werden muss, damit eine sinnvolle Korrelation der Daten möglich ist. Der Toleranzbereich der Korrelation zwischen dem Energieverbrauch und den Klimadaten ist ebenfalls nicht bekannt.

Charles Weinmann [26] hat an verschiedenen Gebäuden Messungen der Energiekennlinie vorgenommen. Nach seinen Erfahrungen ist es nach ca. 2 Wochen Messzeit möglich, die Energiekennlinie eines Gebäudes zu bestimmen. D.h. es sollte dann auch möglich sein, den durchschnittlichen Jahresenergieverbrauch abzuschätzen.

Es ist davon auszugehen, dass bei verschiedenen Gebäuden nicht nur unterschiedliche Korrelationen zwischen dem Energieverbrauch und den Klimadaten bestehen, sondern dass auch die Qualität der Korrelation unterschiedlich ist. Gebäude mit sehr trägen Heizsystemen oder hohen solaren Gewinnen, ebenso wie Gebäude mit einem starken Einfluss des Benutzerverhaltens weisen vermutlich eine schlechte Korrelation auf und sind deshalb schwierig auszuwerten.

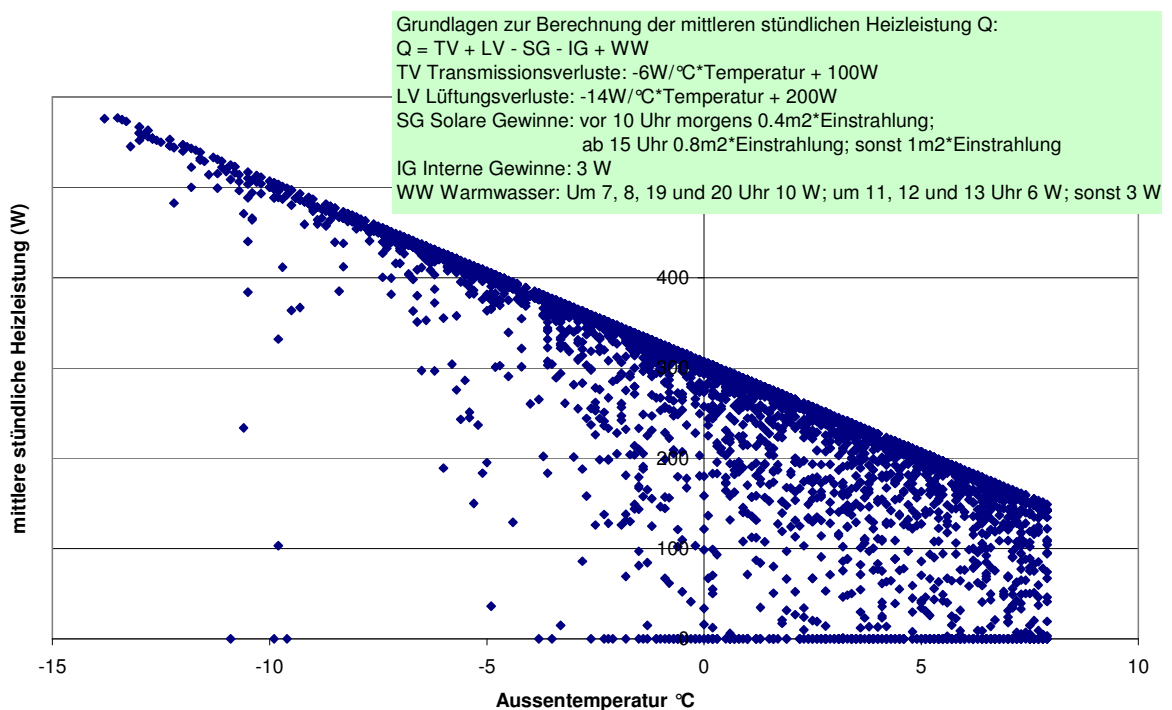


Fig. 19: Stündlicher Energiebedarf in einem Haushalt. Fiktive Daten auf Grundlage von Klimadaten aus Meteonorm für Zürich. Die Trägheit des Heizsystems und der Gebäudehülle wurde nicht berücksichtigt.

Versuche mit Variante „Regressionsanalyse“

An einer Begleitgruppensitzung wurde beschlossen, die Variante „Simulationsprogramm“ zu verwerfen, da die negativen Aspekte überwiegen. Für die Variante „Regressionsanalyse“ soll mit einigen fiktiven Datensätzen abgeschätzt werden, ob dieses Berechnungsverfahren praxistauglich ist.

Für diese Abschätzung wurden Klimadaten aus der Meteonorm für den Standort Zürich ausgewählt. Mit Stundenwerten und Tageswerten für ein Jahr wurden danach verschiedene Heizsysteme simuliert und die Regressionsanalyse darauf angewendet.

Beispiel 1: Es wurde angenommen, dass das Heizsystem wie auch das Gebäude keine Trägheit aufweisen, sondern sofort auf die Aussentemperatur und die Einstrahlung reagieren. Zusätzlich wurde ein Benutzerverhalten für den Warmwasserverbrauch eingeführt (Siehe Fig 20). Mit diesen Annahmen und den stündlichen Wetterdaten von Meteonorm wurde der Jahres-Energieverbrauch des Gebäudes berechnet (rote Linie in Fig 20). Danach wurde angenommen, dass die stündlichen Energieverbrauchswerte den Messdaten in Egon entsprechen und dass die stündlichen Werte zu Temperatur und Einstrahlung den aktuellen Wetterdaten entsprechen. Nach jeweils 24 Stunden „Messzeit“ wurde mit allen bis dahin verfügbaren „Messdaten“ eine lineare Regression durchgeführt. Dabei wurde der Energieverbrauch in Abhängigkeit der Temperatur und der Globalstrahlung ermittelt. Mit den resultierenden Parametern wurde dann der Jahresenergieverbrauch berechnet. (Beschreibung des Berechnungsschemas siehe Tabelle 3). In Fig. 20 ist ersichtlich, dass unter den angenommenen Bedingungen bereits nach einem Tag Messzeit der Jahresenergieverbrauch des Gebäudes mit einer Unsicherheit von weniger als 10% prognostiziert werden kann.

