



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 29. Oktober 2009

Energie im Gebäude online (EGon)

Hauptphase

TNC



Stiftung Klimarappen
Fondation Centime Climatique
Fondazione Centesimo per il Clima
Climate Cent Foundation

enecolo
energy ecology


METEOTEST

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Stiftung Klimarappen
Freiestrasse 167
CH-8032 Zürich
www.stiftungklimarappen.ch

Auftragnehmer:

Enecolo AG
Lindhofstrasse 52
CH-8617 Mönchaltorf
www.enecolo.ch

Unterauftragnehmer:

Meteotest
Fabrikstrasse 14
CH-3012 Bern
www.meteotest.ch

Begleitgruppe:

Marco Berg, Stiftung Klimarappen
Charles Filleux, Basler & Hofmann
Thomas Nordmann, TNC Consulting
Peter Toggweiler, Enecolo AG
Charles Weinmann, Weinmann Energies

Autoren:

Sandra Stettler, Enecolo AG, sandra.stettler@enecolo.ch
Peter Toggweiler, Enecolo AG, peter.toggweiler@enecolo.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153000 / 102000

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abstract	4
Einleitung	5
Methode	6
Gebäude	6
Temperatur- und Einstrahlungsdaten	7
Hardware	8
Software	10
1. Multiple lineare Regression	10
2. Prognose jährlicher Heizenergieverbrauch	10
3. Bestimmtheitsmass	11
4. Regression mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen	12
5. Heizgradtage	14
6. Referenzwerte nach "Energiesparrechner"	14
Internetportal	16
Resultate	22
Messwertbereiche	24
Fehlende Messtage und Ausreisser	24
Prognose der Energiekennzahl	25
Überprüfung des Sanierungserfolgs	26
Heizgrenze	27
Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste	29
Brennerauslastung	30
Diskussion	31
Hardware-Kosten und -Zuverlässigkeit	31
Genauigkeit der Aussentemperatur	31
Zuverlässigkeit der Heizgradkurve	32
Energiekennzahl und Jahresenergieverbrauch	33
Überprüfung des Sanierungserfolgs	33
Automatisierung des Systems	34
Fazit und Ausblick	35
Literaturangaben	36
Anhang – Messresultate	37

Abstract

A prototype service was developed to measure and evaluate the heating energy consumption in buildings in an automated, cost-efficient way. The service consists of a low cost hardware and an internet portal which visualises and evaluates the data.

In 10 buildings taking part in the building programme of the Climate Cent foundation a hardware was installed. It measured heating energy consumption and daily sent this data via GPRS to a central server in Berne. Additionally, information about local ambient temperature and solar irradiation was gathered from weather satellites and stored together with the measurement data on the central server. A customised software analysed the data and visualised them. All data, graphs and results were stored in a password protected area, accessible via internet.

Measurement data were correlated in a multiple linear regression with the daily average ambient temperature and solar irradiation. The correlation coefficient R² was higher than 90% for 5 of the buildings (higher than 65% for 9 buildings). Yearly heating energy consumption in a standard year was estimated by applying the regression parameters to the daily values of ambient temperatures and irradiations for one year using Meteonorm data.

For building owners, architects, heating planners and energy experts, a similar service as applied in our study could be useful for several purposes:

- Determine and visualise the real energy consumption and energy index of a building
- Check if the energy consumption of a certain building meets the expectations / calculations
- Verification of the success of a renovation
- Detect energy leakages / energy saving potential in buildings
- Optimise heating regulation of buildings
- Gather information for a planned renovation of a building (insulation or renewal of heating installation)

The project participants plan to improve the existing prototype and start a second measurement campaign with more buildings in winter 09/10.

Einleitung

In der Schweiz existieren über 1 Million Gebäude mit einer Gas- oder Ölheizung. Diese Heizungen sind für insgesamt ca. 25% des Energieverbrauchs der Schweiz verantwortlich. Über 80% der Gebäude in der Schweiz sind älter als 30 Jahre. Mit einer energetischen Sanierung könnte der Heizenergieverbrauch dieser Gebäude um mindestens den Faktor 2 reduziert werden. Der Bund und die Kantone haben dieses hohe Energiesparpotential erkannt und werden deshalb in Zukunft die energetische Sanierung von Gebäuden stärker finanziell unterstützen. Zwischen 2010 und 2020 wird der Bund die Renovation von Gebäuden mit jährlich 200 Millionen CHF subventionieren [3].

Ein problematischer Aspekt bei der Renovation von Gebäuden ist, dass oft nur ungenaue Werte über den tatsächlichen Energieverbrauch eines Gebäudes existieren. Eine detaillierte Analyse des Verlaufs des Heizenergieverbrauchs würde die Planung der Renovation unterstützen. Zusätzlich wäre es möglich, die Heizungsregelung zu optimieren und den Erfolg einer Sanierungsmassnahme zu überprüfen. Bisher werden solche Analysen nur für einen sehr kleinen Anteil der Gebäude durchgeführt, weil dazu teure Messgeräte und eine lange Messdauer nötig sind, sowie Experten, welche die Daten analysieren.

In diesem Projekt sollte mit finanzieller Unterstützung des BFE und der Stiftung Klimarappen ein System entwickelt werden, welches es erlaubt, den jährlichen Heizenergieverbrauch eines Gebäudes nach einer Messdauer von wenigen Wochen mit kostengünstiger Hardware voll automatisiert zu bestimmen.

Mit einem solchen System sollte es möglich sein:

- den tatsächlichen Heizenergieverbrauch und die Energiekennzahl eines Gebäudes zu bestimmen
- zu analysieren, ob der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes mit den Erwartungen (Berechnungen aufgrund der Gebäudeeigenschaften) übereinstimmt
- den energetischen Erfolg von Sanierungsmassnahmen zu verifizieren
- "Energielecks" und Energiesparpotentiale in Gebäuden zu entdecken
- die Heizungssteuerung in Gebäuden zu optimieren
- Informationen für die Renovationsplanung eines Gebäudes (Isolation oder Ersatz der Heizung) zu sammeln

In diesem Projekt wurde ein Prototyp eines solchen Systems entwickelt und an 11 Gebäuden getestet. Dabei sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Kann der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes mit einer Hardware für weniger als CHF 1'000 zuverlässig und einfach gemessen werden?
- Ist es notwendig, die Außentemperatur beim Gebäude zu messen, oder sind aus Wettermodellen bestimmte Außentemperaturen genau genug?
- Kann aus den Messungen eine zuverlässige Heizgradkurve bestimmt werden? (d.h. Abhängigkeit des Heizenergieverbrauchs von der Außentemperatur?) Falls ja: welche Messdauer ist dafür notwendig?
- Kann aus der Heizgradkurve die Energiekennzahl und der Jahresenergieverbrauch eines Gebäudes hochgerechnet werden?
- Ist es möglich, aufgrund der gewonnenen Messwerte und Resultate zu bestimmen, ob eine Renovation erfolgreich war und der Heizenergieverbrauch des Gebäudes den Erwartungen entspricht?
- Kann das gesamte System inkl. Auswertungen automatisiert werden?

Methode

Das System wurde für Öl- und Gasheizungen entwickelt. Beim Heizsystem des Gebäudes wird eine Hardware installiert, welche den Heizenergieverbrauch misst und die Messdaten täglich via GPRS an einen zentralen Server in Bern schickt. Zusätzlich werden aus Wettermodellen und Satellitenbildern Daten zur lokalen Umgebungstemperatur und solaren Globalstrahlung ermittelt und gemeinsam mit den Messdaten auf dem zentralen Server gespeichert. Eine eigens für das Projekt entwickelte Software analysiert und visualisiert die Daten. Alle Daten, Grafiken und Resultate werden in einer passwortgeschützten Umgebung gespeichert und sind permanent via Internet zugänglich.

Gebäude

Bei insgesamt 11 Gebäuden in der Region Zürich, die am Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen teilnahmen wurde die Hardware installiert. Die Gebäudebesitzer hatten sich freiwillig zur Teilnahme am Projekt gemeldet. Zwei Gebäude (Nr. 9 und 10) waren zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht renoviert, ein Gebäude befand sich in der Renovationsphase (Nr. 11), die anderen Gebäude waren bereits renoviert. Die folgende Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Gebäude.

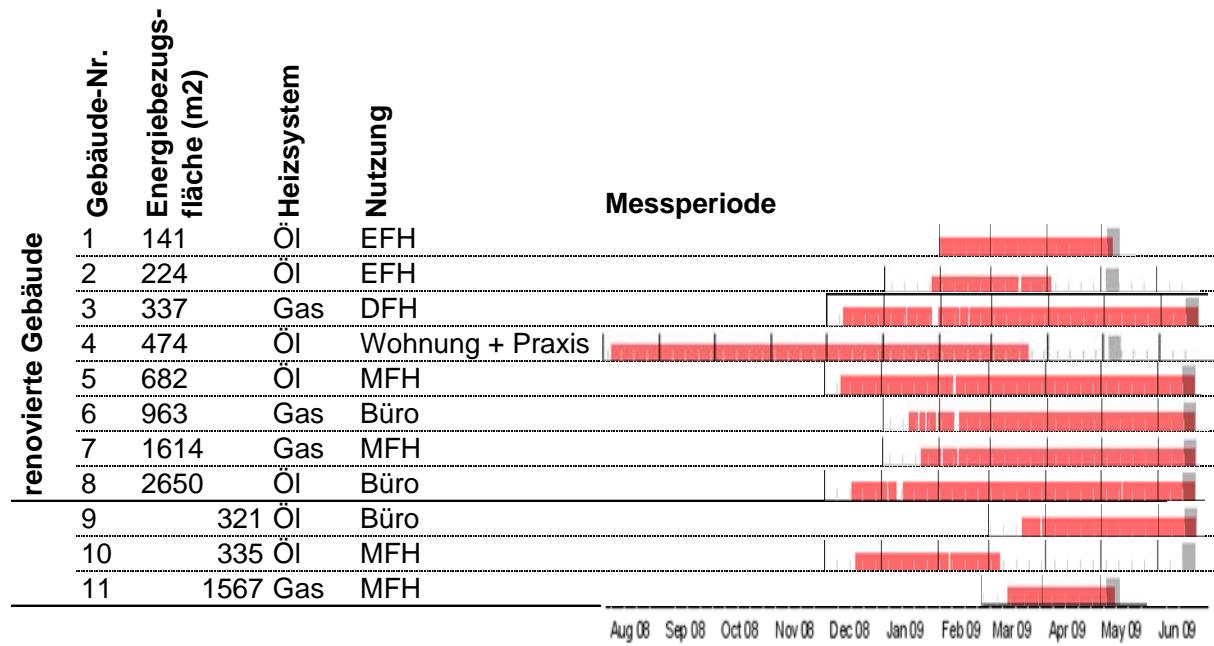


Abbildung 1: Übersicht über die Gebäude und die Messdauer

Temperatur- und Einstrahlungsdaten

Die Firma Meteotest lieferte täglich die aktuellen Stundenmittelwerte der Umgebungstemperatur und der horizontalen Globalstrahlung bei den Gebäuden. Diese Daten wurden aus einer Kombination von Wettermodellen und Messungen bei nahegelegenen meteorologischen Messstationen ermittelt. Nach Aussage von Meteotest können die gelieferten Werte der Umgebungstemperatur um 1 bis 2°C von den tatsächlichen Werten abweichen.

Um die Qualität der Umgebungstemperaturdaten zu überprüfen wurde bei einem Gebäude ein lokaler Temperatursensor installiert (Genauigkeit $\pm 0.5^\circ\text{C}$). Die gemessenen Werte der Umgebungstemperatur wurden mit den Stundenmittelwerten der Umgebungstemperatur aus den Wettermodellen und Satellitenbildern verglichen (siehe Abbildung 2). Die beiden Datensätze weisen einen Korrelationskoeffizienten von 84% auf. Die gemessenen Werte der Umgebungstemperatur liegen um durchschnittlich 1.6°C höher als die aus Wettermodellen bestimmten Temperaturdaten (siehe Abbildung 3).

Um zu bestimmen, ob es sich dabei um eine systematische Abweichung handelt, müsste die Vergleichsmessung an mehreren Standorten mit kalibrierten Messgeräten durchgeführt werden.

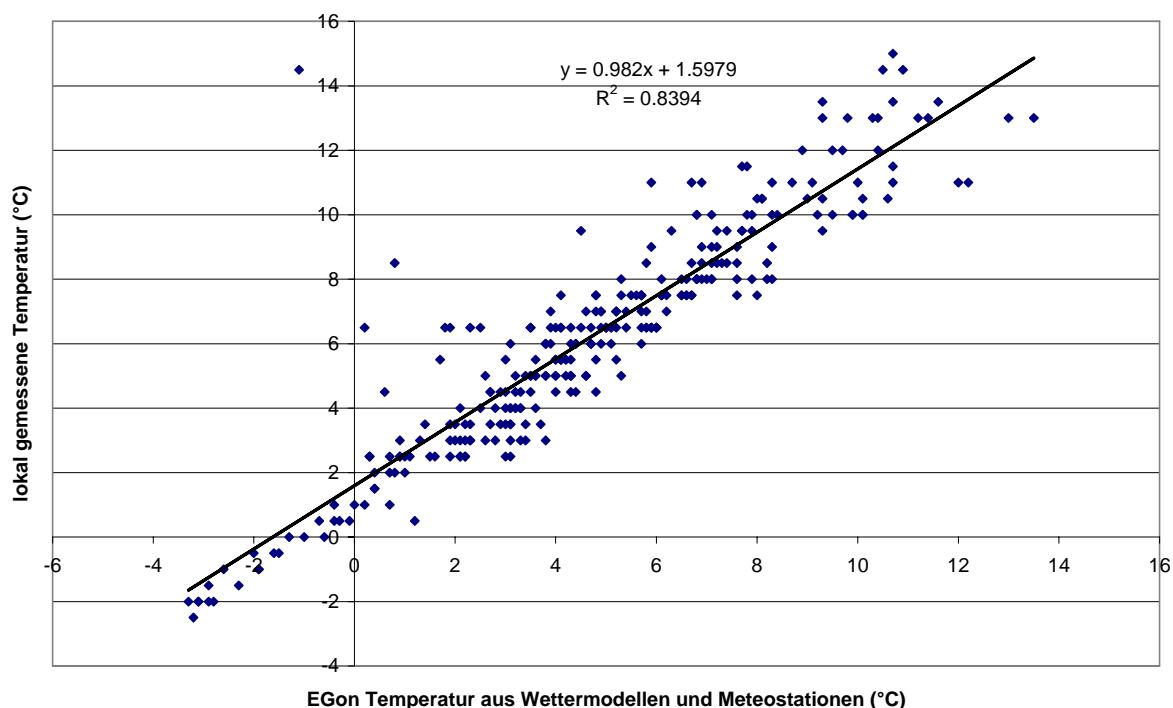


Abbildung 2: Vergleich der mittleren Stundenwerte der gemessenen Umgebungstemperatur und der aus Satellitendaten und Wettermodellen bestimmten Umgebungstemperatur

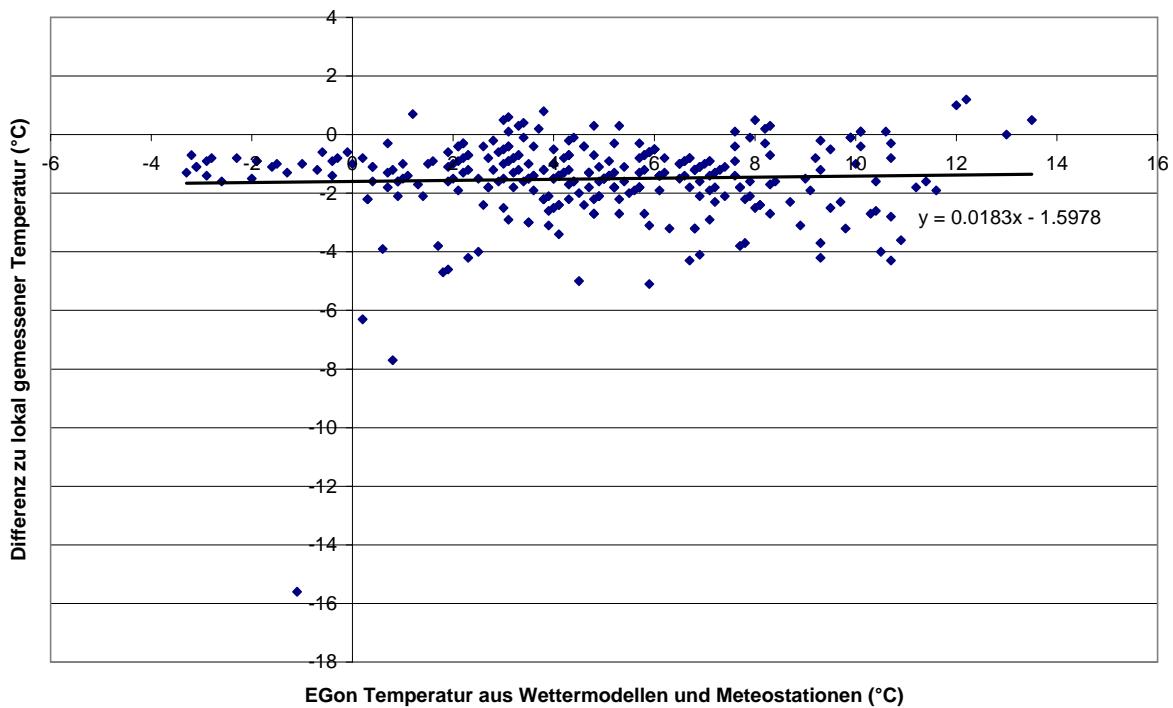


Abbildung 3: Abweichung der gemessenen und der aus Wettermodellen bestimmten mittleren Stundenwerte der Aussentemperatur

Die gelieferten Globalstrahlungsdaten wurden nicht mit lokalen Messungen verifiziert. Nach [9] beträgt die Unsicherheit der Tagesmittelwerte der aus Satellitendaten bestimmten horizontalen Globalstrahlung in den Wintermonaten 15 bis 20 Prozent, in den Sommermonaten ca. 10 Prozent.

Hardware

Beim Heizsystem wird ein Ölvolumenzähler bzw. ein Reedkontakt für den Gaszähler installiert. Beide Geräte generieren ein digitales Output-Signal. Die Anzahl Impulse pro Stunde ist proportional zur verbrauchten Öl- bzw. Gasmenge während dieser Zeit. Mit dem Datenlogger Barionet und einer eigens für das Projekt angepassten Software wurde die Anzahl der digitalen Impulse gezählt und als stündliche Summe gespeichert. Jede Nacht sendete der Datenlogger diese Daten zum zentralen Server in Bern. Die Daten wurden mit Hilfe eines GPRS Routers übertragen, so war kein Zugang zum LAN Netzwerk der Gebäudeeigentümer notwendig.

Die totalen Hardwarekosten betragen ca. CHF 1'000.- pro Gebäude. Die Installationszeit war ca. 1 Stunde (siehe Tabelle 1). Für die Installation ist (mit Ausnahme des Ölvolumentzählers) kein Eingriff in das Heizsystem notwendig.

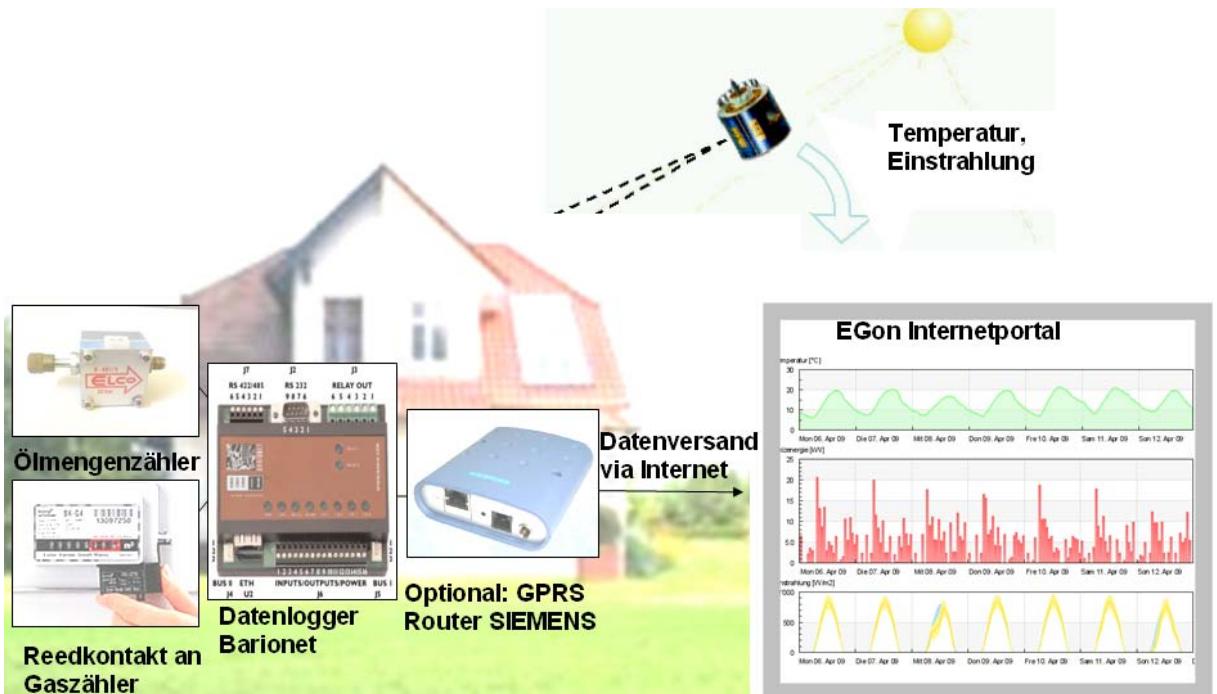


Abbildung 4: Prinzip des Systems, inkl. Hardware beim Heizsystem und zentrales Internet-portal.



Abbildung 5: Elco Ölvolumentzähler [4]



Abbildung 6: Reed-Kontakt für Gaszähler [5]

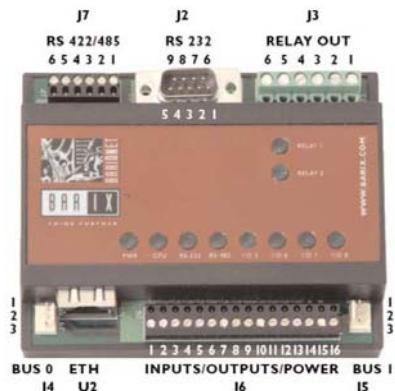


Abbildung 7: Datenlogger Barionet [6]



Abbildung 8: GPRS Router [7]

Tabelle 1: Listenpreise der verschiedenen Hardware-Komponenten

	Datenlogger Barionet	Ölvolumenzähler Satronic SOG 960	Reed-Relais für Gaszähler, GFW	GPRS/EDGE Router SIEMENS ER75
Ölheizung	CHF 450.-	CHF 200.-		CHF 550.-
Gasheizung			CHF 70.-	

Software

Die Messdaten, Umgebungstemperaturdaten und Globalstrahlungswerte wurden jede Nacht auf dem zentralen Server in Bern in eine SQL-Datei gespeichert. Die benötigten meteorologischen Daten aus Wettersatelliten und Wettermodellen wurden automatisiert bezogen und gespeichert. Auf alle Daten konnten über eine passwortgeschützte Homepage zugegriffen werden. Eine Software wertete die Daten mit verschiedenen Methoden aus, um die Heizgradkurve und den jährlichen Heizenergieverbrauch der Gebäude zu bestimmen. Diese Software wurde ebenfalls auf dem Server implementiert und wird gestartet, sobald die Auswertungen via passwortgeschützte Homepage angefragt werden. Im Folgenden sind die verschiedenen Auswertemethoden der Software beschrieben.

1. Multiple lineare Regression

Für die weitere Analyse der Daten wurden nur die Tagesmittelwerte der Heizleistungen, der Umgebungstemperaturen und der horizontalen Globalstrahlung genutzt. In einer multiplen linearen Regression wurde die Heizleistung des Gebäudes mit der Umgebungstemperatur und der horizontalen Globalstrahlung korreliert (Gleichung 1a). Die Regression wurde mit der Software REGRESS [8] im System implementiert.

$$P_{\text{heating}} = b_0 + b_1 \times \text{Temp}_{\text{meas}} + b_2 \times \text{Irr}_{\text{meas}} \quad (1a)$$

Mit

P_{heating} : gemessene durchschnittliche tägliche Heizenergie [W]

$$\text{Temp}_{\text{meas}} = \frac{\sum_{\text{hour}=1}^{24} \text{Temp}_{\text{meas_hour}}}{24} : \text{durchschnittliche tägliche Umgebungstemperatur } [\text{°C}]$$

$$\text{Irr}_{\text{meas}} = \frac{\sum_{\text{hour}=1}^{24} \text{Irr}_{\text{meas_hour}}}{24} : \text{durchschnittliche tägliche Globalstrahlung horizontal } [\text{Wh/m}^2]$$

b_0, b_1, b_2 : Regressionsparameter.

Für die Regression wurden nur Messdaten bei einer durchschnittlichen täglichen Umgebungstemperatur von weniger als 15°C berücksichtigt. Es wurde angenommen, dass bei höheren Umgebungstemperaturen die Heizung ausgeschaltet ist und ein allfälliger Energieverbrauch dann auf die Brauchwassererwärmung oder Zirkulationsverluste zurückzuführen ist. Der Durchschnitt aller Messwerte bei Umgebungstemperaturen über 15°C wurde deshalb als mittlere Leistung für die Brauchwassererwärmung und die Stillstandsverluste angesehen.

2. Prognose jährlicher Heizenergieverbrauch

Um den jährlichen Heizenergieverbrauch eines Gebäudes zu bestimmen, wurden die durchschnittlichen täglichen Umgebungstemperaturen und Globalstrahlungsdaten in einem "Standardjahr¹" aus der Software Meteonorm [2] ermittelt. Mit Hilfe der Regressionsparameter konnte daraufhin für jeden Tag des Standardjahres mit einer Umgebungstemperatur von weniger als 15°C der Heizenergieverbrauch prognostiziert werden. Für alle wärmeren Tage wurde nur die Leistung für Brauchwassererwärmung und Stillstandsverluste berücksichtigt. Durch Aufsummieren des Heizenergieverbrauchs an jedem Tag des Jahres konnte der jährliche Heizenergieverbrauch in einem Standardjahr ermittelt werden (Gleichung 1c)

¹ Ein Standardjahr gemäss Meteonorm entspricht dem Durchschnittswert der Jahre 1981 bis 2000, der aus Messwerten meteorologischer Messstationen in der Nähe gebildet wird

$$E_{\text{standard_winter}} = \sum_{\text{Tage mit } Temp_{\text{Standard}} < 15^{\circ}\text{C}} (b_0 + b_1 \times Temp_{\text{standard}} + b_2 \times Irr_{\text{standard}}) \times 24/1000 \quad (1b)$$

$$E_{\text{standard_total}} = E_{\text{standard_winter}} + \sum_{\text{Tage mit } Temp_{\text{Standard}} \geq 15^{\circ}\text{C}} P_{\text{hot_water}} \times 24/1000 \quad (1c)$$

Mit

$E_{\text{standard_winter}}$: Summe des Heizenergieverbrauchs während der Heizsaison [kWh]

$E_{\text{standard_total}}$: Summe des Heizenergieverbrauchs während des gesamten Jahres [kWh]

$P_{\text{hot_water}} = \frac{\sum P_{\text{heating}}}{\text{Tage mit } Temp_{\text{Standard}} \geq 15^{\circ}\text{C}} : \text{durchschnittliche Leistung für Brauchwassererwärmung und Stillstandsverluste [W]}$

$Temp_{\text{standard}}$: durchschnittliche tägliche Umgebungstemperatur nach Meteonorm [$^{\circ}\text{C}$]

Irr_{standard} : Tagesmittelwert der Globalstrahlung nach Meteonorm [Wh/m²]

b_0, b_1, b_2 : Regressionsparameter, hergeleitet mit Formel 1a)

3. Bestimmtheitsmaß

Um die Qualität der linearen Regression zu überprüfen wurde das korrigierte Bestimmtheitsmaß (R^2) berechnet. R^2 gibt an, welcher Prozentsatz der Variabilität der Messpunkte mit Hilfe der Regression erklärt werden kann. Ein R^2 über 80% bedeutet eine gute Approximation der Messdaten. Ein R^2 zwischen 30 und 80% bedeutet, dass die Regression eine mittelmäßige Approximation der Messdaten darstellt. Ein R^2 unter 30% bedeutet eine schlechte Approximation der Messdaten.

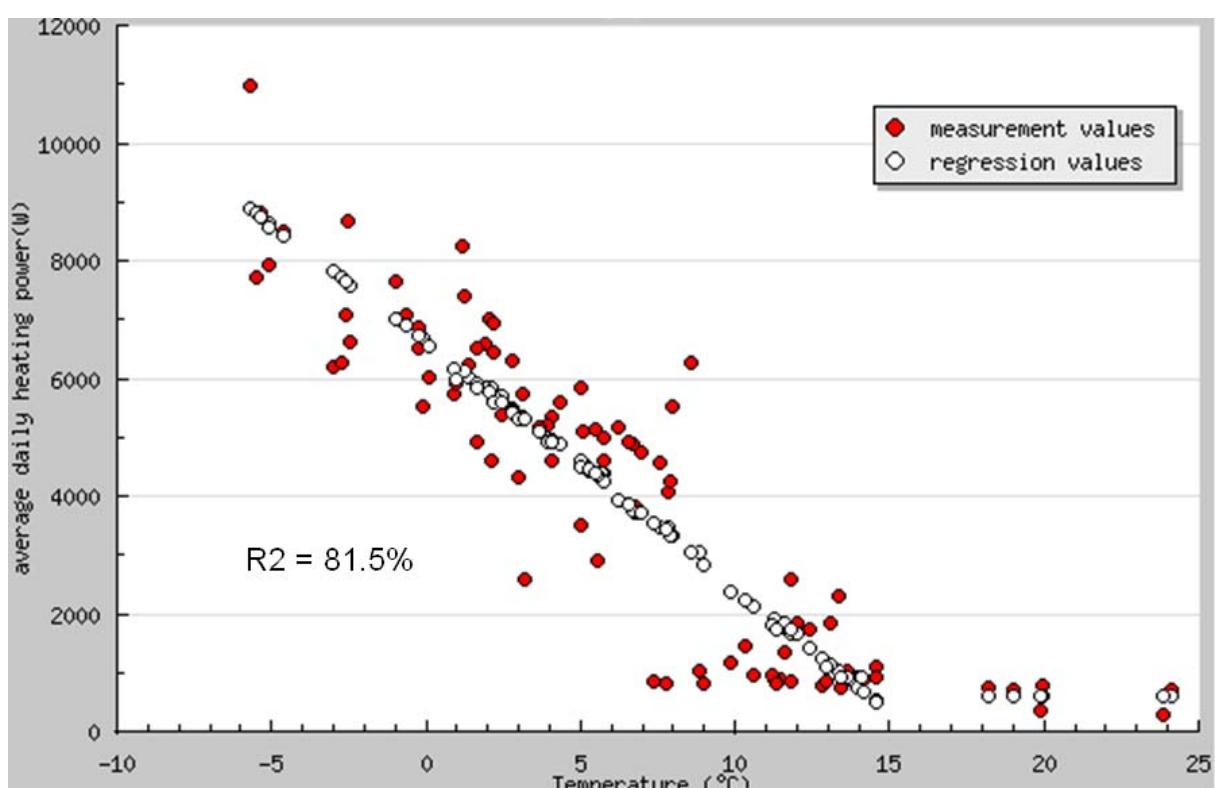


Abbildung 9: Beispiel für Gebäude Nr. 3. Regressionswerte wurden bei Umgebungstemperaturen unter 15°C mit multipler linearer Regression bestimmt, bei Umgebungstemperaturen über 15°C als Mittelwert der gemessenen Leistungen.

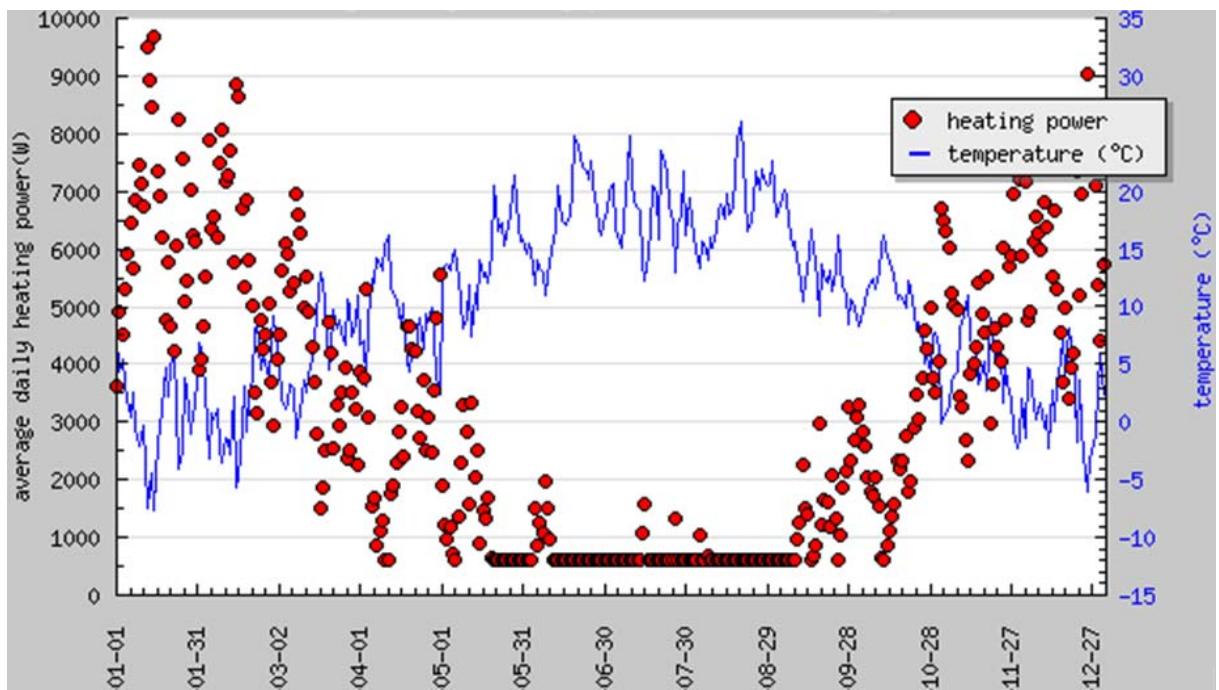


Abbildung 10: Beispiel für Gebäude Nr. 3. Rote Punkte: Für jeden Tag eines Standardjahres nach Meteonorm wurde die mittlere Heizleistung prognostiziert. Dazu wurden die vorher ermittelten Regressionsparameter für das Gebäude benutzt sowie die Daten der Umgebungstemperatur (blaue Linie) und die horizontale Globalstrahlung nach Meteonorm (nicht dargestellt).

