

Interreg



EUROPEAN UNION

Grande Région | Großregion

PtH4GR²ID

Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Aktion 6

Entwicklung und Evaluierung von thermischen Speichern zur
Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien und zur
Lastverschiebung

Kurzbericht

Content

1. Partner der Aktion 6.....	1
2. Ziele der Aktion	1
3. Vorgehensweise	2
4. Ergebnisse.....	4
4.1. Deutschland.....	7
4.2. Belgien.....	9
4.3. Frankreich.....	10
5. Literaturverzeichnis.....	12

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stromdaten Deutschland für Ende Januar 2018 (Agora Energiewende).....	5
Abbildung 2: Flexibilität der deutschen Gebäudemodelle für die Baualtersklassen E, I, J und L.....	7
Abbildung 3: Flexibilität der belgischen Gebäudemodelle für die Baualtersklassen B, D, E, F.....	9
Abbildung 4: Flexibilität der französischen Gebäudemodelle für die Baualtersklassen C, G, H, J.....	10

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heizwärmebedarf der deutschen Gebäudemodelle	7
Tabelle 2: Heizwärmebedarf der belgischen Gebäudemodelle	9
Tabelle 3: Heizwärmebedarf der französischen Gebäudemodelle	10

1. Partner der Aktion 6

Zuständiger Partner: TU/GST

Teilnehmende Partner:

- TUK/ARCH;
- TUK/ESEM;
- Uni-Lu
- ULiège/BEMS
- IZES

2. Ziele der Aktion

1. Modellierung der Speicher in der Simulationsumgebung
2. Dimensionierung der Speichersysteme
3. Bewertung der Möglichkeiten zur kurz- und mittelfristigen Beladung thermischer Speicher mit Strom aus erneuerbaren Energien
4. Erkenntnisse über die Energieeffizienz in Kombination mit einer Wärmepumpe

3. Vorgehensweise

In Aktion 6 geht es um die Modellierung der Speichersysteme, die anschließend für die Systemsimulationen in Aktion 8 genutzt werden können. Zudem soll beurteilt werden, ob und in welchem Ausmaß, das Speichersystem die Flexibilität des Gebäudes beeinflussen kann. Über eine möglichst hohe Flexibilität kann die Integration von erneuerbaren Energien erhöht und zur Entlastung des Stromnetzes beigetragen werden, was ein Hauptaugenmerk des Projektes darstellt.

In einem ersten Schritt wurde zu Beginn des Projektes festgelegt, sowohl Wasser- als auch PCM-Speicher (PCM: Phase Change Material, deutsch: Phasenwechselmaterialien) zu betrachten. Wasserspeicher stellen den überwiegenden Teil aller Wärmespeichersysteme innerhalb der Großregion dar und werden dementsprechend besonders betrachtet, um eine möglichst hohe Relevanz der Ergebnisse zu gewährleisten. PCM-Speicher hingegen sind aktuell in Wohngebäuden eher selten zu finden, werden aber innerhalb des Projektes untersucht, da diese Speicher gerade im Hinblick auf eine mögliche Erhöhung der Flexibilität vielversprechende Eigenschaften anbieten. Der Vorteil von Phasenwechselmaterialien liegt darin, dass sie während ihres Phasenwechsels innerhalb von sehr kleinen Temperaturdifferenzen eine große Energiemenge aufnehmen bzw. abgeben können, je nachdem ob der Speicher be- oder entladen wird. Somit lassen sich sowohl die Lade- als auch die Entladezeiten erhöhen, wodurch die Flexibilität des Gesamtsystems gesteigert und somit die Möglichkeiten zur Netzentlastung erhöht werden können.

Im nächsten Schritt wurde eine Marktanalyse durchgeführt, die das übliche Volumen der auf dem Markt verfügbaren Speichersysteme für Wohngebäude betrachtete. Aus den Ergebnissen der Analyse wurde der Fokus auf Speichersysteme mit einem Volumen zwischen 300l und 2000l gelegt. Über diese Spanne an verschiedenen Volumina kann einerseits der Ist-Zustand dargestellt werden, da sie den Großteil der Speichersysteme in Wohngebäuden in der Großregion repräsentiert und andererseits ermöglichen die relativ großen Volumina zwischen 1000l und 2000l eine entsprechend hohe Wärmekapazität, sodass die im Projekt geplante Entlastung der Stromnetze untersucht werden kann.