Vergleicht man die gemessenen Stundenwerte mit den prognostizierten Stundenwerten (siehe Figur 21) ergibt sich ein Bestimmtheitsmass r^2 von 0.91.

Einstrahlung G	Temperatur T	Fiktive gemessene Heizleistung			Prognostizierte Heizleistung
0	3.6	231	Lineare Regression nach x Tagen Messzeit: $Q = a \cdot T + b \cdot G + c$ Resultat: $a = - 22.2$ $b = - 0.44$ $c = 309$		223
0	3.2	236			231
0	2.9	242			237
0	2.6	248			244
0	2.2	256			252
0	1.9	262			258
0	1.5	277			267
0	1.2	283			273
14	2	254.4			250
52	3.7	205.2			198
146	6.8	108.6			92
308	7.8	0			0
...
...
...
Jahressumme gemessene Heizleistung:		298'981		Jahressumme prognostizierte Heizleistung:	295'016

Tabelle 3: Schema zur Berechnung der fiktiven gemessenen und der prognostizierten Heizleistung

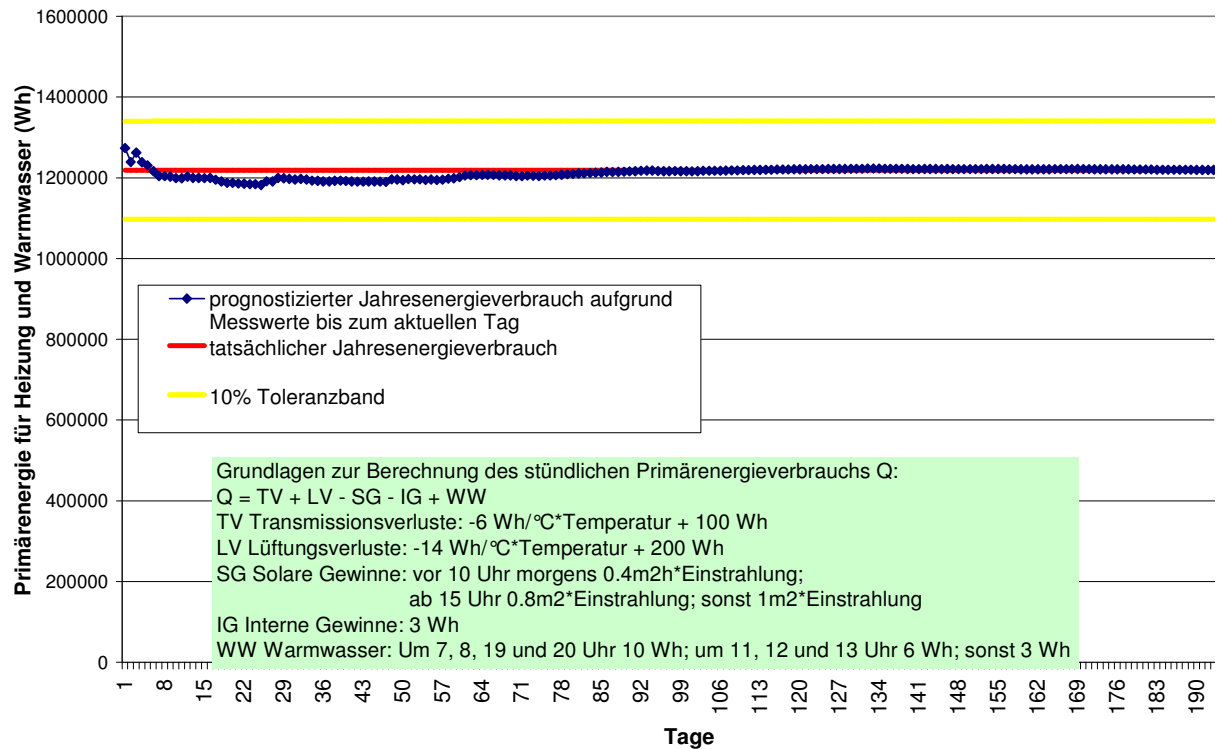


Fig. 20: Prognose des Jahresenergieverbrauchs bei idealen Wetterdaten und ohne Trägheit

