



Energetische Flexibilität von Gebäuden

Beitrag zum IEA Annex 67

JAHRESBERICHT 2016

Autor und Koautoren	Dr. Monika Hall
beauftragte Institution	Institut Energie am Bau, HABG, FHNW
Adresse	St. Jakobs-Str. 84, CH-4132 Muttenz
Telefon, E-mail,	+41-61-4674561, monika.hall@fhnw,
Internetadresse	www.fhnw.ch/habg/iebau
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	8100083, SI/501240-01
BFE-Projektleiter	Rolf Moser, Andreas Eckmanns
Dauer des Projekts (von – bis)	01.03.2015 – 31.12.2019
Datum	02.12.2016

Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist es, die energetische Flexibilität eines Gebäudes bzgl. des Eigenverbrauchs und der Netzinteraktion zu beschreiben und die Möglichkeiten, die Grenzen und eine Optimierung aufzuzeigen. Dies soll in zwei bis drei praxistauglichen Kenngrössen für z.B. Aktivierungspotential der thermischen Masse, minimale/maximale Netzanschlussleistung oder einer Kenngrösse über den Eigenverbrauch bzw. die Netzinteraktion beschrieben werden.

Es wurde das Planungsinstrument "EnerFlex" entwickelt, welches auf Stundenbasis den Eigenverbrauch, die Eigendeckung sowie den Netzbezug und die Netzeinspeisung bestimmt. Mit dem Instrument wird der Einfluss verschiedener Parameter auf die Eigenverbrauchs- und Netzbezugsrate untersucht. Auf der Grundlage und Erfahrungen von "EnerFlex" wird gerade für die Kantone und Minergie ein neues, erweitertes Tool entwickelt, welches als stand-alone und für den Minergie-Nachweis ab 2017 zur Verfügung stehen wird. Somit war die Entwicklung des Planungsinstruments sehr erfolgreich. Der Eigenverbrauch kann mit dem neuen, öffentlichen Tool als Kenngrösse für die Flexibilität bestimmt werden.

Für die Nutzung der thermischen Masse um den Eigenverbrauch zu erhöhen, wird in Abhängigkeit von dem Heizwärmebedarf, der Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes und der Wärmepumpenleistung für Gebäude mit Fussbodenheizung die notwendige Wärmepumpenlaufzeit bestimmt. Die Wärmepumpenlaufzeit kann mit einfachen Mitteln berechnet werden und dient daher als Kenngrösse der Flexibilität. Je kürzer die Wärmepumpenlaufzeit ist, desto mehr Flexibilität kann das Gebäude dem Netz anbieten bzw. den Eigenverbrauch erhöhen, in dem die Wärmepumpe nur zu Tageszeiten läuft.

1 Projektziele

Ziel des Projektes ist es, die energetische Flexibilität eines Gebäudes bzgl. des Eigenverbrauchs und der Netzinteraktion zu beschreiben und die Möglichkeiten, die Grenzen und eine Optimierung aufzuzeigen. Dies soll in zwei bis drei praxistauglichen Kenngrößen für z.B. Aktivierungspotential der thermischen Masse, minimale/maximale Netzanschlussleistung oder einer Kenngröße über den Eigenverbrauch bzw. die Netzinteraktion beschrieben werden. Die Kenngrößen können z.B. in die Anforderung von Gebäudestandards einfließen bzw. eine Auslegegröße für den Netzbetreiber darstellen. Durch die Einbettung des schweizerischen Projekts in das internationale Forschungsprojekt IEA EBC Annex 67 "Energy Flexible Buildings" [1], erfolgt ein internationaler Informationsaustausch.

Die Ziele für 2016 sind

- Fertigstellung des Planungsinstruments "EnerFlex" zur Bestimmung des Eigenverbrauchs in der Praxis
- Literaturrecherche
- Einfluss der thermischen Masse auf die energetische Flexibilität von Gebäuden

2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

2.1 Entwicklung eines Planungsinstruments zur Bestimmung des Eigenverbrauchs

Das Planungsinstrument "EnerFlex" zur Bestimmung des Eigenverbrauchs auf Stundenwerten wurde fertiggestellt. Das Instrument kann für Ein- und Mehrfamilienhäuser, Verwaltung und Schulen angewendet werden. Die Methodik zeigt Bild 1. Es können Jahres- bzw. für einige Parameter auch Monatswerte eingegeben werden. Der Bedarf für Geräte, Beleuchtung, Lüftung und Warmwasser wird nach den Lastprofilen gemäss SIA 2024 [1] auf Stundenwerte verteilt. Heizwärmebedarf und Kühllastbedarf werden nach einer Grenztemperatur verteilt. Anschliessend wird der elektrische Bedarf und der PV-Ertrag berechnet. In einem weiteren Schritt erfolgt die Bilanzierung von Bedarf und PV-Ertrag mit/ohne Berücksichtigung eines Batteriespeichers. Als letzter Schritt werden die stündlichen Ergebnisse zusammengefasst und der Eigenverbrauch, die Eigendeckung, der Netzbezug und die Netzeinspeisung als Monats- und Jahreswerte sowohl graphisch als auch als Zahlenwerte dargestellt. Durch die Wahl der Betriebszeiten der Wärmepumpe (Tag/Nacht/24h), der Wahl effizienter Geräte, dem Einsatz eines thermischen Kollektors oder eines Batteriespeichers kann der Eigenverbrauch optimiert werden. Bild 2 und Bild 3 zeigen eine Auswahl der Ergebnisse.