Anhand der Marktanalyse wurden anschließend sechs konkrete Speichertypen eines Herstellers ausgewählt (300l, 500l, 800l, 1000l, 1500l, 2000l) und anhand der Herstellerangaben die Modellierung der Speichersysteme durchgeführt. Als Simulationsumgebungen wurden zu Beginn des Projektes TRNSYS (TRANSSOLAR) und MATLAB (MathWorks) festgelegt. MATLAB bietet hierbei v.a. die mathematischen Möglichkeiten, die Wärmepumpe (in Aktion 5) und den Controller (in Aktion 8.1) zu modellieren, während TRNSYS die thermische Beurteilung des Gebäudes (Modellierung der Gebäude aus Aktion 4) und des in dieser Aktion modellierten Speichersystems ermöglicht. Die Verbindung der verschiedenen Simulationsmodelle und die Durchführung der Systemsimulation wird in den Aktionen 8.2 und 8.3 bearbeitet.

Um die Speichersysteme in TRNSYS zu modellieren, wurden zwei unterschiedliche „TRNSYS-Typen“ (Simulationskomponenten) gewählt. Zur Modellierung des Wasserspeichers Type340 (Urheber: Harald Drück), der v.a. eine große Anzahl an frei wählbaren Parametern bietet und sich somit sehr gut eignet, um alle Herstellerangaben (Anschlüsse, Wärmeverluste, Anbindung Trinkwarmwasser, etc.) innerhalb des Modells zu berücksichtigen. Der PCM-Speicher wurde mit Type840 (Urheber: Andreas Heinz und Hermann Schranzhofer) modelliert, der über nahezu identische Randbedingungen wie Type340 verfügt und zusätzlich die Möglichkeit bietet, verschiedene PCM-Schichten im Speichers zu integrieren.

Die PCM-Materialien können somit variiert und anhand der vorliegenden Speichertemperaturen optimiert werden, um den Phasenwechsel möglichst vollständig auszunutzen.

Die modellierten Speichersysteme wurden anschließend in die TRNSYS-Simulationsumgebung integriert und mit den in Aktion 4 entwickelten Gebäudemodellen verbunden. Aktion 6.1 ist somit größtenteils abgeschlossen, allerdings wurde auch eine Untersuchung der Wärmespeicherung in der Gebäudemasse zu Beginn des Projektes als optionale Möglichkeit festgelegt, die innerhalb des letzten Projektjahres noch betrachtet werden könnte.

Mit den verschiedenen Kombinationen aus Speichersystem, Volumen und Gebäudemodellen wurden anschließend erste Simulationen in Aktion 6.2 durchgeführt, die unter anderem Aufschluss über die Möglichkeiten zur kurz- und mittelfristigen Beladung der Speicher geben sollen. Erste Ergebnisse der Aktion 6.2 sind im Unterpunkt 4 dargestellt.

4. Ergebnisse

Vor dem großflächigen Ausbau der erneuerbaren Energien entstanden Schwankungen im Stromnetz eigentlich ausschließlich durch unplanmäßige Kraftwerksausfälle. Um solche Engpässe abzufangen, wurde ursprünglich die Regelenergie eingeführt, also eine Energieform, die in bestimmten Zeiträumen dazu beitragen kann, dass sich Erzeugung und Bedarf die Waage halten. Mit der zunehmenden Einspeisung von erneuerbaren Energieträgern ins Stromnetz ist die Bedeutung der Regelenergie deutlich gestiegen, da die Fluktuation nicht mehr ausschließlich an Ausfälle gebunden ist, sondern auch von sich dauernd ändernden Wetterbedingungen abhängt.