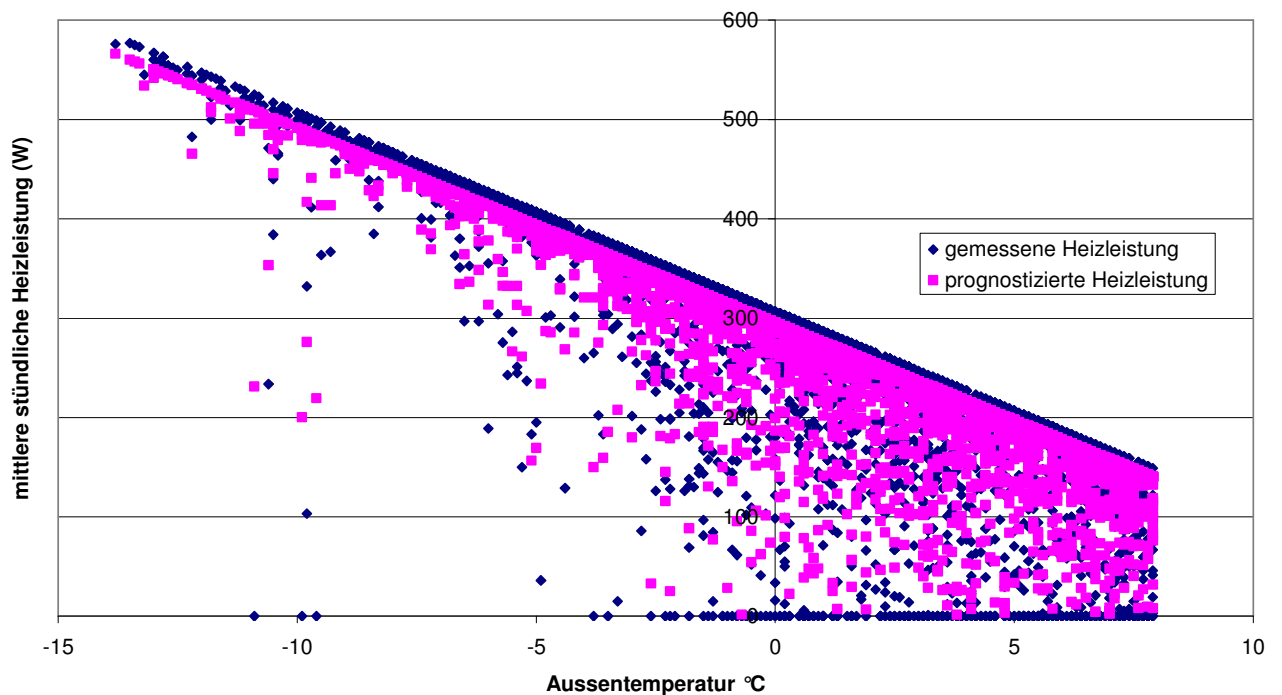


Fig. 21: Vergleich der fiktiven Messwerte mit den prognostizierten Werten aus Figur 20. Die Prognose wurde nach 60 Tagen Messzeit gemacht.

Beispiel 2: Alle Gebäude haben aufgrund der Isolation eine mehr oder weniger hohe Trägheit. Um diese zu simulieren, wurde Beispiel 1 leicht abgeändert. Je mehr in den letzten 3 Stunden geheizt wurde, umso mehr Wärme ist intern noch gespeichert und umso weniger muss geheizt werden. Als Resultat zeigt sich, dass in den ersten Tagen eine deutliche Abweichung zwischen dem prognostizierten und dem gemessenen Jahresenergieverbrauch auftritt. Ca. ab dem 4. Messtag kann der Jahresenergieverbrauch aber sehr genau vorhergesagt werden (Fig 22). Vergleicht man Messwerte und Prognosewerte auf Stundenbasis ergibt sich ein anderes Bild. Die prognostizierten Werte weisen ein Temperaturverhalten auf, das völlig vom gemessenen Verhalten abweicht (Fig. 23). Das

Bestimmtheitsmass r^2 beträgt nur 0.04. Dies liegt daran, dass mit der Regression die Trägheit des Systems nicht berücksichtigt wird. Stunden mit tiefer Temperatur, an denen nicht geheizt wird, können mit der gewählten Regression nicht nachgebildet werden.

Um dieses Problem zu beheben, könnte z.B. die Trägheit des Systems in die Regression einbezogen werden. Die Temperaturen der vorhergehenden 3 Stunden würden dann ebenfalls als x-Werte in der linearen Regression betrachtet. Eine andere Möglichkeit ist, das Messintervall so gross zu wählen, dass die Trägheit des Systems vernachlässigbar wird. Dies ist vermutlich bei Tageswerten der Fall.