Um die Resultate aus den oben beschriebenen Berechnungen vertieft zu analysieren und zu verifizieren wurden zusätzlich folgende Analysen durchgeführt:

4. Regression mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen

Die Berechnung nach Formel (1a) wurde für 3 Zeitperioden des Tages (Nacht, Aufheizphase am Morgen und Tag) separat durchgeführt.

$$P_{\text{night}} = b_{n0} + b_{n1} \times \text{Temp}_n + b_{n2} \times \text{Irr}_n \quad (2a)$$

$$P_{\text{morning}} = b_{m0} + b_{m1} \times \text{Temp}_m + b_{m2} \times \text{Irr}_m \quad (2b)$$

$$P_{\text{day}} = b_{d0} + b_{d1} \times \text{Temp}_d + b_{d2} \times \text{Irr}_d \quad (2c)$$

$$P_3 = (8 \times P_{\text{night}} + 4 \times P_{\text{morning}} + 12 \times P_{\text{day}})/12 \quad (2d)$$

Mit:

P_{night} : durchschnittliche Heizleistung zwischen 22 und 5 Uhr [W]

P_{morning} : durchschnittliche Heizleistung zwischen 6 und 9 Uhr [W]

P_{day} : durchschnittliche Heizleistung zwischen 10 und 21 Uhr [W]

P_3 : durchschnittliche Heizleistung zwischen 22 und 21 Uhr [W]

Temp_n : durchschnittliche Umgebungstemperatur zwischen 22 und 5 Uhr [°C]

Temp_m : durchschnittliche Umgebungstemperatur zwischen 6 und 9 Uhr [°C]

Temp_d : durchschnittliche Umgebungstemperatur zwischen 10 und 21 Uhr [°C]

Irr_n : durchschnittliche Globalstrahlung zwischen 22 und 5 Uhr [Wh/m²]

Irr_m : durchschnittliche Globalstrahlung zwischen 6 und 9 Uhr [Wh/m²]

Irr_d : durchschnittliche Globalstrahlung zwischen 10 und 21 Uhr [Wh/m²]

$b_{n0}, b_{n1}, b_{n2}, b_{m0}, b_{m1}, b_{m2}, b_{d0}, b_{d1}, b_{d2}$: Regressionsparameter

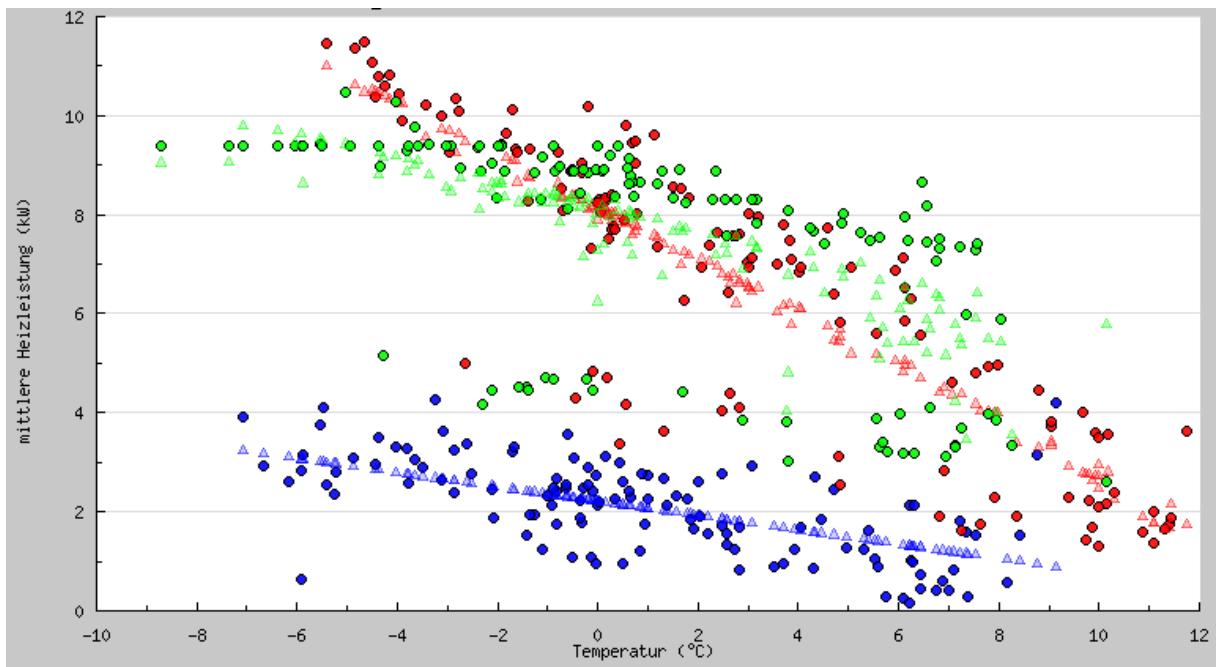


Abbildung 11: Beispiel für Gebäude Nr.4 . Drei multiple lineare Regressionen für Nacht-, Morgen- und Tageswerte wurden durchgeführt. Die blauen, grünen und roten Punkte entsprechen der gemessenen mittleren Heizleistung in den Nacht-, Morgen- und Tagesstunden. Die Dreiecke repräsentieren die zugehörigen Regressionswerte.

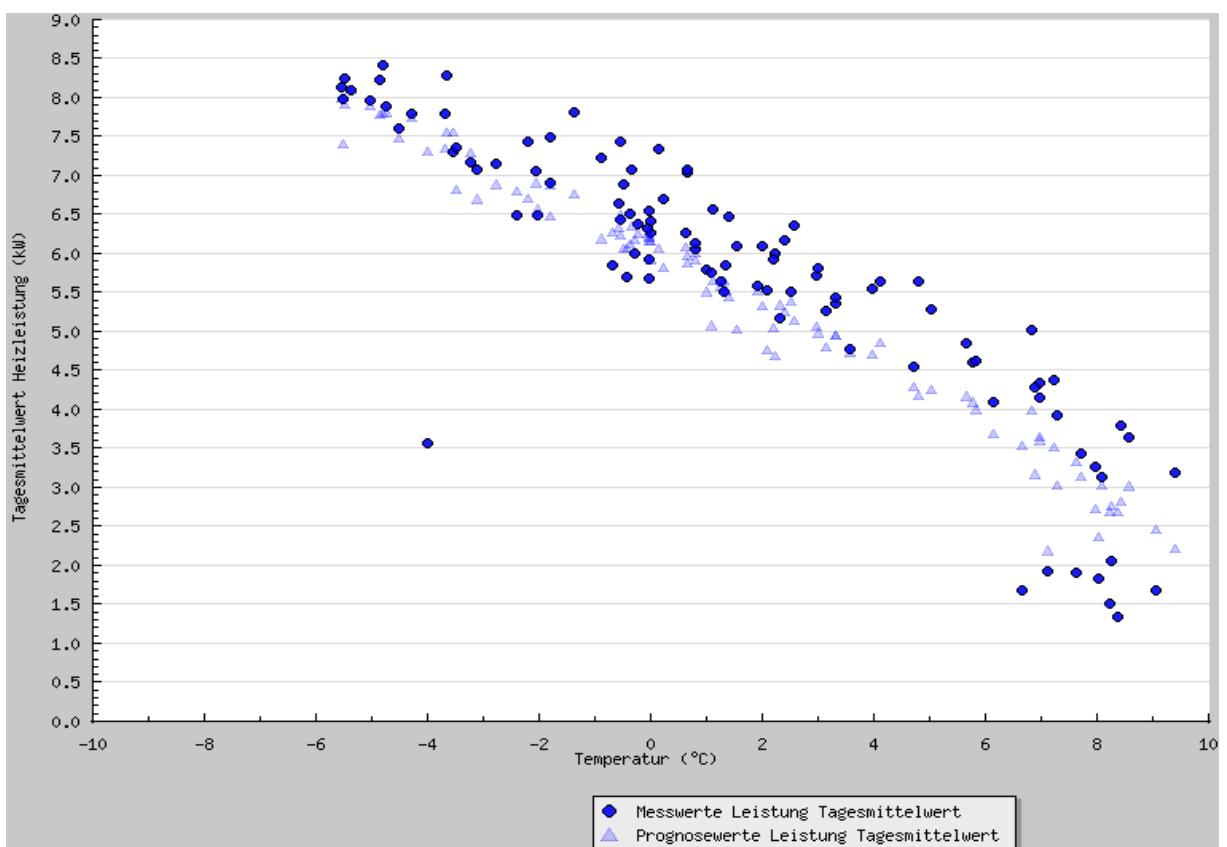


Abbildung 12: Beispiel von P3 für Gebäude Nr. 4. Die blauen Punkte entsprechen den gemessenen P3-Werten, die Dreiecke den zugehörigen Regressionswerten.

5. Heizgradtage

Der gesamte Heizenergieverbrauch während der Heizsaison wurde mit Hilfe der Heizgradtage abgeschätzt. Dazu wurde einerseits die Summe der Heizgradtage an Messtagen mit einer durchschnittlichen Aussentemperatur von weniger als 15°C berechnet, andererseits die Summe der Heizgradtage in einem Standardjahr nach Meteonorm bei denselben Bedingungen. Mit einem Dreisatz wurde danach der Heizenergieverbrauch für ein Standardjahr extrapoliert.

$$HGT_{\text{meas}} = \sum_{\text{Tage mit } Temp_{\text{Standard}} < 15^{\circ}\text{C}} (20 - Temp_{\text{meas}}) \quad (3a)$$

$$HGT_{\text{standard}} = \sum_{\text{Tage mit } Temp_{\text{Standard}} < 15^{\circ}\text{C}} (20 - Temp_{\text{standard}}) \quad (3b)$$

$$E_{\text{hgt_winter}} = \frac{\sum P_{\text{heating}} \times HGT_{\text{standard}}}{HGT_{\text{meas}}} \times 24 / 1000 \quad (3c)$$

Mit

HGT_{meas} : Summe der gemessenen Heizgradtage [$^{\circ}\text{C}$]

$Temp_{\text{meas}}$: durchschnittliche gemessene tägliche Umgebungstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

HGT_{standard} : Summe der Heizgradtage nach Meteonorm [$^{\circ}\text{C}$]

$Temp_{\text{standard}}$: durchschnittliche tägliche Umgebungstemperatur nach Meteonorm [$^{\circ}\text{C}$]

$E_{\text{hgt_winter}}$: geschätzte Summe des Heizenergieverbrauchs in einer Standardheizsaison [kWh]

P_{heating} : gemessene durchschnittliche tägliche Heizleistung [W]

6. Referenzwerte nach "Energiesparrechner"

Die Stiftung Klimarappen bietet auf ihrer Homepage ein Software-Tool an, um den jährlichen Heizenergieverbrauch eines Gebäudes nach der Sanierung zu berechnen (www.gebaeudeprogramm.ch → Einspar- und Beitragsrechner). Das Software-Tool "Energiesparrechner" prognostiziert, wieviele kWh Energie jährlich gespart werden können, wenn der U-Wert einer Mauer oder eines Dachs um einen bestimmten Faktor verbessert wird. Der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes nach der Renovation kann abgeschätzt werden, indem die berechneten Einsparungen vom Heizenergieverbrauch in einer früheren Heizsaison abgezogen werden.

$$E_{\text{reference_winter}} = E_{\text{old_winter}} - E_{\text{reduction}} \quad (4a)$$

Mit

$E_{\text{reference_winter}}$: geschätzter Heizenergieverbrauch in einer Heizsaison [kWh]

$E_{\text{old_winter}}$: von den Gebäudebesitzern gemessener Heizenergieverbrauch in einer früheren Heizsaison [kWh]

$E_{\text{reduction}}$: jährliche Heizenergieeinsparung aufgrund der Renovation, berechnet mit dem Energiesparrechner [kWh]

$E_{\text{reference_winter}}$ wurde als Referenzwert angenommen, um die berechneten Werte $E_{\text{hgt_winter}}$ und $E_{\text{standard_winter}}$ zu validieren.

Bauteil	U-Wert Neu (Anford. GP) W/m2K	U-Wert Ist (* Baseline) W/m2K	Fläche m2	Beitrag CHF	Einsparu kWh	Einsparu Liter Öl
Wand gegen Aussen oder Erde, Boden gegen Aussen						
Grundförderung >16cm	0.23	0.805	0	000	000	000
Optimiert >20cm	0.20	0.805	0	000	000	000
Dach gegen Aussen oder Terrasse über beheizt						
Grundförderung >16cm	0.23	0.805	0	000	000	000
Optimiert >20cm	0.20	0.805	0	000	000	000
Estrichboden (Decke gegen unbeheizt)						
Grundförderung >16cm	0.23	0.64	0	000	000	000
Optimiert >20cm	0.20	0.64	0	000	000	000
Fenster						
Grundförderung Uf≤1,5	1.1	2.2	0	000	000	000
Dreifachverglasung Uf≤1,5	0.9	2.2	0	000	000	000
Optimiert / Minergie-Fenster	0.7	2.2	0	000	000	000
Wand gegen unbeheizt, Boden gegen unbeheizt (Kellerdecke) oder Erde						
Grundförderung >12cm	0.28	0.72	0	000	000	000
Optimiert >16cm	0.23	0.72	0	000	000	000
Bonus Gesamterneuerung oder Bonus Minergie <input type="checkbox"/>					000	
Zwischentotal (im ersten Jahr):					000	000

Abbildung 13: Screenshot des “Energiesparrechners” auf der Homepage des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen

Internetportal

Es wurde ein Internetportal aufgebaut, über welches alle Daten passwortgeschützt abgerufen werden können (www.egonline.ch/home). Die Messwerte und Resultate wurden in Form von Grafiken dargestellt und können als CSV- und SQL-Files heruntergeladen werden.

The screenshot shows the homepage of EGon. At the top, there's a navigation bar with links for Startseite, Warum Egon?, Download, Kontakt, Impressum, and Anmelden. The main content area has a heading "Willkommen bei EGon" and several questions: "WIEVIEL HEIZENERGIE BRAUCHE ICH TATSÄCHLICH?", "KANN DIE HEIZUNG OPTIMIERT WERDEN?", "LOHNT SICH EINE SANIERUNG?", and "WAS HAT DIE SANIERUNG TATSÄCHLICH GEBRACHT?". Below these are sections for "EGon gibt Antwort" and "Wie funktioniert EGon?". A large image of a house with solar panels is shown, labeled "Sanierung eines Hauses, vorher / nachher". To the right, there's a sidebar titled "Finanzierung" featuring logos for Swiss entities like Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Energie BFE, Stiftung Klimarappen, enecolo, METEOTEST, and TNC.

Abbildung 14: Screenshot der Einstiegsseite der Homepage mit öffentlich zugänglichen Informationen über das Projekt.

The screenshot shows the login page for EGon. It features a yellow header "EGon Energie im Gebäude online - Login". Below it is a navigation bar with links for Startseite, Warum Egon?, Download, Kontakt, Impressum, and Anmelden. The main area is titled "Login" and contains two input fields: "Benutzer" (with a placeholder) and "Passwort" (with a placeholder). To the right of the fields is a small icon of a padlock. At the bottom left is a green "Login" button.

Abbildung 15: Screenshot der Login-Seite mit Zugang zu den Messdaten.

Administration

Lieber Reseller

Auf dieser Seite können die eigenen Daten, sowie Kunden und Objektdaten editiert, hinzugefügt und gelöscht werden. Beachten Sie, dass Änderungen sofort nach der Bestätigung wirksam sind und entsprechend unwiderruflich. Danke!

Reseller

Vorname, Name Unternehmen, Webauftritt Adresse, PLZ Stadt Land Telefon, Fax, E-Mail	Marco, Berg BZ Gebäudeprogramm Klimarappen, http://www.klimarappen.ch Dufourstrasse 42, 8008 Zürich Schweiz +41 44 387 99 00, , egon@klimarappen.ch	Sprache de
» neuer Kunde		
Kunde		
Name Baronet ?	Adresse / Ort 8302 Kloten	Mail Obj. 1
Object ID 12 Objekt 3970		
Baronet 0392	8708 Mellingen	Mail Obj. 1
Object ID 1 Projekt 392		
Baronet 0634	8700 Küsnacht	Mail Obj. 1
Object ID 2 Projekt 634		
Baronet 0675	8708 Männedorf	Mail Obj. 1
Object ID 3 Projekt 675		

Abbildung 16: Screenshot des Administratorbereichs der Homepage. Darin ist eine Liste aller Gebäude enthalten. Die Gebäudebeschreibung und die Kontaktdaten der Gebäudebesitzer können angesehen und geändert werden.

Kunde	Baronet ?,	» zurück zur Übersicht		
Standort				
Standort Bezeichnung	Objekt 3970			
Adresse	CH 8302 Kloten			
Breitengrad [Dezimalgrad]	47.4643			
Längengrad [Dezimalgrad]	8.58434			
Höhe über Meer [m]	432	müM		
Alarm Datentransfer	Nein			
Gebäude				
Objekt Name	Objekt 3970			
Baujahr	1968			
Zertifiziert	kein Zertifikate			
Beheizte Fläche	321	m ²		
Fassade	Ost	Süd	West	
Ausrichtung	75	185	255	°
Fensterfläche	9	20	10	m ²
Heizung				

Tools & Hilfe

[» neuer Kunde](#)

Legende

- Kunden hinzufügen
- Kundendaten bearbeiten
- Kunde entfernen
- E-Mail an Kundenadresse
- Neues Objekt hinzufügen
- Objekt bearbeiten

Info

zuletzt angemeldet
Dienstag, 16. Juni 2009
um 12:18 Uhr

[» zurück zur Übersicht](#)

Jeder einzelne Abschnitt der Objektdaten kann editiert werden. Dazu kann das Edtior Icon gedrückt werden.

Visualisierung

Einige Angaben sind schnell verwechselbar. Deshalb dazu eine optische Kontrolle.

Ausrichtung

// TODO

Objektdatenblatt

Dieses Datenblatt beziehen.

[» download](#) // TODO

Info

zuletzt angemeldet
Dienstag, 16. Juni 2009
um 12:18 Uhr

Abbildung 17: Screenshot der technischen Gebäudebeschreibung auf der Homepage.

Heizung



Art der Heizung	Öl Heizung	
Typenbezeichnung	Hoval TKU 50	
Baujahr der Heizung	1968	
Typenbezeichnung Brenner	Eloco EL 01.6	
Kondensationskessel?	Nein	
modulierende Heizung?	Nein	
Leistung des Brenners	62 [kW]	kW
Verteilsystem	Radiatoren	
externer Speicher	Nein	
Warmwasser aufwärmen	Ja	
Speichervolumen	200	Liter
Heizperiode	immer	

Messung



Datenlogger Typ	Barionet	
Seriennummer	00204AA6E108	
Kanal	8	
Messart	Volumen	
Messgerät	Satronic SOG 960	
Impulsrate	0.0005	m³/Impuls

Abbildung 18: Fortsetzung Screenshot der technischen Gebäudebeschreibung auf der Homemepage.

Benutzer



Durchschnittliche Raumtemperatur	24	°
Anzahl ständiger Bewohner	0	
Nutzungsart A	Wohnhaus	0
Nachtabsenkung	-	m²
Beginn Heizperiode	2009-11-30	
Heizung Einschalten	manuell	
Kriterien für das Einschalten (manuell)		
Ende Heizperiode	2009-11-30	
Heizung Ausschalten	manuell	
Kriterien für das Ausschalten (manuell)		

Abbildung 19: Fortsetzung Screenshot der technischen Gebäudebeschreibung auf der Homepage.

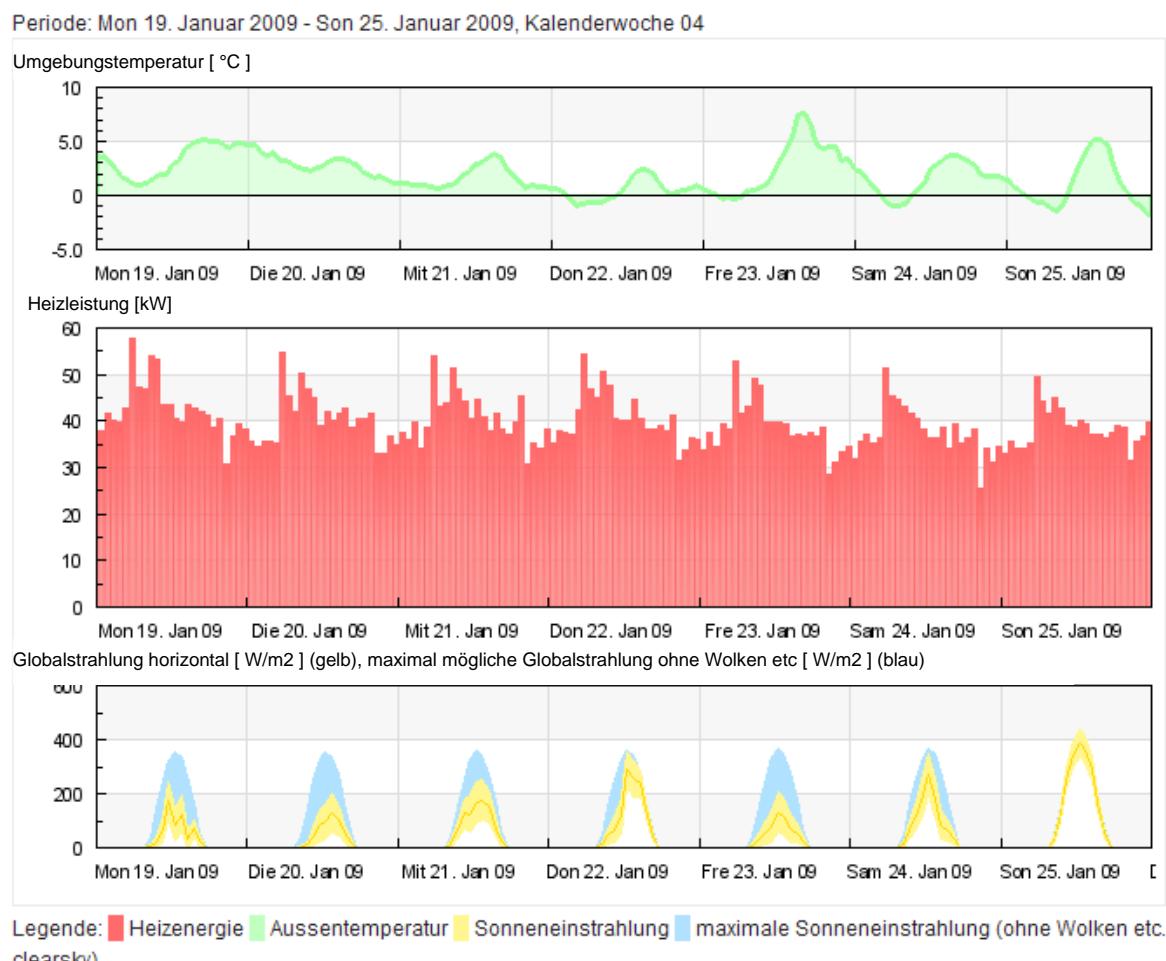
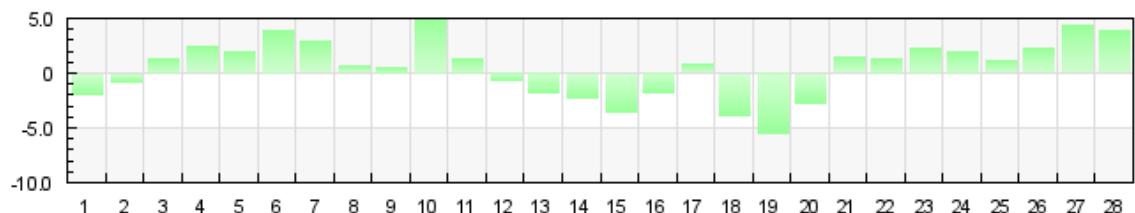


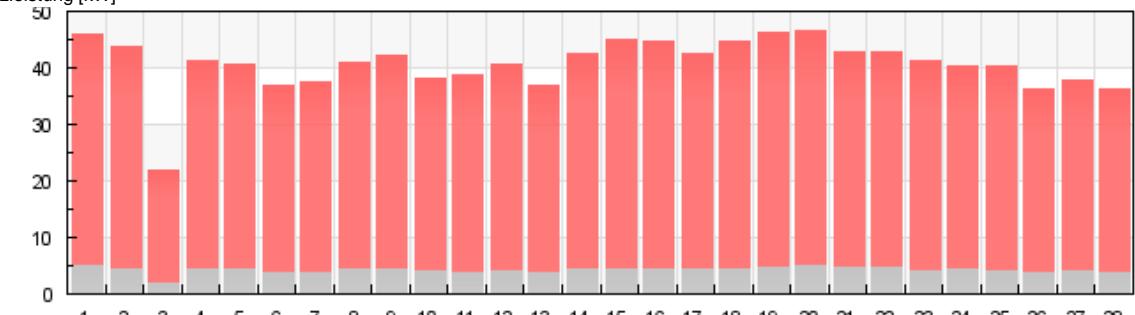
Abbildung 20: Visualisierung der Stundenmittelwerte der Umgebungstemperatur (grüne Linie zuoberst), der Heizleistung (rote Balken in der Mitte) und der horizontalen Globalstrahlung (orange Linie unten)

Periode: Sonntag 1. - Samstag 28. Februar 2009

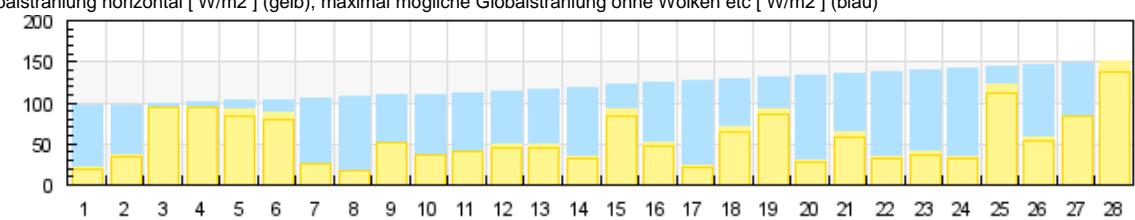
Umgebungstemperatur [°C]



Heizleistung [kW]



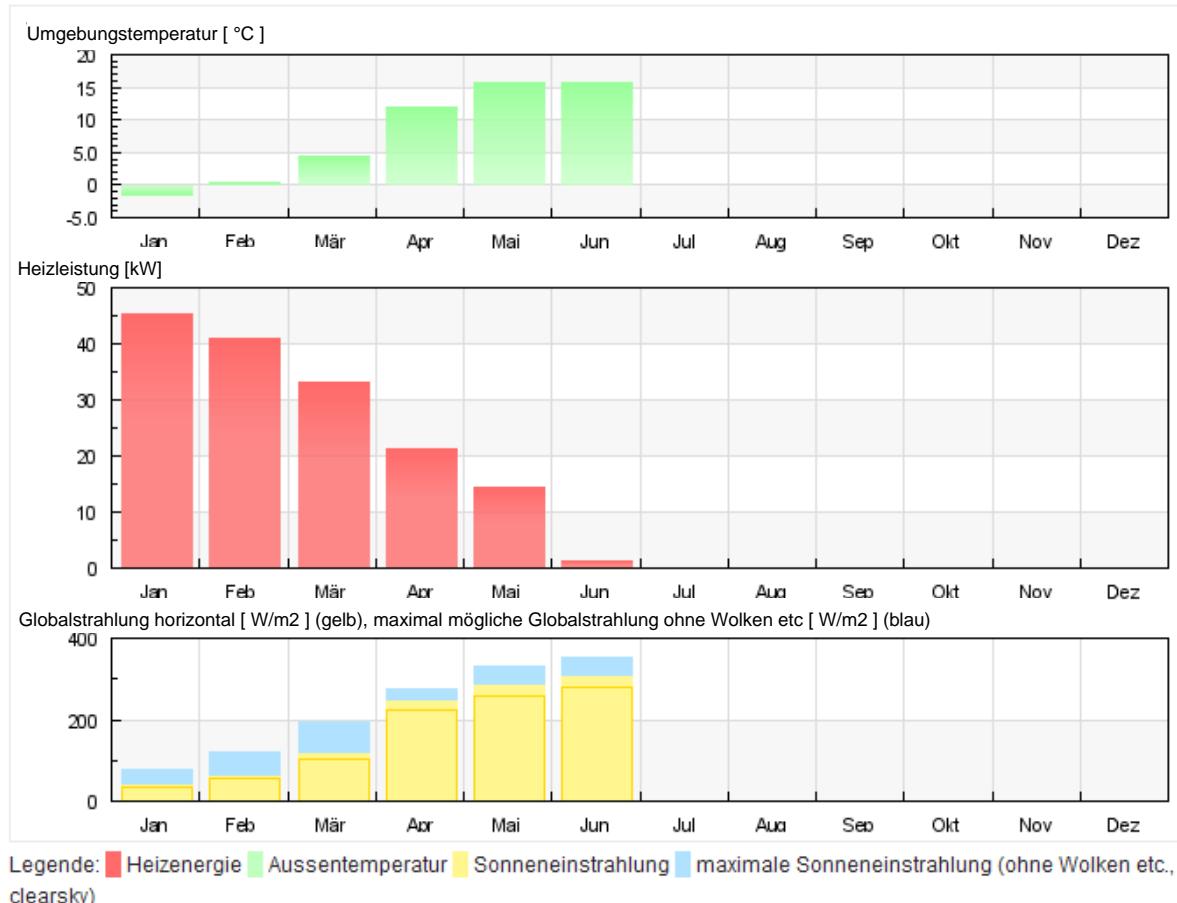
Globalstrahlung horizontal [W/m²] (gelb), maximal mögliche Globalstrahlung ohne Wolken etc [W/m²] (blau)



Legende: ■ Heizenergie ■ Aussentemperatur ■ Sonneneinstrahlung ■ maximale Sonneneinstrahlung (ohne Wolken etc, clearsky)

Abbildung 21: Visualisierung der Tagesmittelwerte der Umgebungstemperatur (grüne Balken zuoberst), der Heizleistung (rote Balken in der Mitte) und der horizontalen Globalstrahlung (orange Balken unten)

Periode: 1. Januar - 31. Dezember 2009



Legende: ■ Heizenergie ■ Aussentemperatur ■ Sonneneinstrahlung ■ maximale Sonneneinstrahlung (ohne Wolken etc., clearsky)

Abbildung 22: Visualisierung der Monatsmittelwerte der Umgebungstemperatur (grüne Balken zuoberst), der Heizleistung (rote Balken in der Mitte) und der horizontalen Globalstrahlung (orange Balken unten)

Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Messdaten und Resultate der verschiedenen Gebäude vorgestellt. Die detaillierten Messwerte und Resultate aller Gebäude sind im Anhang aufgeführt.

Legende

Gebäude-Nr.	Identifikationsnummer des Gebäudes
Gebäudetyp	Büro, Einfamilienhaus (EFH), Zweifamilienhaus (ZFH), Mehrfamilienhaus (MFH)
EBF (m2)	Energiebezugsfläche in m2
Brennerleistung (kW)	maximale Leistung des Brenners in kW
maximale Brennerauslastung (%)	maximale mittlere stündliche Heizleistung als Anteil der Brennerleistung
EKZ_vor_Sanierung (kWh/m2/Jahr)	Energiekennzahl des Gebäudes vor der Sanierung in kWh/m2/Jahr. Angaben des Gebäudebesitzers
EKZ_Refenz (kWh/m2/Jahr)	Energiekennzahl des Gebäudes zum Zeitpunkt der Messung in kWh/m2/Jahr gemäss Energiesparrechner
Messwert_Gebäudebesitzer (kWh/m2/Jahr)	Energiekennzahl ermittelt aus Angaben der Gebäudebesitzer zu Öl- oder Gasverbrauch in der Heizsaison 08/09
EKZ_Regession (kWh/m2/Jahr)	Durch Messung und Regression in diesem Projekt bestimmte Energiekennzahl des Gebäudes in kWh/m2/Jahr
Korrelationskoeffizient	Korrelationskoeffizient der multiplen linearen Regression zur Bestimmung von EKZ_Regession
EKZ_HGT (kWh/m2/Jahr)	Durch Messung und Dreisatz-Rechnung mit Hilfe der Heizgradtage in diesem Projekt bestimmte Energiekennzahl des Gebäudes in kWh/m2/Jahr
Energieeinsparung_Refenz	Mit Hilfe des Energiesparrechners prognostizierter Effekt der Sanierung
Energieeinsparung_Regession	Durch Messung und regression in diesem Projekt bestimmter Effekt der Sanierung
Heizgrenze (°C)	Zur Berechnung des Standard-Jahresenergieverbrauchs benötigte Heizgrenze (mittlere Tagestemperatur, bei welcher die Heizung aus- bzw. eingeschaltet wird)
Warmwasser und Zirkulationsverluste (kWh/m2/Jahr) (* zu hoch berechnet, da Heizung im Sommer ausgeschaltet wird)	Aus den Messungen bestimmter Energieverbrauch für Warmwasser und / oder Zirkulationsverluste
Erwartungswert Warmwasser und Zirkulationsverluste	Erwartungswert für Warmwasser und Zirkulationsverluste. Annahme: 1'110 kWh/Person/Jahr. Bei Bürogebäuden wurde eine Person pro 100 m2
Messwertbereich	Bereich der mittleren Tagestemperaturen, in welchem Messpunkte vorliegen (in °C)
% fehlende Messtage	Anteil Messtage, die für die Analyse nicht verwendet werden konnten, da die Daten nicht an den zentralen Server übermittelt wurden
% Ausreisser	Anteil Messtage, die für die Analyse nicht verwendet wurden, da die gemessene Heizenergie ein Ausreisser war

Abbildung 23: Legende und Erklärungen zu Tabelle 2



Gebäude-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gebäudetyp	EFH	EFH	ZFH	Wohnung + Praxis	MFH	Büro	MFH	Büro	Büro ⁴⁾	MFH ²⁾	MFH ³⁾
EBF (m ²)	141.26	224	337	474	681.87	962.6	1614	2650	321	335	1567
Brennerkapazität (kW)	21	20	27.3	35	48	27.4	116	220	62	32	120
maximale Brennerauslastung (%)	57%	69%	94%	75%	60%	68%	60%	30%	32%	69%	71%
EKZ_vor_Sanierung (kWh/m ² /Jahr)	141	150	88	189	133	136	125	177	199	124	156
EKZ_Refenz (kWh/m ² /Jahr)	84	51	26	131	77	75	68	101	199	124	94
Messwert_Gebäudebesitzer (kWh/m ² /Jahr) ¹⁾	88			48							
EKZ_Regession (kWh/m ² /Jahr)	86	112	77	52	94	40	100	80	175	182	129
Korrelationskoeffizient	69%	73%	81%	89%	96%	95%	95%	86%	87%	85%	61%
EKZ_HGT (kWh/m ² /Jahr)	89	120	79	53	100	41	101	83	179	184	133
Energieeinsparung_Refenz	38%	66%	71%	74%	42%	45%	46%	43%	0%	0%	40%
Energieeinsparung_Regession	39%	25%	13%	73%	29%	71%	20%	55%	12%	-46%	17%
Heizgrenze (°C)	12	6	15	15	15	15	15	15	15	15	14
Warmwasser und Zirkulationsverluste Regression (kWh/m ² /Jahr)	12	43	16	26	26	6	38	30	59	91	36
Erwartungswert Warmwasser und Zirkulationsverluste	31	10	7	19	39	12	31	11	10	40	26
Messwertbereich	-6 bis 14	-6 bis 8	-6 bis 24	-6 bis 22	-6 bis 24	-6 bis 24	-6 bis 24	-6 bis 24	0 bis 24	-6 bis 6	1 bis 15
% fehlende Messtage	30%	11%	14%	9%	2%	7%	4%	25%	5%	1%	6%
% Ausreisser	7%	0	2%	0	0	0	0	3%	0	0	0

¹⁾

Falls die Gebäudebesitzer eine Angabe über den Energieverbrauch während der Heizsaison 08/09 machen konnten, wurde dieser Wert anstelle des Referenzwerts benutzt

²⁾ Gebäude 10 war während der Messzeit nicht mehr bewohnt

³⁾ Gebäude 11 wurde während der Messzeit saniert

⁴⁾ Gebäude 9 wurde noch nicht saniert

⁵⁾ Zu hoch berechnet, da Heizung im Sommer ausgeschaltet wird

Tabelle 2: Übersicht über die wichtigsten Resultate



Messwertbereiche

Wie in Kapitel "Methode" beschrieben, wurden nicht alle Gebäude zum selben Zeitpunkt und während einer gleich langen Zeitperiode ausgemessen. Für sieben der elf Gebäude liegen Messdaten mit mittleren Tagestemperaturen zwischen -6°C bis mehr als +20°C vor, d.h. es konnten sowohl sehr kalte Tage gemessen werden, wie auch Tage an denen die Heizung ausgeschaltet war. Gebäude Nr. 9 und 11 wurden erst im Frühling ausgemessen, so dass Werte bei tiefen Umgebungstemperaturen (Tagesmittelwert unter 0°C) fehlen. Bei drei Gebäuden fehlen Messwerte bei warmen Umgebungstemperaturen (Tagesmittelwert über 15°C). Das bedeutet, dass bei diesen Gebäuden der Übergang von der Heizsaison zur Sommersaison nicht beobachtet werden konnte.