Daraus folgend wird die schwankende Erzeugung von erneuerbaren Energien zukünftig nicht mehr ausschließlich über oftmals sehr teure Regelenergie abzufangen sein, sondern das Augenmerk sollte zunehmend auch auf ein Anpassen des Bedarfs an die Erzeugung gerichtet werden (Demand-Side-Management). Es gilt also Wege zu finden, den Strom dann zu nutzen, wenn er zur Verfügung steht und den Bedarf möglichst gering zu halten, wenn dies nicht der Fall ist. Dies muss allerdings unter der Prämisse geschehen, dass der gewohnte Komfort nicht leidet.

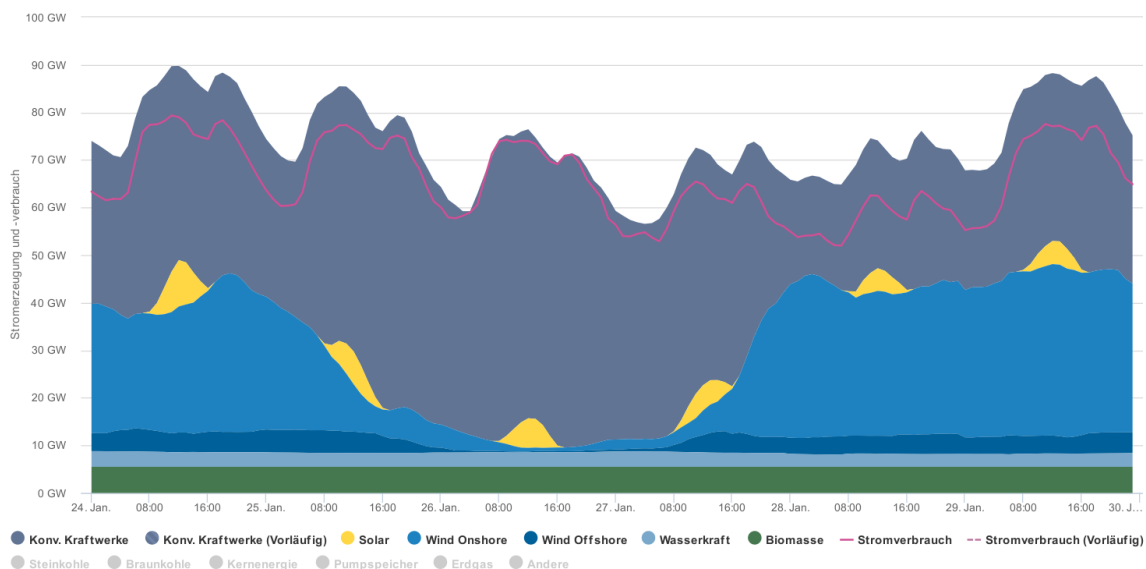
An genau diesem Punkt wird das Thema Power-to-Heat interessant, innerhalb dessen sich das Forschungsprojekt größtenteils auf elektrisch betriebene Wärmepumpen fokussiert. Diese nutzen Strom und erzeugen Wärme, die wiederum recht einfach gespeichert werden kann, da nahezu jeder Haushalt in der Großregion über einen Wärmespeicher verfügt, meistens gefüllt mit Wasser. Die Wärme, die wir zum Heizen unserer Wohnungen nutzen, muss also nicht zwingend dann produziert werden, wenn wir die Heizung anschalten. Wärmepumpen können vielmehr die Wärme genau dann durch elektrischen Strom generieren, wenn das Netz Stromverbraucher benötigt und die gespeicherte Wärme ohne Erzeugung nutzen, wenn eine Entlastung des Netzes gefordert ist.

Im Mittelpunkt der hier aufgeführten Ergebnisse steht die Frage, wie lange Gebäude aus verschiedenen Baualterklassen mit unterschiedlichen Speichervolumina beheizt werden können, ohne dass die Wärmepumpe zusätzliche Wärme generieren muss, wenn der Speicher zu Beginn der Betrachtung vollgeladen ist. Die hieraus resultierenden Ergebnisse sollen einen Beitrag zur Potenzialabschätzung von Power-to-Heat Anlagen zur Stabilisierung des Netzes geben.