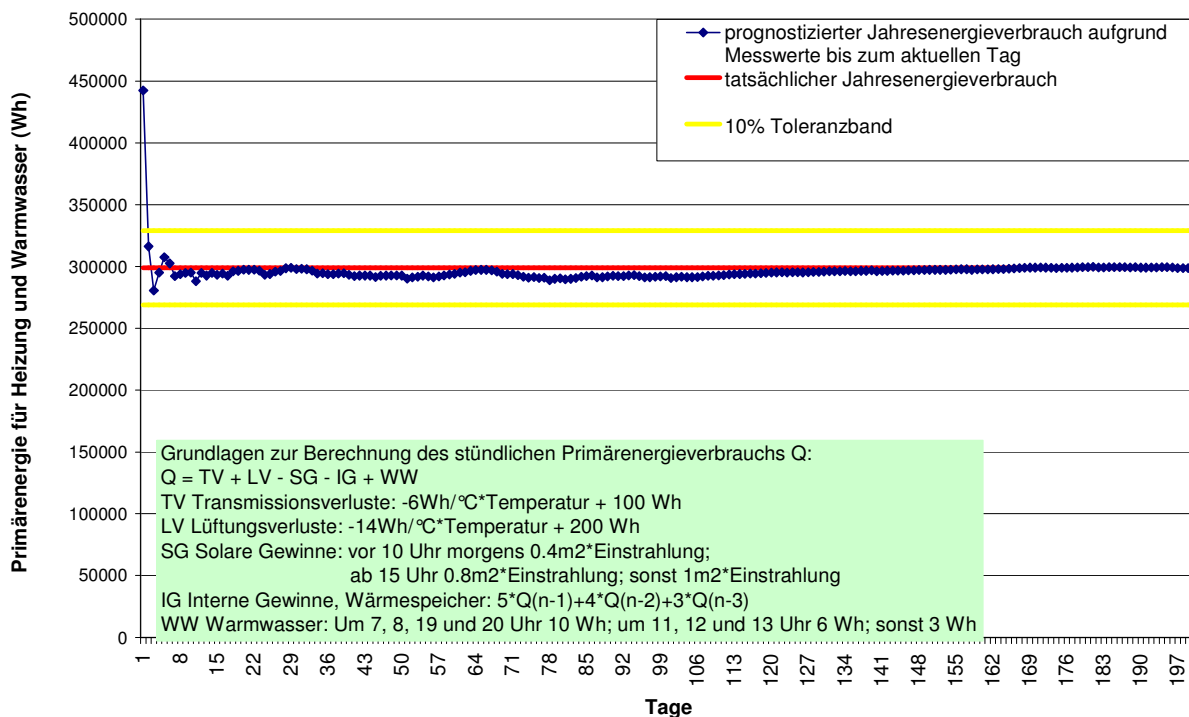


Fig. 22: Prognose des Jahresenergieverbrauchs bei idealen Wetterdaten und System mit Trägheit

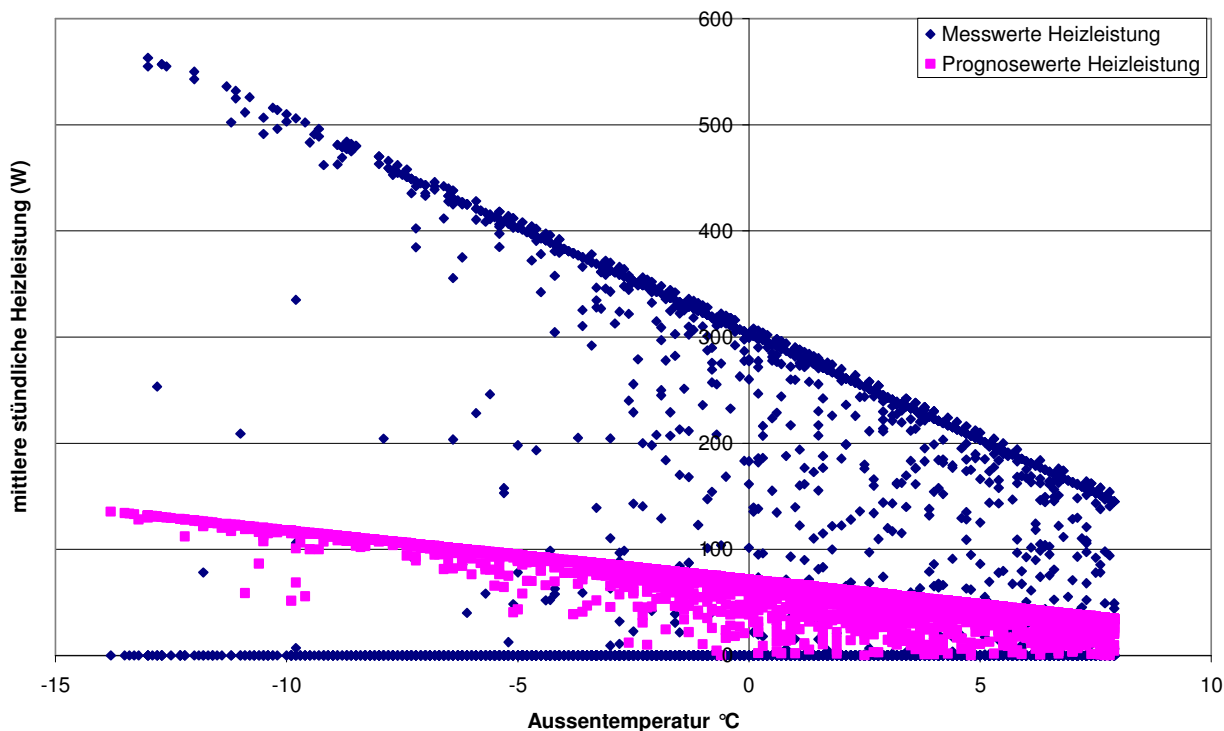


Fig. 23: Vergleich der Messwerte mit den prognostizierten Werten aus Figur 22. Die Prognose wurde nach 60 Tagen Messzeit gemacht.

Beispiel 3: Wenn die Aussentemperatur mit Wetterprognosemodellen bestimmt wird, muss in der Schweiz mit einem rmse von durchschnittlich 3°C und einem Bias von ca. 0.5°C gerechnet werden [31, 32]. Um den Einfluss dieser Ungenauigkeit in der Temperaturbestimmung zu untersuchen, wurde Beispiel 2 mit einer sehr geringen Trägheit noch einmal durchgerechnet. Dabei wurde angenommen, dass die Aussentemperatur konstant um 1°C höher war, als von den Wetterprognosemodellen berechnet. Als Konsequenz wird der Jahresenergieverbrauch um ca. 7% zu tief prognostiziert.

Da der Bias der Aussentemperatur im Schnitt ca. 0.5°C beträgt, kann bei einem durchschnittlichen Gebäude mit ca 3 bis 4% Unsicherheit aufgrund der ungenauen Aussentemperatur gerechnet werden. Dieser Wert ist aber vom Temperaturverhalten des Gebäudes sowie auch vom Standort abhängig, da der Bias nicht überall identisch ist. Ein Vergleich der prognostizierten und gemessenen Stundenwerte nach 60 Tagen Messdauer zeigt, dass die prognostizierten Werte leicht zu tief sind. Das Bestimmtheitsmass für die Prognose beträgt in diesem Fall 0.84.