Fehlende Messtage und Ausreisser

Bei vier der Gebäude fehlen mehr als 10% der Messtage. Dies liegt daran, dass die Heizsysteme meistens im Keller stehen, wo der GPRS-Empfang oft schlecht ist. Je nach Empfangsbedingungen konnten so die Daten nicht übermittelt werden. Bei zwei Gebäuden wurde der GPRS-Router nachträglich mit einer stärkeren Antenne ausgerüstet, um den Datenversand überhaupt zu ermöglichen. Die Software des Datenloggers wurde im Verlauf des Projekts so geändert, dass er bei der Installation ein Testmail versendet, damit die Qualität des Datenempfangs bereits bei der Installation geprüft werden kann. Zusätzlich versendet der Datenlogger nun jede Nacht alle Daten der letzten fünf Tage, um den Ausfall einzelner Tageswerte zu kompensieren.

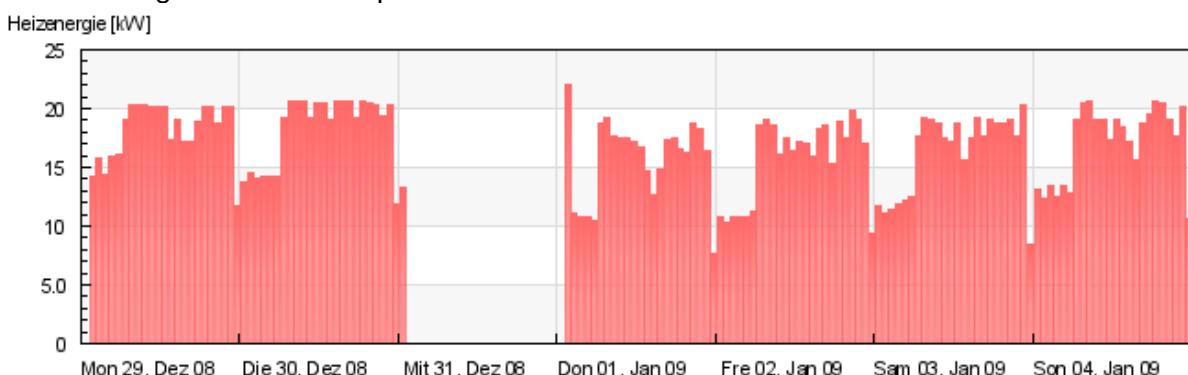


Abbildung 24: Beispiel für Datenausfall bei Gebäude Nr. 10 am 31. Dezember 2008

Bei drei der Gebäude lagen einige Messpunkte deutlich unterhalb der Heizgradkurve. Die Daten wurden manuell entfernt und nicht für die Analyse verwendet (Beschreibung der Ausreisser siehe Anhang).

Bei zwei Gebäuden traten Probleme mit der Korrektheit der Messungen auf. Bei Gebäude Nr. 1 war der Ölolumenzähler defekt und gab keine Impulse aus. Das Problem konnte nur mit dem Ersatz des Ölolumenzählers gelöst werden. Bei Gebäude Nr. 11 waren die Messwerte offensichtlich um einen Faktor 20 bis 50 zu hoch, aber ohne systematische Abweichung. Untersuchungen zeigten, dass die Impulse des Gaszählers nicht dem S0-Standard entsprechen, sondern eine Dauer bis zu 15 Sekunden pro Impuls aufweisen. Der Datenlogger zählte einen Impuls mehrfach und generierte so viel zu hohe Messwerte. Das Problem konnte mit einer Anpassung der Software des Datenloggers gelöst werden. Um zu überprüfen, ob auch andere Gebäude von diesem Phänomen betroffen sind, wurden zwei andere Gebäude (Nr. 1 und 2) nachträglich ebenfalls mit der neuen Software ausgerüstet. Es

konnten keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den mit der alten und der neuen Software gemessenen Daten festgestellt werden.

Prognose der Energiekennzahl

Wie in Kapitel "Methode" beschrieben, wurde die Energiekennzahl der Gebäude nach der Sanierung mit vier verschiedenen Methoden prognostiziert:

1. Multiple lineare Regression
2. Regression mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen
3. Heizgradtage
4. Referenzwerte nach "Energiesparrechner"

Die Resultate mit der Methode "Multiple lineare Regression" waren bei allen Gebäuden praktisch identisch mit den Resultaten der Methode "Heizgradtage" (Abweichungen zwischen 1 und 7%, siehe Tabelle 2). Die Methode "Heizgradtage" ist einfacher und benötigt weniger Rechenaufwand, gibt aber keine weiteren Informationen über das Verhalten des Heizsystems. Mit der Methode "Multiple lineare Regression" kann zusätzlich die Heizgradkurve bestimmt und der Heizenergieverbrauch für kürzere Zeitintervalle (z.B. Tage oder Wochen) prognostiziert werden.

Die Methode "Regression mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen" wurde nicht bei allen Gebäuden durchgeführt. Die Resultate aus dieser Methode hängen stark davon ab, welche Zeitbereiche für die Auswertung gewählt wurden: Zu welcher Zeit beginnt die Nachabsenkung, wann beginnt die Aufheizphase am Morgen? Werden diese Zeitpunkte korrekt gewählt, ergeben sich mit dieser Methode praktisch dieselben Resultate wie mit der Methode "Multiple Regression". Mit der Methode "Regression mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen" wäre es zusätzlich möglich, das Verhalten der Heizung im Detail zu untersuchen. Je nach Trägheit des Gebäudes könnte diese Auswertung aber evtl. auch problematisch sein, sofern die Reaktionszeit des Gebäudes länger ist als die untersuchten Zeitintervalle. Aufgrund der langen Berechnungsduer und weil diese Methode schlecht automatisiert werden kann, wurde sie nicht weiter verfolgt.

Die Methode "Referenzwerte nach Energiesparrechner" ergab teilweise sehr grosse Unterschiede zu den Resultaten aus der Methode "Multiple lineare Regression" (siehe Abbildung 25 und Tabelle 2). Die Werte dieser Methode basieren nicht auf den EGon Messungen, sondern auf Angaben der Gebäudebesitzer zum Heizenergieverbrauch in früheren Heizsaisons und zu den geplanten Sanierungsmassnahmen. Der Grund für diese Abweichungen konnte nicht in jedem Fall eruiert werden. Ein Problem bei der Methode "Referenzwerte nach Energiesparrechner" war die Unterscheidung zwischen dem Heizenergieverbrauch während der Heizsaison und dem Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser während eines ganzen Jahres. Oft war unklar, welchen Wert die Gebäudebesitzer angegeben hatten. In

Abbildung 25 werden die prognostizierten Energiekennzahlen der Methoden "Multiple lineare Regression" und "Referenzwerte nach Energiesparrechner" verglichen. Die Gebäude Nr. 9, 10 und 11 waren noch nicht saniert. Deshalb wurde für die Gebäude Nr. 9, 10 und 11 anstelle des Referenzwerts nach "Energiesparrechner" die aus einer früheren Heizperiode gemessene Energiekennzahl angegeben.

Bei Gebäude Nr. 4 stellte sich durch Nachfragen beim Gebäudebesitzer heraus, dass der angegebene Heizenergieverbrauch nicht korrekt war. Für die Gebäude Nr. 1 und 4 konnten für die Heizsaison 2008/09 von den Gebäudebesitzern Werte zum tatsächlichen Heizenergieverbrauch gesammelt werden (siehe gelbe Punkte in

Abbildung 25).

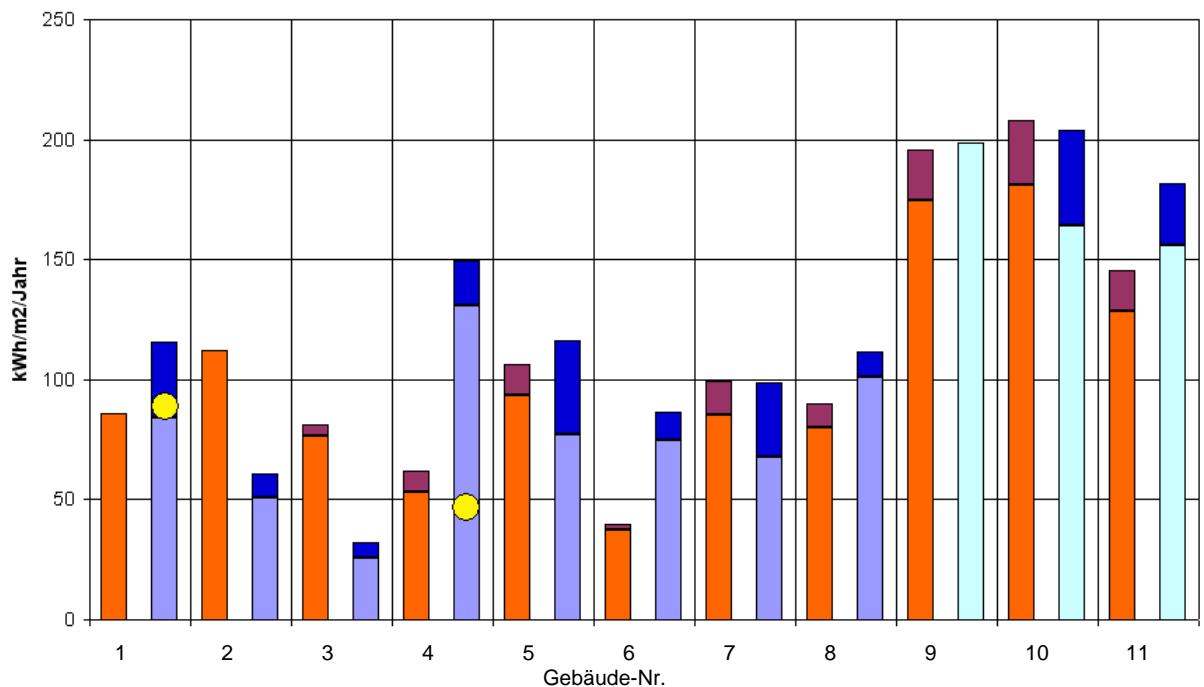


Abbildung 25: Vergleich zwischen Referenzwerten nach "Energiesparrechner" und Resultaten der Methode "Multiple lineare Regression". Daten wurden aus Tabelle 2 entnommen.
orange Balken: EKZ_Regression
dunkelrote Balken: Warmwasser und Zirkulationsverluste
blaue Balken: EKZ_Refenz
dunkelblaue Balken: Erwartungswert Warmwasser und Zirkulationsverluste
hellblaue Balken: EKZ_Refenz, berechnet aus dem Heizenergieverbrauch einer früheren Heizperiode gemäss Angaben der Hausbesitzer. (Diese Häuser waren während der Messung noch nicht saniert.)
gelbe Punkte: Messwert_Gebäudebesitzer

Überprüfung des Sanierungserfolgs

Die Stiftung Klimarappen hatte mit Hilfe der Methode "Referenzwerte nach Energiesparrechner" für jedes Gebäude berechnet, wie hoch die prozentuale Heizenergieeinsparung durch die Sanierung sein sollte (blaue Balken in Abbildung 26). Mit der Methode "Multiple lineare Regression" sollte überprüft werden, ob diese Berechnung korrekt ist. Da sich wie oben beschrieben teilweise grosse Unterschiede zwischen den beiden Methoden ergaben, führte dies auch zu unterschiedlichen Resultaten. Zwar konnte mit der Methode "Multiple lineare Regression" bei jedem sanierten Gebäude eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs festgestellt werden (siehe orange Balken in Abbildung 26), doch nur bei Gebäude Nr. 1 stimmte das Resultat um wenige Prozentpunkte mit der Erwartung überein. Bei drei Gebäuden war die Energieeinsparung gemäss Methode "Multiple lineare Regression" um 10 bis 25% grösser als prognostiziert worden war, bei zwei Gebäuden war die Energieeinsparung um ca. 15% tiefer als prognostiziert und bei zwei weiteren Gebäuden war sie sogar um 41 bzw. 58% tiefer als prognostiziert worden war. Die Gründe für die zum Teil sehr hohen Abweichungen konnten nicht eruiert werden, insbesondere weil die Angaben der Gebäudebesitzer zum Heizenergieverbrauch ihrer Gebäude nicht in jedem Fall zuverlässig waren und somit der Referenzwert gemäss Energiesparrechner ebenfalls nicht zuverlässig bestimmt werden konnte.

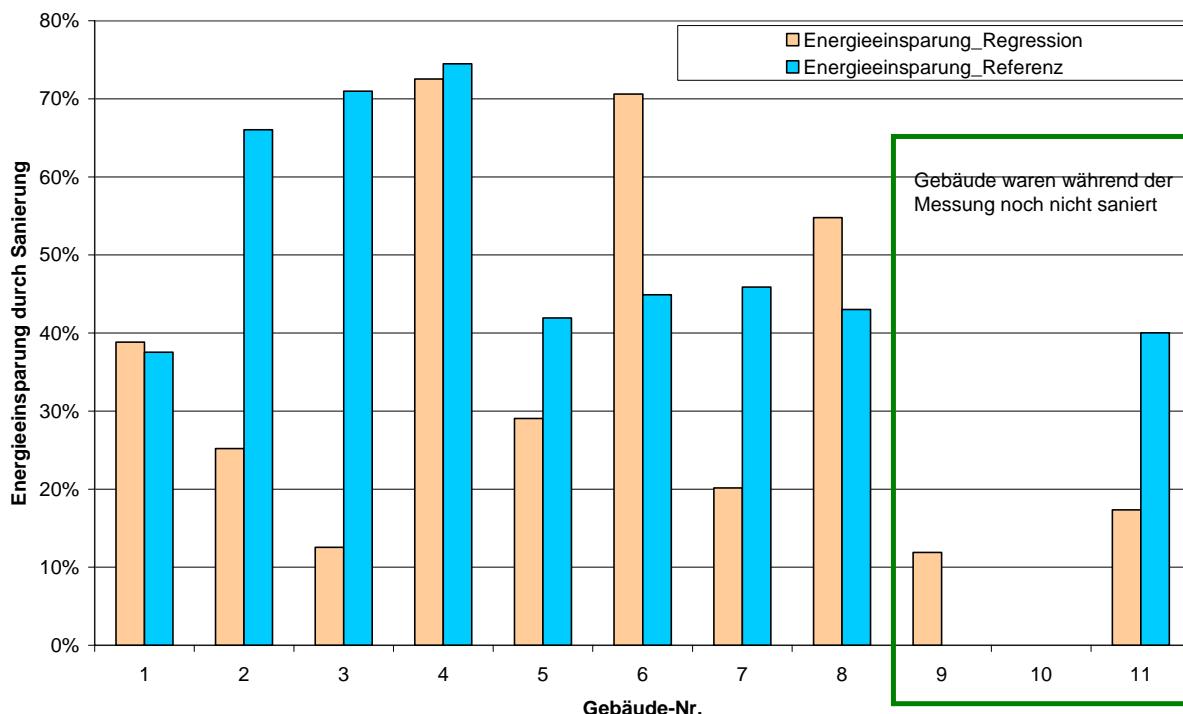


Abbildung 26: Vergleich zwischen nach "Energiesparrechner" erwarteter und mit dem EGon-Verfahren "Multiple lineare Regression" prognostizierter Energieeinsparung aufgrund der Sanierung. Daten wurden aus Tabelle 2 entnommen. Die Gebäude 9 und 10 waren zur Zeit der Messungen noch nicht saniert. Gebäude 11 befand sich in der Sanierung. Die Resultate aus dem EGon-Verfahren wurden mit einem Unsicherheitsintervall versehen, das dem Korrelationskoeffizienten entspricht.

Heizgrenze

Zur Berechnung der Heizgradtage und zur Simulation des Heizenergieverbrauchs wird üblicherweise als Heizgrenze eine Tagesmitteltemperatur der Umgebung von 12°C angenommen. In der Methode "Multiple lineare Regression" wurde die Heizgrenze aus dem Schnittpunkt der Heizgradkurve mit der Leistung zur Brauchwassererwärmung und der Zirkulationsverluste ermittelt. Falls der Schnittpunkt bei einer Tagesmitteltemperatur über 15°C lag, wurde eine Heizgrenze von 15°C angenommen (siehe Abbildung 27). Die Analyse der Heizgradkurven zeigt, dass bei acht der elf Gebäude auch bei Tagesmitteltemperaturen deutlich über 15°C noch geheizt wird und die Heizgrenze somit eher bei 18 bis 20°C liegen würde. Bei den drei Gebäuden, bei welchen eine Heizgrenze unter 15°C geschätzt wurde, liegen keine Messwerte bei warmen Umgebungstemperaturen vor, d.h. die Heizgrenze beruht allein auf einer Extrapolation der Heizgradkurve und nicht auf einer tatsächlichen Beobachtung der Heizgrenze.

Falls die Gebäudebesitzer die Heizung manuell ein- und ausschalten tritt das Phänomen auf, dass bei derselben Tagesmitteltemperatur z.B. im Januar und Februar noch geheizt wird, im März aber nicht mehr. Dies führt dazu, dass die Heizgradkurve und die Kurve für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste in einem gewissen Bereich der Umgebungstemperatur koexistieren (siehe Abbildung 28)

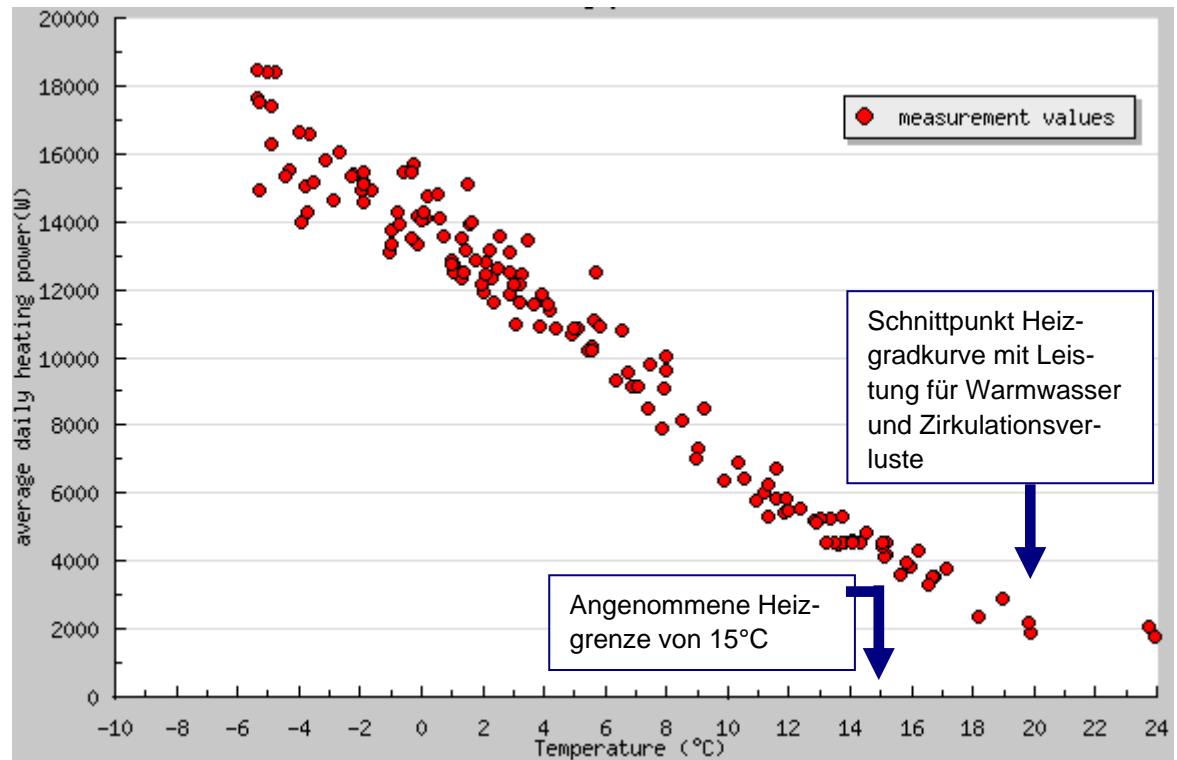


Abbildung 27: Bestimmung der Heizgrenze aus der Heizgradkurve. Beispiel Gebäude 5

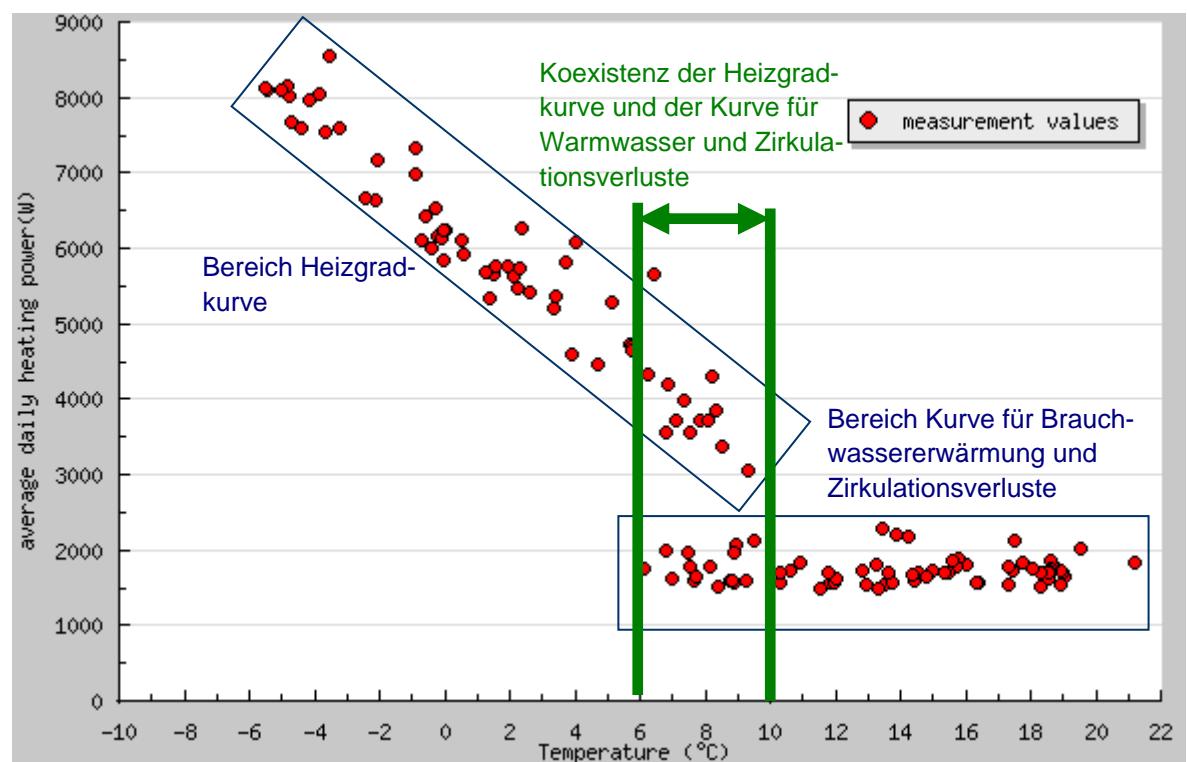


Abbildung 28: Bestimmung der Heizgrenze aus der Heizgradkurve. Beispiel Gebäude 4

Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste

Aus der Kurve für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste wurde der Energiebedarf zur Brauchwassererwärmung und für Zirkulationsverluste für ein Jahr abgeschätzt. Die Resultate variieren von 6 kWh/m²/Jahr für Gebäude 6 bis zu 91 kWh/m²/Jahr für Gebäude 10 (siehe Abbildung 29). Bei einigen Gebäuden (gestreifte Balken in Abbildung 29) liegen keine Messungen an warmen Tagen vor, d.h. die Leistung zur Brauchwassererwärmung wurde aus der Heizgradkurve extrapoliert mit einer angenommenen Heizgrenze von 15°C. Die Resultate für diese Gebäude weisen deshalb grosse Unsicherheiten auf. Bei zwei Gebäuden (gepunktete Balken in Abbildung 29) wird die Heizung nach Angaben der Gebäudebesitzer im Sommer ausgeschaltet und das Warmwasser mit einem anderen System erhitzt. Dies wurde in der Simulation nicht berücksichtigt, so dass die berechneten Werte deutlich zu hoch sind.

Als Erwartungswert wurde bei den Wohnhäusern ein Verbrauch von 1'110 kWh/Person/Jahr angenommen. Bei den Bürogebäuden wurde mit einer Person pro 100 m² gerechnet. Bei acht Gebäuden liegen die gemessenen bzw. extrapolierten Werte höher als der Erwartungswert, bei drei Gebäuden liegen die gemessenen Werte tiefer als erwartet. Die Abweichungen sind bei einzelnen Gebäuden beträchtlich (über 100%). Der Grund für die Abweichungen wurde im Rahmen dieses Projekts nicht untersucht.

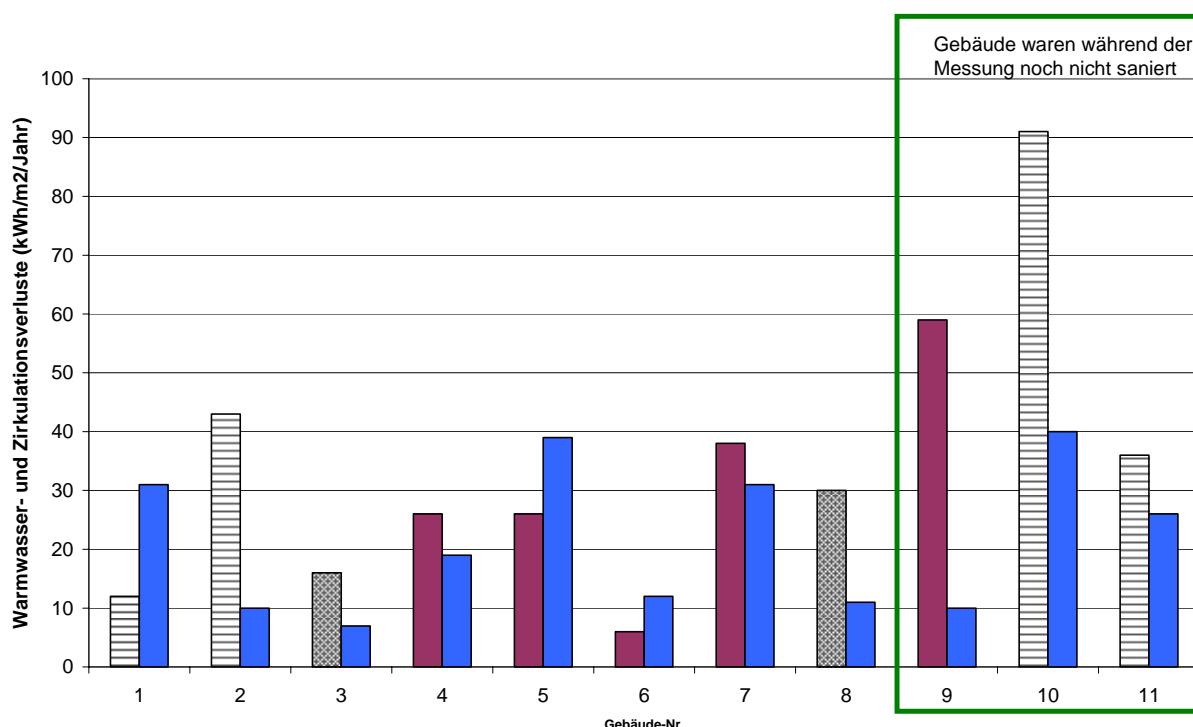


Abbildung 29: gemessener und erwarteter Energieverbrauch für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste. Daten wurden aus Tabelle 2 entnommen.

Blaue Balken: Erwartungswert Brauchwarmwasser und Zirkulationsverluste

Dunkelrote Balken: Warmwasser und Zirkulationsverluste, bestimmt aufgrund von Messungen an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur über 15°C.

Gepunktete Balken: Warmwasser und Zirkulationsverluste, bestimmt aufgrund von Messungen an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur über 15°C. Die Bewohner geben aber an, die Heizung im Sommer auszuschalten. Im Jahresschnitt wird somit ein tieferer Wert resultieren.

Gestreifte Balken: Warmwasser und Zirkulationsverluste, extrapoliert aus der Heizgradkurve (Messungen an Tagen mit Tagesmitteltemperatur unter 15°C).

Brennerauslastung

Die stündliche Auflösung der Messdaten erlaubte es, auch Aussagen über die Heizungsregelung zu machen. So konnte z.B. berechnet werden, wie stark der Brenner während einer Stunde maximal ausgelastet war (siehe Abbildung 30). Bei zwei Gebäuden lag die maximale Brennerauslastung bei nur 30%, bei den meisten Gebäuden zwischen 60 und 70% und bei einem Gebäude bei über 90%. Es fällt auf, dass das Gebäude mit einer Brennerauslastung bis über 90% gleichzeitig das Gebäude ist, bei welchem eine Abweichung von 58% zwischen dem prognostizierten Sanierungserfolg und dem nach der Methode "Multiple lineare Regression" bestimmten Sanierungserfolg auftritt. Es wären weitere Messungen und Abklärungen notwendig, um zu überprüfen, ob die Sanierung tatsächlich nicht so erfolgreich war wie geplant, oder ob bei diesem Gebäude ein ähnliches Problem mit der Erfassung der Messwerte vorlag wie bei Gebäude Nr. 11 (siehe Abschnitt "Fehlende Messtage und Ausreisser").

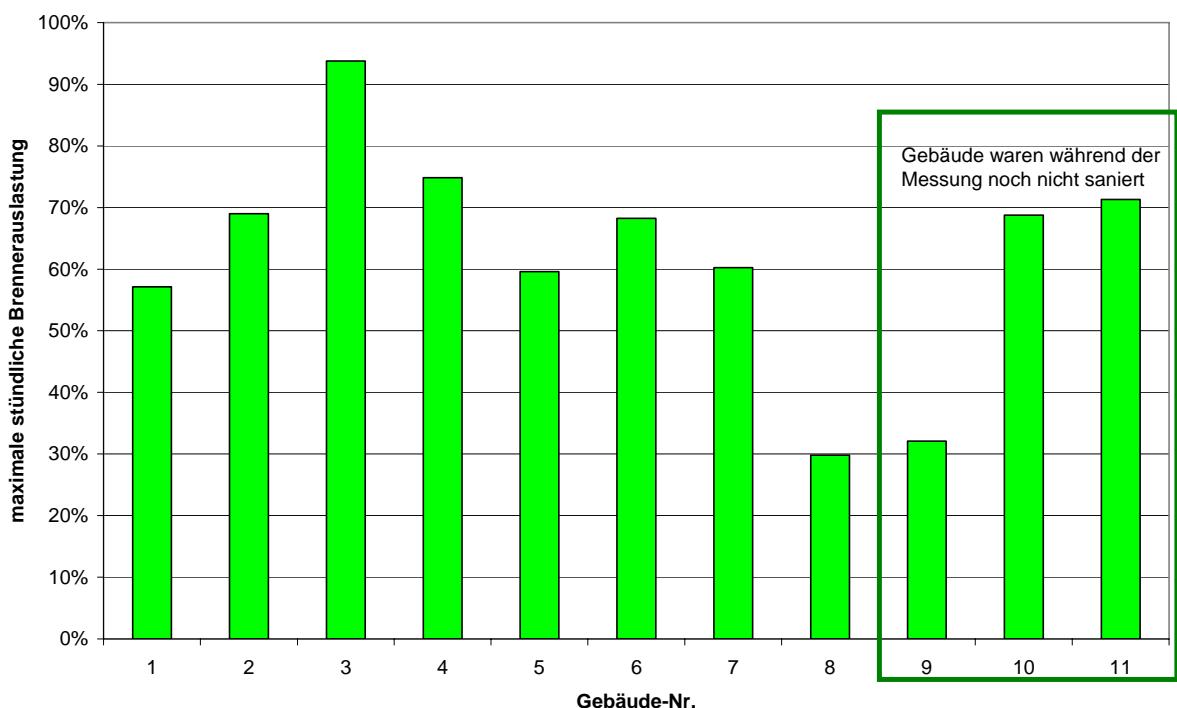


Abbildung 30: Übersicht der maximalen Brennerauslastung der untersuchten Gebäude. Daten wurden aus Tabelle 2 entnommen.

Diskussion

Ziel des Projekts war es, die in der Einleitung gestellten Fragen zu beantworten:

Hardware-Kosten und -Zuverlässigkeit

Die gesamten Hardwarekosten lagen zwischen CHF 1'100.- und CHF 1'200. Die zusätzlichen Kosten für Installation, Datentransfer und Abbau betrugen zwischen CHF 270.- und 370.- (siehe Tabelle 3). Da die Hardware schnell und einfach installiert und abgebaut werden kann, ist es problemlos möglich, die Messeinrichtung von einem Gebäude zu einem anderen zu transferieren. Wenn angenommen wird, dass während der Lebensdauer einer Messeinrichtung damit insgesamt 6 verschiedene Gebäude ausgemessen werden, resultieren für ein einzelnes Gebäude Gesamtkosten von CHF 460.- bis CHF 750.-. Dabei nicht berücksichtigt sind allfällige Reisekosten des Installateurs und administrative Kosten.

	Ölheizung	Gasheizung
Hardware	CHF 1200.-	CHF 1070.-
Installation	Ca. 1.5h (CHF 225)	Ca. 1h (CHF 150)
Datentransfer	CHF 40.- SIM-Karte. Ca. CHF 12.- pro Monat für Datenvolumen	
Abbau	Ca. 0.2h (Ölzähler wurde nicht entfernt)	

Tabelle 3: Kosten für Hardware, Installation, Datentransfer und Abbau der Messeinrichtung

Wie in Kapitel "Resultate" beschrieben, traten während den Messungen Probleme mit der Datenübertragung auf, insbesondere weil der GPRS-Empfang am Standort der Heizsysteme (Keller) oft ungenügend war. Mit Hilfe einer neuen Software, welche dieselben Messdaten fünfmal zu versenden versucht, konnte die Datenübertragung verbessert werden. Trotzdem muss immer noch mit einzelnen fehlenden Tagen gerechnet werden.

Die Zuverlässigkeit der Messwerte war ein unerwartetes Problem, das mit einer Anpassung in der Software voraussichtlich gelöst werden konnte (siehe Kapitel "Resultate"). Um zu überprüfen, ob die aktuelle Software in jedem Fall einen genügenden Entprellungs- und Störungsschutz aufweist, wären detaillierte Untersuchungen und Quervergleiche mit anderen Messgeräten notwendig.