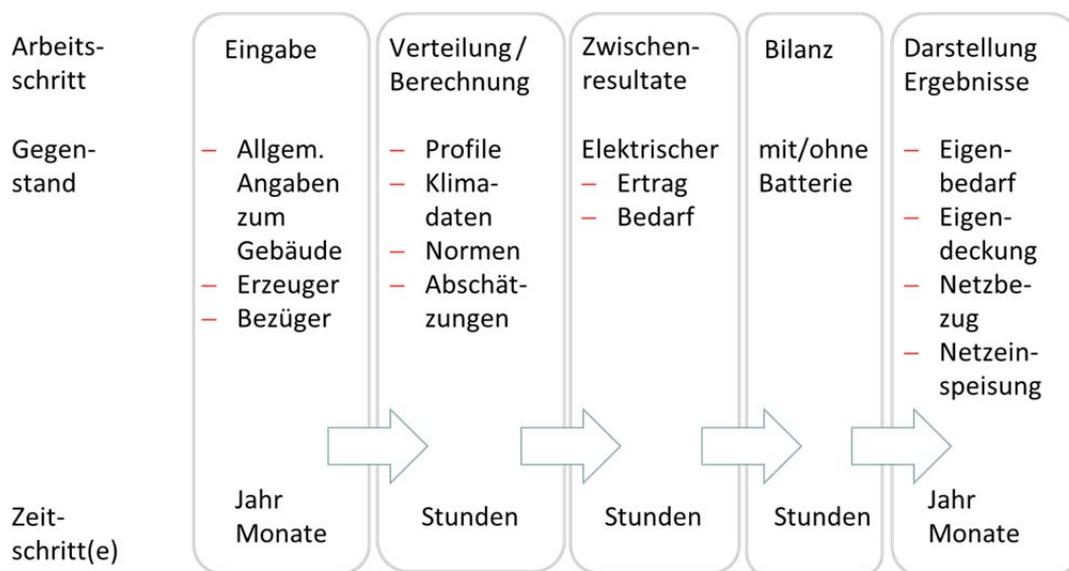


Bild 1: Methodik des Planungsinstruments [2].

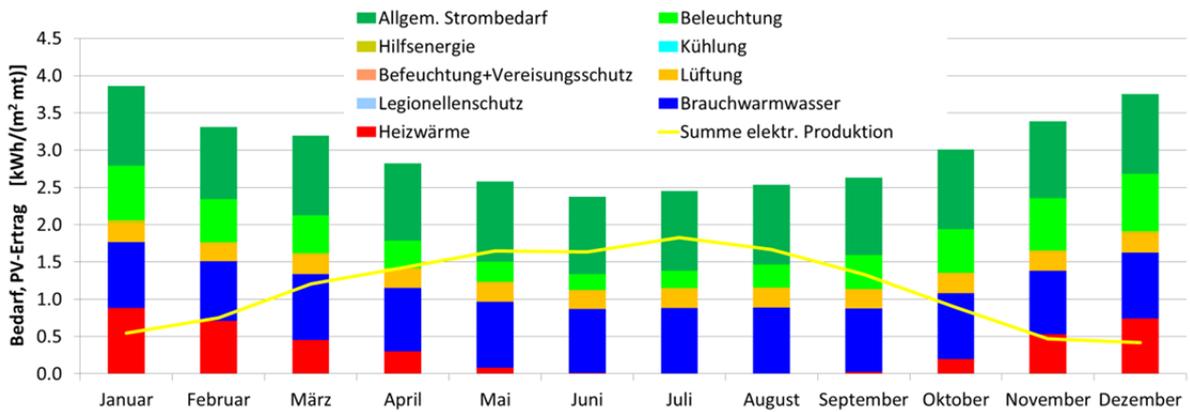


Bild 2: Beispielhafte Darstellung des Bedarfs und der PV-Ertrags als Monatswerte [2].