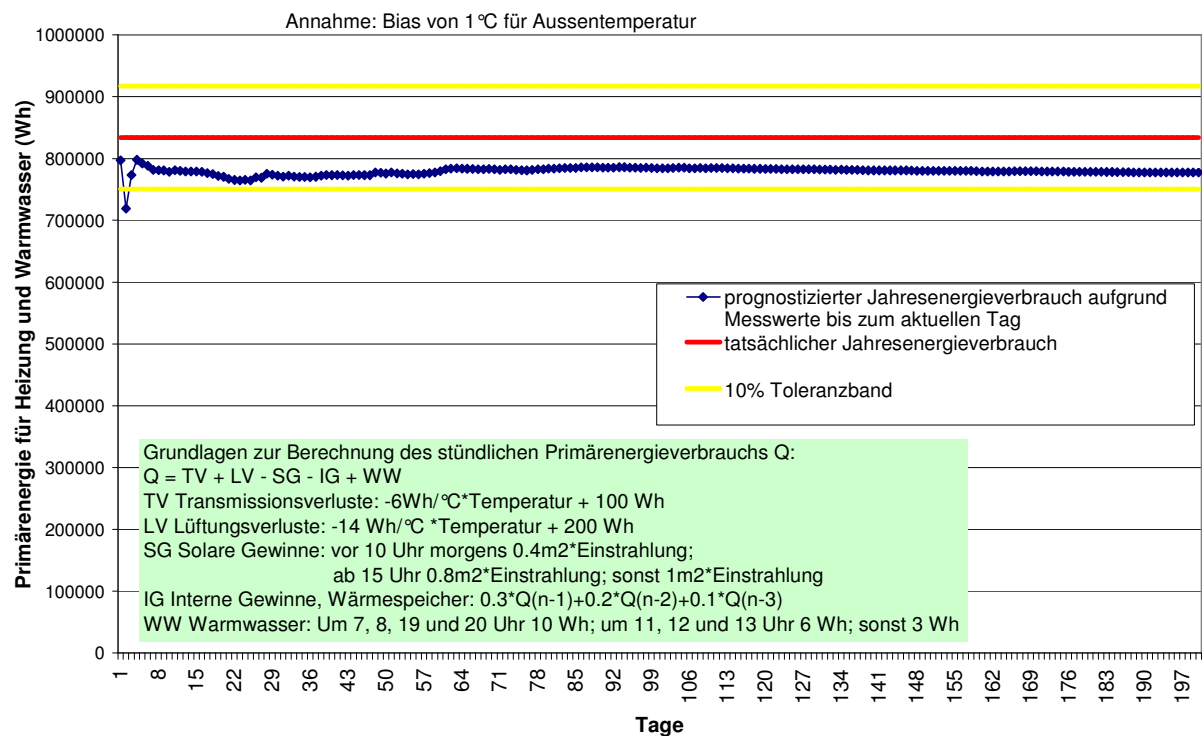


Fig. 24: Prognose des Jahresenergieverbrauchs bei idealen Wetterdaten und System mit Trägheit

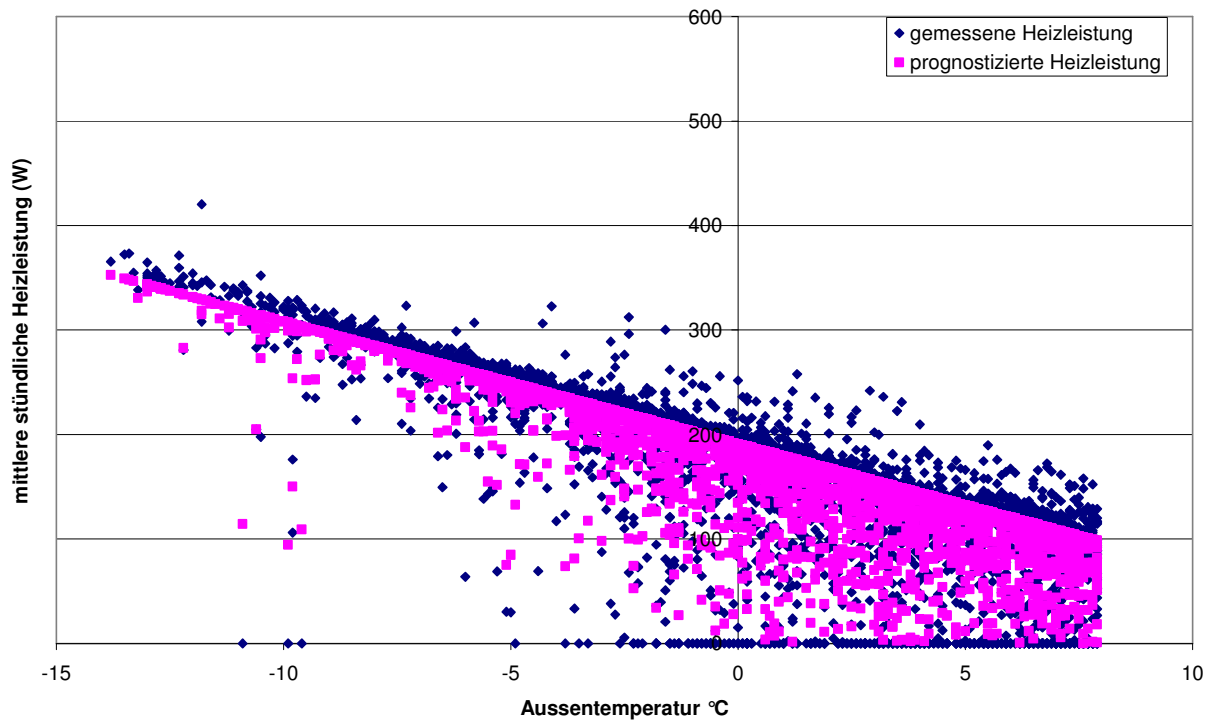


Fig. 25: Vergleich der fiktiven Messwerte mit den prognostizierten Werten aus Figur 22. Die Prognose wurde nach 60 Tagen Messzeit gemacht.