Genauigkeit der Aussentemperatur

Die Unsicherheit der Umgebungstemperatur aus Wettermodellen beträgt bis zu 2°C (siehe Kapitel "Methode"). Es wären weitergehende Messungen notwendig, um zu überprüfen, ob diese Abweichungen systematisch sind. Auch die lokale Messung der Aussentemperatur ist oft fehlerbehaftet, z.B. weil die Messgeräte nicht kalibriert sind, oder weil die Messung durch Sonneneinstrahlung verfälscht wird. Je nach Steilheit der Heizgradkurve kann ein Unterschied von 2°C in der Umgebungstemperatur zu einer Abweichung des prognostizierten Heizenergieverbrauchs von mehr als 15% führen. Die Genauigkeit der Werte der Umgebungstemperatur hat also einen deutlichen Einfluss auf die Genauigkeit der gesamten Auswertung, sie kann aber nicht die Unterschiede von bis zu 58% zwischen erwarteter und gemessener Effizienz der Sanierung erklären.

Zuverlässigkeit der Heizgradkurve

Bei allen Gebäude mit Ausnahme von Gebäude Nr. 11 konnte eine eindeutige Heizgradkurve bestimmt werden (Heizgradkurven aller Gebäude siehe Anhang). Die Streuung der Punkte auf der Heizgradkurve ist unterschiedlich gross, so dass ein Korrelationskoeffizient zwischen 96 und 69% resultiert (ohne Gebäude 11). Nach Auskunft von Charles Weinmann [10] sind die Heizgradkurven aller Gebäude ausser Nr. 11 plausibel. In seinen Messungen der Energiesignatur konnte er oft Heizgradkurven mit einem Korrelationskoeffizienten bis 99% messen. Solche Heizgradkurven entstehen bei Gebäuden, bei welchen die Heizung allein aufgrund der Außentemperatur gesteuert wird. Bei den meisten heutigen Heizsystemen sind in den Wohnräumen Thermostatventile vorhanden, welche es erlauben die Heizung zusätzlich auch in Abhängigkeit der Raumtemperatur zu steuern. Ein sehr hoher Korrelationskoeffizient deutet gemäss Herr Weinmann somit auf eine "schlechte" bzw. sehr einfache Steuerung der Heizung hin.

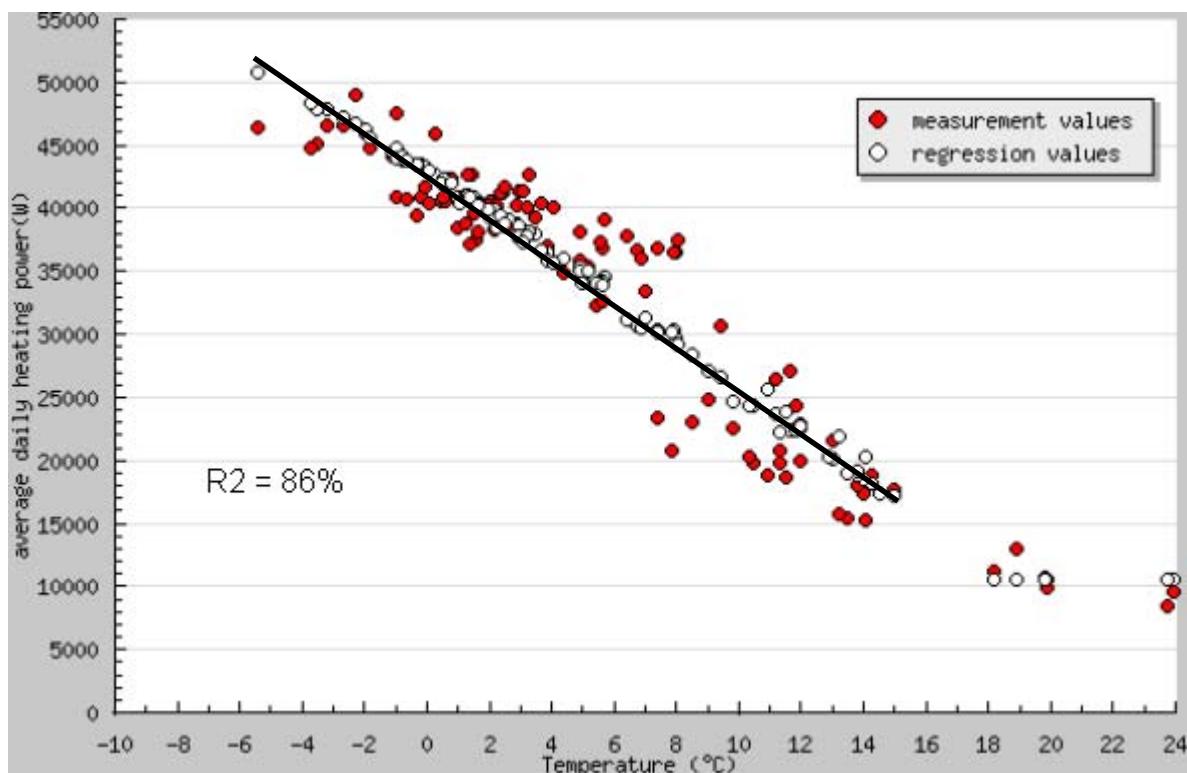


Abbildung 31: Streuung der Messwerte und der Regressionswerte um die Trendlinie der einfachen linearen Regression.

Im Unterschied zum bisherigen Ansatz, wurde die Heizgradkurve nicht als einfache lineare Regression der Heizleistung gegen Außentemperatur bestimmt, sondern als multiple lineare Regression der Heizleistung gegen Außentemperatur und horizontale Globalstrahlung. Die zusätzliche Inputgrösse "Globalstrahlung horizontal" kann aber nur einen sehr geringen Anteil der Streuung der Messpunkte erklären (siehe Abbildung 31: die Streuung der Regressionspunkte um die Trendlinie der einfachen linearen Regression ist auf die horizontale Globalstrahlung zurückzuführen. Die Streuung der Messwerte um die Regressionslinie ist aber deutlich grösser als die Streuung der Regressionspunkte. Nach Aussage von Herr Weinmann ist abgesehen von der Außentemperatur die Raumtemperatur wahrscheinlich die wichtigste Inputgrösse zur Bestimmung der Heizleistung. Wenn diese Aussage stimmt, wäre es sinnvoll die Raumtemperatur zu bestimmen und anstelle der horizontalen Globalstrahlung als zweiten Inputparameter in der multiplen linearen Regression zu nutzen. Dadurch sollte der grösste Teil der Streuung der Messwerte mit Hilfe der Regressionspunkte erklärt werden können. Die Raumtemperatur hängt von der horizontalen Globalstrahlung ab, zusätzlich aber auch vom Benutzerverhalten der Bewohner (Einstellung des Thermostatventils, Lüften der

Räume, Anzahl elektrische Geräte etc.), der Trägheit des Gebäudes und dem Zirkulations-system der Heizung.

Nach Herr Weinmann wäre es in diesem Zusammenhang auch sinnvoll, die Methode "Regressions mit 3 unterschiedlichen Zeitbereichen" weiter zu verfolgen. Wenn z.B. nur die Messwerte während der Nacht analysiert werden, kann der Einfluss der horizontalen Globalstrahlung ausgeschlossen werden.

Die notwendige Messdauer hängt stark von den Witterungsbedingungen und vom Gebäude bzw. Heizsystem ab, da die Heizgradkurve umso zuverlässiger bestimmt werden kann, je grösser der gemessene Bereich der Umgebungstemperatur ist und je kleiner die Streuung der Messdaten ist. Es wird vorgeschlagen, dass die Messpunkte einen Bereich der Umgebungstemperatur von mindestens 10°C (Tagesmitteltemperaturen) unterhalb der Heizgrenze abdecken sollten und der Korrelationskoeffizient mindestens 80% betragen sollte. Um diese Kriterien zu erfüllen war bei den untersuchten Gebäuden eine Messdauer von ca. 2 Monaten notwendig.

Energiekennzahl und Jahresenergieverbrauch

Für alle Gebäude konnten aus der Heizgradkurve eine Energiekennzahl und der Jahresheizenergieverbrauch in einem durchschnittlichen Jahr hergeleitet werden (siehe Tabelle 2). Bei zwei Gebäuden wurde der ermittelte Jahresheizenergieverbrauch mit Messungen der Gebäudebesitzer aus derselben Heizsaison verglichen. Die Abweichung betrug -2% bei Gebäude Nr. 1 und +7% bei Gebäude Nr. 4. Diese Stichproben deuten an, dass die Methode, "Multiple lineare Regression" zuverlässige Werte liefert. Für eine fundiertere Aussage müsste aber der Heizenergieverbrauch weiterer Gebäuden über mehrere Jahre gemessen und mit den Prognosewerten verglichen werden.

Als kritisch für die Bestimmung der Energiekennzahl und des Jahresenergieverbrauchs hat sich die Bestimmung des Heizenergieverbrauchs für die Brauchwassererwärmung und die Zirkulationsverluste erwiesen, sowie das Heizverhalten in der Übergangssaison. Je nachdem, ob die Heizung manuell ausgeschaltet wird oder permanent weiter läuft und bei welcher Umgebungstemperatur die Heizgrenze liegt, wird ein signifikant höherer oder tieferer Jahresheizenergieverbrauch berechnet. Für aussagekräftige Resultate ist es deshalb notwendig, nicht nur die Heizgradkurve zu bestimmen, sondern zusätzlich auch die Heizgrenze und das Verhalten während der Übergangssaison und im Sommer. Dies bedeutet, dass zusätzlich zur Messung der Heizgradkurve im Winter auch Messungen während der Übergangssaison notwendig sind.

Überprüfung des Sanierungserfolgs

Bei allen renovierten Gebäuden konnte mit Hilfe der Messungen und der Methode "Multiple lineare Regression" nachgewiesen werden, dass die Renovation zu einer Verringerung des Heizenergieverbrauchs geführt hat (siehe Tabelle 2 und Abbildung 26). Die Höhe der festgestellten Heizenergieeinsparung wlich teilweise beträchtlich von der erwarteten Energieeinsparung (Referenzwert nach Energiesparrechner) ab. Der Grund für diese Abweichungen ist schwierig zu bestimmen. Bei zwei Gebäuden (Nr. 1 und Nr. 4) lieferten die Gebäudeeigentümer nachträglich Informationen zu ihrem Heizenergieverbrauch in der Heizsaison 2008/09. Diese Werte stimmen ziemlich gut mit den Resultaten der Methode "Multiple lineare Regression" überein (Abweichung von +2% bzw. -7%, siehe Abbildung 25). Dagegen gab es eine Abweichung von 63% zwischen den Angaben des Gebäudebesitzers (Messwert_Gebäudebesitzer) und dem Referenzwert des Energiesparrechners (EKZ_Refenz). Für Gebäude Nr. 4 liegt auch eine Auswertung nach SIA 380/1 vor, welche einen jährlichen Heizwärmebedarf von 53 kWh/m² prognostiziert. Dies stimmt mit der Energiekennzahl von 52 kWh/m² aus der Methode "Multiple lineare Regression" überein, weicht aber deutlich vom Referenzwert des Energiesparrechners (199 kWh/m²) ab. Diese Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Referenzwerte nach der Methode des Energiesparrechners in einigen Fällen unzuverlässig sind.

Automatisierung des Systems

Die Datenübertragung, Datenspeicherung, Visualisierung und Auswertung wurden bereits in diesem Projekt automatisiert. Die Automatisierung hat zu einer hohen Effizienzsteigerung während den Messungen aber insbesondere auch für die Auswertungen geführt. Als problematisch hat sich die feste Heizgrenze von 15°C erwiesen. Man könnte die Resultate verbessern, wenn die Heizgrenze manuell bestimmt würde bzw. manuell angegeben würde, welche Messpunkte zur Heizgradkurve gehören und welche Messpunkte zur Kurve für Brauchwasserwärmung und Zirkulationsverluste.

Fazit und Ausblick

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass ein kostengünstiges System zur Messung der Energiekennzahl und des Jahresheizenergieverbrauchs von Gebäuden realisiert werden kann. Die Messung sollte einen Bereich der Umgebungstemperatur von ca. 10°C unterhalb der Heizgrenze und zusätzlich die Übergangszeit zwischen Heizsaison und Sommer umfassen. Ein sinnvoller Zeitraum für eine Messung ist deshalb eine halbe Heizsaison (z.B. von September bis Dezember oder von Januar bis April). Die Kosten pro Gebäude können unter CHF 1'000 gehalten werden, weil die Datenerfassung, Visualisierung und Auswertung stark automatisiert ist und weil die Messeinrichtung problemlos mehrfach eingesetzt werden kann.

Der Energiesparrechner hatte für alle sanierten Gebäude eine Einsparung an Heizenergie zwischen 40 und 70% prognostiziert. Mit dem Egon-Verfahren wurden bei allen sanierten Gebäuden Einsparungen an Heizenergie ermittelt, allerdings bei einigen Gebäuden mit grossen Abweichungen zum Wert des Energiesparrechners. Dies liegt unter anderem daran, dass keine zuverlässigen Energiekennzahlen für den Zustand vor der Sanierung vorlagen und somit die mit dem Energiesparrechner ermittelten Werte grosse Unsicherheiten aufweisen. Es wäre deshalb sinnvoll, die Gebäude in der Heizsaison vor der Sanierung sowie auch in der Heizsaison nach der Sanierung auszumessen, um die beiden Werte vergleichen zu können.

Die Auswertungen haben gezeigt, dass bei allen sanierten Gebäuden eine Energieeinsparung bewirkt wurde. Das Energieeinsparung war bei vier Gebäuden deutlich geringer als mit dem Energiesparrechner prognostiziert worden war, bei zwei Gebäuden höher und bei zwei Gebäuden etwa gleich hoch wie nach Energiesparrechner. Die Überprüfung einiger Werte mit Jahresverbrauchsmessungen der Gebäudeeigentümer und mit einer SIA 380/1 zeigt, dass die Resultate des Energiesparrechners teilweise unzuverlässig sind. Die Resultate des Egon-Verfahrens weichen nur geringfügig von den Jahresverbrauchsmessungen bzw. der SIA 380/1 ab. Um die Genauigkeit der Methode "Multiple lineare Regression" zu bestimmen sind aber noch weitere Untersuchungen notwendig. Ein wichtiger Einflussfaktor, der in diesem Projekt nicht untersucht wurde, ist die Raumtemperatur in den Gebäuden. Mit einer Messung der Raumtemperatur könnte allenfalls die Heizleistung besser prognostiziert werden.

Bereits mit dem jetzigen Prototypen war es möglich, nicht nur die Energiekennzahl des Gebäudes und den Sanierungserfolg zu bestimmen, sondern zusätzlich auch Aussagen über die Brennerauslastung und die Heizungssteuerung zu machen. Solche Informationen können wertvoll sein, um die Heizungssteuerung zu optimieren oder die Renovation eines Gebäudes / den Ersatz einer Heizung zu planen.

Die Projektresultate zeigen somit, dass mit dem Egon-Verfahren verschiedene wichtige Kennzahlen und Informationen zur Energieeffizienz eines Gebäudes erhoben werden können. Es lohnt sich deshalb, das Verfahren weiter zu verbessern und auszubauen.

Ziel der Projektgruppe ist es, den entwickelten Prototypen mit Hilfe der aus dem Projekt gewonnenen Erfahrungen weiter zu entwickeln und in weiteren Messungen noch mehr Erfahrung zu sammeln.

Literaturangaben

1. S. Stettler, P. Toggweiler, Jahresbericht 2008, ENERGIE IM GEBÄUDE ONLINE (EGON), Publikation 280133, <http://www.bfe.admin.ch>
2. www.meteonorm.com
3. Michael Kaufmann, Vizedirektor BFE, Programmleiter Energie Schweiz, Energieforum sun21 Workshop: Besseres Bauen und Sanieren, 23. Juni 2006
4. www.elco.ch
5. www.gwf.ch
6. www.barix.com
7. www.risc.ch
8. www.phpmath.com
9. Using reduced data sets ISCCP-B2 from the Meteosat satellites to assess surface solar irradiance: M. Lefèvre, L. Wald, L. Diabate; Centre Energie et Procédures, Ecole des Mines de Paris/Armines, 12th May 2006
10. Sitzung mit Charles Weinmann, Weinmann Energies vom 25.7.09

Anhang – Messresultate

Gebäude Nr. 1, EFH

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen eine deutliche Nachtabsenkung und eine Aufheizphase am morgen (siehe Abbildung 32).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 12 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 21 kW ist somit bis ca. 57% ausgelastet.

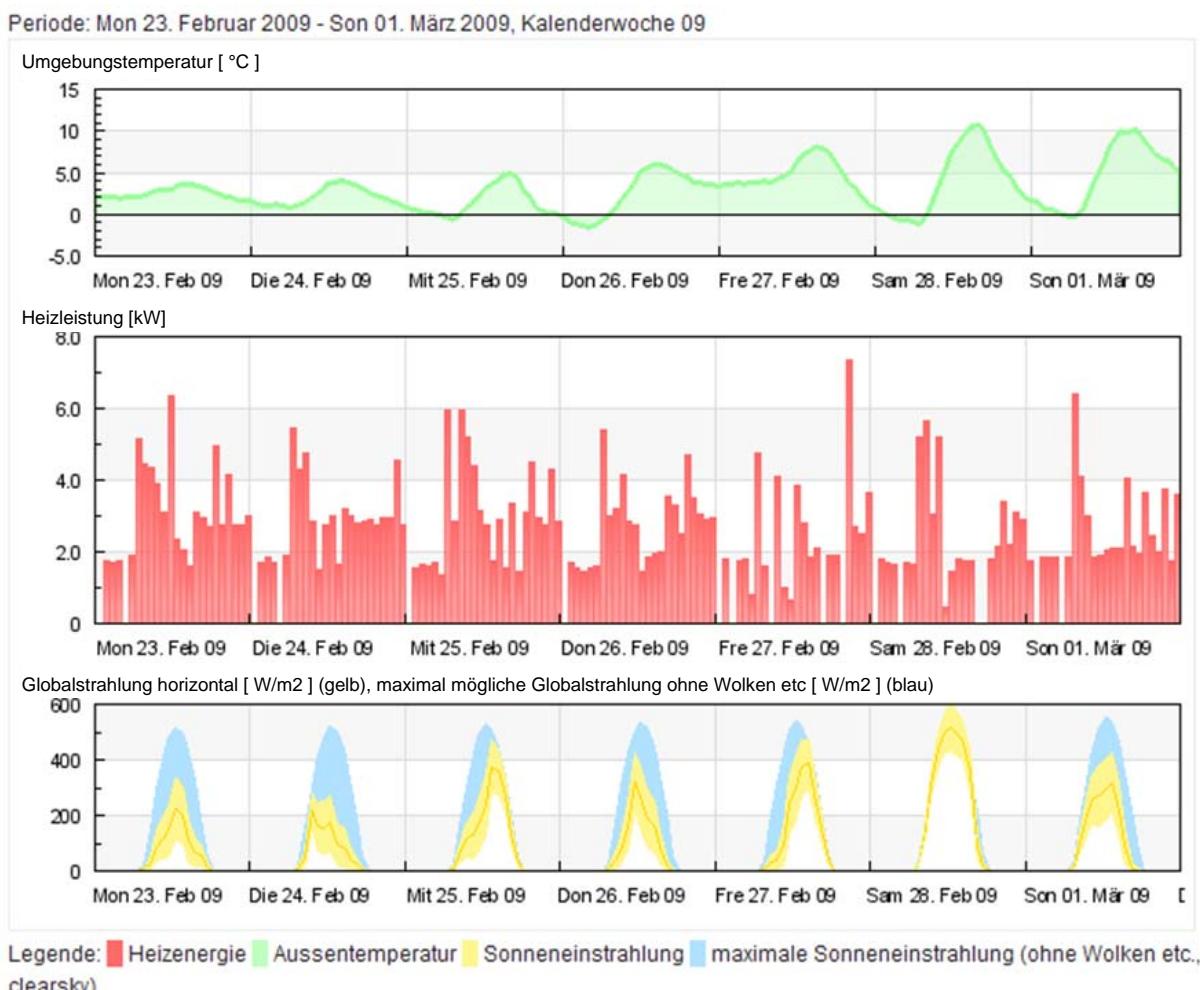


Abbildung 32: Messdaten und Meteodataen der 9. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 1. An-gezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Gebäude Nr. 1 weist eine hohe Streuung der Messdaten auf, was zu einem relativ tiefen Korrelationskoeffizienten führt (siehe Abbildung 33 und Abbildung 37). Die Streuung konnte nicht auf die horizontale Globalstrahlung zurückgeführt werden (siehe Abbildung 37). An 7 Tagen lagen die Messwerte deutlich unter den Erwartungen (schwarz eingekreiste Messpunkte in Abbildung 33). An 4 Tagen liegt der Grund für die Ausreisser in der fehlerhaften Datenübertragung vom Messgerät zum Server. Für die übrigen 3 Tage konnte der Grund für diese deutlich zu tiefen Messungen nicht eruiert werden.

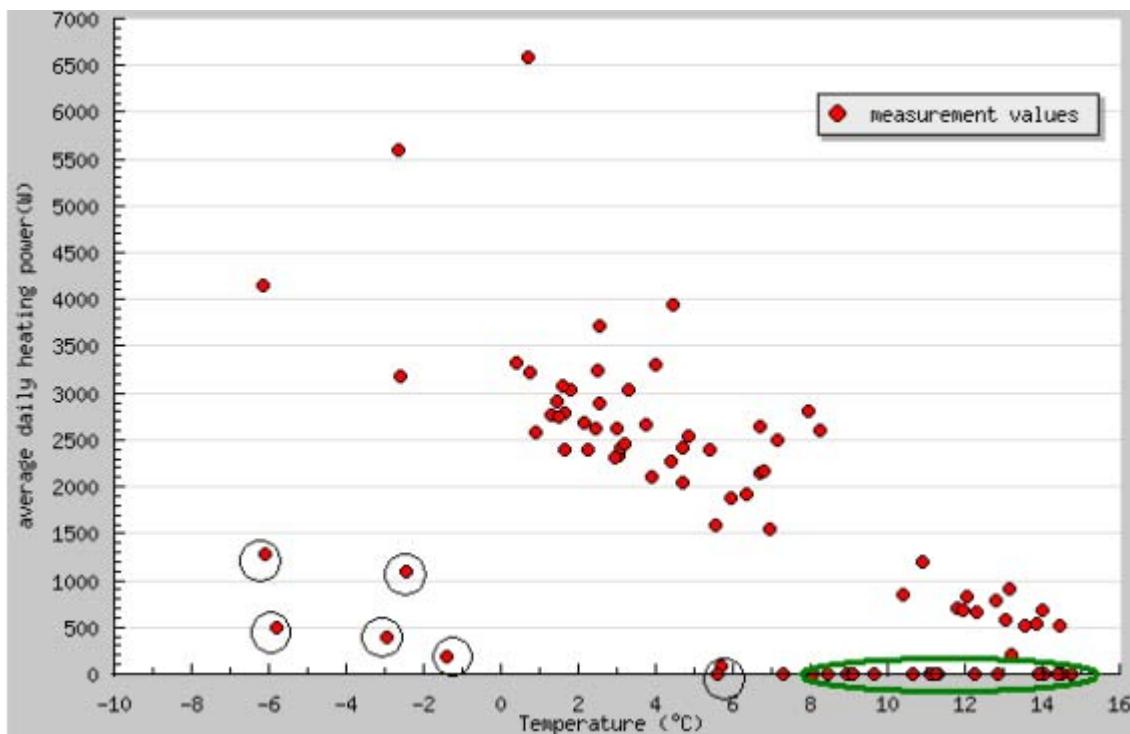


Abbildung 33: Korrelation zwischen Tagesmittelwert der Umgebungstemperatur und Heizleistung für das Gebäude Nr. 1. Messpunkte mit einem schwarzen Kreis wurden als Ausreißer bezeichnet und nicht in die Analyse einbezogen. Messpunkte innerhalb des grünen Kreises entstanden, nachdem die Heizung manuell ausgeschaltet worden war.

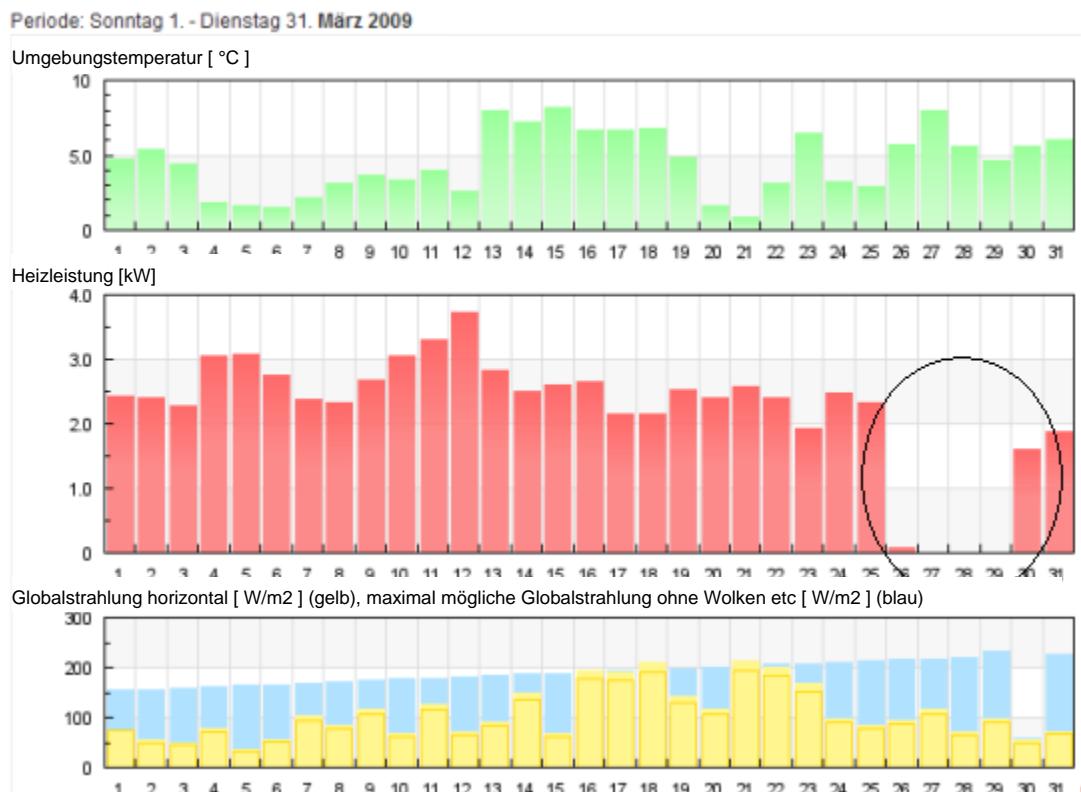


Abbildung 34: Tagesmittelwerte für Messtage, an denen die mittlere Heizleistung deutlich unter den Erwartungen liegt.

Periode: Sonntag 1. - Samstag 28. Februar 2009

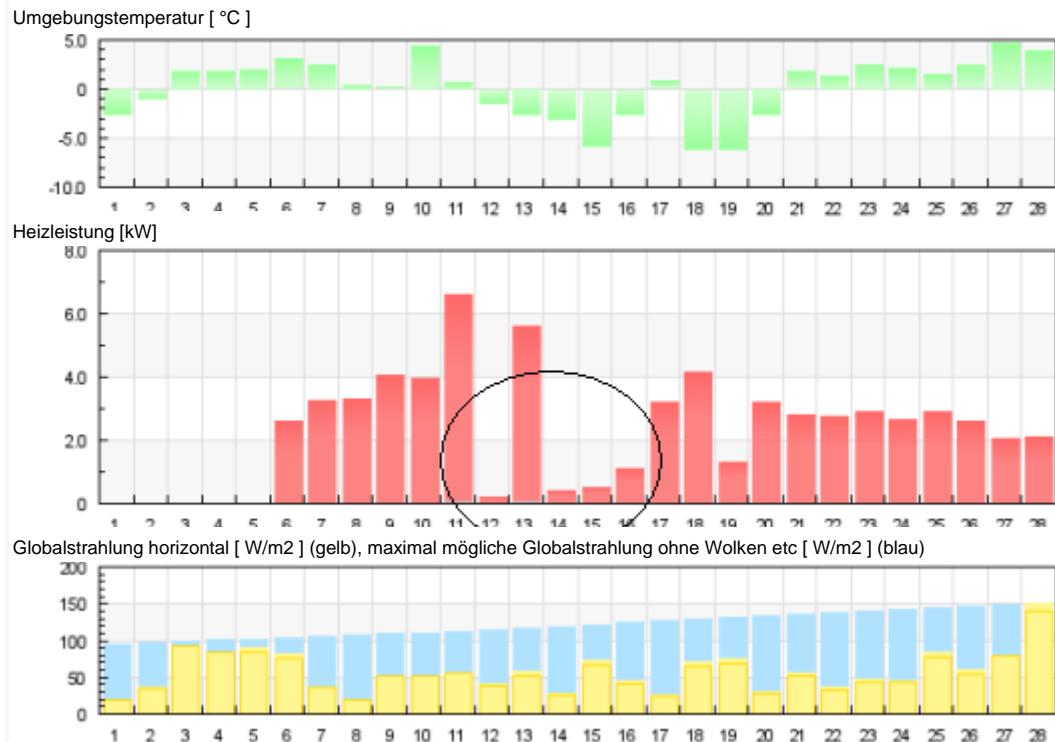


Abbildung 35: Tagesmittelwerte für Messtage, an denen die mittlere Heizleistung deutlich unter den Erwartungen liegt.

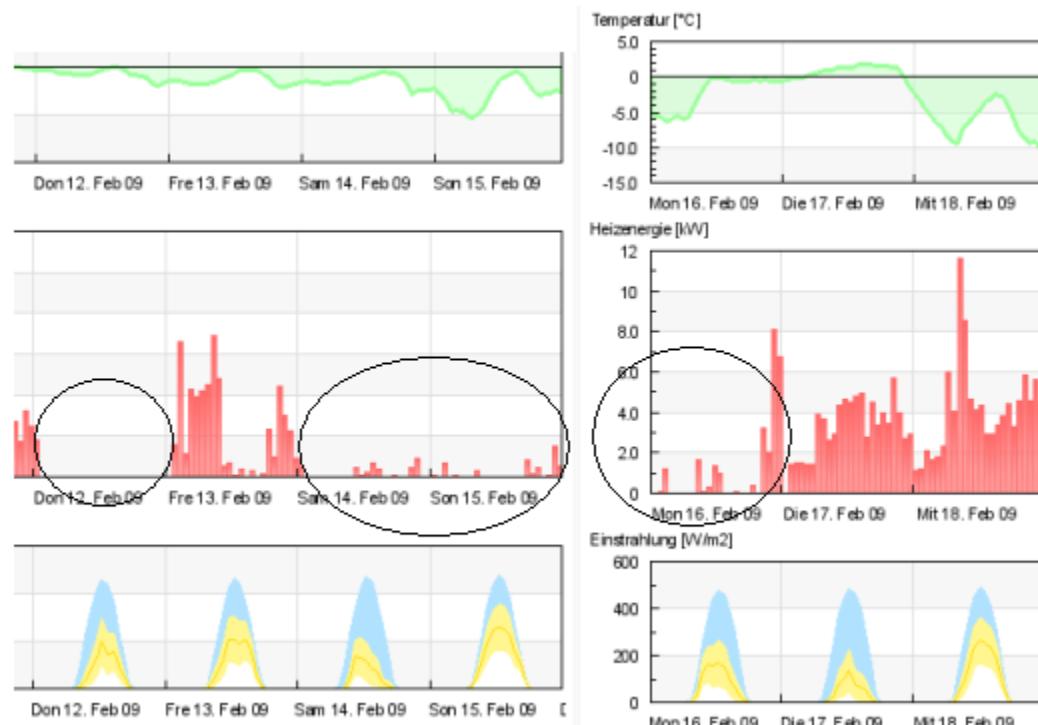


Abbildung 36: Stundenwerte für Messtage, an denen die mittlere Heizleistung deutlich unter den Erwartungen liegt.

Aus den Regressionsparametern und den meteorologischen Daten für ein Standardjahr wurde anschliessend für jeden Tag eines Standardjahrs die durchschnittliche Heizleistung prognostiziert (siehe Abbildung 39). Die Prognose wurde für jeden Tag durchgeführt, an welchem die Außentemperatur kleiner als 15°C war. Da die Heizung im Sommer ausgeschaltet wird, wurden die Zirkulationsverluste und die Brauchwassererwärmung bei

wärmeren Umgebungstemperaturen auf 0W gesetzt. Für ein durchschnittliches Jahr wird mit diesen Annahmen ein Heizenergieverbrauch von 1'200 Liter Öl prognostiziert.
 Es wird vermutet, dass die Heizung dieses Gebäudes manuell zwischen April und Oktober ausgeschaltet ist und somit in dieser Zeit nur die Brauchwassererwärmung berücksichtigt werden sollte. Alle Heizpunkte in Abbildung 39, die zwischen April und Oktober liegen wären in diesem Fall zu hoch und somit auch der prognostizierte Heizenergieverbrauch.