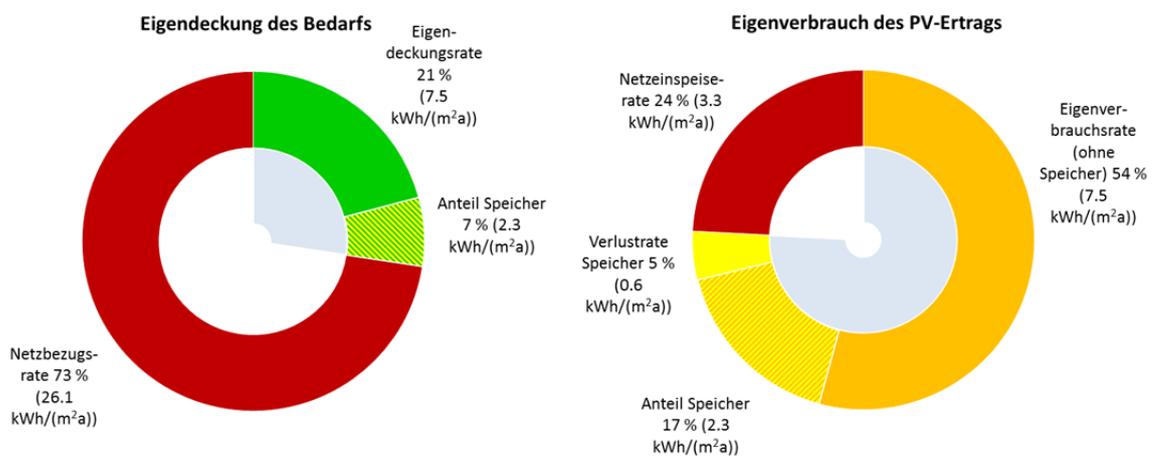


Bild 3: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse für die Eigendeckung und den Eigenverbrauch als Jahreswert, berechnet auf Stundenwerten [2].

Eine Variantenstudie bei der Bedarfsverteilung für die Beleuchtung macht deutlich, dass die Einführung einer Globalstrahlungsgrenze für die Tageslichtabhängigkeit die Beleuchtungscharakteristik realer beschreibt als das Bandlastprofil für Beleuchtung aus SIA 2024 (Bild 4). Oberhalb der Globalstrahlungsgrenze ist die Beleuchtung ausgeschaltet, es liegt kein Bedarf vor. Da der Jahresbedarf für Beleuchtung gleich bleibt, muss der Bedarf für die Beleuchtung auf die verbleibenden Stunden verteilt werden. Dies verschiebt und erhöht den Bedarf in Stunden ohne PV-Ertrag. Das neue Profil spiegelt die Tageslängen in Abhängigkeit von der Jahreszeit und die Verteilung von Stunden mit Tageslicht im Tagesverlauf wider. Dies zeigt sich im Mehrbedarf für Beleuchtung in der Nacht und im Winter. Der Vergleich zeigt, dass die Einführung eines Grenzwertes für die Globalstrahlung als zusätzlicher Parameter für die Beleuchtungssteuerung sinnvoll ist. Daher wird im Planungsinstrument eine Globalstrahlungsgrenze von 200 W/m^2 eingeführt.

Tagesstunde	Monat											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
7	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
8	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
9	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
10	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
11	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
12	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
13	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
14	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
15	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
16	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
17	0.027	0.025	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027	0.027	0.026	0.027	0.026	0.027
18	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
19	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
20	0.058	0.053	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058	0.058	0.056	0.058	0.056	0.058
21	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
22	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
23	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
24	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bedarf [kWh/(m2*mt)]	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Anteil am Jahresbedarf in %	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tagesstunde	Monat											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
2	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
3	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
4	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
5	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
6	0.003	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003
7	0.073	0.066	0.043	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.047	0.071	0.073
8	0.071	0.033	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.073
9	0.014	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.017
10	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.007
11	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002
15	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.012
16	0.031	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.040	0.054
17	0.073	0.024	0.007	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.009	0.045	0.071	0.073
18	0.157	0.142	0.106	0.020	0.010	0.005	0.005	0.015	0.096	0.157	0.152	0.157
19	0.157	0.142	0.157	0.142	0.056	0.010	0.015	0.091	0.152	0.157	0.152	0.157
20	0.157	0.142	0.157	0.152	0.157	0.147	0.157	0.157	0.152	0.157	0.152	0.157
21	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
22	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
23	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
24	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Bedarf kWh/(m2*mt)	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8
Anteil am Jahresbedarf in %	13	10	9	6	4	3	4	5	8	10	13	14

Bild 4: Bedarfsverteilung MFH: oben: Profil gemäss SIA 2024, unten: Beleuchtung mit Globalstrahlungsgrenze von 200 W/m² [2].

Bei Wohnbauten wird davon ausgegangen, dass nur bei geringem Tageslicht künstliche Beleuchtung eingesetzt wird. Bei Schulen und Verwaltungsbauten besteht wegen Räumen ohne Tageslicht und auch aufgrund von künstlicher Verschattung (z.B. Blendschutz bei Arbeiten am Bildschirm aber auch Schutz vor Überhitzung) auch bei genügend Tageslicht ein gewisser Bedarf an künstlicher Beleuchtung. Aus diesem Grund wird zusätzlich ein Anteil an tageslichtunabhängiger Beleuchtung eingeführt. Dieser wird entsprechend den Profilen nach SIA 2024 verteilt. Wie hoch der Anteil des tageslichtunabhängigen Beleuchtungsbedarfs ist, muss für jedes Gebäude bestimmt werden. Um den Einfluss der Globalstrahlungsgrenze und dem Anteil des tageslichtunabhängigen Beleuchtungsbedarfs abschätzen zu können, werden beide Grössen für ein Schulhaus mit einer PV-Anlage von 75 kWp variiert (Bild 5).