Entscheidend für dieses Potential ist die Flexibilität, die bei der Erzeugung von Wärme vorhanden ist. Umso länger ein Gebäude nur mit der Energie aus dem Speichersystems beheizt werden kann, ohne das zusätzlich Wärme erzeugt werden muss, umso höher ist die Freiheit des Regelungssystems zur Steuerung der Wärmepumpe. Um diesen Ansatz zu untersuchen, wurde eine Simulationsumgebung erstellt, die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

In einem ersten Schritt wurden die Randbedingungen der Simulation festgelegt. In Aktion 4 wurde ein typisches Gebäudemodell für jedes der vier Länder der Großregion erstellt und über eine thermische Anpassung der Gebäudehülle verschiedene Baualterklassen erzeugt. In Aktion 6.1 wurden zudem verschiedene Speichersysteme modelliert, dementsprechend ergeben sich aus den möglichen Kombinationen aus Speichervolumen (sechs verschiedene Volumina modelliert) und Baualterklasse (bis zu 12 pro Land der Großregion) schon sehr viele verschiedene Möglichkeiten. Um diese hohe Zahl an Kombinationsmöglichkeiten etwas einzuschränken, wurden anhand des deutschen Referenzgebäudes vier Baualterklassen (E (1958 – 1968), ursprüngliche BAK des Referenzgebäudes; I

(1995 – 2001), nach 3. Wärmeschutzverordnung; J (2002 – 2009), nach EnEV; L (jünger als 2016), aktueller Neubau) und drei Volumen des Speichersystems (500l, 1000l, 2000l) gewählt. Bei der ersten Auswertung der Ergebnisse wurden lediglich Wasserspeicher in Kombination mit klassischen Radiatoren betrachtet, Flächenheizungen und PCM-Speicher werden im weiteren Projektverlauf ebenfalls analysiert. Für die Gebäudemodelle aus Belgien und Frankreich wurden analoge, regionale Baualtersklassen gewählt, als Gebäudemodell für Luxemburg wurde hingegen ein Neubau betrachtet, der für diese Potentialabschätzung aktuell nicht betrachtet wurde. Alle Gebäudemodelle verfügen über zwei unterschiedliche beheizte Zonen: eine Wohnfläche, deren Solltemperatur bei den Simulationen auf 22 °C gesetzt wurde und eine Schlafzone, die auf 18 °C geheizt wird. Nachfolgend wird in den Ergebnissen dargestellt, wie lange die Temperatur in der 22 °C-Zone oberhalb von 20 °C gehalten werden kann, wenn das Speichersystem vollgeladen ist ($T_{max} = 70\text{ °C}$) und keine zusätzliche Wärme generiert wird. Die Ergebnisse bilden einen wichtigen Referenzwert bzgl. der Flexibilität der verschiedenen Kombinationen aus Gebäudemodell und Speichersystem. Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf Simulationen mit realen Wetterbedingungen der Wetterstation Saarbrücken für einen Zeitraum Ende Januar 2018. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht, weshalb genau dieser Zeitraum für die Betrachtung gewählt wurde.



Agora Energiewende; Stand: 10.04.2018, 13:45

Abbildung 1: Stromdaten Deutschland für Ende Januar 2018 (Agora Energiewende)

Die Abbildung zeigt reale Stromdaten aus Deutschland für den Zeitraum vom 24.01. bis 30.01.2018. Rot dargestellt ist der jeweilige Strombedarf, die hellen farbigen Kurven zeigen die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die konventionellen Kraftwerke erzeugen die grau dargestellte Differenz. Dieser spezielle Zeitraum wurde für die Betrachtungen gewählt, da er einen Forschungsansatz des Projekts verdeutlicht: Innerhalb weniger Tage gibt es Zeitspannen, in denen die erneuerbaren Energien (EE) bereits einen Großteil des Bedarfs decken können, während ebenfalls etwa 48 Stunden erkennbar sind, in denen kaum EE zur Verfügung stehen. In einem solchen Szenario wäre es zukünftig sinnvoll, die Wärme möglichst dann zu erzeugen, wenn ausreichend erneuerbarer Strom zur Verfügung steht und die gespeicherte Wärme zu nutzen, wenn der gegenteilige Fall eintritt. Wie bereits erwähnt, sind