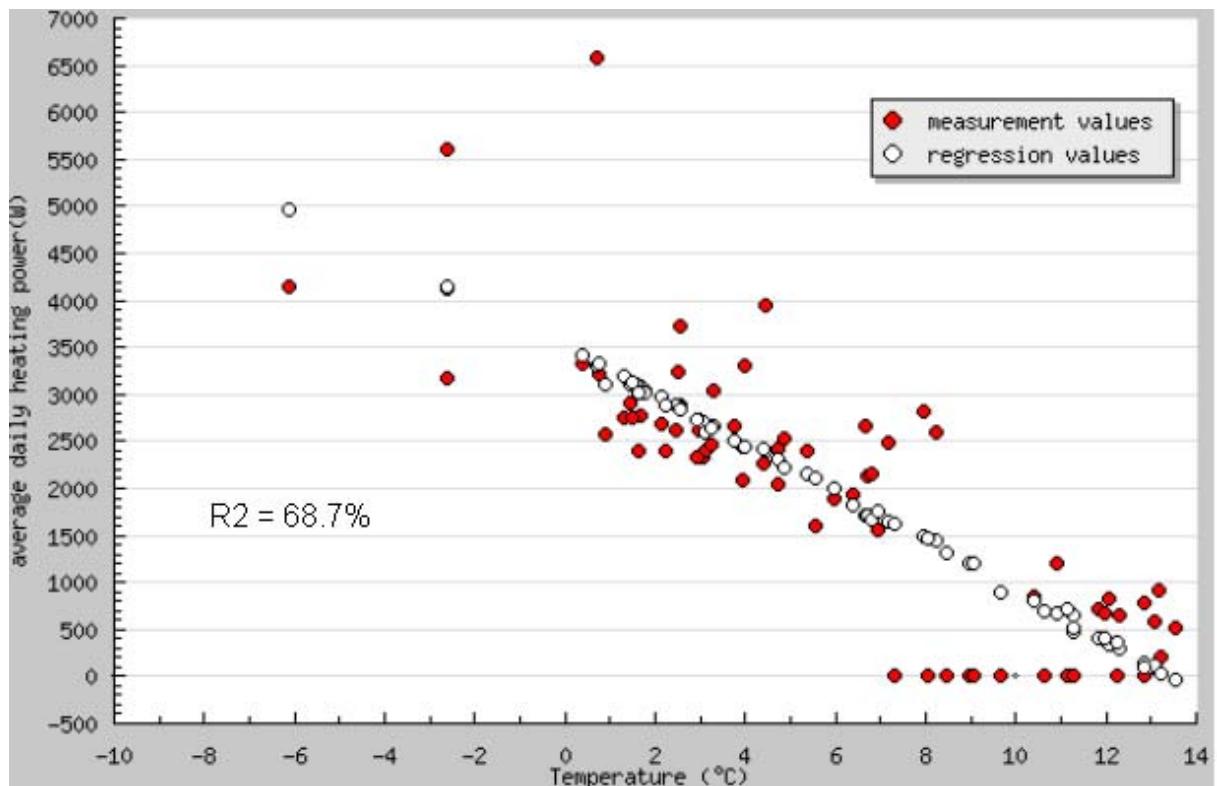


Abbildung 37: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 1. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

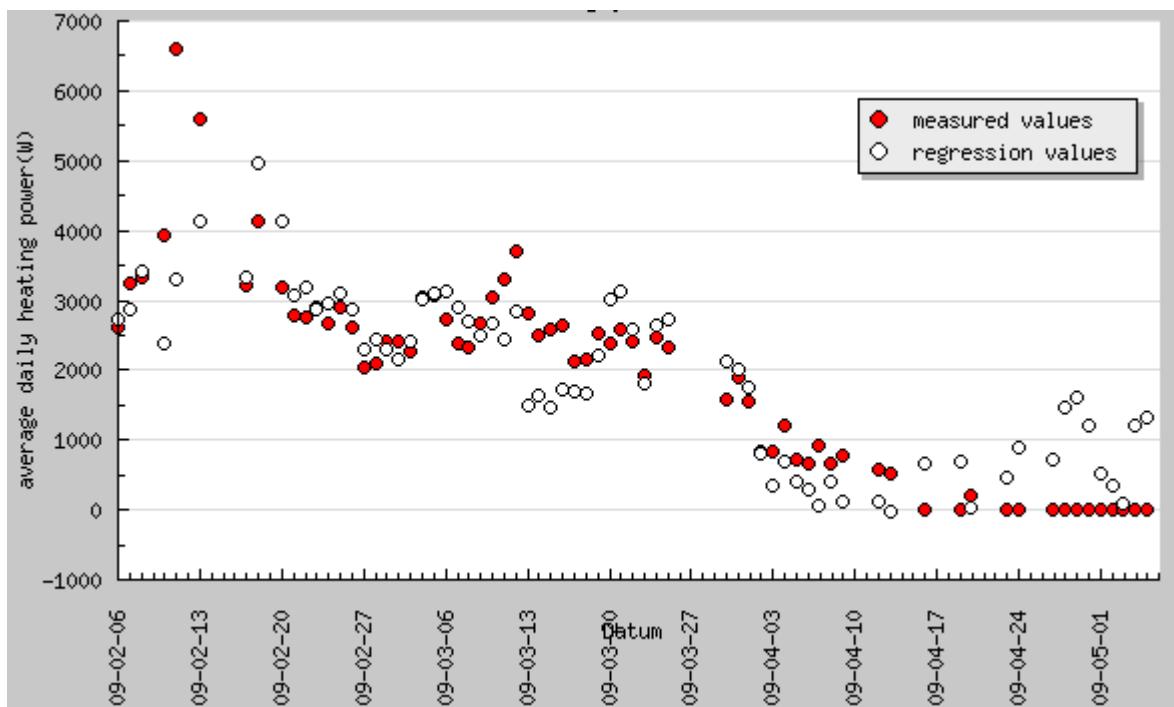


Abbildung 38: Dieselben Werte wie in der vorhergehenden Abbildung, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

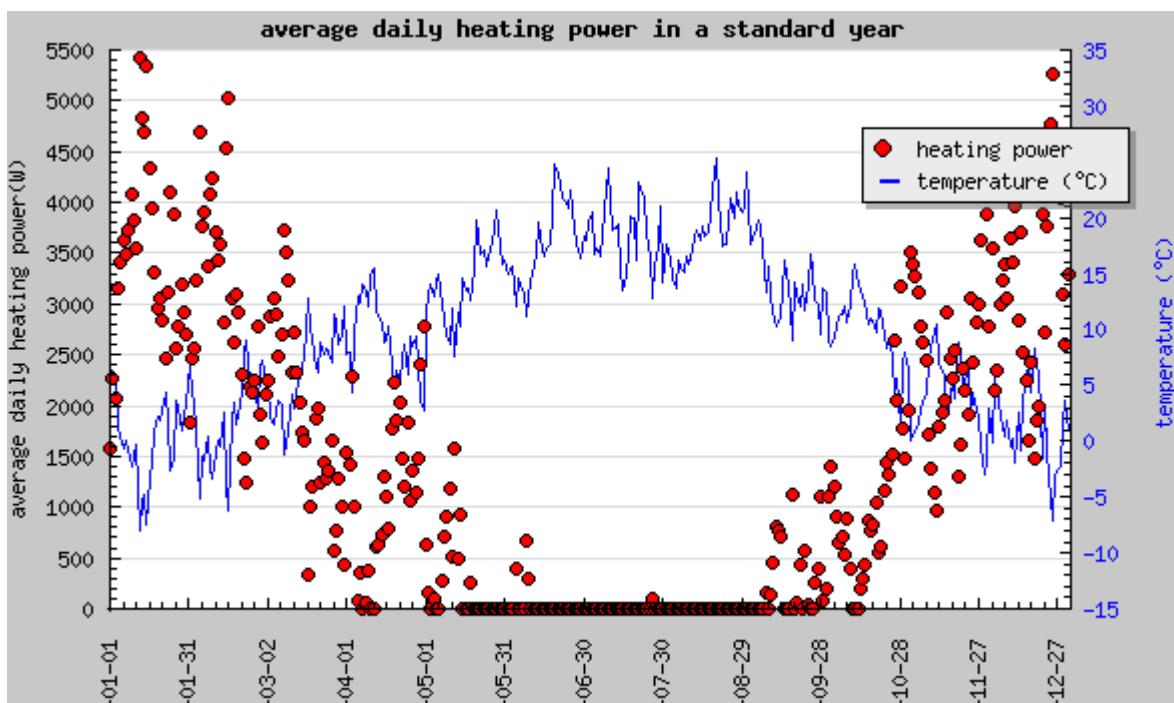


Abbildung 39: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 2, EFH

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen eine deutliche Nachtabsenkung und eine Aufheizphase am morgen (siehe Abbildung 40). Es ist keine Wochenend-Absenkung erkennbar. Wegen Empfangsschwierigkeiten gibt es regelmässig Tage, an denen die Messdaten fehlen (z.B. 26. und 30. Januar, siehe Abbildung 40).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 14 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 20 kW ist somit bis zu 70% ausgelastet.

Periode: Mon 26. Januar 2009 - Son 01. Februar 2009, Kalenderwoche 05

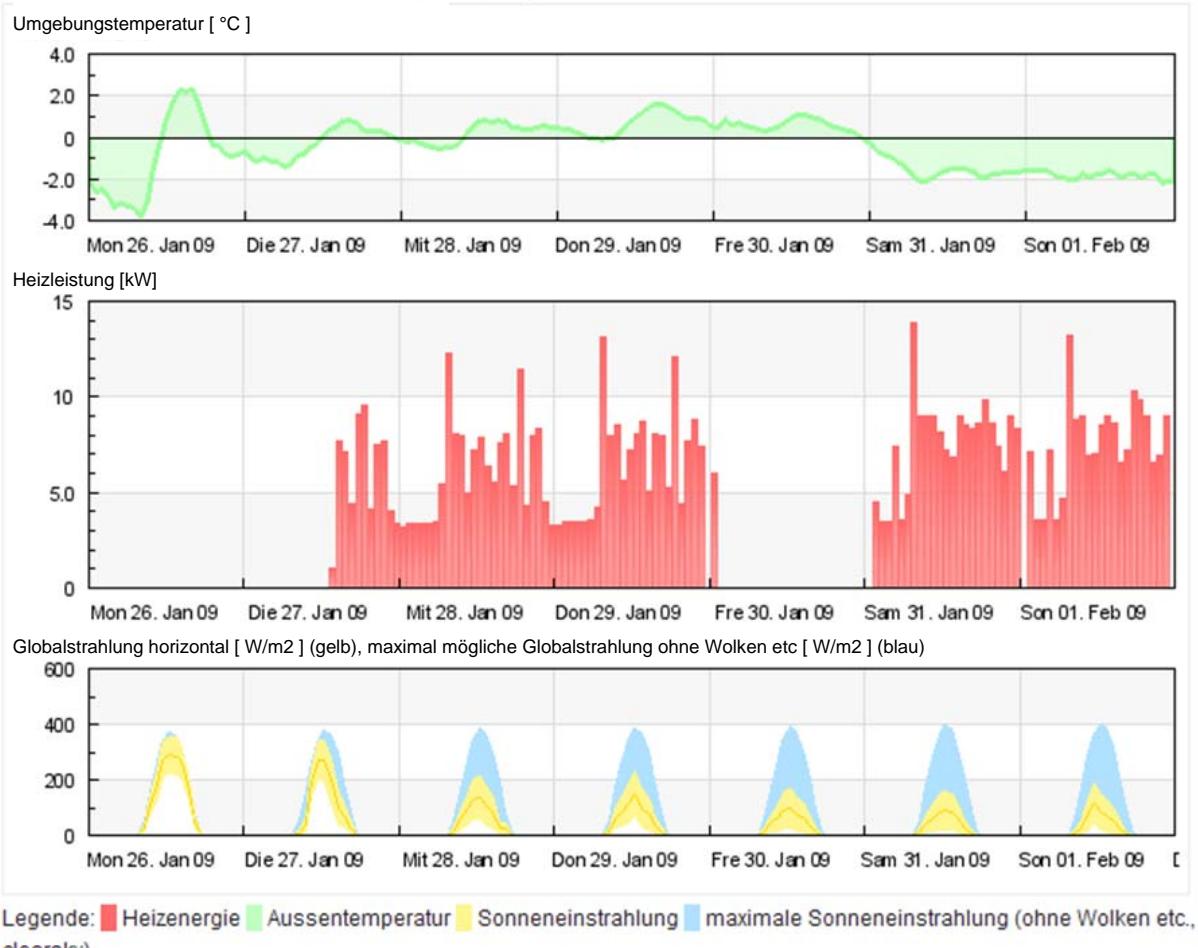


Abbildung 40: Messdaten und Meteodataen der 5. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 2. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 41). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 6°C scheint die Heizgradkurve abzuflachen (Abbildung 41). Es fehlen aber Messwerte bei mittleren Tagestemperaturen über 8°C. Es war somit nicht möglich, den Übergang zwischen Heizsaison und Sommersaison zu beobachten. Nach Angaben der Bewohner wird die Heizung im Sommer ausgeschaltet und das Brauchwasser über ein anderes System erheizt. Für die Prognose des Jahresenergieverbrauchs wurde die mittlere Heizleistung im Sommer deshalb auf 0 W gesetzt (siehe Abbildung 42). Es wird ein Jahresverbrauch von 2'500 Liter Öl prognostiziert.

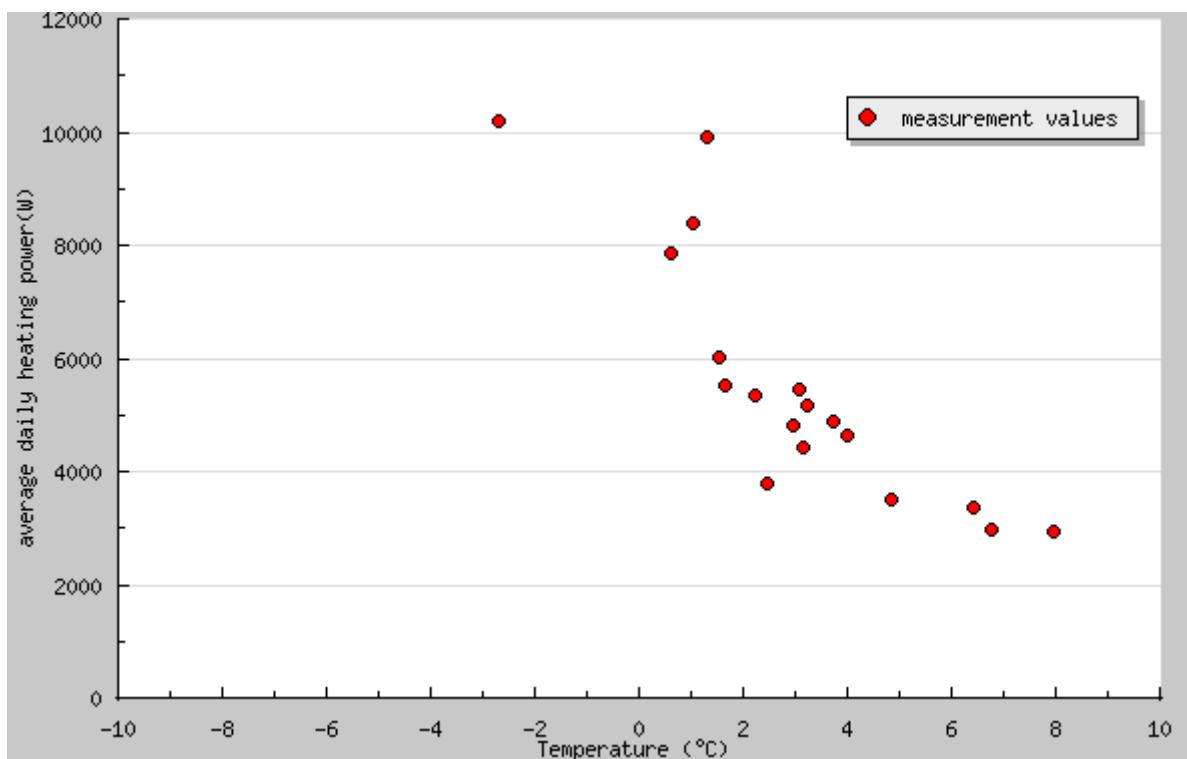


Abbildung 41: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 2.

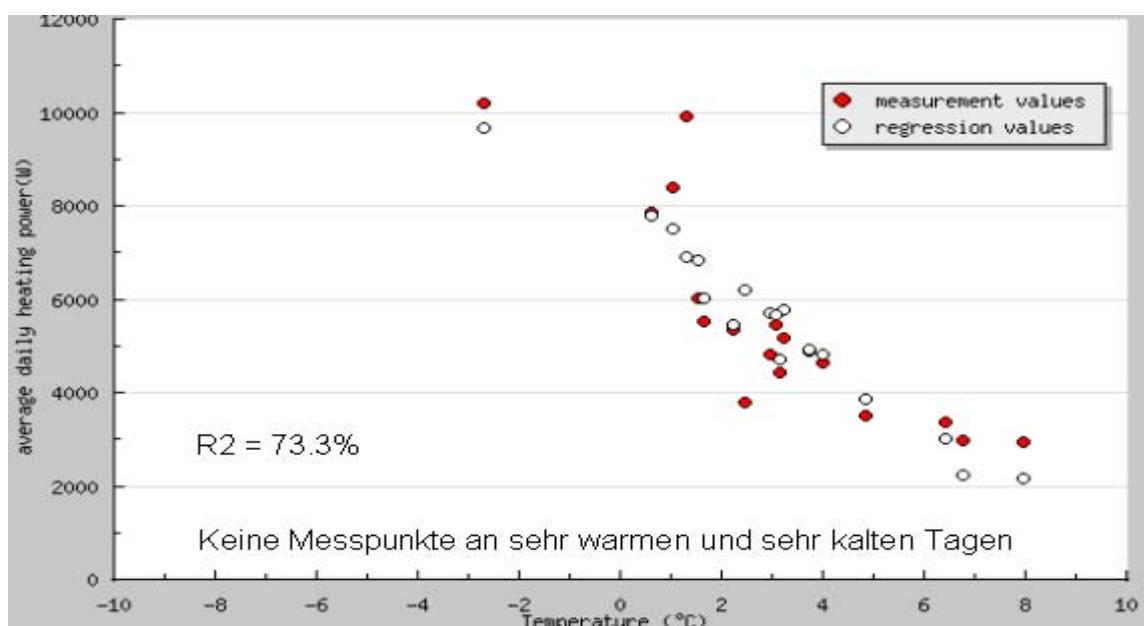


Abbildung 42: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 2. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

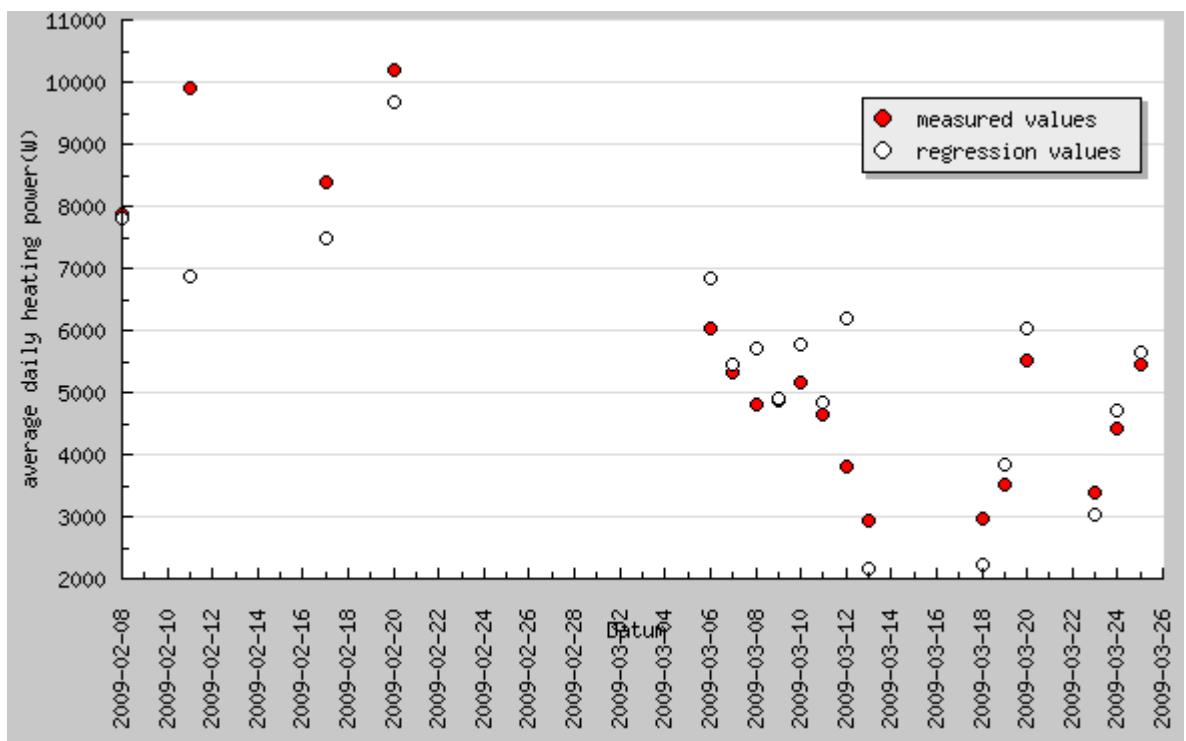


Abbildung 43: Dieselben Werte wie in Abbildung 42, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

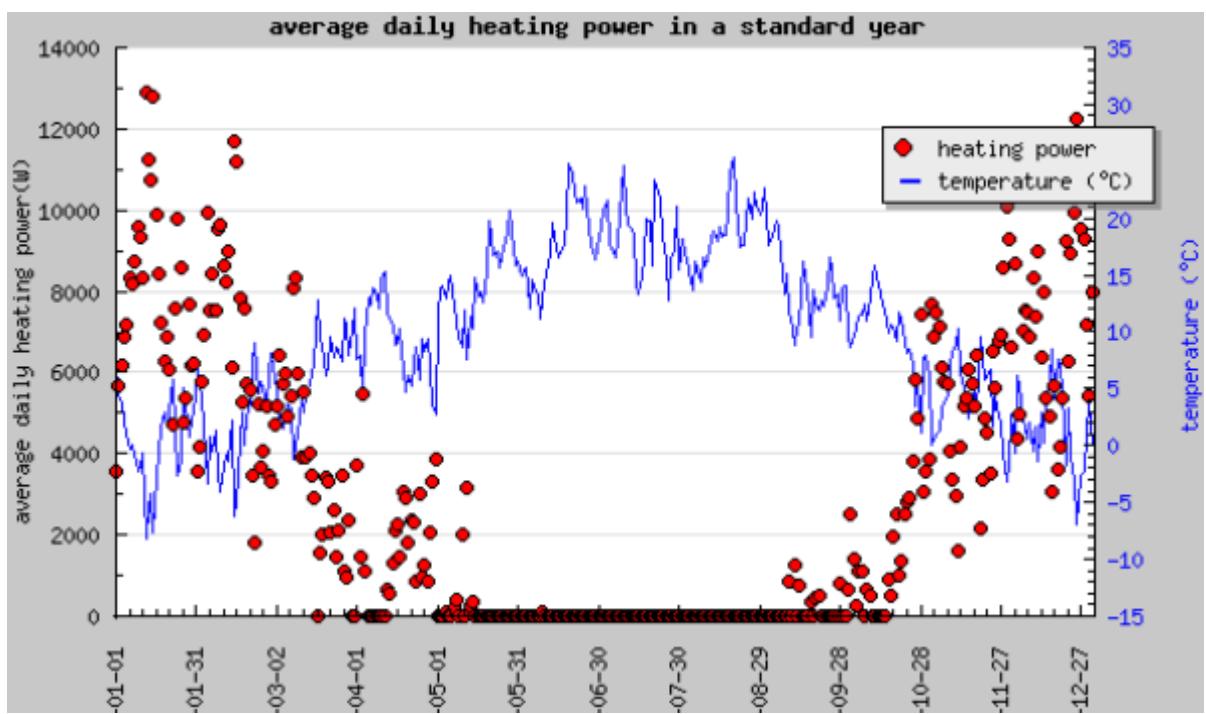


Abbildung 44: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 3, Haus mit zwei Wohnungen

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen, dass die Heizung normalerweise etwa viermal pro Tag unter hoher Last läuft, und zu den übrigen Zeiten stark gedrosselt oder ganz ausgeschaltet ist (siehe Abbildung 45). Wegen Empfangsschwierigkeiten gibt es regelmässig Tage, an denen die Messdaten fehlen (z.B. 6. Januar, siehe Abbildung 45).

Periode: Mon 05. Januar 2009 - Son 11. Januar 2009, Kalenderwoche 02

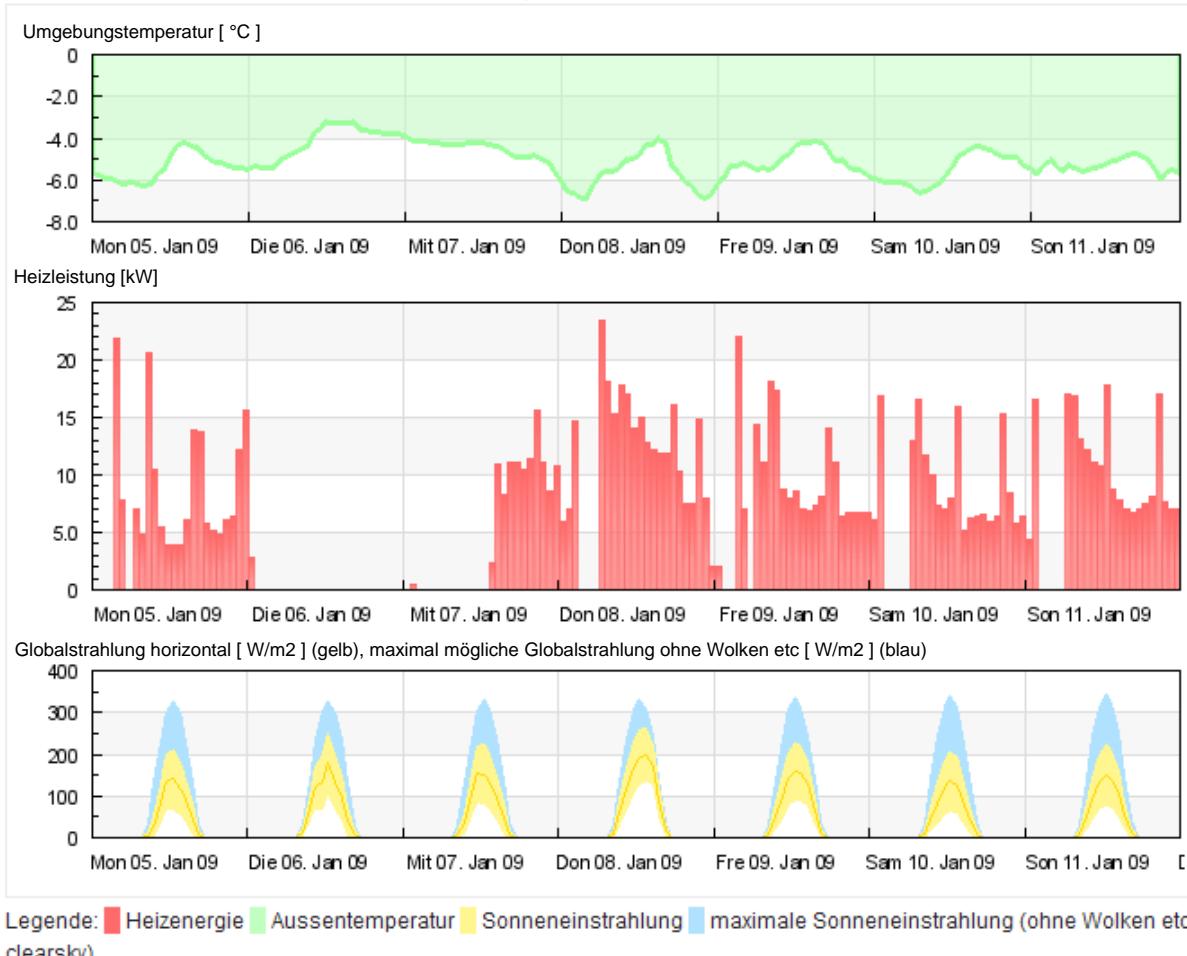


Abbildung 45: Messdaten und Meteodataen der 2. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 3. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 46). Die Daten weisen aber eine hohe Streuung auf. Daten von 4 Messtagen wurden manuell aus dem Datensatz entfernt, da es sich um Ausreisser handelt (schwarz eingekreiste Punkte in Abbildung 46).

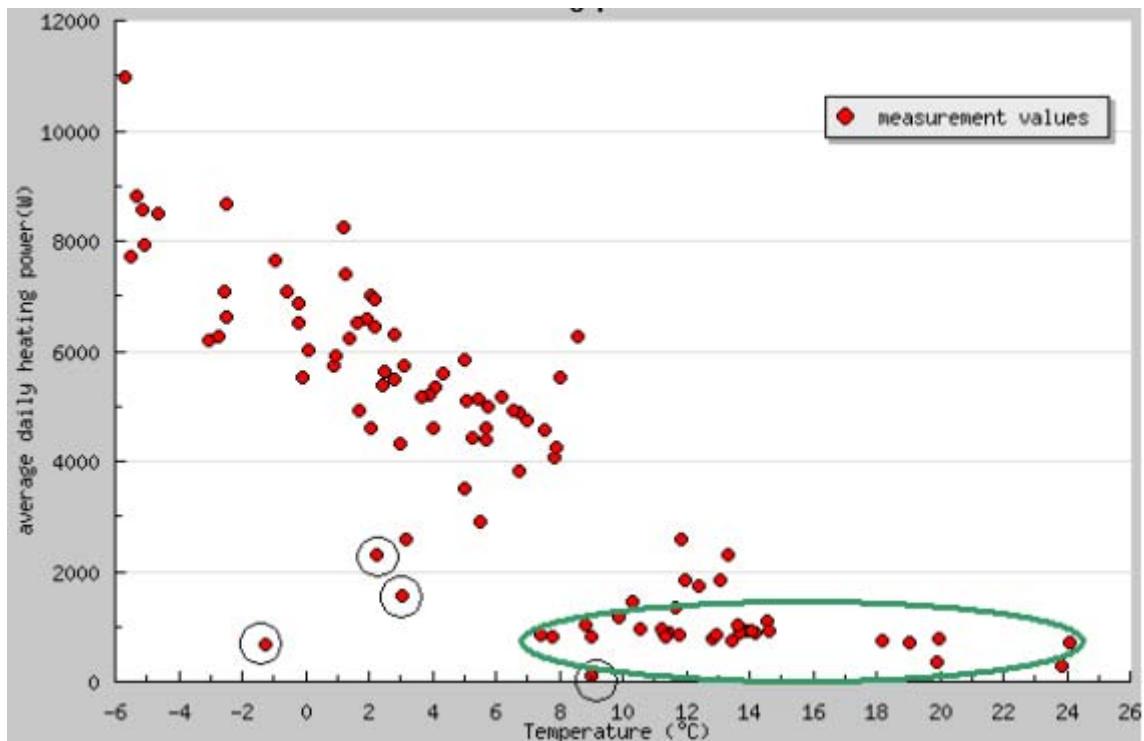


Abbildung 46: Korrelation zwischen Tagesmittelwert der Umgebungstemperatur und Heizleistung für das Gebäude Nr. 3. Messpunkte mit einem schwarzen Kreis wurden als Ausreißer bezeichnet und nicht in die Analyse einbezogen. Messpunkte innerhalb des grünen Kreises entstanden, nachdem die Heizung manuell ausgeschaltet worden war.

Abbildung 47 zeigt die gemessenen Stundenwerte der 4 Messtage, die als Ausreißer identifiziert wurden, da die Heizleistung deutlich tiefer ist als erwartet. An allen 4 Tagen ist während 7 oder mehr Stunden am Stück keine Heizleistung gemessen worden. Vermutlich fehlen die Messdaten aus dieser Zeit wegen Übertragungsproblemen des Datenloggers.

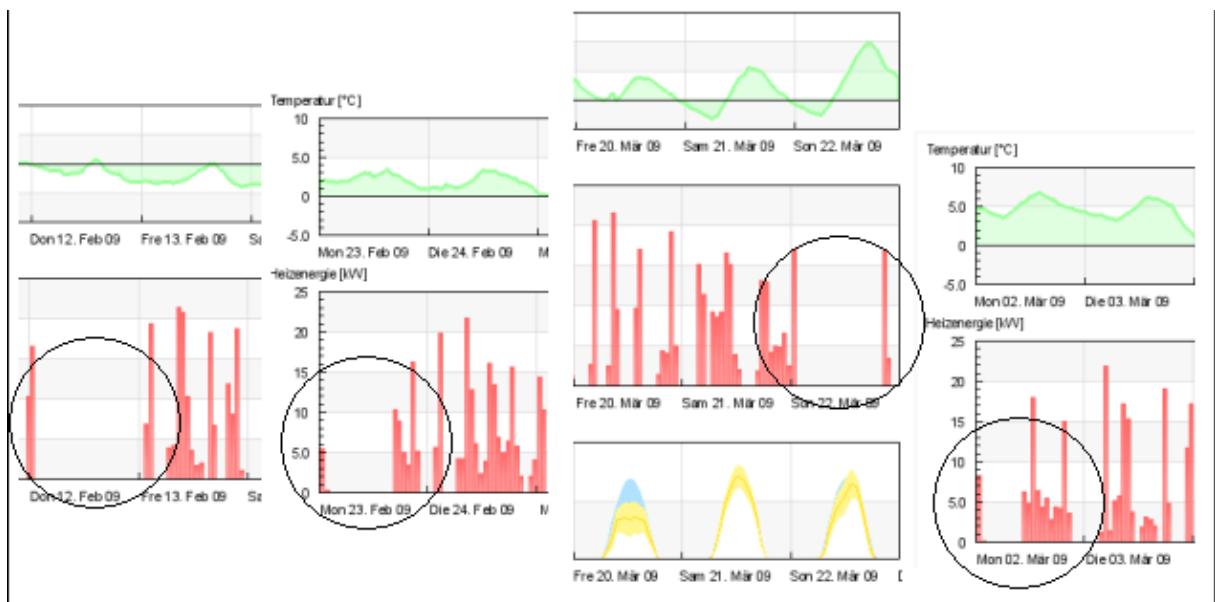


Abbildung 47: Stundenwerte für die 4 Messtage, an denen die mittlere Heizleistung deutlich unter den Erwartungen liegt.

Anfang April wurde die Heizung vermutlich manuell ausgeschaltet und nur noch das Brauchwasser erwärmt. In Abbildung 49 ist klar ersichtlich, dass ab diesem Zeitpunkt die gemessene durchschnittliche Leistung auf unter 1'000 W zurückgeht und auf ca. diesem Niveau bis in den Sommer hinein konstant bleibt. Für die Regression der Daten wurden alle Messtage mit einer Außentemperatur von weniger als 15°C berücksichtigt. Bei einer

Aussentemperatur zwischen 7 und 15°C gibt es sowohl Messpunkte aus der Heizperiode als auch Messpunkte, bei denen die Heizung bereits ausgeschaltet war (Sommerperiode). Dies führt dazu, dass die Regression im Bereich zwischen 7 und 15°C durch die Messpunkte aus der Sommerperiode leicht verfälscht wird. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung wurde aus dem Durchschnitt der Heizleistung an wärmeren Tagen berechnet.

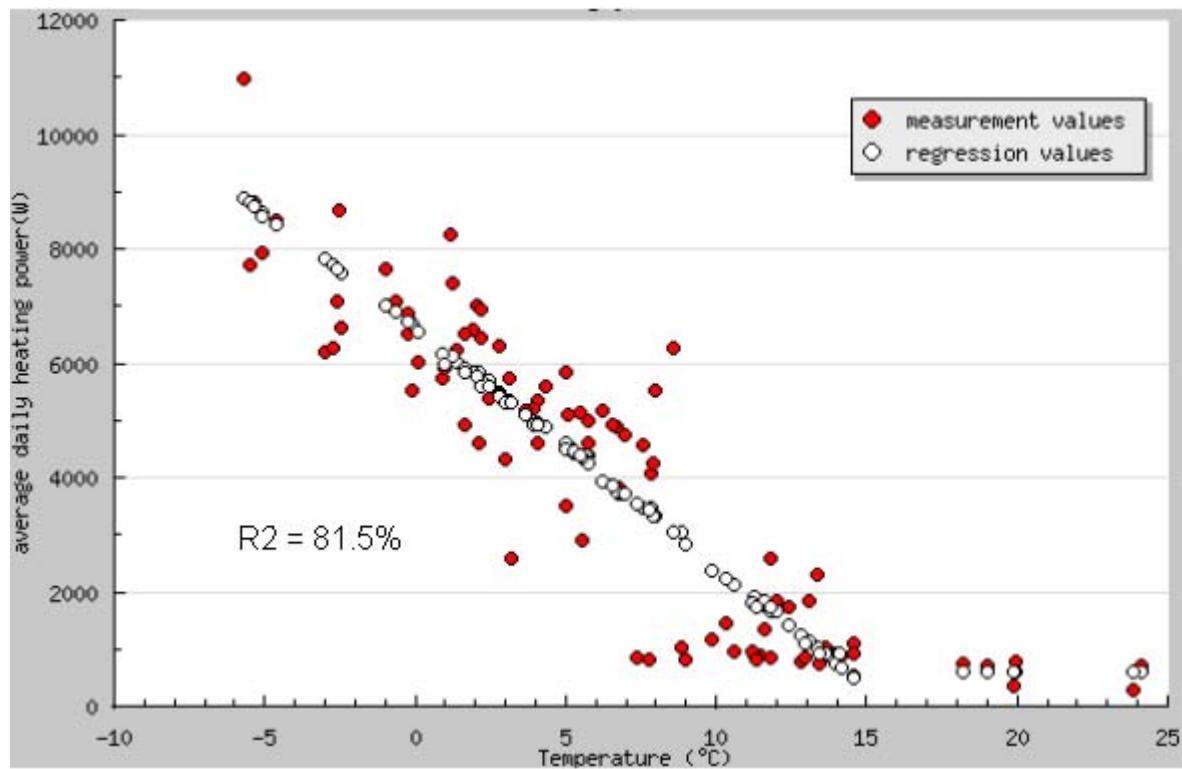


Abbildung 48: Dieselben Werte wie in Abbildung 46, aber ohne Ausreißer dafür zusätzlich mit den Regressionswerten.