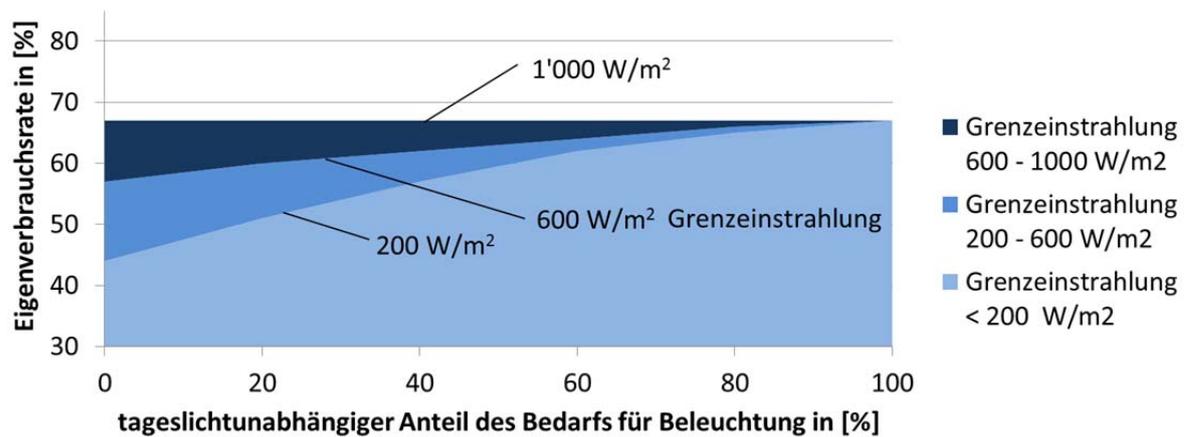


Bild 5: Einfluss der Globalstrahlungsgrenze und des tageslichtunabhängigen Anteils des Bedarfs für Beleuchtung bei einer Schule (75 kWp PV-Anlage, kein Speicher) [2].

Grundsätzlich muss bei der Beleuchtung beachtet werden, wie effizient die Beleuchtung ist. Je geringer der Bedarf für dies Beleuchtung ist, desto geringer ist der Einfluss auf die Eigenverbrauchsrate.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Planungsinstrument herangezogen werden kann, um verschiedene Einflüsse auf den Eigenverbrauch zu quantifizieren. Auch eine Optimierung des Eigenverbrauchs durch z.B. Verschiebung der Wärmepumpenlaufzeit in die Tagesstunden ist möglich.

Das Planungsinstruments wurde auf dem Brenet Status Seminar vorgestellt [2]. Zum grössten Teil ist die Dokumentation erstellt. Da die Kantone und Minergie ein sehr grosses Interesse an dem Instrument gezeigt haben, entstand ein Auftrag zur Entwicklung eines Nachweistools für den Eigenverbrauch auf Basis des vorgestellten Planungsinstruments. Das Nachweistool soll für Minergie und als stand-alone anwendbar sein. Da das Nachweistool Anfang 2017 mit der Lancierung der überarbeiteten Minergiestandards bereitstehen muss, konnte die Dokumentation noch nicht abgeschlossen werden.

2.2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zu "Flexibilität von einzelnen Gebäude" wurde nicht weitergeführt, da im Annex 67 von verschiedenen Personen u.a. im Rahmen von Doktorarbeiten Literaturrecherchen zu diesem Thema durchgeführt und veröffentlicht werden. Da Themen zu Areale im Annex nicht so stark vertreten sind, läuft gerade eine Literaturrecherche zu "Flexibilität von Arealen".

2.3 Einfluss der thermischen Masse auf die energetische Flexibilität von Gebäuden

Der Einfluss der thermischen Speichermasse des Gebäudes in Abhängigkeit von dem Heizwärmebedarf und der Grösse der Wärmepumpe soll bestimmt werden. Hieraus wird eine Kenngrösse zur Beschreibung der Flexibilität bzgl. Wärmepumpenlaufzeit abgeleitet.