die Flexibilität der Gebäude und die Kapazität der Speichersysteme hierfür essentiell. Dementsprechend wurden für den dargestellten Zeitraum reale Wetterdaten des DWD (Deutscher Wetterdienst) für den Standort Saarbrücken genutzt und der Simulationsumgebung als Randbedingung vorgegeben. Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Ergebnisse für die Gebäudemodelle aus Deutschland, Belgien und Frankreich.

4.1. Deutschland

Tabelle 1: Heizwärmebedarf der deutschen Gebäudemodelle

Baualterklasse	Heizwärmebedarf [kWh]	Heizwärmebedarf [kWh/m ²]
E	27782.62	161.96
I	12170.76	70.95
J	11426.28	66.61
L	8757.12	51.05

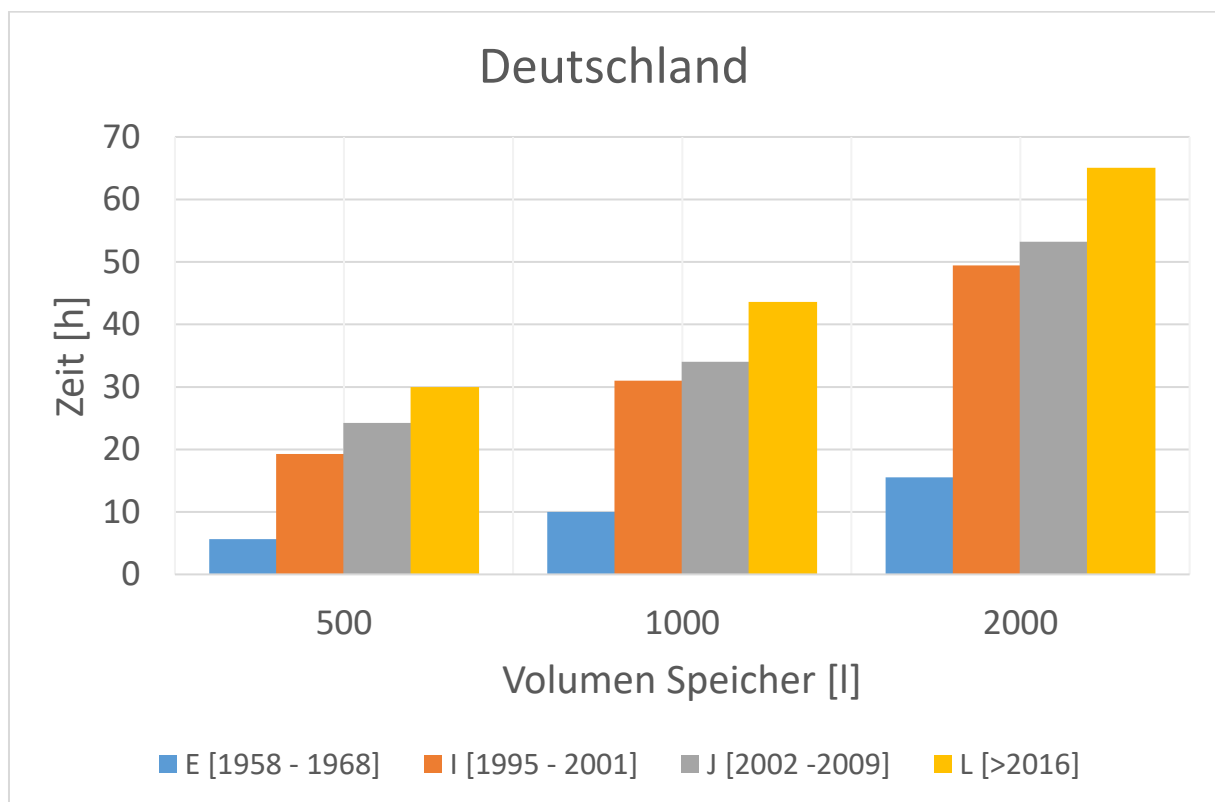


Abbildung 2: Flexibilität der deutschen Gebäudemodelle für die Baualterklassen E, I, J und L