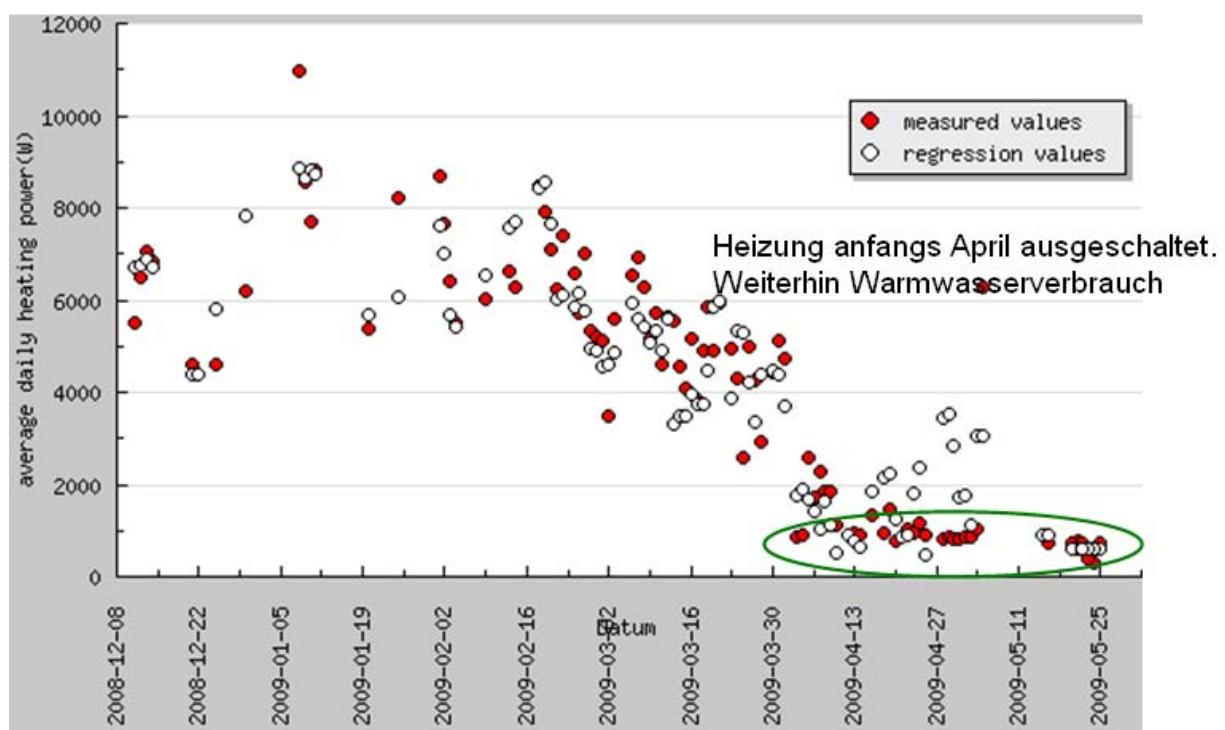


Abbildung 49: Dieselben Werte wie in Abbildung 48, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

Aus den Regressionsparametern und den meteorologischen Daten für ein Standardjahr wurde anschliessend für jeden Tag eines Standardjahrs die durchschnittliche Heizleistung prognostiziert (siehe Abbildung 50). Die Prognose wurde für jeden Tag durchgeführt, an welchem die Außentemperatur kleiner als 15°C war. An wärmeren Tagen wurde nur die Leistung zur Brauchwassererwärmung berücksichtigt. Für eine durchschnittliche Heizsaison werden $2'500 \text{ m}^3$ Gas prognostiziert, sowie zusätzlich 150 m^3 Gas im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste.

Es wird vermutet, dass die Heizung dieses Gebäudes manuell zwischen April und Oktober ausgeschaltet ist und somit in dieser Zeit nur die Brauchwassererwärmung berücksichtigt werden sollte. Alle Heizpunkte in Abbildung 50, die zwischen April und Oktober liegen wären in diesem Fall zu hoch und somit auch der prognostizierte Heizenergieverbrauch.

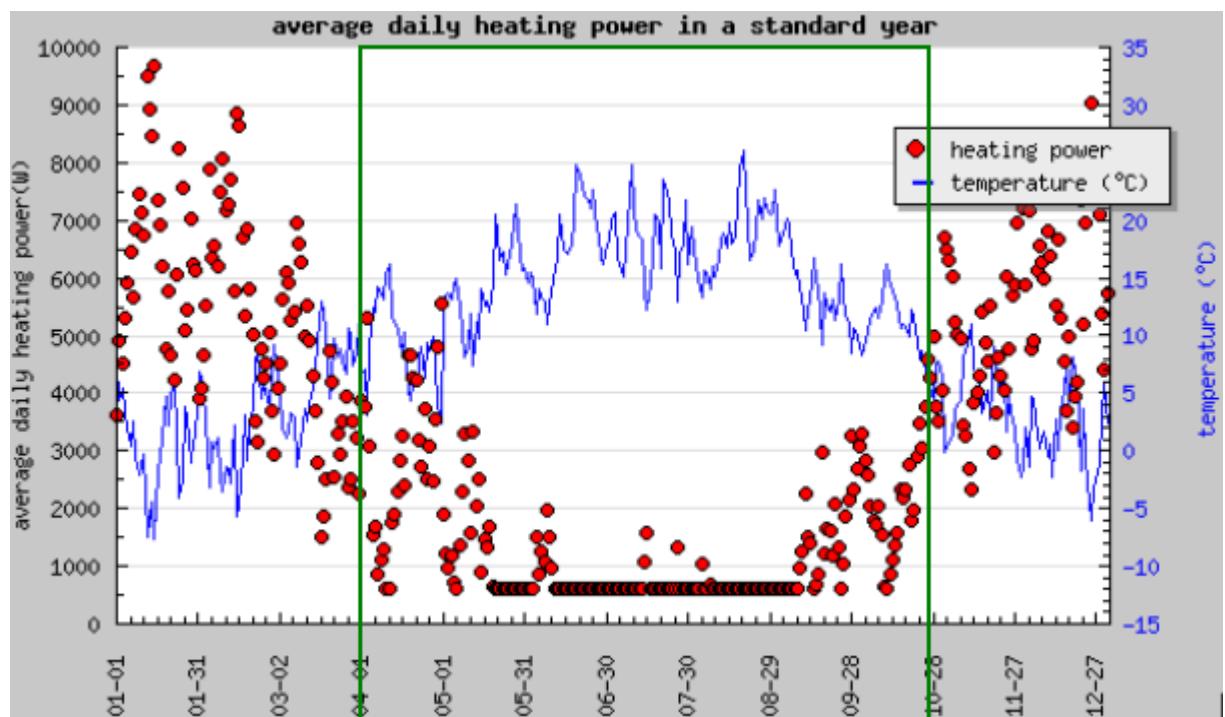


Abbildung 50: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr. Das grüne Rechteck zeigt an, während welcher Zeit des Jahres das Heizsystem vermutlich manuell ausgeschaltet wird. Das bedeutet, dass innerhalb des grünen Rechtecks alle Heizenergie-Werte einen Wert von ca. 500 W aufweisen sollten.

Gebäude Nr. 4, Wohnung und Praxis

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen, dass die Heizung in der Nacht ausgeschaltet ist und am morgen eine Aufheizphase erfolgt (siehe Abbildung 51). Es ist keine Wochenend-Absenkung erkennbar. Wegen Empfangsschwierigkeiten gibt es regelmässig Tage, an denen die Messdaten fehlen (z.B. 31. Dezember, siehe Abbildung 51). Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 26 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 35 kW ist somit bis zu 75% ausgelastet.

Periode: Mon 29. Dezember 2008 - Son 04. Januar 2009, Kalenderwoche 01



Abbildung 51: Messdaten und Meteodataen der 1. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 4. An-gezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 52). Bei diesem Gebäude liegen Messungen aus den Sommermonaten vor. Es kann beobachtet werden, dass die Heizung erst Anfang Oktober eingeschaltet wurde, obwohl schon vorher kalte Nächte auftraten (siehe Abbildung 54). Das führt dazu, dass die Heizung an einigen Tagen mit einer mittleren Umgebungstemperatur von weniger als 15°C ausgeschaltet war.

Die mittlere Leistung für Brauchwassererwärmung und Stillstandsverluste liegt bei knapp unter 2kW (Messwerte innerhalb des grünen Kreises in Abbildung 53).

Da bei der Regression davon ausgegangen wurde, dass die Heizgrenze bei 15°C liegt, konnten Messpunkte bei tieferer Umgebungstemperatur, bei welcher die Heizung ausgeschaltet war, nicht korrekt simuliert werden. Es wird ein Verbrauch von 2'400 Liter Öl pro Heizsaison und zusätzlich 400 Liter Öl im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste prognostiziert

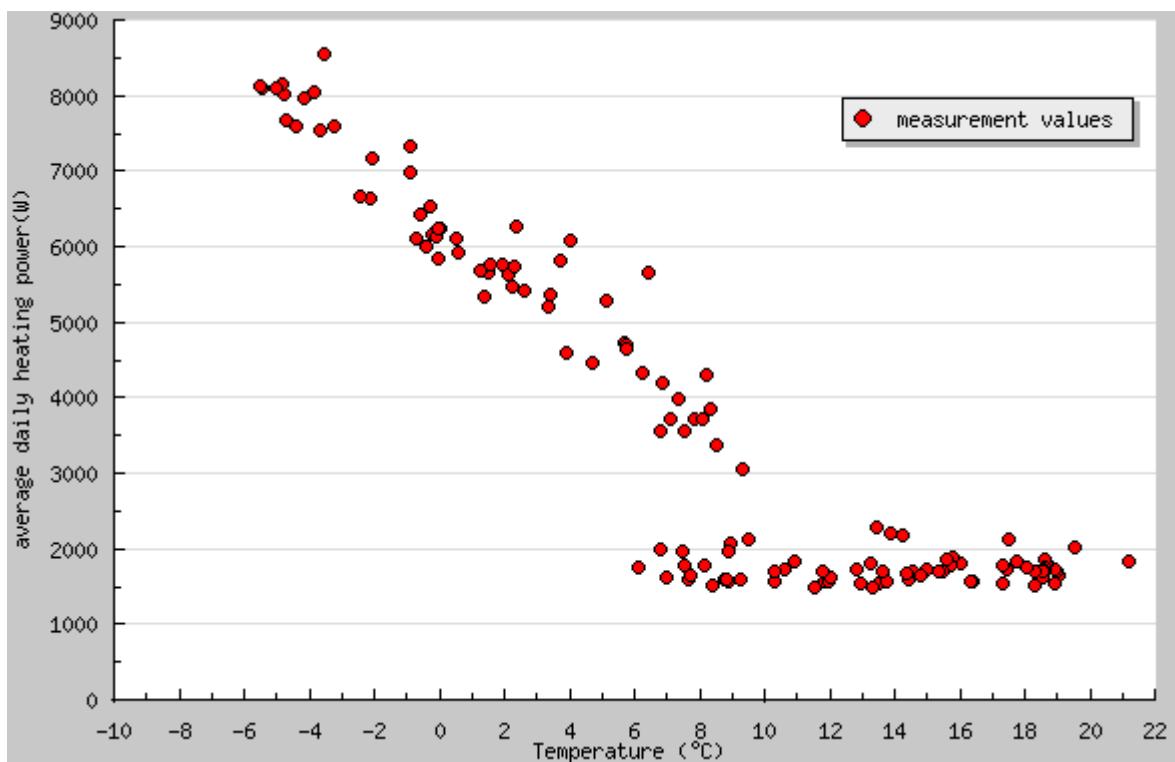


Abbildung 52: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 4.

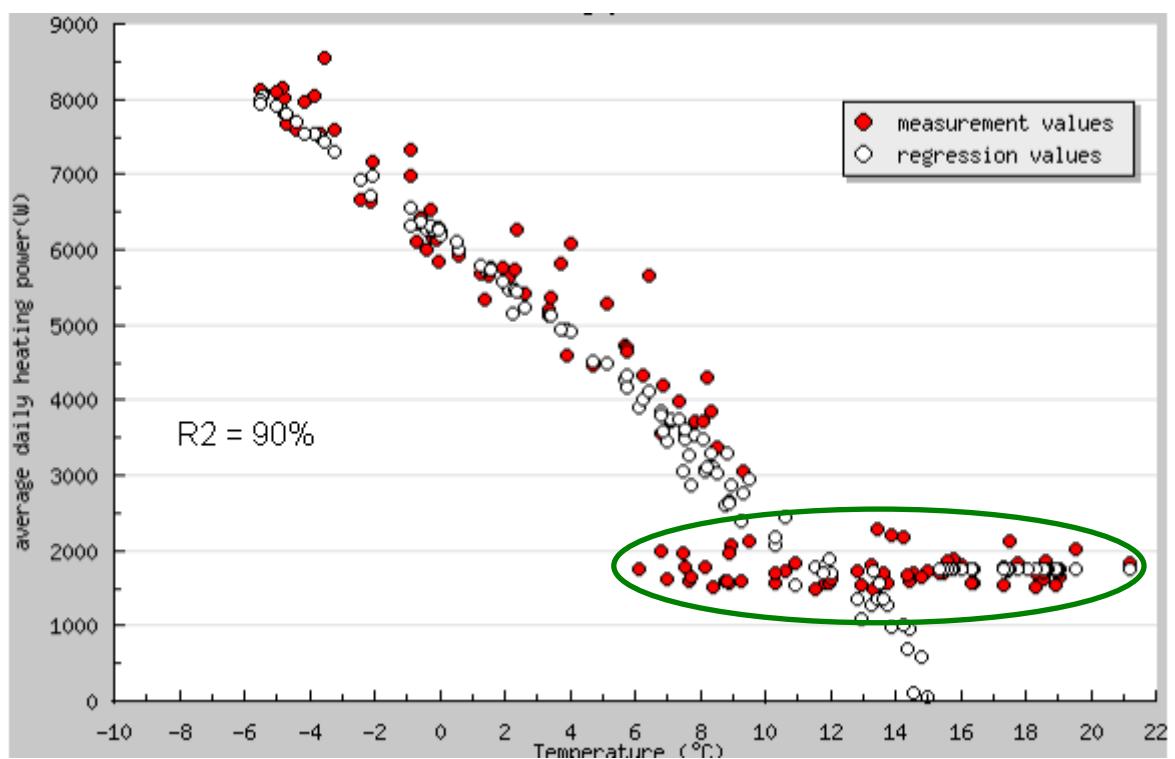


Abbildung 53: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 4. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

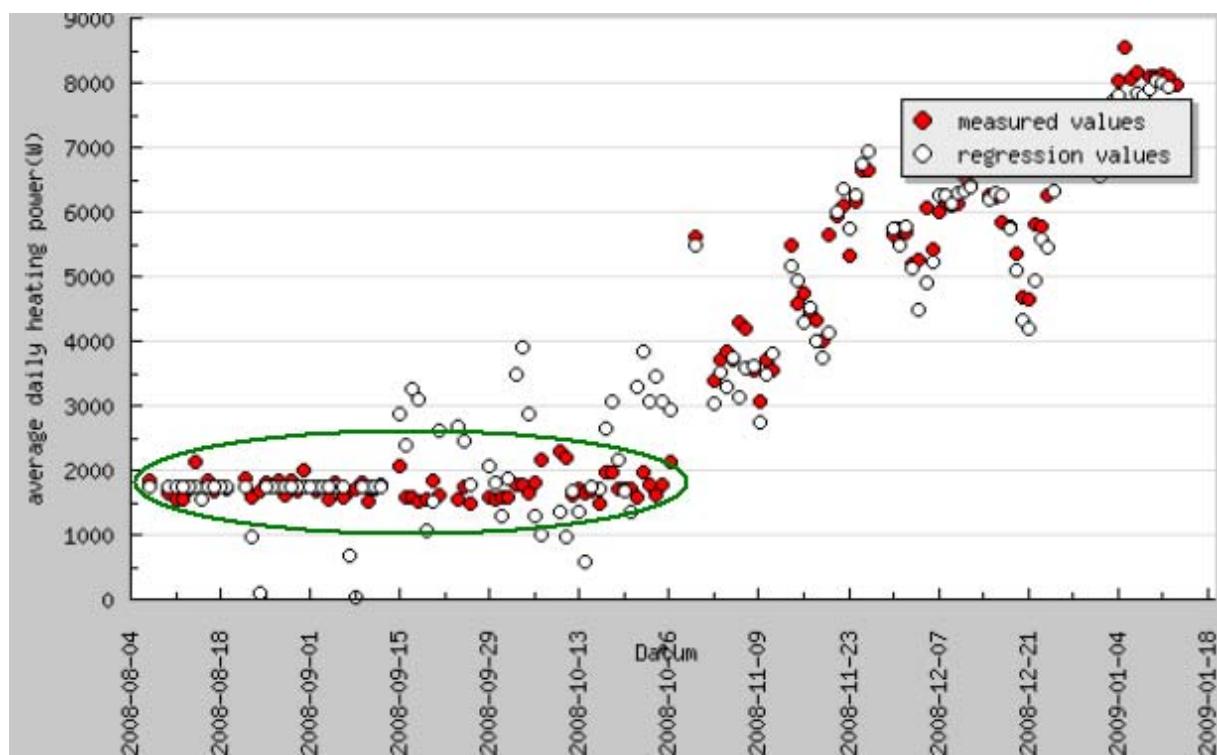


Abbildung 54: Dieselben Werte wie in Abbildung 53, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

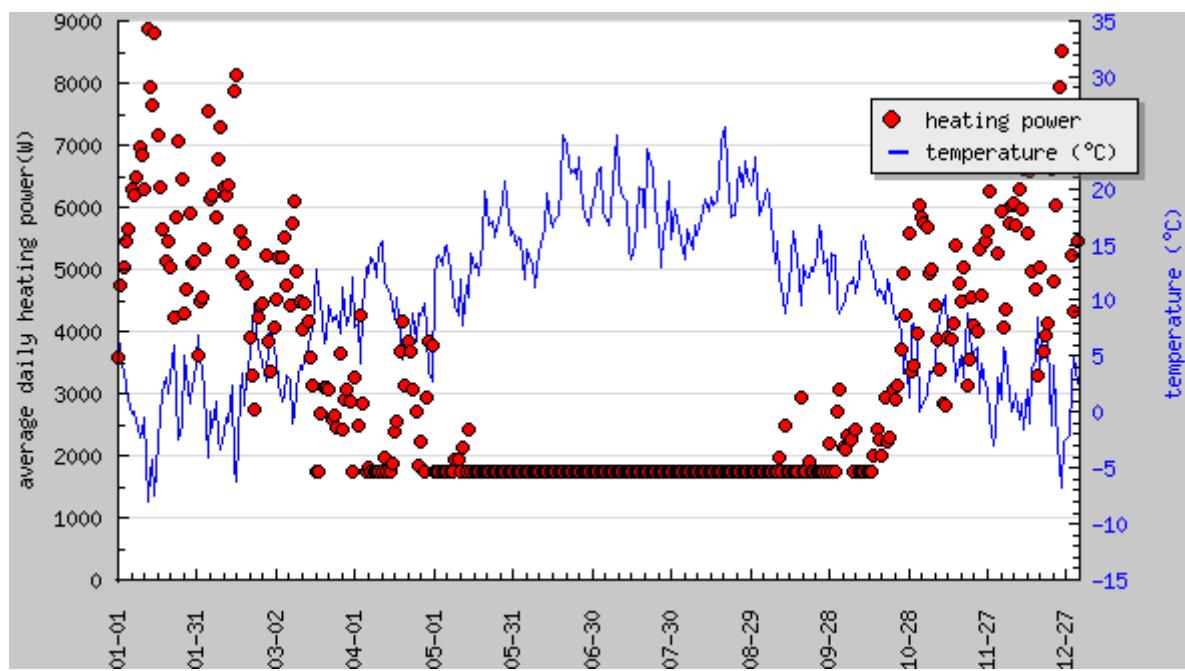


Abbildung 55: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 5, MFH

Bei diesem Gebäude ist die Nachabsenkung der Heizung deutlich erkennbar (siehe Abbildung 56). Die höchste Heizleistung beträgt ca. 29 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 48 kW ist somit bis zu 60% ausgelastet.

Periode: Mon 22. Dezember 2008 - Son 28. Dezember 2008, Kalenderwoche 52

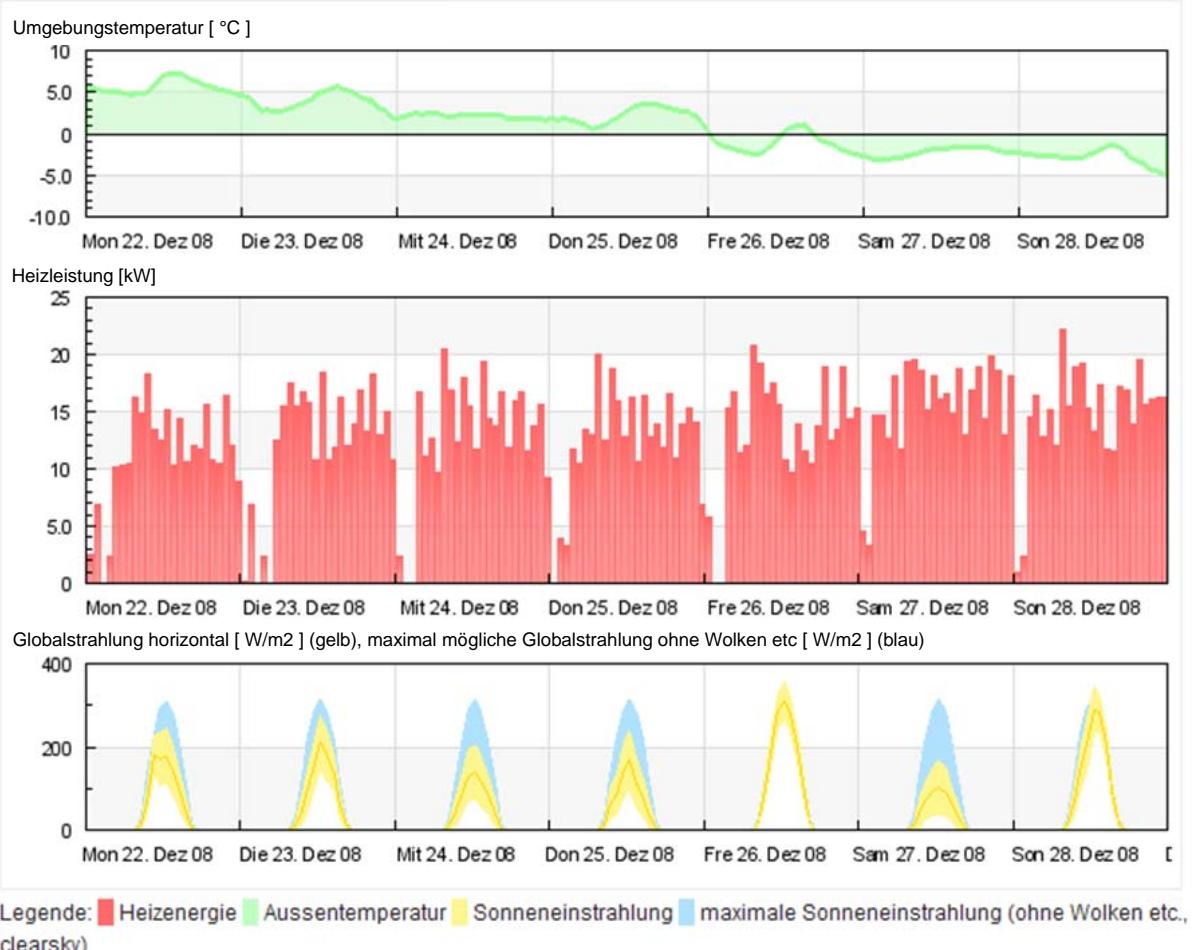


Abbildung 56: Messdaten und Meteodataen der 52. Kalenderwoche 2008 für Gebäude 5. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 59). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 20°C flacht die Heizgradkurve (Abbildung 59) deutlich ab. Vermutlich wird ab dieser Umgebungstemperatur nur noch Brauchwasser erwärmt, aber keine Heizleistung mehr benötigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung inklusive Zirkulationsverluste der Heizung liegen somit bei ca. 2'000 W.

Bei diesem grösseren Gebäude ist die Korrelation zwischen Umgebungstemperatur und Heizleistung sehr hoch (96%, siehe Abbildung 58). Interessant ist ausserdem, dass die Heizung auch bei sehr hohen Umgebungstemperaturen nicht ausgeschaltet wird. Dies ist daran erkennbar, dass die Heizleistung bei einer Aussentemperatur zwischen 16 und 18°C weiter abnimmt. Es wurde ein Heizenergieverbrauch von 6'400 Liter Öl pro Heizsaison und zusätzlich 850 Liter Öl im Sommer prognostiziert. Da in der Regression eine Heizgrenze von 15°C angenommen wurde, werden in der Berechnung des Heizenergieverbrauchs in einem Standardjahr zu wenig Heiztage simuliert (siehe Abbildung 60). Ausserdem wurde in der

Jahressimulation durch die zu tiefe Heizgrenze der Verbrauch für Warmwasser und Zirkulationsverluste zu hoch geschätzt.

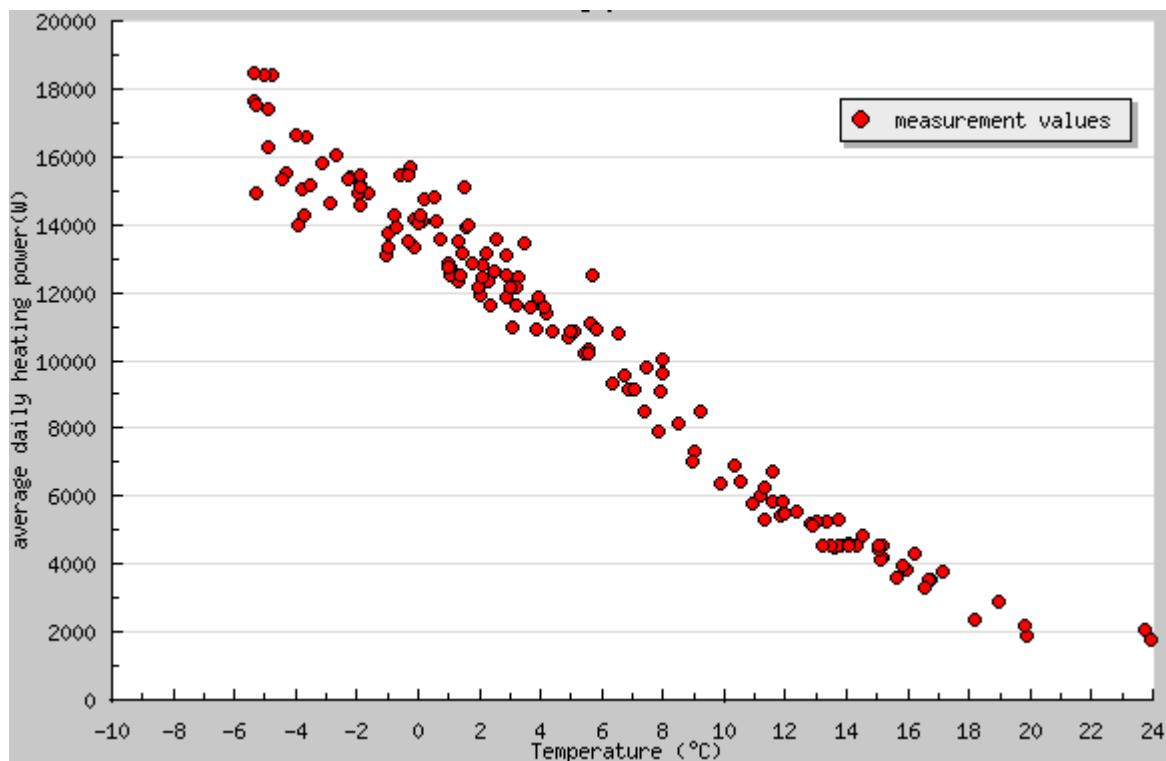


Abbildung 57: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 5.

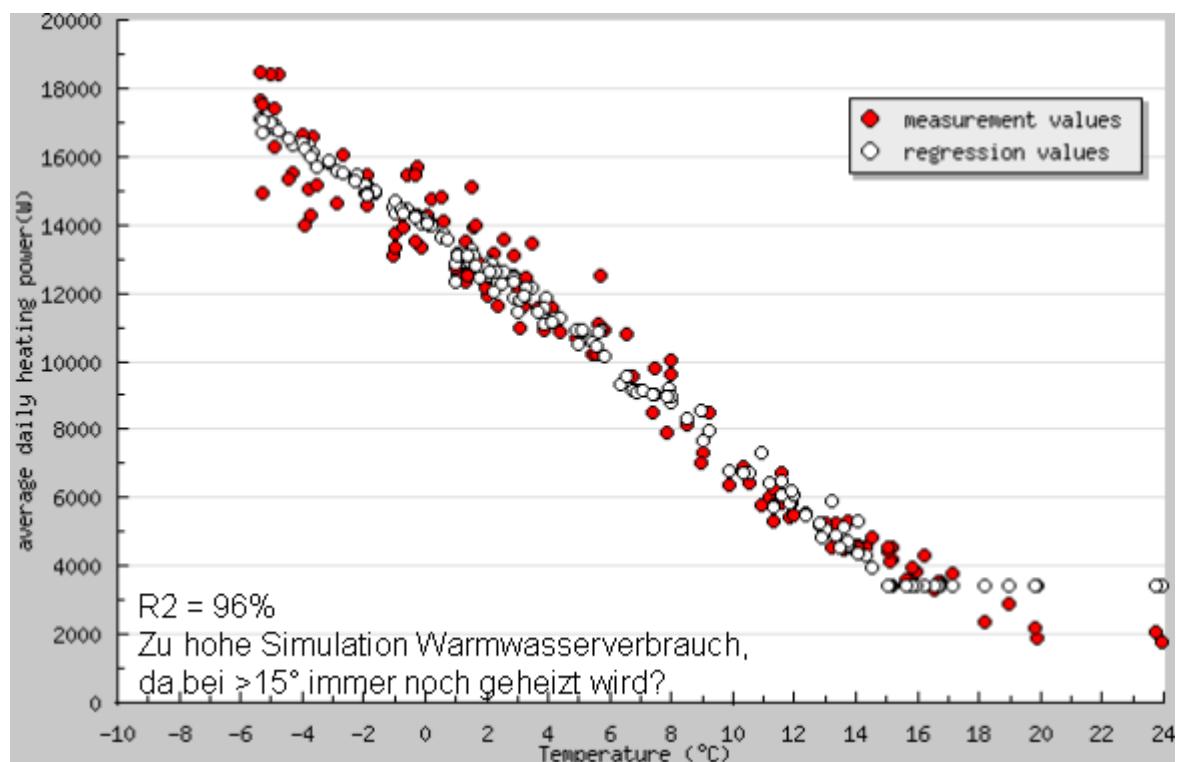


Abbildung 58: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 5. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

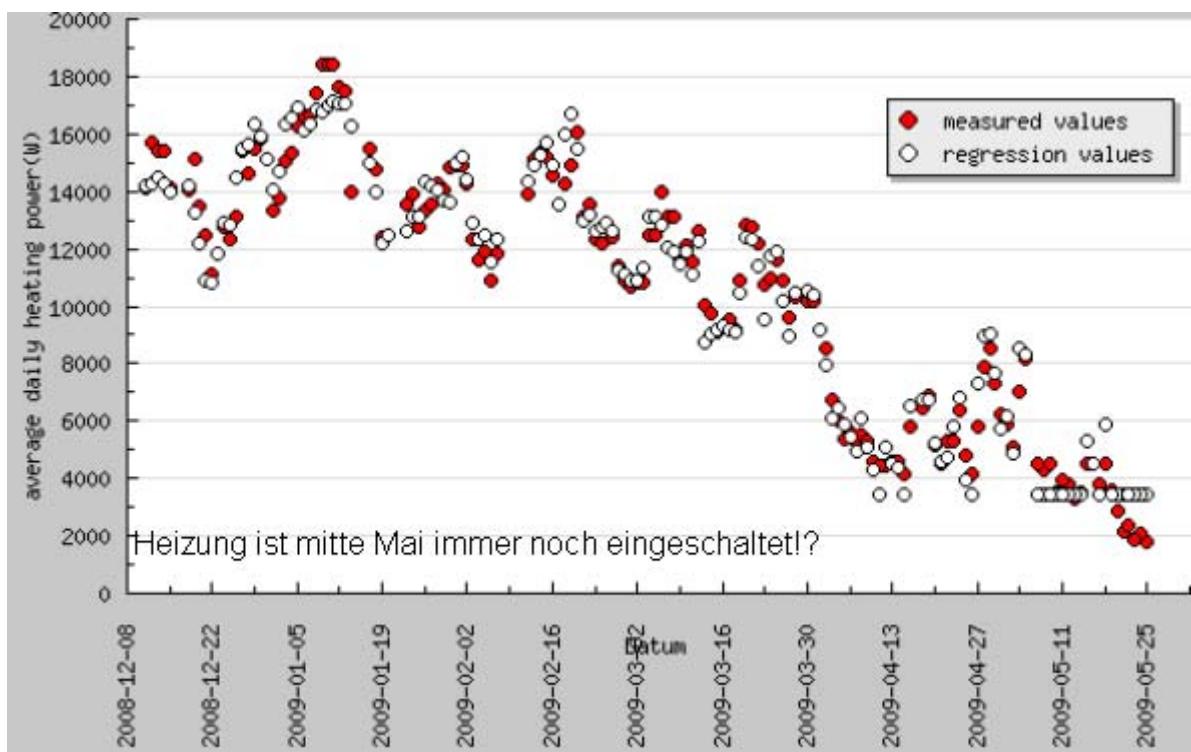


Abbildung 59: Dieselben Werte wie in Abbildung 58, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

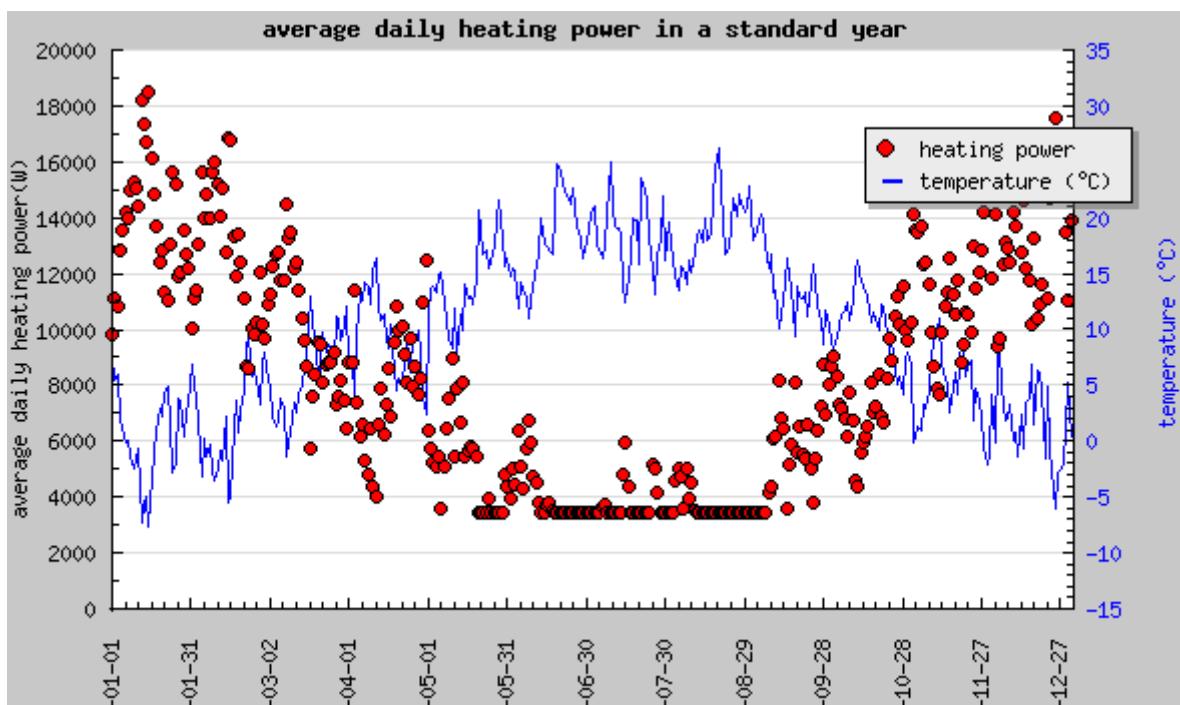


Abbildung 60: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr

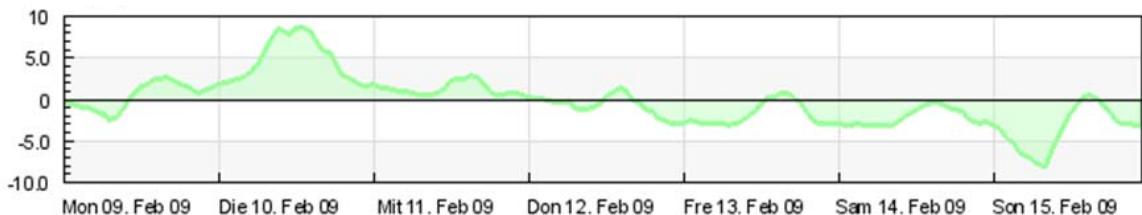
Gebäude Nr. 6, Büro

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen eine deutliche Nachtabsenkung und eine Aufheizphase am morgen (siehe Abbildung 61). Es ist keine Wochenend-Absenkung erkennbar. Wegen Empfangsschwierigkeiten gibt es regelmässig Tage, an denen die Messdaten fehlen (z.B. 9. und 10. Februar, siehe Abbildung 61).