Hierzu werden die Untersuchungen auf Basis des Modelles MFH Setz [3] (Fussbodenheizung, 8.9 kW Wärmepumpe) weitergeführt. Zur Verbesserung der Verallgemeinerbarkeit wird von den speziellen Randbedingungen des realen, kleinen Mehrfamilienhauses auf Standardbedingungen gemäss Merkblatt SIA 2024 [4] gewechselt und es werden die Standard-Klimadaten der Klimastation Buchs-Aarau eingeführt (Bild 6, 10-13/14-19 Uhr, 10.2.-11.03.). Mit der Einführung der Standardbedingungen nach SIA 2024 gleichen sich die operativen Raumtemperaturen "Wohnen" für alle Wohnungen an. Die unterschiedlichen Temperaturen nach den Wünschen der Mieter werden damit nicht mehr berücksichtigt. Es wird festgelegt, dass mit der Wärmepumpe eine operative Raumtemperatur von $22^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \text{ K}$ gehalten werden muss.

Es zeigt sich, dass die Ergebnisse des realen Gebäudes von der OG-Wohnung stärker von den Standardbedingungen abweichen, als diejenigen der UG- und EG-Wohnungen. Dies liegt daran, dass die realen Nutzer der OG-Wohnung es deutlich wärmer als 22°C wünschen.

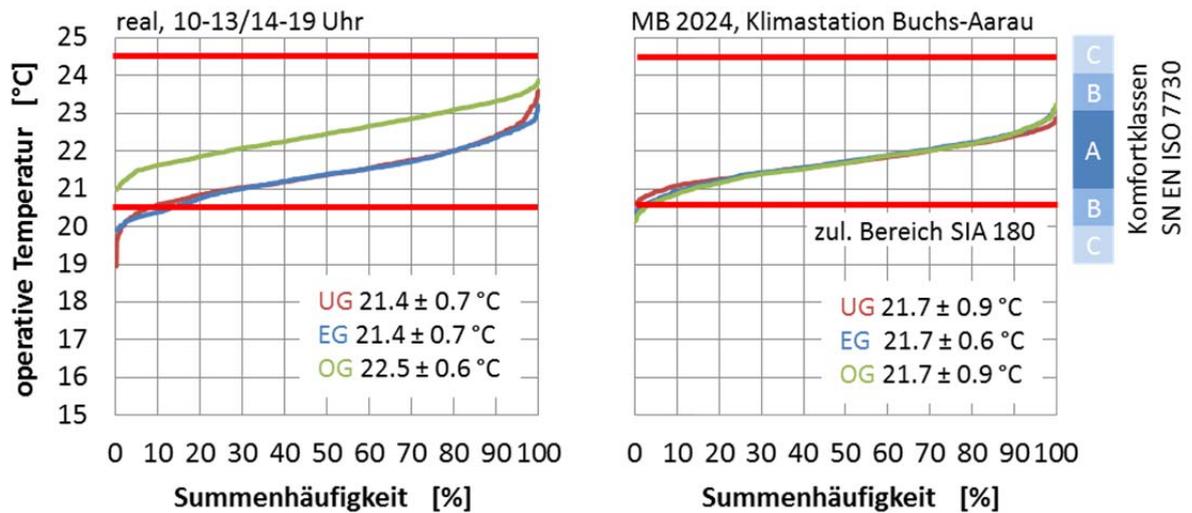


Bild 6: Vergleich der Häufigkeit der operativen Temperaturen mit realen (links) und Standardbedingungen (rechts) (WP Laufzeit:10-13/14-19 Uhr, Betrachtungszeitraum: 10.2.-11.03.).

Bild 7 zeigt die Verteilung der operativen Raumtemperaturen auf einzelne Temperaturbereiche für den Fall "real" und mit Standardbedingungen. Hier ist nochmals gut zu sehen, wie die individuellen operativen Raumtemperaturen durch die Standardisierung vereinheitlicht werden. Der Raum "Wohnen" der OG-Wohnung wird kühler, während die Temperatur der Räume "Wohnen" von UG/EG im Mittel ansteigt. Der Bereich 19°C - 25°C entspricht der Komfortklasse C nach SN EN ISO 7730 [5].