Tabelle 1 zeigt den Heizwärmebedarf der verschiedenen Baualterklassen, sowohl absolut pro Gebäude, als auch bezogen auf den beheizten Quadratmeter. Bei dem deutschen Gebäude handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit einer beheizten Fläche von etwa 172 m². Wie zu erwarten, nimmt der simulierte Heizwärmebedarf der Gebäude mit den steigenden Restriktionen an die thermische Gebäudehülle kontinuierlich ab.

Die Abbildung zeigt nun, wie lange die verschiedenen Baualterklassen in Kombination mit unterschiedlichen Wasserspeichern (500l, 1000l, 2000l) beheizt werden können, ohne dass der thermische Mindestkomfort unterschritten wird, wenn keine zusätzliche Wärme erzeugt wird. Mit abnehmendem Heizwärmebedarf und zunehmender Speicherkapazität steigt die Zeit, die ohne zusätzliche Wärmeerzeugung überbrückt werden kann. Allerdings zeigt sich auch, dass thermisch

unsanierte Gebäude (wie Baualtersklasse E) letztlich einen zu hohen Wärmebedarf haben, als dass man hier für längere Zeiträume auf die Erzeugung von Wärme verzichten könnte. Mit den thermisch besseren Gebäuden könnten hingegen bereits Zeiten von bis zu 55 Stunden überbrückt werden.

Da innerhalb des Projekts auch eine kurzfristige Entlastung des Stromnetzes untersucht wird, sollen diese Ergebnisse nicht als alleiniges Kriterium herangezogen werden. Allerdings spielt die Flexibilität gerade in Kombination mit dem Controller eine wichtige Rolle, da dieser eben hierdurch geringere Strompreise wählen und die Wärmepumpe zu möglichst effektiven Zeiten betreiben kann, was letztlich vor allem dem Verbraucher entgegen kommt und ein Argument für die Anschaffung eines solchen Heizsystems darstellen soll. Entsprechende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden im Arbeitspaket 9 durchgeführt.

4.2. Belgien

Tabelle 2: Heizwärmebedarf der belgischen Gebäudemodelle

Baualterklasse	Heizwärmebedarf [kWh]	Heizwärmebedarf [kWh/m ²]
B	14785.54	192.52
D	8197.63	106.74
E	6215.42	80.93
F	4899.07	63.79