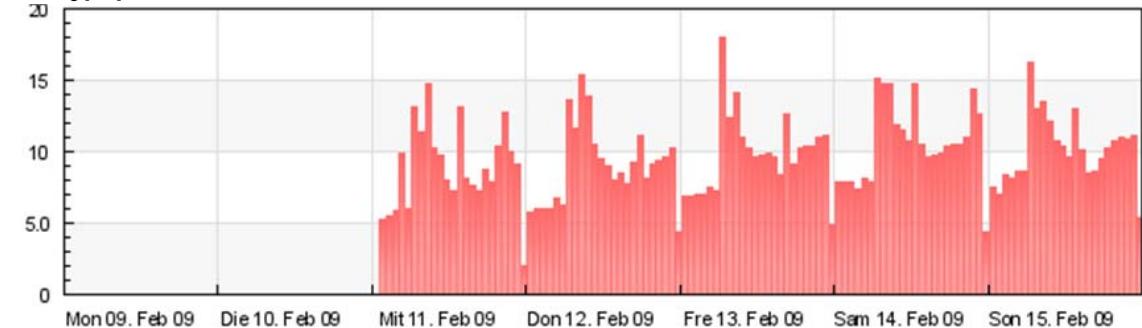
Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 19 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 27.4 kW ist somit bis zu 70% ausgelastet.

Periode: Mon 09. Februar 2009 - Son 15. Februar 2009, Kalenderwoche 07

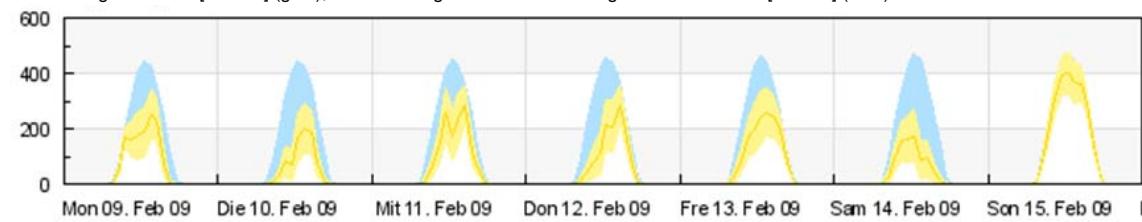
Umgebungstemperatur [°C]



Heizleistung [kW]



Globalstrahlung horizontal [W/m²] (gelb), maximal mögliche Globalstrahlung ohne Wolken etc [W/m²] (blau)



Legende: ■ Heizenergie ■ Aussentemperatur ■ Sonneneinstrahlung ■ maximale Sonneneinstrahlung (ohne Wolken etc., clearsky)

Abbildung 61: Messdaten und Meteodataen der 52. Kalenderwoche 2008 für Gebäude 6. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 62). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 20°C flacht die Heizgradkurve (Abbildung 62) deutlich ab. Vermutlich wird ab dieser Umgebungstemperatur nur noch Brauchwasser erwärmt, aber keine Heizleistung mehr benötigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung inklusive Zirkulationsverluste der Heizung liegt deutlich unter 1000 W. Bei diesem grösseren Gebäude ist die Korrelation zwischen Umgebungstemperatur und Heizleistung sehr hoch (95%, siehe Abbildung 63). Interessant ist ausserdem, dass die Heizung auch bei sehr hohen Umgebungstemperaturen nicht ausgeschaltet wird. Dies ist daran erkennbar, dass die Heizleistung bei einer Aussentemperatur zwischen 16 und 18°C weiter abnimmt. Da in der Regression eine Heizgrenze von 15°C angenommen wurde, werden in der Berechnung des Heizenergieverbrauchs in einem Standardjahr zu wenig Heiztage simuliert (siehe Abbildung 65). Ausserdem wurde in der Jahressimulation durch die zu tiefe Heizgrenze der Verbrauch für Warmwasser und Zirkulationsverluste zu hoch

geschätzt. Es wurde ein Heizenergieverbrauch von ca. 3'400 m³ Gas während der Heizsaison und zusätzlich 200 m³ Gas im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste prognostiziert.

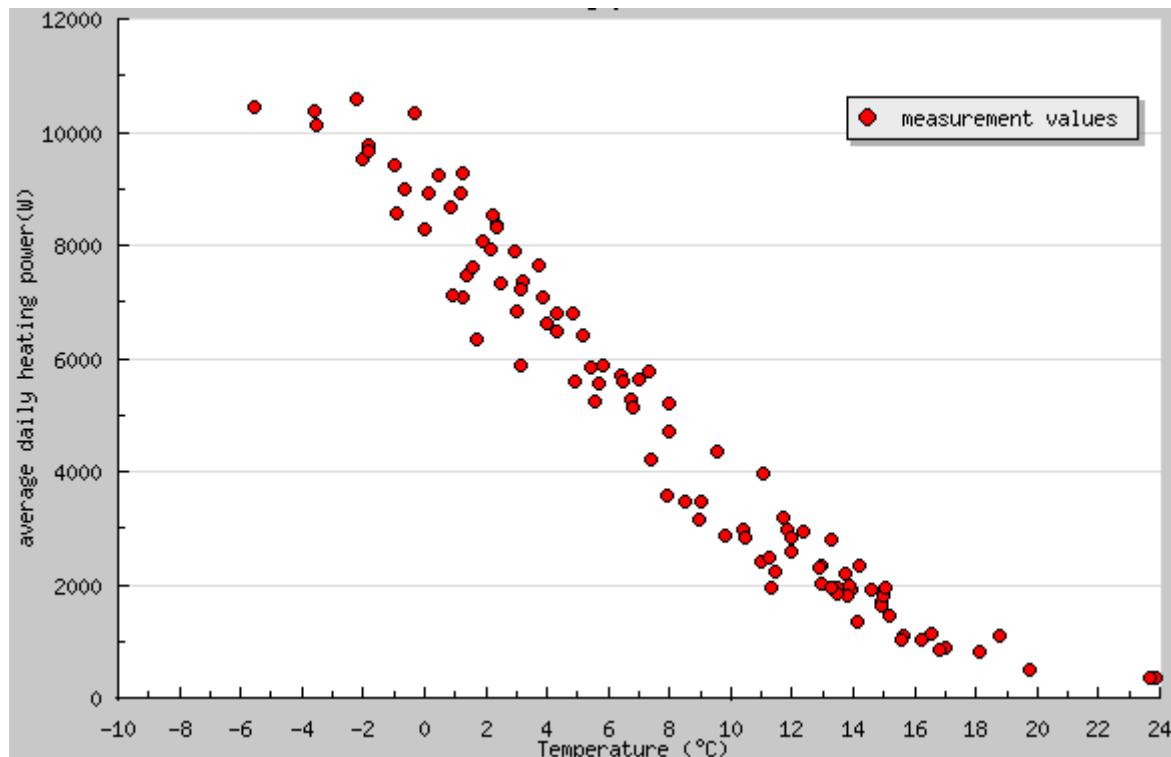


Abbildung 62: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 6.

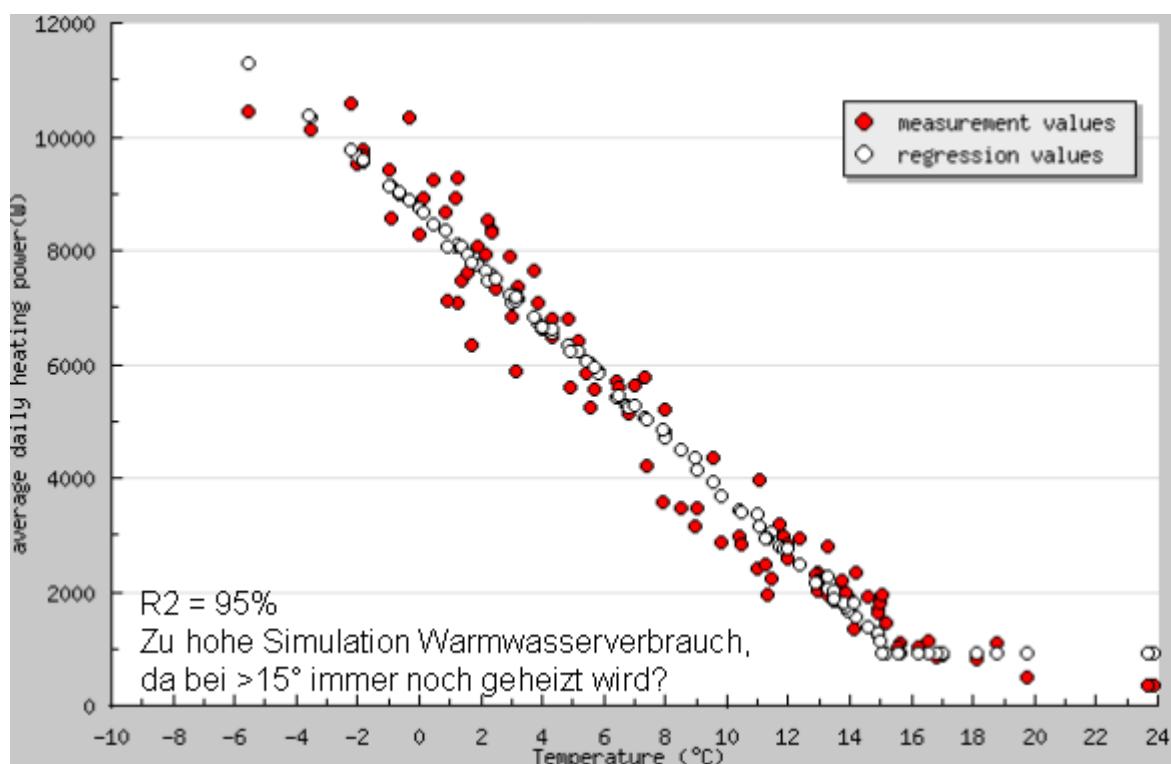


Abbildung 63: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 6. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

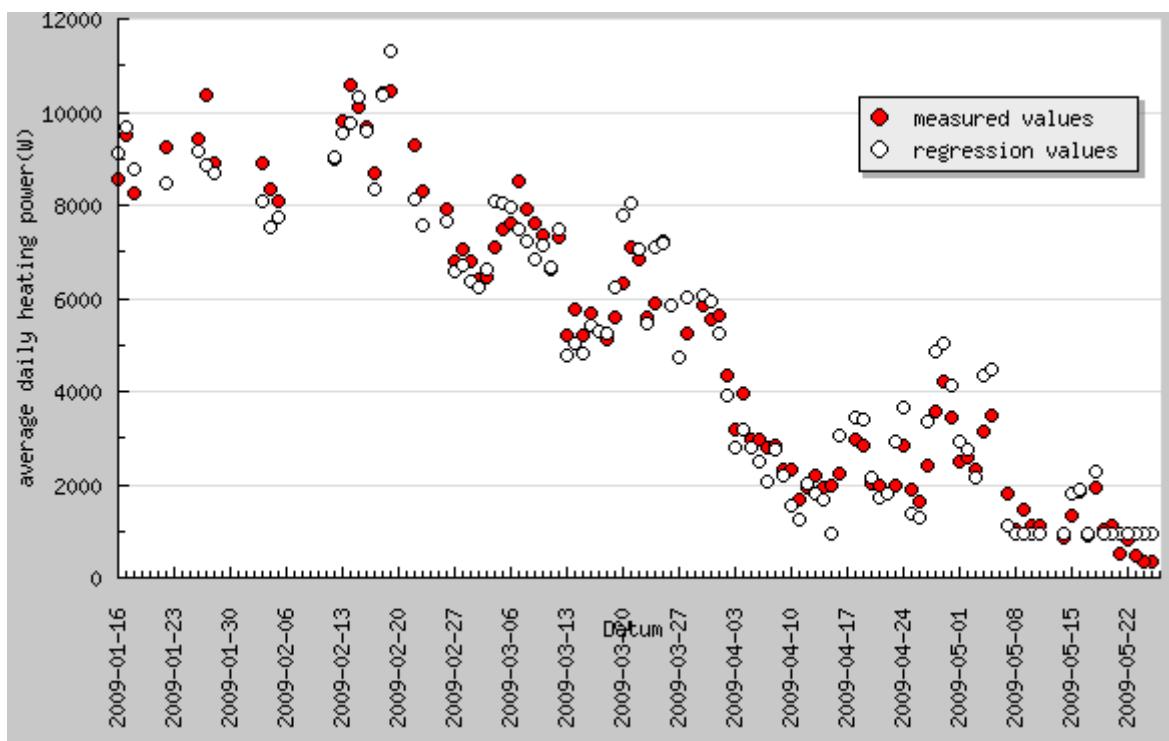


Abbildung 64: Dieselben Werte wie in Abbildung 63, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

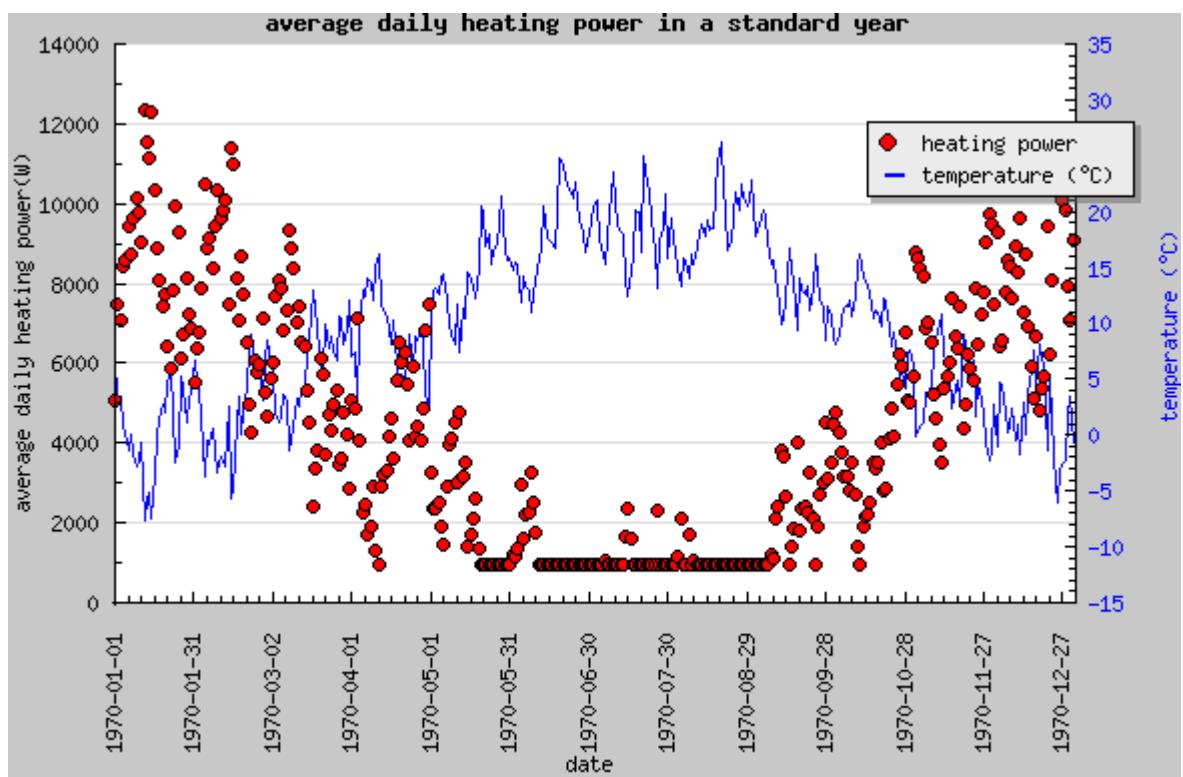


Abbildung 65: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr

Gebäude Nr. 7, MFH

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen keine erkennbare Nachtabensenkung (siehe Abbildung 66).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 70 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 116 kW ist somit bis zu 60% ausgelastet.

Periode: Mon 16. Februar 2009 - Son 22. Februar 2009, Kalenderwoche 08

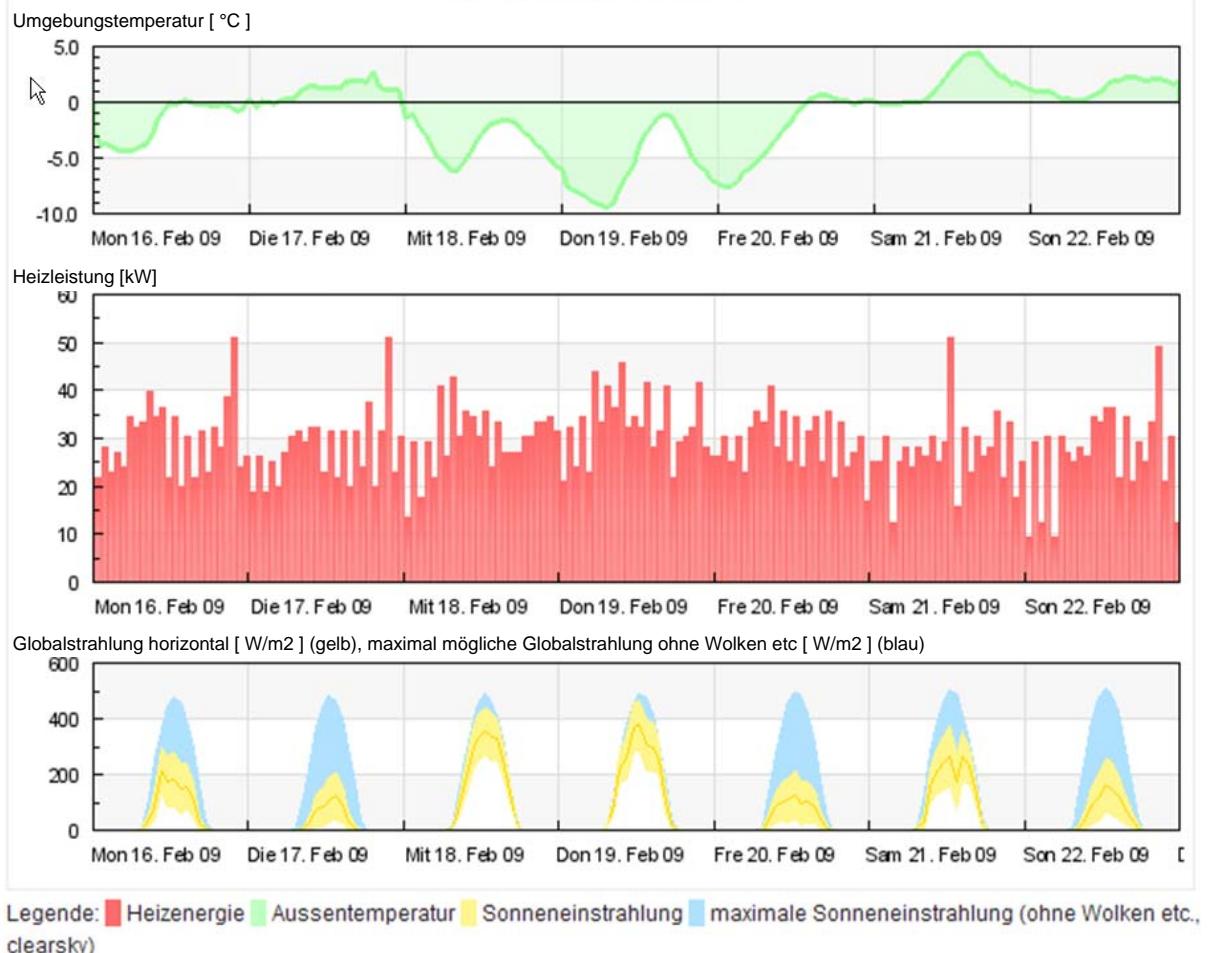


Abbildung 66: Messdaten und Meteodataen der 8. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 7. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 67). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 17°C flacht die Heizgradkurve (Abbildung 67) deutlich ab. Vermutlich wird ab dieser Umgebungstemperatur nur noch Brauchwasser erwärmt, aber keine Heizleistung mehr benötigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung inklusive Zirkulationsverluste der Heizung liegt bei ca. 7'000 W.

Bei diesem grösseren Gebäude ist die Korrelation zwischen Umgebungstemperatur und Heizleistung sehr hoch (95%, siehe Abbildung 68). Interessant ist ausserdem, dass die Heizung auch bei sehr hohen Umgebungstemperaturen nicht ausgeschaltet wird. Dies ist daran erkennbar, dass die Heizleistung bei einer Aussentemperatur zwischen 16 und 18°C weiter abnimmt. Da in der Regression eine Heizgrenze von 15°C angenommen wurde, werden in der Berechnung des Heizenergieverbrauchs in einem Standardjahr zu wenig Heiztage simuliert (siehe Abbildung 70). Ausserdem wurde in der Jahressimulation durch die zu tiefe Heizgrenze der Verbrauch für Warmwasser und Zirkulationsverluste zu hoch geschätzt. Es wurde ein Heizenergieverbrauch von ca. 13'800 m³ Gas während der

Heizsaison und zusätzlich 2'300 m³ Gas im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste prognostiziert

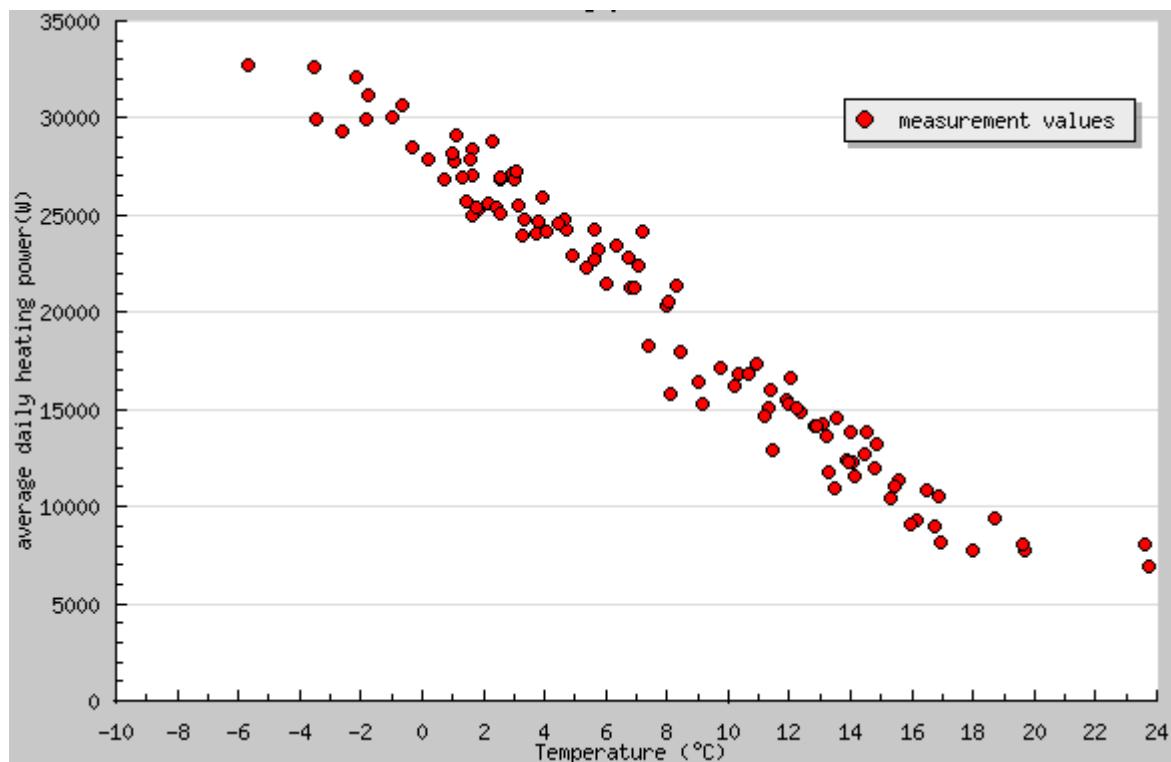


Abbildung 67: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 7.

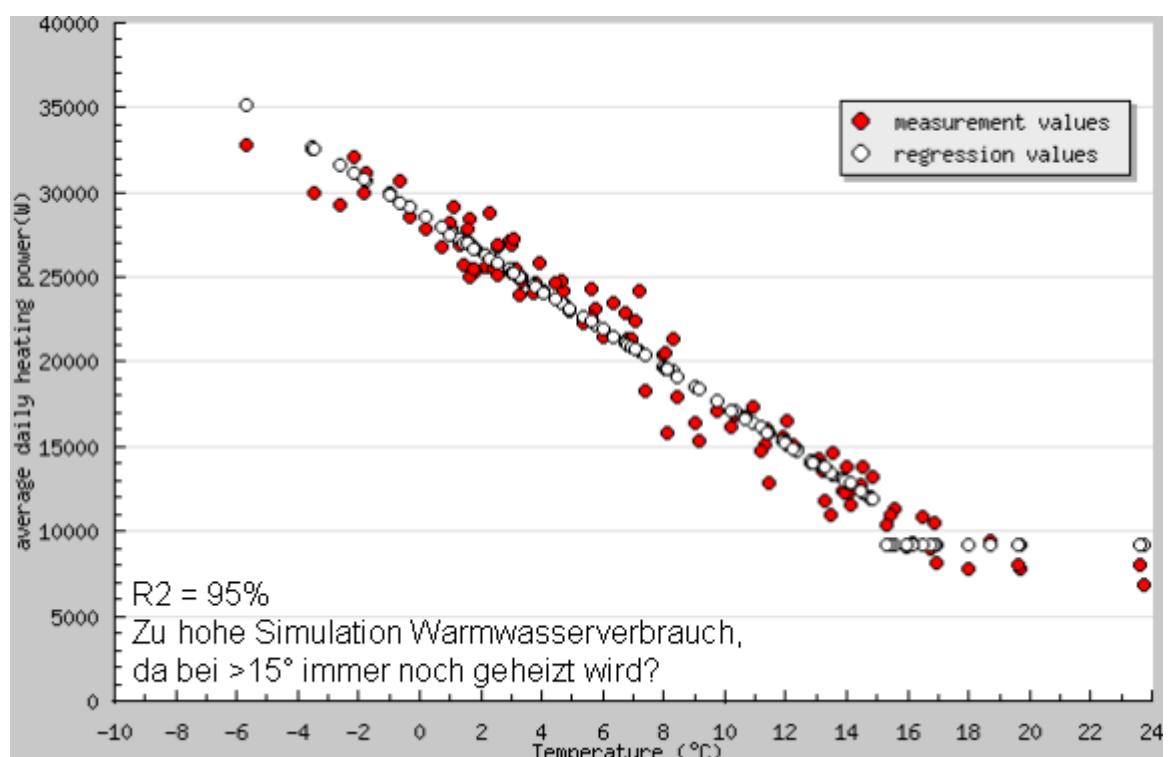


Abbildung 68: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 7. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

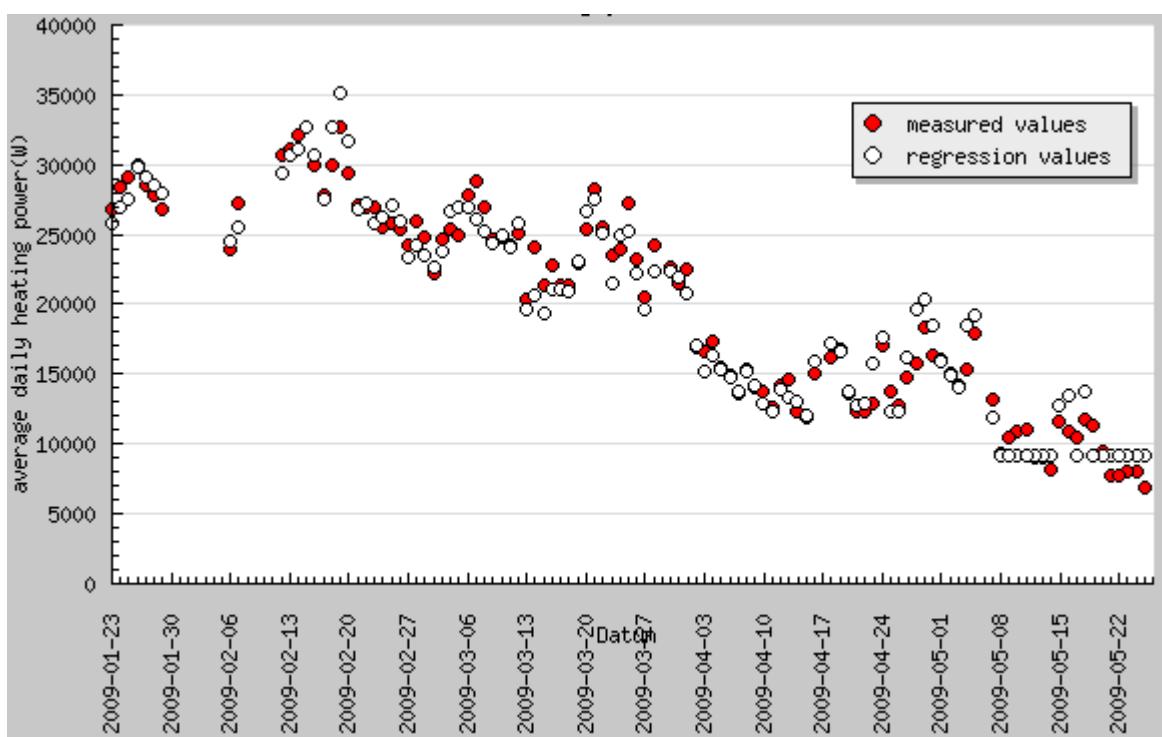


Abbildung 69: Dieselben Werte wie in der vorhergehenden Abbildung, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

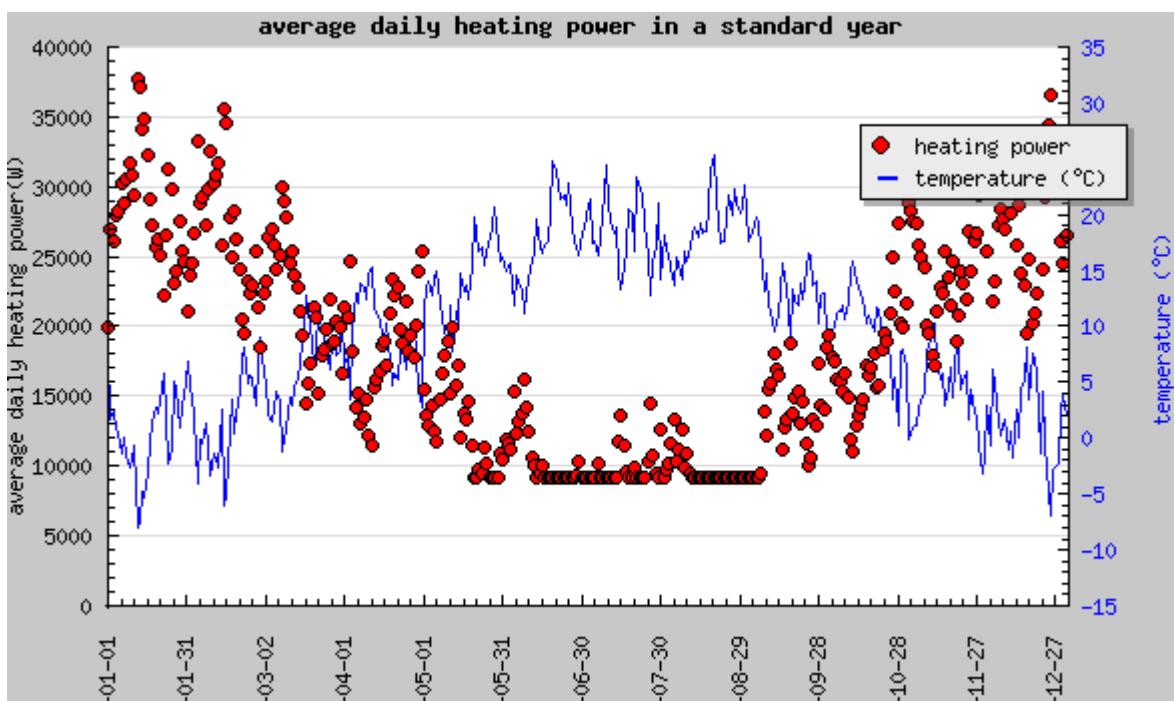


Abbildung 70: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 8, Büro

Bei diesem Gebäude ist die Nachtabsenkung der Heizung deutlich erkennbar (siehe Abbildung 71). Die höchste Heizleistung tritt in den Morgenstunden auf und beträgt ca. 60 kW. Der Brenner mit einer Leistung zwischen 11 und 22 l Öl/h (ca. 110 bis 120 kW) ist somit deutlich überdimensioniert. Ein Absenkung der Heizung am Wochenende ist nicht erkennbar.