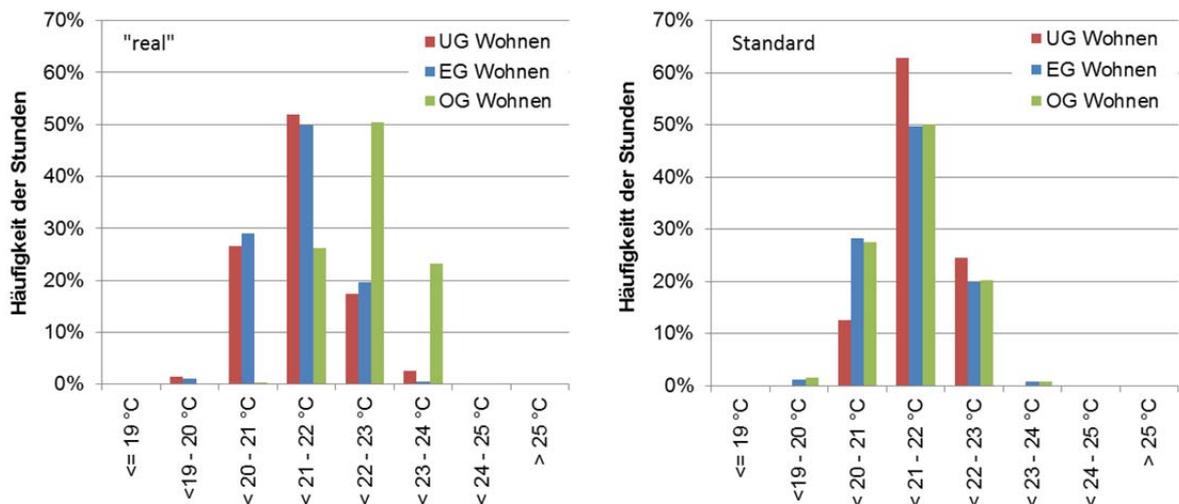


Bild 7: Klassierung der operativen Raumtemperaturen "Wohnen" für den Fall "real" und mit Standardbedingungen (WP Laufzeit:10-13/14-19 Uhr, Betrachtungszeitraum: 10.2.-11.03.).

Um die Flexibilität für die Wärmepumpenlaufzeit zu bestimmen, wird für verschiedene Wärmespeicherfähigkeiten, Wärmepumpengrößen und Heizwärmebedarfe die minimale Wärmepumpenlaufzeit berechnet. Dabei darf in keiner Wohnung die operative Temperatur unter 20°C fallen. Bei den verschiedenen Varianten zeigt sich, dass die Wohnung im Obergeschoss i.d.R. die Laufzeit der Wärmepumpe limitiert, da dort als erstes operative Temperaturen zwischen 19-20°C auftreten. Die Untersuchungen werden für den Zeitraum 01.01.-28.02. durchgeführt. Punktueller Jahressimulationen zeigen dieselben Ergebnisse. An der Klimastation Buchs Aarau sind die gewählten zwei Monate die Monate mit den tiefsten Aussenlufttemperaturen. Die Tageslänge nimmt im genannten Zeitraum von 8.5 h auf 11 h zu. D.h. im Hochwinter sollte für Heizung und Warmwasser die Wärmepumpenlaufzeiten ca. 8 h

nicht überschreiten. Bei allen Varianten wird davon ausgegangen, dass mittags zwischen 13-14 Uhr die Wärmepumpe das Warmwasser bereitet. Die Laufzeit für die Wärmepumpe für Heizzwecke wird um die "Warmwasserzeit" gruppiert, d.h. die Laufzeit ist eine Blockzeit mit einer einstündigen Unterbrechung am Mittag. Generell wird im Folgenden nur die Laufzeit der Wärmepumpe für Heizzwecke angegeben. Für die Gesamtlaufzeit muss immer die Stunde für die Warmwasserbereitung dazu addiert werden.

In Bild 8 ist die Wärmepumpenlaufzeit (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmespeicherefähigkeit (x-Achse), dem Heizwärmebedarf (Farbe) und der Wärmepumpenleistung (Linien) zusammengestellt. Den grössten Einfluss auf die Wärmepumpenlaufzeit hat der Heizwärmebedarf. Bei gleichem Heizwärmebedarf weisen Gebäude mit einer Wärmespeicherefähigkeit grösser ca. 60 Wh/(m² K) die kürzesten Laufzeiten auf. Unter ca. 60 Wh/(m² K) steigt die Wärmepumpenlaufzeit linear mit der Abnahme der Wärmespeicherefähigkeit an. Die Steigung nimmt dabei mit dem Heizwärmebedarf überproportional zu.

Die Grösse der Wärmepumpe macht zwischen 2-3 Stunden bei der Wärmepumpenlaufzeit aus. Die beiden Wärmepumpenleistungen wurden gewählt, um den Bereich aufzuzeigen, der von verschiedenen grossen Anlagen abgedeckt wird. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

- Der Heizwärmebedarf hat den grössten Einfluss auf die Laufzeit der Wärmepumpe.
- Mit grösseren (überdimensionierten) Wärmepumpen können kürzere Laufzeiten erzielt werden.
- Eine Wärmespeicherefähigkeit grösser ca. 60 Wh/(m² K) bringt keine nennenswerte weitere Reduktion der Wärmepumpenlaufzeit. Die grössere Masse kann in 24h nicht angesprochen werden.
- Bei Gebäuden mit einem hohen Heizwärmebedarf und niedriger Wärmespeicherefähigkeit reicht (bei dem betrachteten Wärmeabgabekonzept) auch eine grosse Wärmepumpenleistung nicht mehr aus, um in 24h die geforderten Temperaturen bereitzustellen.