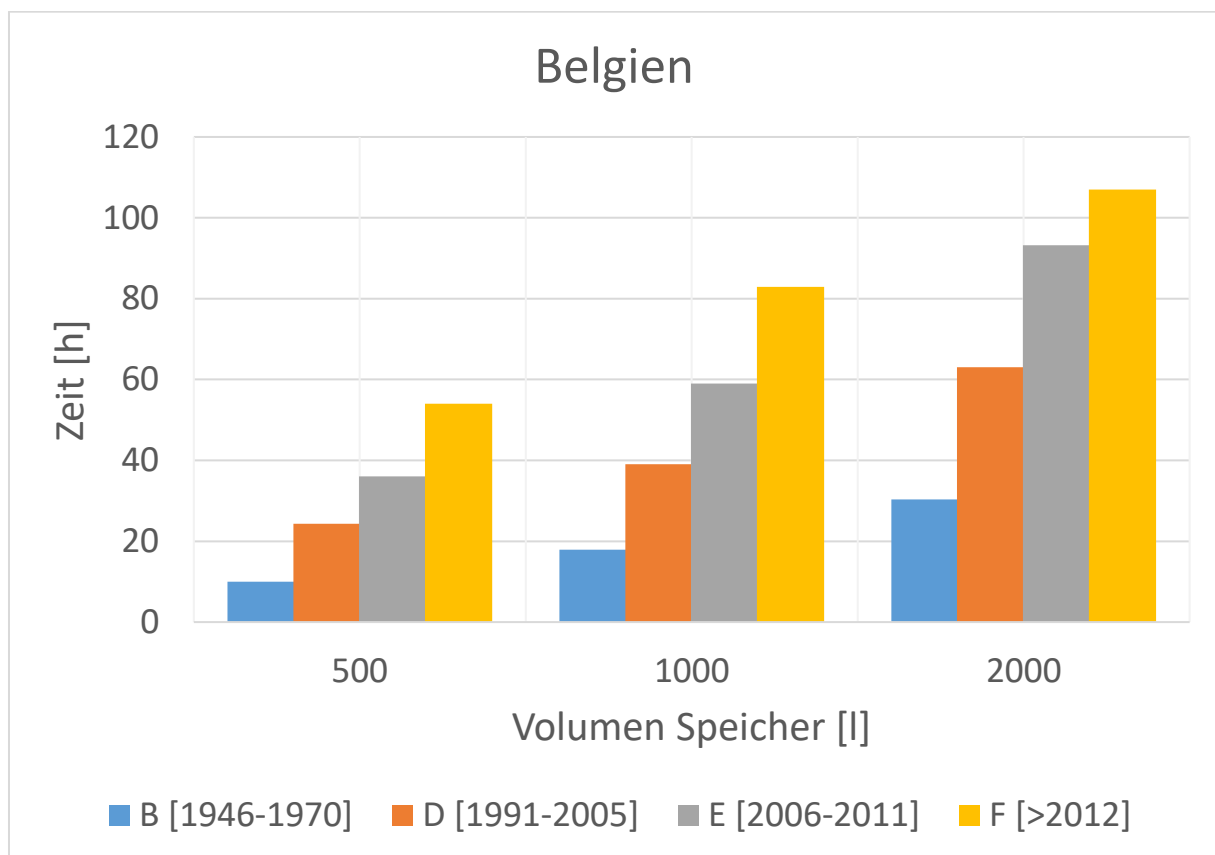


Abbildung 3: Flexibilität der belgischen Gebäudemodelle für die Baualterklassen B, D, E, F

Da es sich bei dem belgischen Referenzgebäude um ein kleineres Reihenhaus mit einer beheizten Fläche von lediglich 77 m² handelt, ist der Heizwärmebedarf insgesamt deutlich geringer. Dementsprechend sind die überbrückbaren Zeiten etwas höher als beim deutschen Gebäude. Abgesehen davon können die Ergebnisse analog eingeordnet werden.

4.3. Frankreich

Tabelle 3: Heizwärmebedarf der französischen Gebäudemodelle

Baualterklasse	Heizwärmebedarf [kWh]	Heizwärmebedarf [kWh/m ²]
C	41295.15	244.35
G	15351.96	90.84
H	12779.78	75.62
J	11569.74	68.46