Beispiel 4: Beispiel 2 hat gezeigt, dass die gewählte Regression bei trägen Systemen den Energieverbrauch auf Stundenbasis nicht nachbilden kann. In Beispiel 4 wurde deshalb die Regression mit Tageswerten durchgeführt. Dabei wurden dieselben Parameter wie in Beispiel 1 angenommen. Es wurde davon ausgegangen, dass die Trägheit auf Tagesbasis vernachlässigt werden kann. Nach ca. 30 Tagen Messzeit wird der tatsächliche Jahresenergieverbrauch zuverlässig prognostiziert. Dies ist deutlich länger, als wenn die Regression auf Basis von Stundenwerten durchgeführt wird. Nach 60 Tagen Messzeit resultiert bei der Regression ein Bestimmtheitsmass von 0.89. Die Tageswerte des gemessenen und prognostizierten Energieverbrauchs stimmen gut überein.

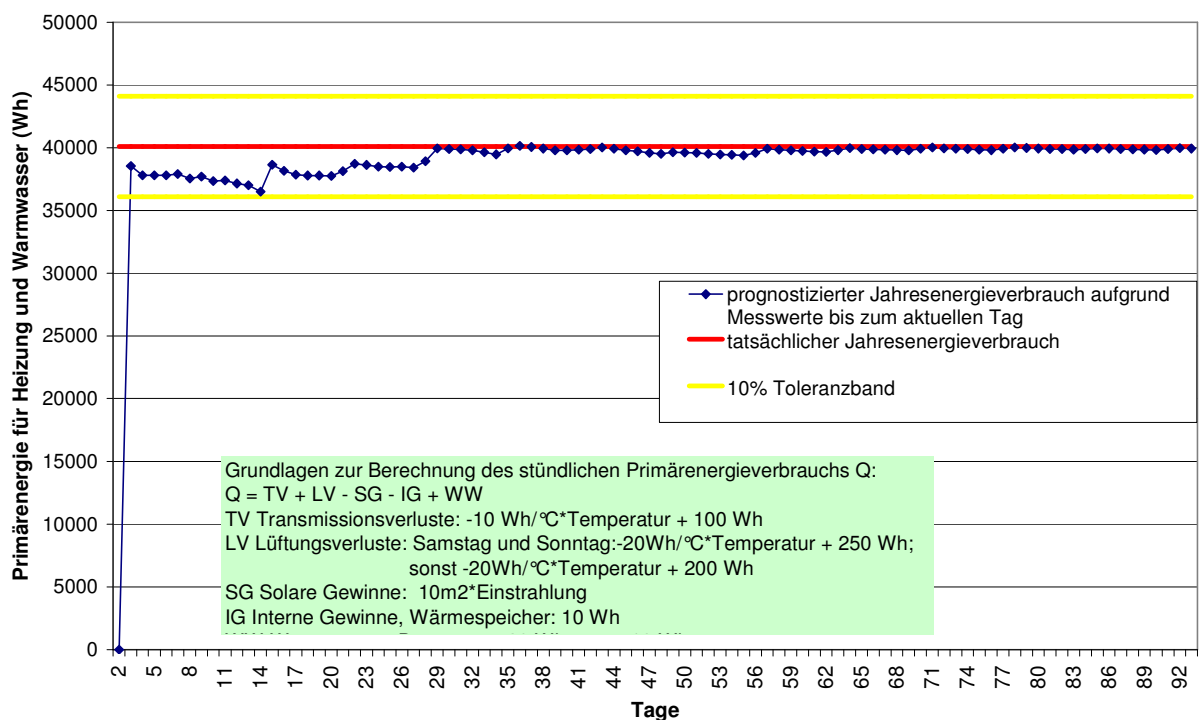


Fig. 26: Prognose des Jahresenergieverbrauchs mit Tageswerten und idealen Wetterdaten