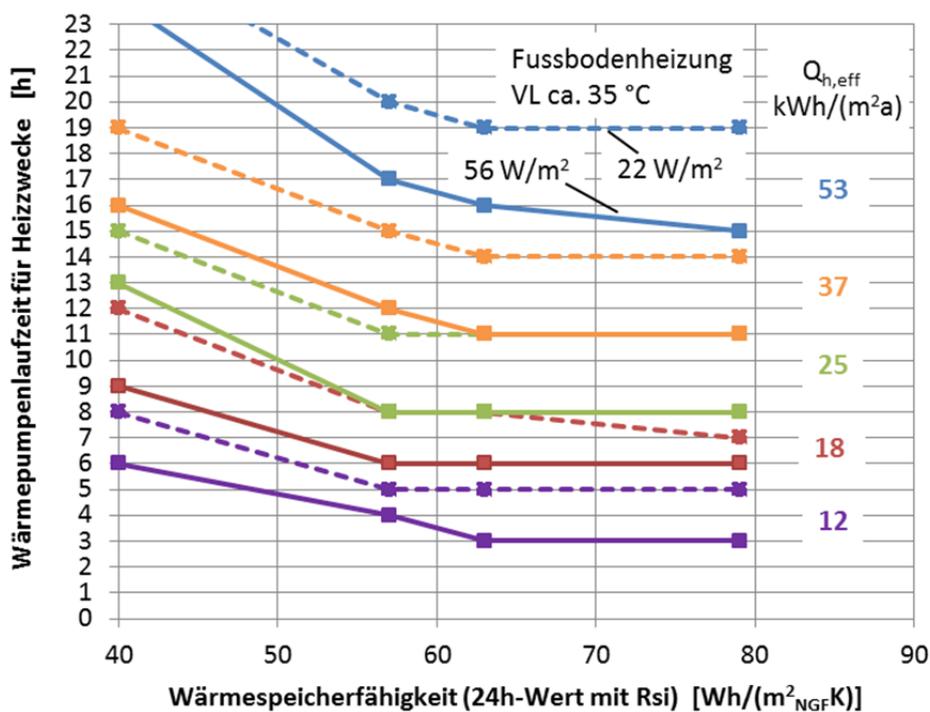


Bild 8 Laufzeiten (Blockzeiten) für die Wärmepumpe für Heizzwecke in Abhängigkeit von dem Heizwärmebedarf und der Leistung der Wärmepumpe.

Damit auch im Hochwinter mit Tageslängen von 8-9 Stunden die Wärmepumpe nur auf die Tagesstunden limitiert werden kann, ist ein sehr gut gedämmtes Gebäude notwendig. Die Wärmepumpenlaufzeit für Heizzwecke muss hierfür bei 7-8 Stunden liegen, da noch eine Stunde für die Warmwasserbereitung am Mittag dazugezählt werden muss. Gebäude mit einer Wärmespeicherfähigkeit von mindestens ca. 60 Wh/(m² K) können einen maximalen Heizwärmebedarf von ca. 25 kWh/(m² a) aufweisen.

Eine Wärmespeicherfähigkeit von 57 Wh/(m² K) entspricht in etwa der Bauweise mittel nach SIA 380/1 [6]. D.h., für Gebäude mit der Bauweise mittel/schwer gemäss [6], einer Fussbodenheizung und niedrigem Heizwärmebedarf kann die Wärmepumpenlaufzeit auf die Tagesstunden limitiert werden.

Um die Ergebnisse für die Praxis handhabbar zu machen, werden die Wärmepumpenlaufzeiten für Heizzwecke für ausgewählte Wärmespeicherfähigkeiten in Abhängigkeit von dem effektiven Heizwärmebedarf aufgetragen (Bild 9). Es wird eine mittlere Wärmepumpenleistung angenommen. Mit Hilfe einer Trendlinie kann nun für einen beliebigen Heizwärmebedarf die Wärmepumpenlaufzeit für Heizzwecke berechnet werden.

Aus diesem Diagramm kann die Flexibilität bzgl. Wärmepumpenlaufzeit in Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs und der Wärmespeicherfähigkeit der Gebäudemasse entnommen werden. Die Wärmepumpenlaufzeit ist somit eine Kenngrösse für die gebotene Flexibilität.

Lesebeispiel: ein Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 30 kWh/(m² a) und einer Wärmespeicherfähigkeit von 60 Wh/(m² K) benötigt eine Wärmepumpenlaufzeit von rund 10 h. Die Wärmepumpe kann damit auch im Hochwinter überwiegend am Tag betrieben werden und somit den Eigenverbrauch erhöhen.