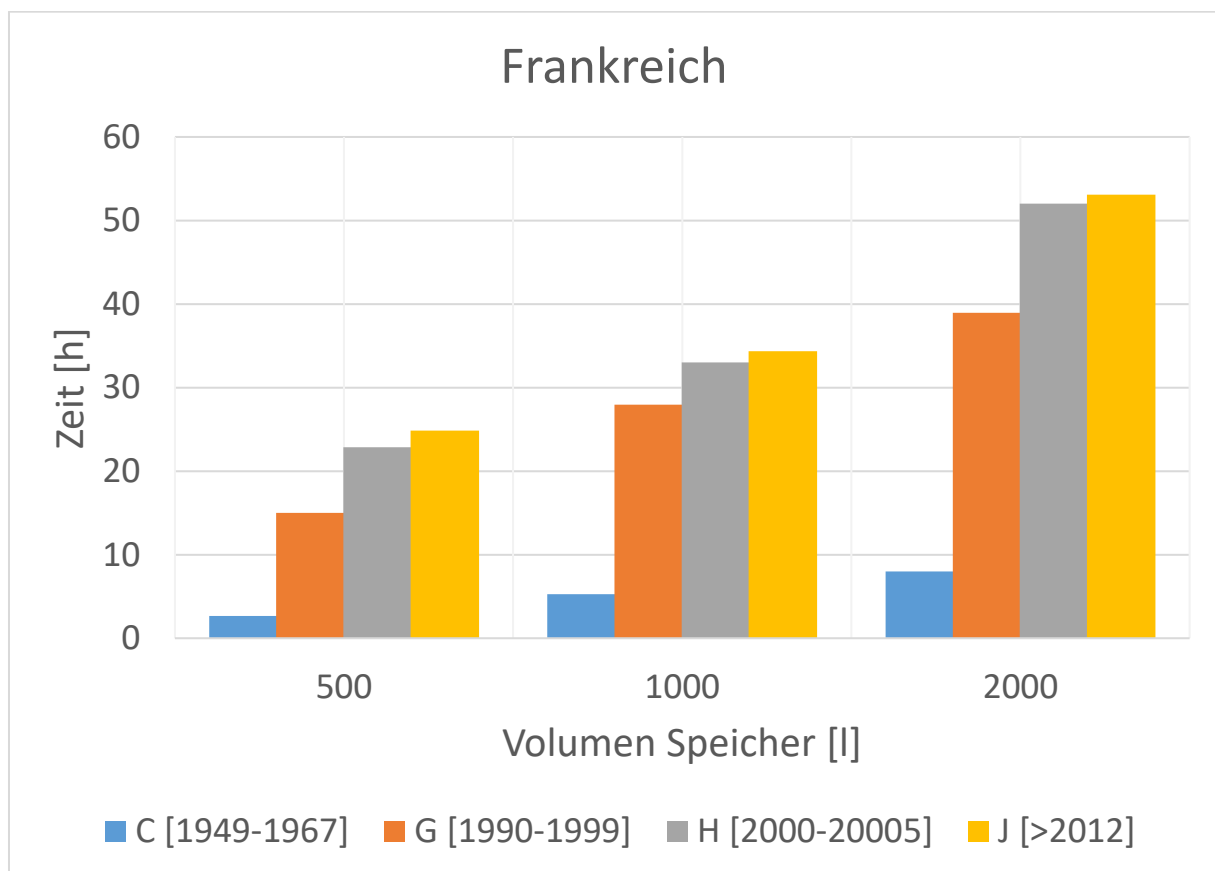


Abbildung 4: Flexibilität der französischen Gebäudemodelle für die Baualterklassen C, G, H, J

Das französische Gebäudemodell bildet ein Einfamilienhaus ab und verfügt mit 169 m² über eine fast identische beheizte Fläche, wie das deutsche Modell. Da der spezifische Heizwärmebedarf pro Quadratmeter auf Grund der nicht so strikten gesetzlichen Vorschriften allerdings höher ist, ist der Wärmebedarf des Gebäudes insgesamt am höchsten.

Abschließend sei noch drauf hingewiesen, dass alle dargestellten Diagramme lediglich den Heizwärmebedarf betrachten und keine Trink-Warmwasser-Erzeugung (TWW) berücksichtigen. Entsprechende Simulationen inklusive TWW wurden allerdings inzwischen ebenfalls durchgeführt, ebenso wurden die Ergebnisse nicht nur mit realen Wetterdaten, sondern auch für den kältesten

Zeitraum des Jahres untersucht. Die entsprechenden Ergebnisse werden in zukünftigen Berichten analysiert und veröffentlicht. Weiterhin werden die Untersuchungen auf PCM-Speicher und Flächenheizsysteme ausgeweitet.

5. Literaturverzeichnis

Agora Energiewende: Agorameter - Aktuelle Stromdaten. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>, zuletzt geprüft am 04.05.2018.

Andreas Heinz und Hermann Schranzhofer: Type 840. Model for the transient simulation of water- or PCM slurry-tanks with integrated PCM modules.

Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center. Online verfügbar unter <ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>.

Harald Drück: MULTIPOINT Store-Model for TRNSYS.

MathWorks: MATLAB. Version R2016b. Online verfügbar unter <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>.

TRANSOLAR: TRNSYS. Version 17. Online verfügbar unter <http://www.trnsys.com/>.