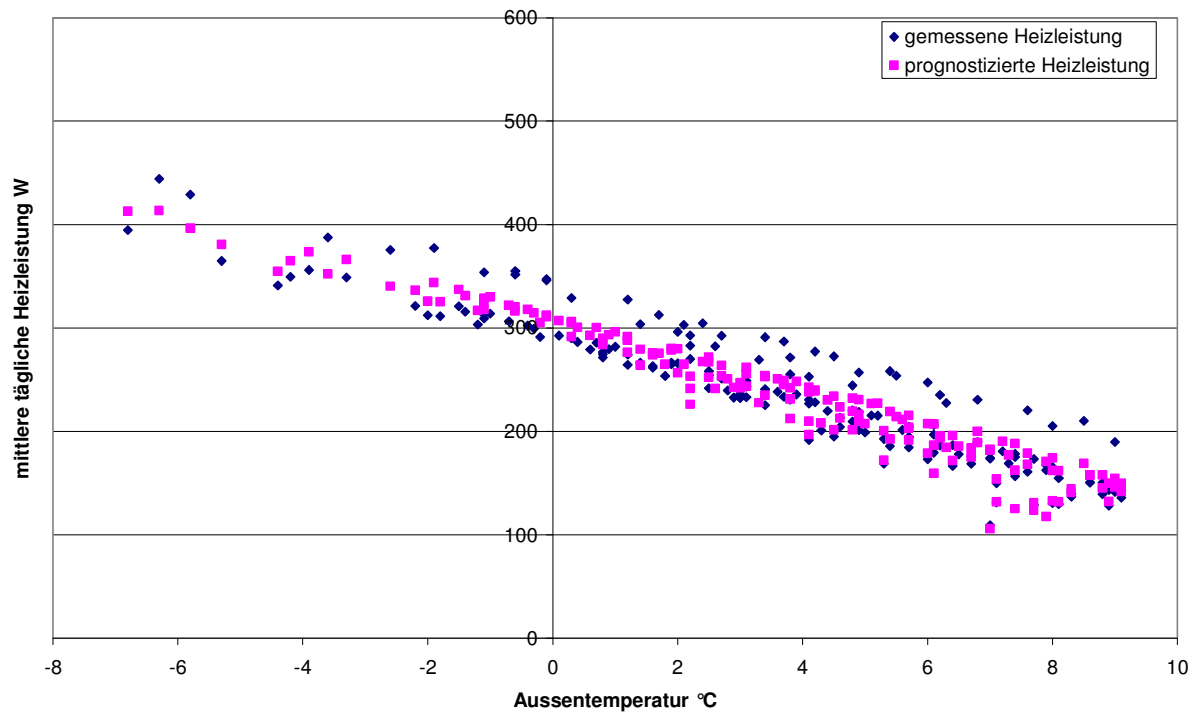


Fig. 27: Vergleich der Messwerte mit den prognostizierten Werten aus Figur 24. Die Prognose wurde nach 60 Tagen Messzeit gemacht.

5. Diskussion

MESSKONZEPT

Eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen von Egon ist die kostengünstige Installation der benötigten Messgeräte. Die Analyse hat gezeigt, dass es eine breite Palette an verschiedenen Messverfahren gibt, um den Primärenergieverbrauch zu bestimmen. Nicht alle Messverfahren sind für alle Heizungstypen geeignet. Am kostengünstigsten und gleichzeitig für die meisten Systeme geeignet, ist die Bestimmung der Betriebszeit aufgrund der Temperaturmessung am Vor- und Rücklauf der Heizung. Als Temperatursensoren können 1-Wire Temperatursensoren eingesetzt werden, die mit dem Datenlogger Barionet kompatibel sind. Dieser Datenlogger ist gleichzeitig das kostengünstigste und auch das flexibelste Gerät, da es frei programmierbar ist und über mehrere analoge, digitale wie auch Bus-Eingänge verfügt. Fig. 28 zeigt die minimalen Endkundenpreise für die Variante Barionet mit Temperaturmessung bei verschiedenen Datenübertragungsarten. Es ist klar ersichtlich dass die Kosten stark von der Übertragungsart abhängen. Wenn es mit geringem Aufwand möglich ist, Barionet mit dem Internet zu verbinden, liegen die Kosten für die Messeinrichtung deutlich unter CHF 1000.-. Alle Kostenangaben basieren auf einer Kostenschätzung.

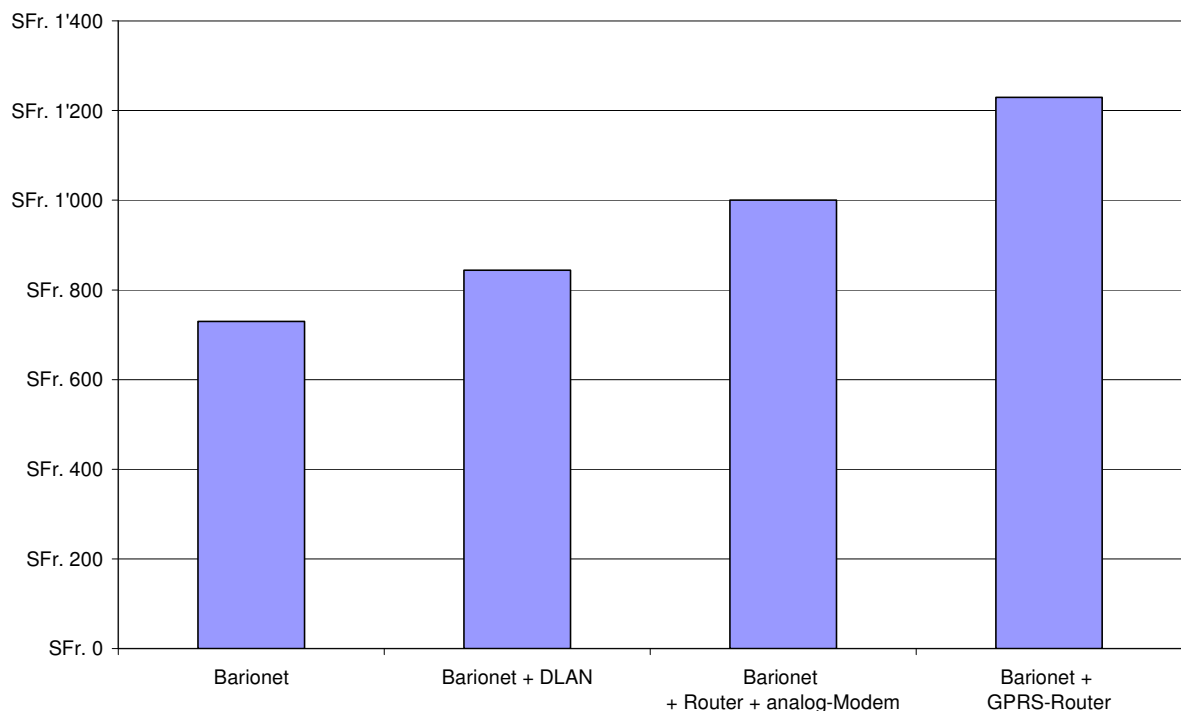


Fig. 28: Installations- und Hardwarekosten für die Messung der Vor- und Rücklauftemperatur mit 1-Wire Temperatursensoren und dem Datenlogger Barionet

DATENANALYSE

Das Ziel der Datenanalyse ist es, aufgrund der Messdaten innerhalb kurzer Zeit den Standard-Jahresenergieverbrauch eines Gebäudes mit einer Toleranz von $\pm 10\%$ prognostizieren zu können. Am vielversprechendsten scheint dabei der Ansatz der linearen Regression der Messdaten in Abhängigkeit der Temperatur und evtl. weiterer Parameter wie der Einstrahlung zu sein. Modellrechnungen haben gezeigt, dass der Bias in der Temperaturprognose im Schnitt zu einer Verschätzung des Standard-Jahresenergieverbrauchs um ca. 3 bis 4% führen kann. Allerdings schwankt dieser Wert je nach Gebäudetyp und Standort, so dass es in einzelnen Fällen auch zu einer Verschätzung des Standard-Jahresenergieverbrauchs um 10% oder mehr kommen könnte.