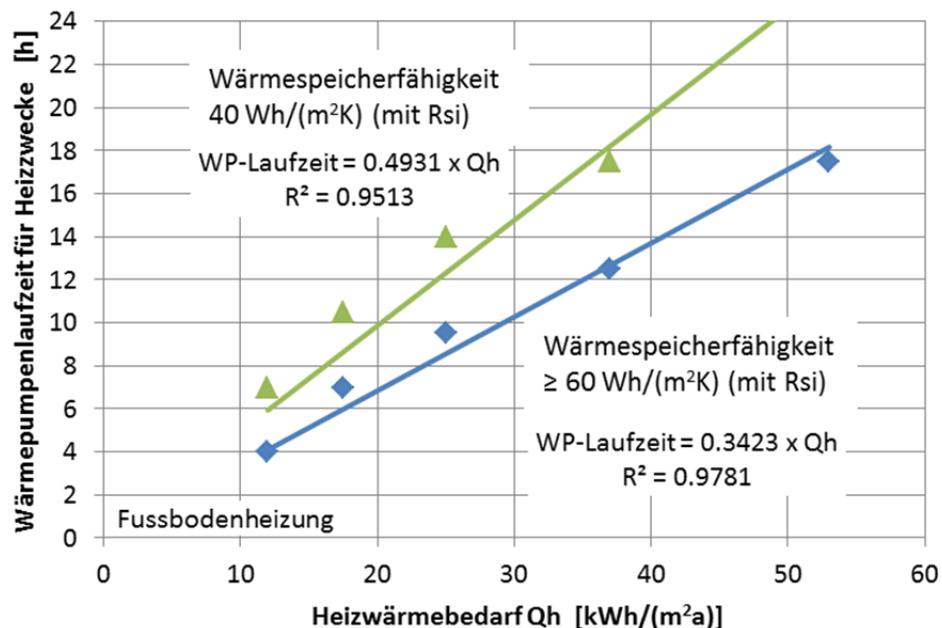


Bild 9: Wärmepumpenlaufzeiten(Blockzeit) für Heizzwecke für Wohnen in Abhängigkeit von dem effektiven Heizwärmebedarf und für verschiedene Wärmespeicherfähigkeiten.

Die Wärmepumpenlaufzeit kann jetzt mit einfachen Mitteln ermittelt werden und dient daher als Kenngrösse der Flexibilität. Je kürzer die notwendige Wärmepumpenlaufzeit ist, desto mehr Flexibilität kann das Gebäude dem Netz anbieten bzw. kann der Eigenverbrauch erhöht werden, indem die Wärmepumpe nur zu Tageszeiten läuft.

3 Internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird am Projekt IEA Annex 67 "Energy Flexible Building" teilgenommen. In 2016 fanden zwei Meetings statt. Bei dem Herbstmeeting wurde zum ersten Mal konkreter besprochen, was in den einzelnen Subtasks bearbeitet werden soll. Die inhaltliche Überschneidung der einzelnen Subtasks ist sehr gross. Es laufen sehr viele einzelne Projekte, die irgendwann zusammengeführt werden müssen.

Wir haben unser Planungsinstrument Österreich, Deutschland und Belgien zum Testen gegeben. Österreich hat als einziges Land eine Rückmeldung zu unserem Planungsinstrument gegeben und ist weiterhin daran sehr interessiert.

4 Bewertung 2016 und Ausblick 2017

Die Entwicklung des Planungsinstrumentes "EnerFlex" zur Bestimmung des Eigenverbrauchs ist abgeschlossen. Da wir von den Kantonen und Minergie einen Auftrag erhalten haben, auf Basis von "EnerFlex" ein Nachweistool für den Eigenverbrauch zu erstellen, kann unsere vorangestellte Arbeit im Rahmen dieses Forschungsprojektes als sehr erfolgreich betrachtet werden.

In Abhängigkeit von der Wärmespeicherfähigkeit, dem Heizwärmebedarf und der Wärmepumpenleistung konnte auf der Grundlage von detaillierten dynamischen thermischen Gebäudesimulationen die Wärmepumpenlaufzeit für Heizzwecke für ein Gebäude mit einer Fussbodenheizung bestimmt werden. Somit kann die Wärmepumpenlaufzeit als Kenngrösse der Flexibilität herangezogen werden. Schwere, gut gedämmte Gebäude weisen die geringsten Wärmepumpenlaufzeiten und damit die grösste Flexibilität auf.

Für 2017 ist geplant

- Vergleichsrechnungen mit Radiatoren durchzuführen
- ein Bürogebäude mit TABS zu untersuchen,
- Eigenverbrauch und Netzdienlichkeit gegenüberzustellen
- Areale auf ihre Flexibilität zu untersuchen
- Messdaten von 3 Gebäuden bzgl. Eigenverbrauch mit und ohne Batterie auszuwerten

5 Referenzen & Publikationen

- [1] Merkblatt SIA 2024, "Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik." 2015.
- [2] M. Hall, B. Burger, and A. Geissler, "Entwicklung eines Planungsinstrumentes zur Bestimmung der Netzinteraktion von Gebäuden," in *Brenet 19. Status Seminar, Zürich*, 2016.
- [3] M. Hall and A. Geissler, "Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die energetische Flexibilität von Gebäuden," *Bauphysik*, vol. 37, no. 2, pp. 115–123, 2015.
- [4] Merkblatt SIA 2024, "Standardnutzungsbedingungen für Energie – und Gebäudetechnik." 2006.
- [5] SN EN ISO 7730, *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*. 2006.
- [6] SIA 380/1, "Heizwärmebedarf." 2016.