Da keine realen Messdaten zur Datenanalyse vorhanden waren, wurden fiktive Datensätze verwendet. Diese deuten darauf hin, dass die Trägheit eines Gebäudes und Heizsystems einen grossen Einfluss darauf hat, wie schnell und zuverlässig der Standard-Jahresenergieverbrauch prognostiziert werden kann. Je träger ein System ist, umso schwieriger wird die Prognose. Ein erstaunliches Resultat aus den Modellrechnungen ist, dass auch bei trägen Systemen der Standard-

Jahresenergieverbrauch nach wenigen Tagen Messzeit relativ genau bestimmt werden kann, die Prognose einzelner Stundenwerte dagegen nicht möglich ist. Wenn die Regression auf Basis von Tageswerten durchgeführt wird, kann der Standard-Jahresenergieverbrauch nach ca. 30 Tagen prognostiziert werden. Auf Tagesbasis ist es mit den fiktiven Datensätzen auch möglich, den Energieverbrauch einzelner Tage zuverlässig zu simulieren.

6. Schlussfolgerungen

Um Aussagen über die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Messmethode und des Regressionsverfahrens zu machen, müssten reale Gebäude / Heizsysteme ausgemessen und die Daten interpretiert werden. Als nächster Schritt wäre es deshalb notwendig, einzelne Häuser mit Messgeräten auszustatten, während einer Heizperiode Daten zu sammeln und danach auszuwerten. Zur Zeit ist noch unklar, wie stark die Trägheit der Gebäude die Analyse erschwert. Aufgrund der Resultate ist es auch schwierig zu sagen, ob besser mit Tages- oder mit Stundenwerten gerechnet werden soll. Die Resultate aus den Modellrechnungen zeigen jedoch, dass es prinzipiell möglich ist, den Standard-Jahresenergieverbrauch mit Hilfe einer linearer Regression zu bestimmen, und dass die Unsicherheiten voraussichtlich weniger als 10% betragen.

Sobald der tatsächliche Standard-Jahresenergieverbrauch des Gebäudes bestimmt ist, kann er mit der Energiekennzahl des Gebäudes (falls vorhanden) verglichen werden, oder mit dem durchschnittlichen Energieverbrauch ähnlicher Gebäude. Bei dieser Interpretation müssen nicht nur die Unsicherheiten des prognostizierten Jahres-Energieverbrauchs beachtet werden, sondern auch der Einfluss des Benutzerverhaltens, wie z.B. die Raumtemperatur. Falls zwischen dem gemessenen und dem erwarteten Jahresenergieverbrauch Differenzen auftreten, sollte bereits auf der Egon-Homepage eine Auswertung stattfinden, die mögliche Gründe dafür aufzeigt.

Referenzen

- [1] GWF Mess-Systeme, www.gwf.ch
- [2] Weishaupt AG, www.weishaupt-ag.ch
- [3] Erdgas Zürich AG, www.erdgaszuerich.ch
- [4] Aquametro, www.aquametro.com
- [5] Amess Abrechnung und Messtechnik, www.amess.at
- [6] Siemens Schweiz, www.siemens.ch
- [7] ELV Elektronik AG, www.elv.de
- [8] Envidatec Energiedienstleistungen, www.envidatec.com
- [9] Meteocontrol, www.meteocontrol.de
- [10] Döbelt Datenkommunikation, www.doebelt.de
- [11] Inroi AG, www.inroi.ch
- [12] Barix AG, www.barix.com
- [13] www.solarlog-shop24.de
- [14] AS-Solar GmbH, www.as-solar.com
- [15] EU-Projekt PVSATII, www.pvsat.com
- [16] Projekt Envisolar der European Space Agency, www.envisolar.com
- [17] SPYCE, www.spyce.ch
- [18] Minergie, www.minergie.ch
- [19] Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen, www.gebaeudeprogramm.ch
- [20] EN 12831 «Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast“

- [21] Wikipedia, www.wikipedia.org
- [22] Elster Kromschroder GmbH, www.kromschroeder.de
- [23] Actaris, www.actaris.de
- [24] MessPC, www.messpc.de
- [25] Tritec AG, www.tritec-energy.com
- [26] Charles Weinmann, www.weinmann-energies.ch. Gespräch an Begleitgruppensitzung
- [27] Entec Messtechnik GmbH, www.entec-gmbh.de
- [28] Conrad, www.conrad.de
- [29] Swisscom, www.swisscom.ch
- [30] Rosenberg Information Systems – Consulting, www.risc.ch
- [31] Meteotest, www.meteotest.ch
- [32] DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Präsentation „Validierung der 2m-Temperatur verschiedener Modelle“, Praktikumsbericht im Rahmen des virtuellen Instituts, Oberpfaffenhofen, 30. Juli 2007
- [33] Thomas Nordmann, TNC Consulting AG, www.tnc.ch
- [34] Charles Filleux, Basler & Hofmann AG, www.bhz.ch
- [35] Smarthouse, www.smarthouse.com