Periode: Mon 19. Januar 2009 - Son 25. Januar 2009, Kalenderwoche 04

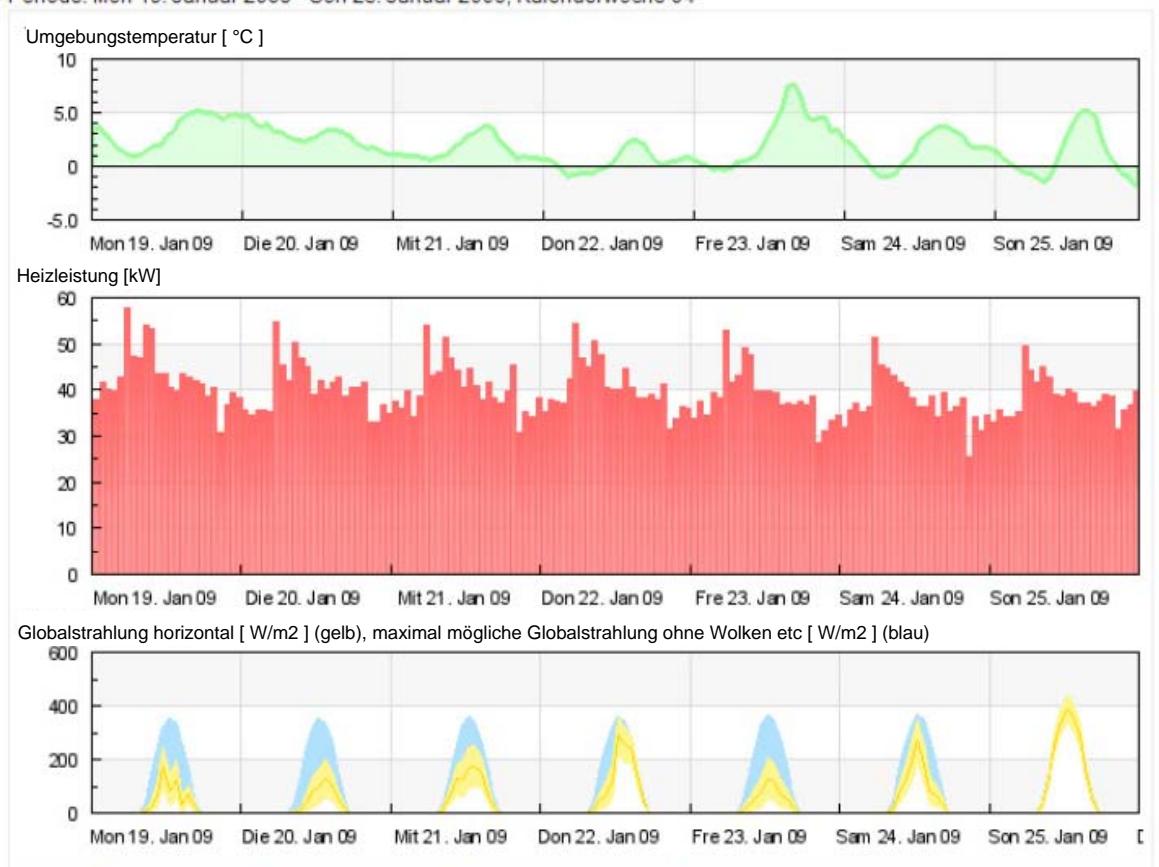


Abbildung 71: Messdaten und Meteodataen der 2. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 8. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 72). Daten von 5 Messtagen wurden manuell aus dem Datensatz entfernt, da es sich um Ausreißer handelt (schwarz eingekreiste Punkte in Abbildung 72). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 20°C flacht die Heizgradkurve (Abbildung 72) deutlich ab. Vermutlich wird ab dieser Umgebungstemperatur nur noch Brauchwasser erwärmt, aber keine Heizleistung mehr benötigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung inklusive Zirkulationsverluste der Heizung liegen somit bei knapp unter 10'000 W.

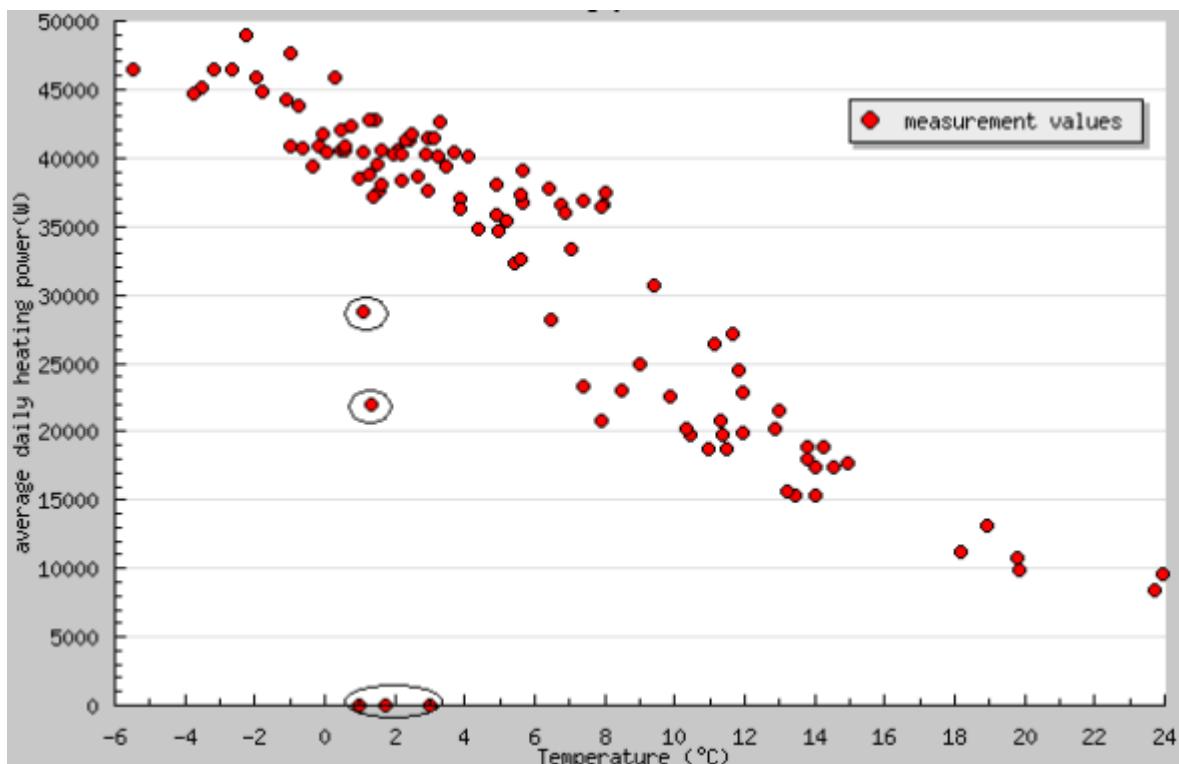


Abbildung 72: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 8. Schwarz eingekreiste Messpunkte wurden als Ausreißer angesehen und nicht in die Analyse mit einbezogen.

Abbildung 73 zeigt die gemessenen Stunden- bzw. Tageswerte der 5 Messtage, die als Ausreißer identifiziert wurden, da die Heizleistung deutlich tiefer ist als erwartet. An allen 5 Tagen ist während mehreren Stunden bzw. Tagen am Stück keine Heizleistung gemessen worden. Vermutlich fehlen die Messdaten aus dieser Zeit wegen Übertragungsproblemen des Datenloggers.

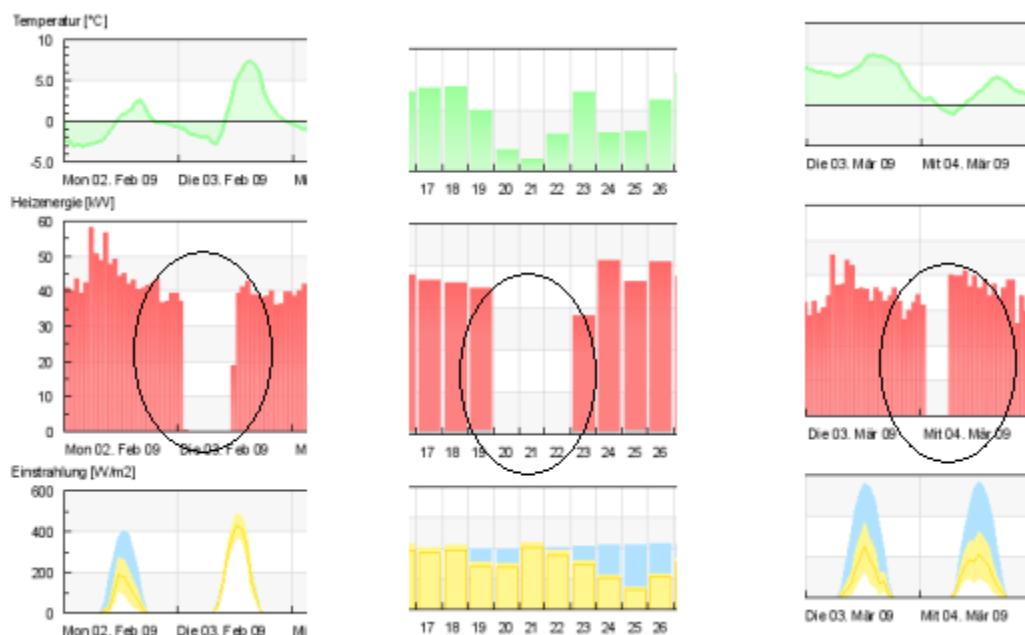


Abbildung 73: Stundenwerte für die Messtage, an denen die mittlere Heizleistung deutlich unter den Erwartungen liegt.

Für die Regression der Daten wurden alle Messtage mit einer Außentemperatur von weniger als 15°C berücksichtigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung wurde aus dem Durchschnitt der Heizleistung an wärmeren Tagen berechnet.

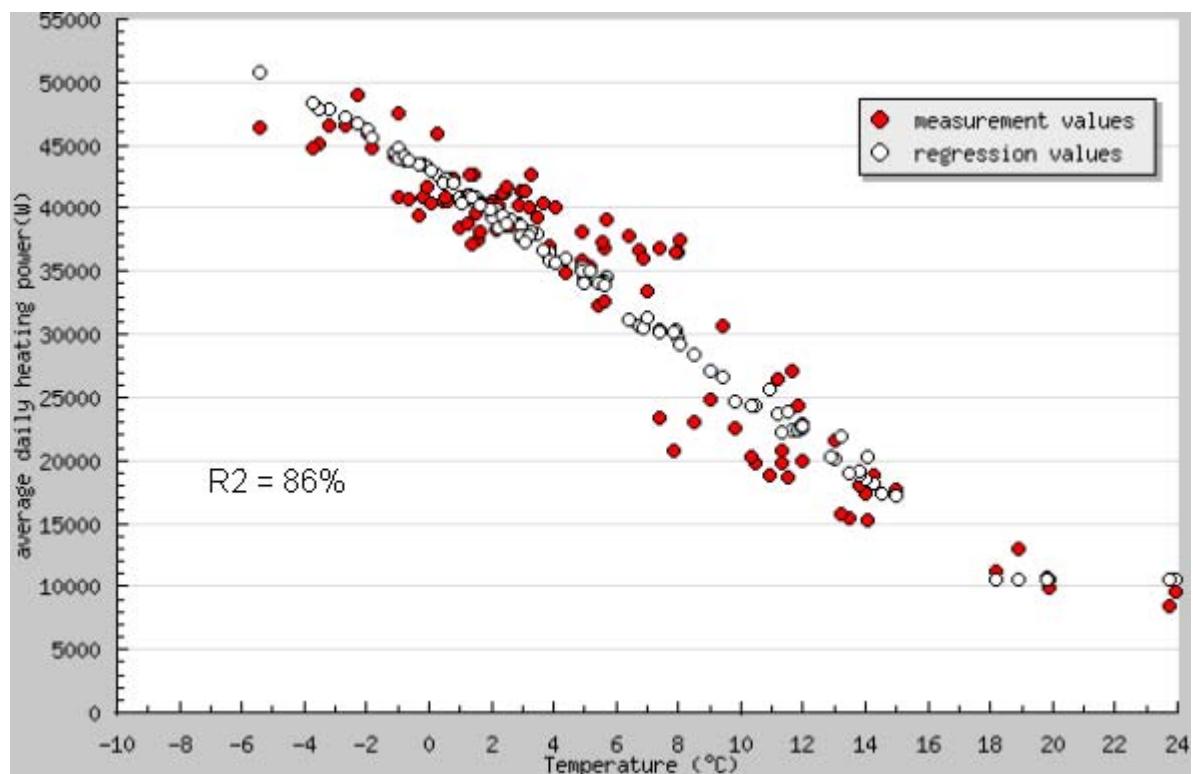


Abbildung 74: Dieselben Werte wie in Abbildung 72, aber ohne Ausreißer dafür zusätzlich mit den Regressionswerten.

Es wird vermutet, dass die Heizung dieses Gebäudes manuell zwischen Mai und Oktober ausgeschaltet ist und somit in dieser Zeit nur die Brauchwassererwärmung berücksichtigt werden sollte.

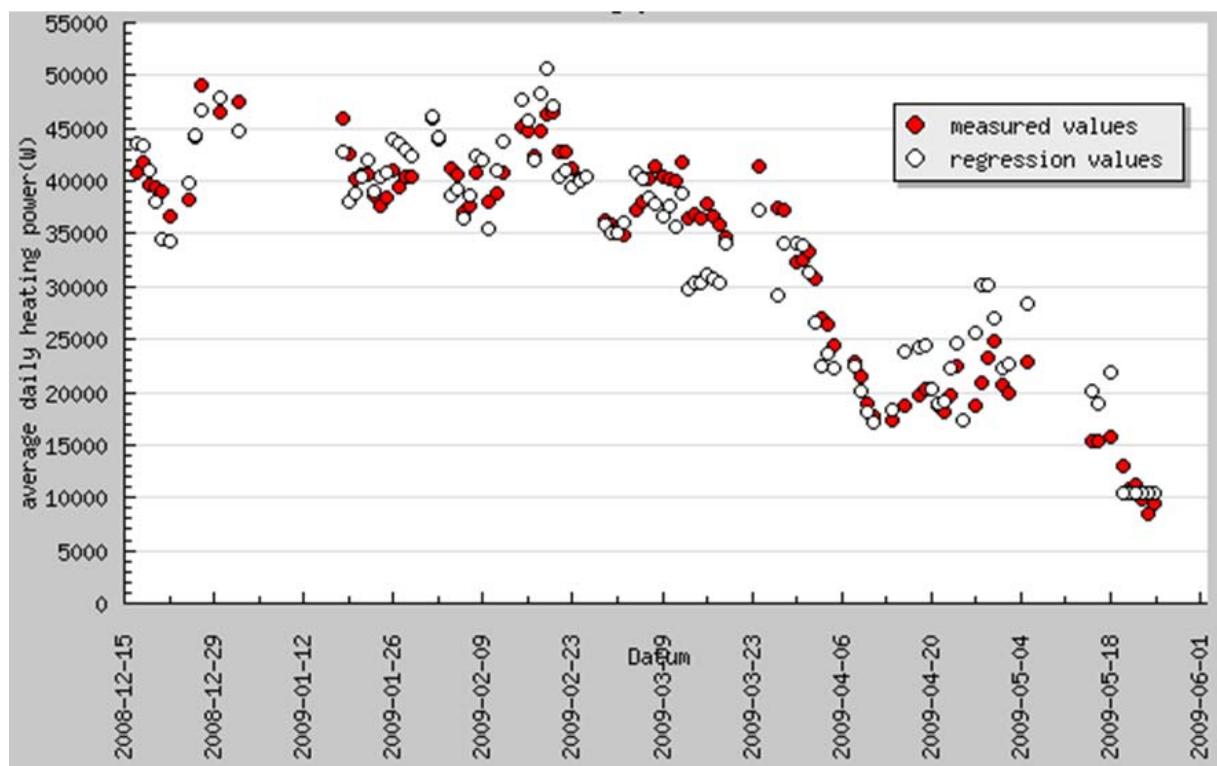


Abbildung 75: Dieselben Werte wie in Abbildung 74, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

Aus den Regressionsparametern und den meteorologischen Daten für ein Standardjahr wurde anschliessend für jeden Tag eines Standardjahrs die durchschnittliche Heizleistung prognostiziert (siehe Abbildung 76). Die Prognose wurde für jeden Tag durchgeführt, an welchem die Außentemperatur kleiner als 15°C war. Es resultiert ein jährlicher Ölverbrauch von 20'000 Liter pro Heizsaison. An wärmeren Tagen wurde nur die Leistung zur Brauchwassererwärmung berücksichtigt. Die mittlere Leistung für Zirkulationsverluste im Sommer wird auf ca. 10 kW geschätzt, was einem Verbrauch von 2'500 Liter Öl während dem Sommer entspricht. Es wird vermutet, dass die Heizung dieses Gebäudes manuell zwischen Juni und Oktober ausgeschaltet ist und somit in dieser Zeit keine Heizenergie berücksichtigt werden sollte. Alle Heizpunkte in Abbildung 76, die zwischen Juni und Oktober sollten in diesem Fall auf 0 gesetzt werden.

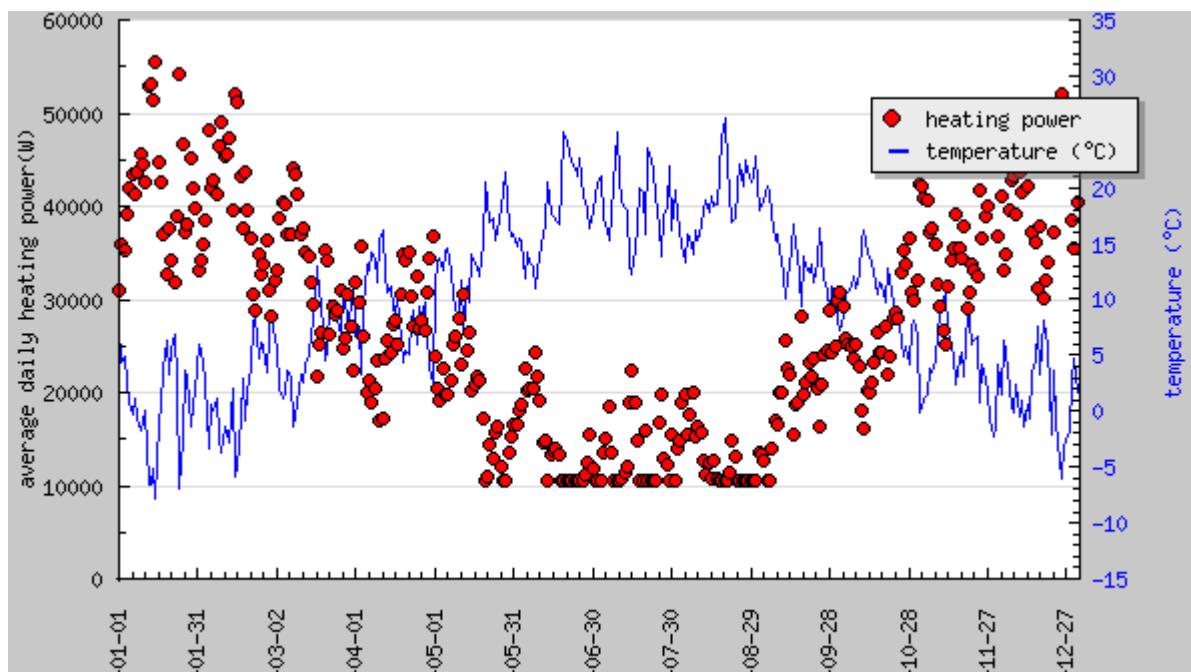


Abbildung 76: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr

Gebäude Nr. 9, Büro

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen keine erkennbare Nachtabensenkung (siehe Abbildung 77).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 20 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 62 kW ist somit bis zu 30% ausgelastet.

Periode: Mon 20. April 2009 - Son 26. April 2009, Kalenderwoche 17

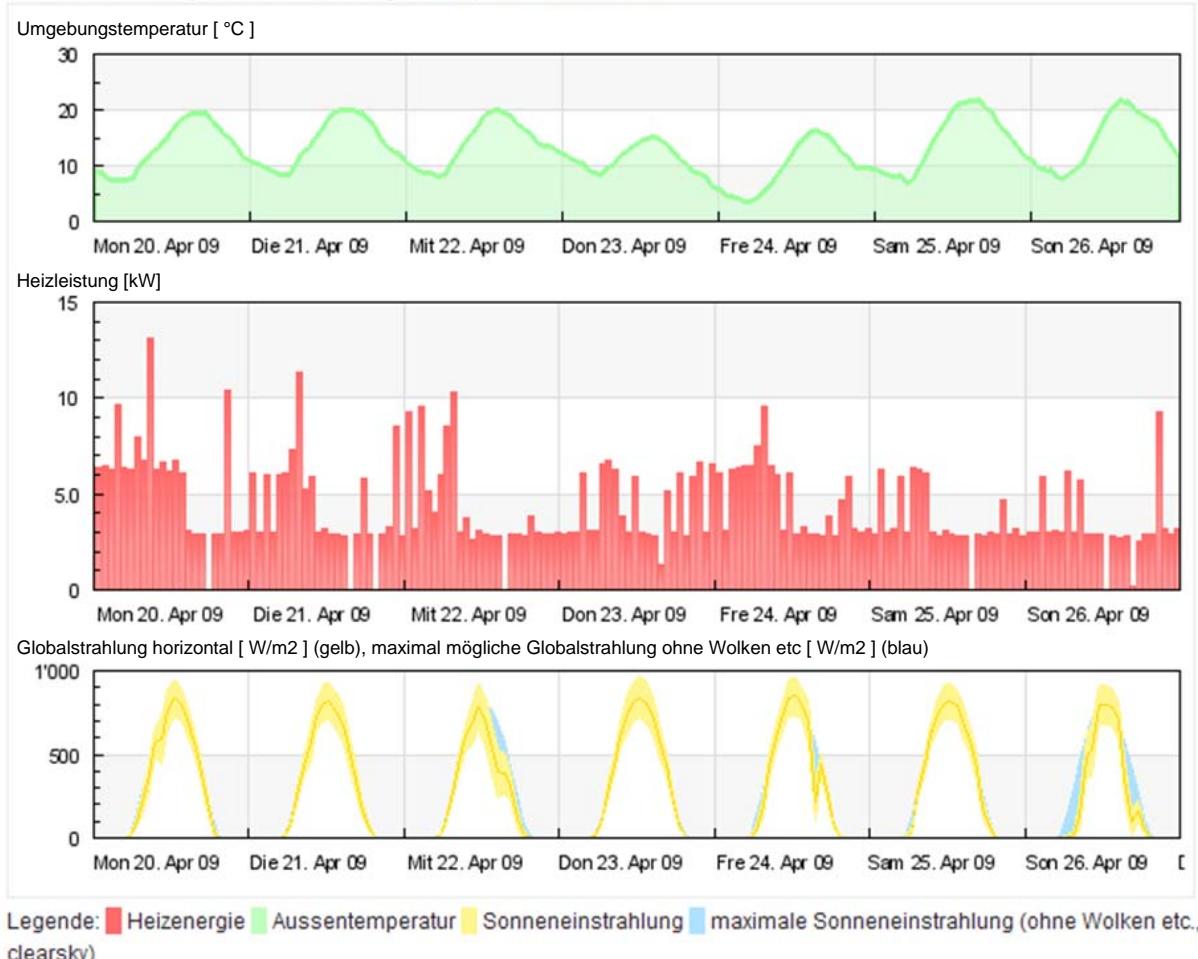


Abbildung 77: Messdaten und Meteodataen der 8. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 9. An-gezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 78). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 16°C flacht die Heizgradkurve (Abbildung 78) deutlich ab. Vermutlich wird ab dieser Umgebungstemperatur nur noch Brauchwasser erwärmt, aber keine Heizleistung mehr benötigt. Die notwendige Leistung zur Brauchwassererwärmung inklusive Zirkulationsverluste der Heizung liegt bei etwas über 2'000 W. Es wurde ein Heizenergieverbrauch von ca. 6'000 m³ Gas während der Heizsaison und zusätzlich 700 m³ Gas im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste prognostiziert.

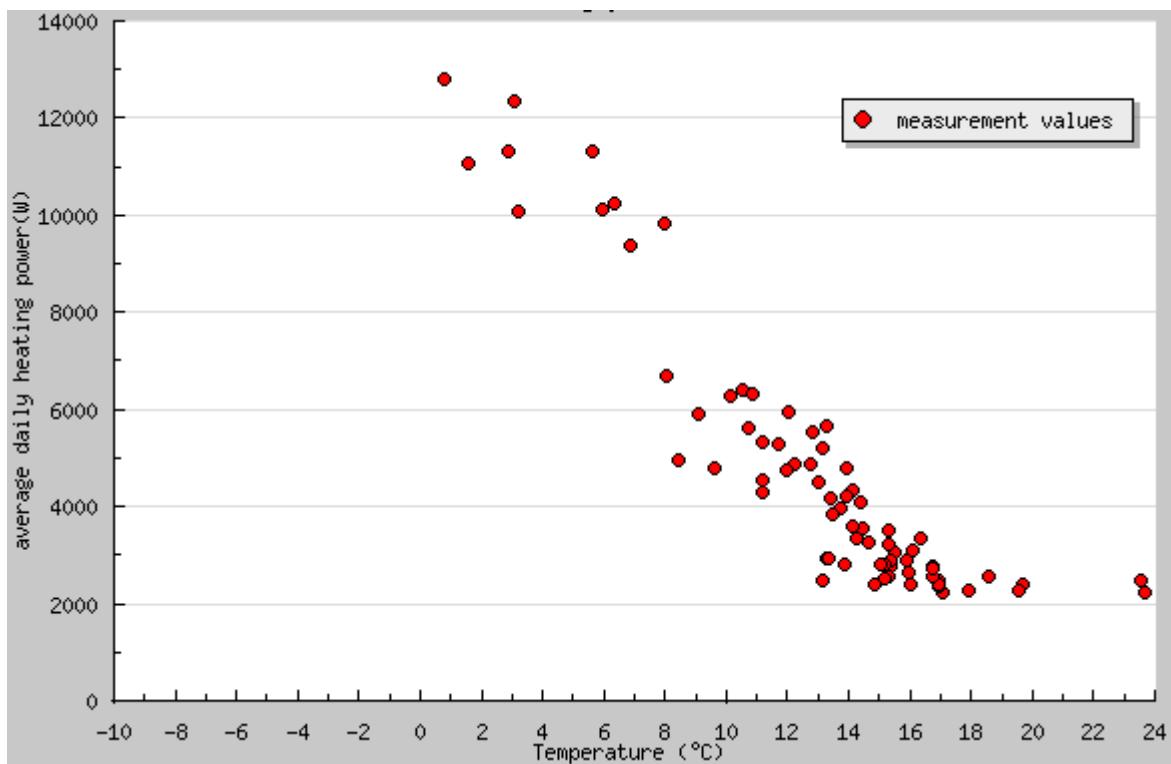


Abbildung 78: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 9.

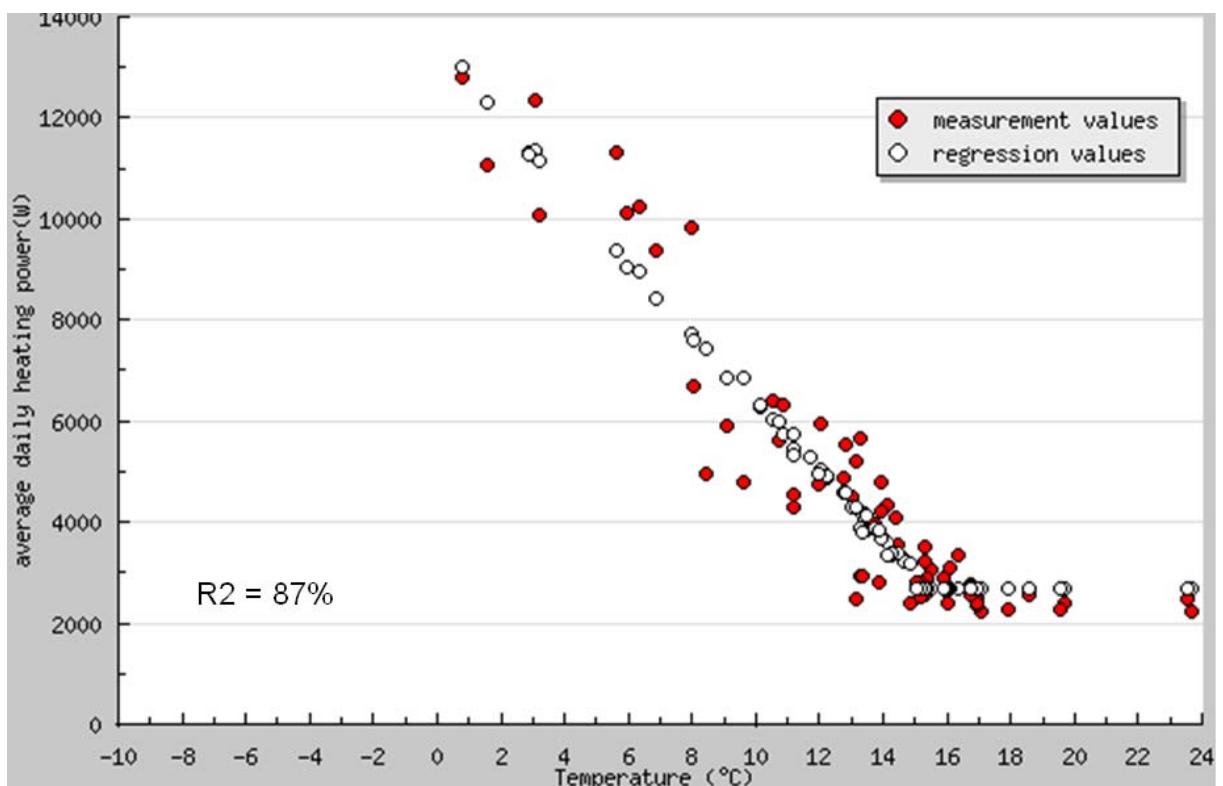


Abbildung 79: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 9. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

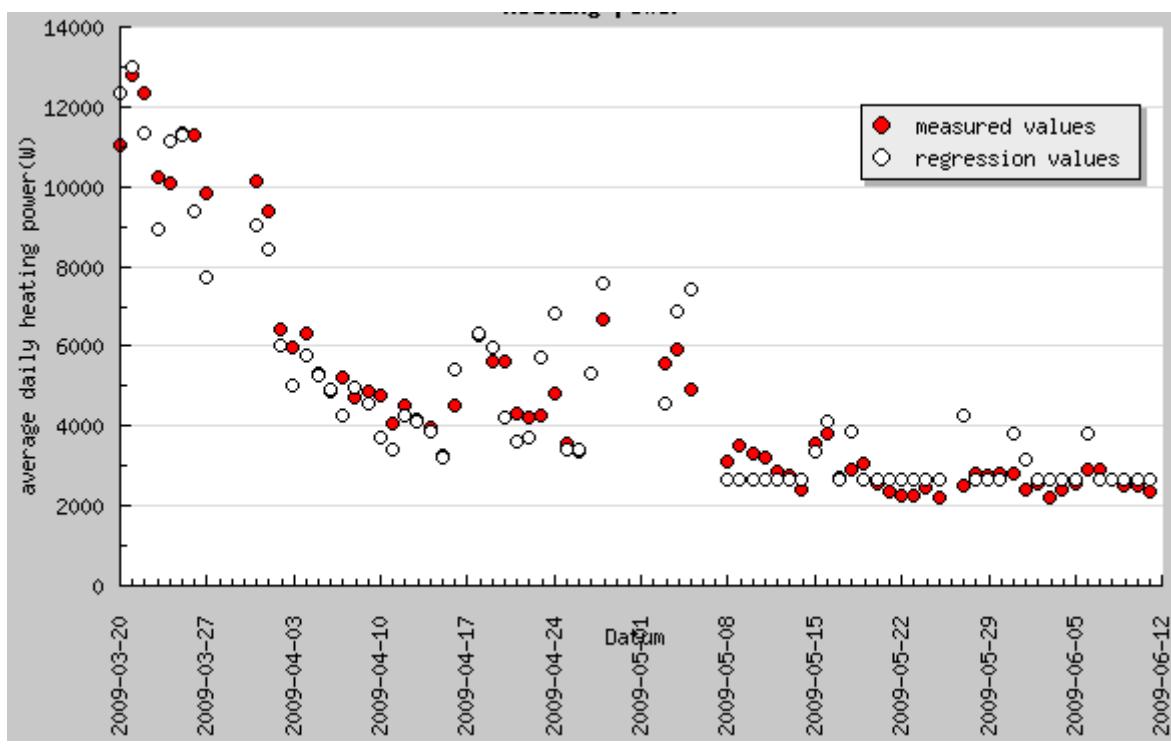


Abbildung 80: Dieselben Werte wie in der vorhergehenden Abbildung, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

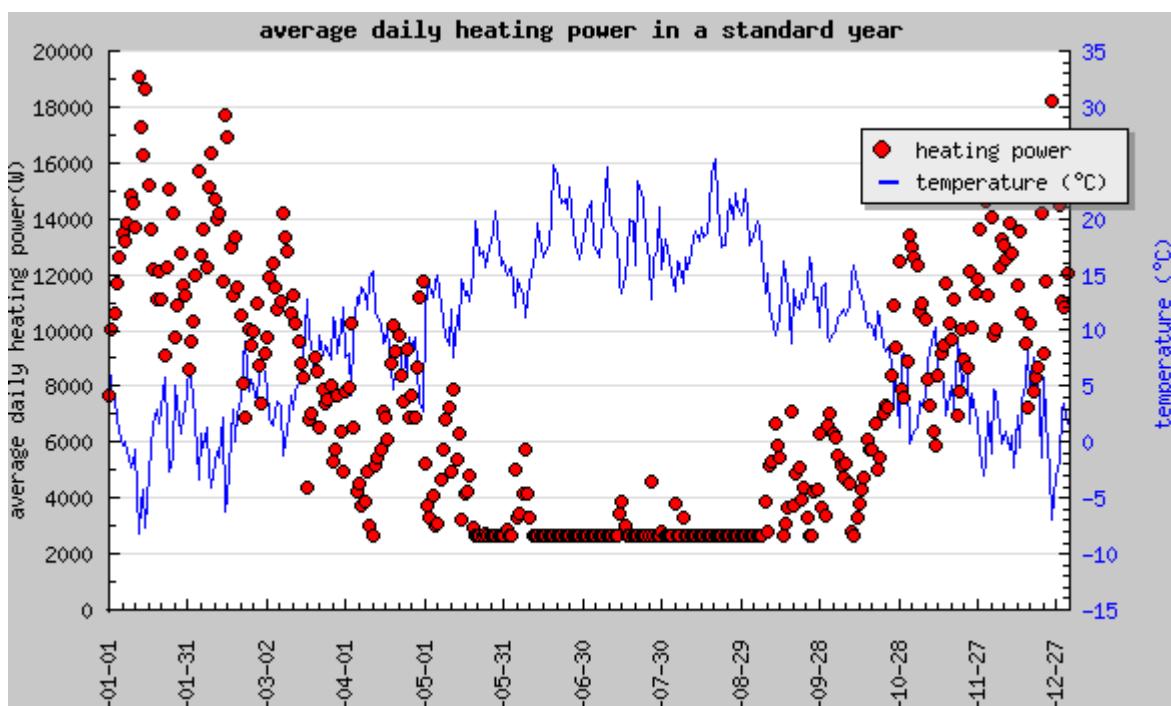


Abbildung 81: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 10, MFH

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen eine deutliche Nachtabsenkung und (siehe Abbildung 82).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 22 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 32 kW ist somit bis ca. 70% ausgelastet.

Periode: Mon 12. Januar 2009 - Son 18. Januar 2009, Kalenderwoche 03

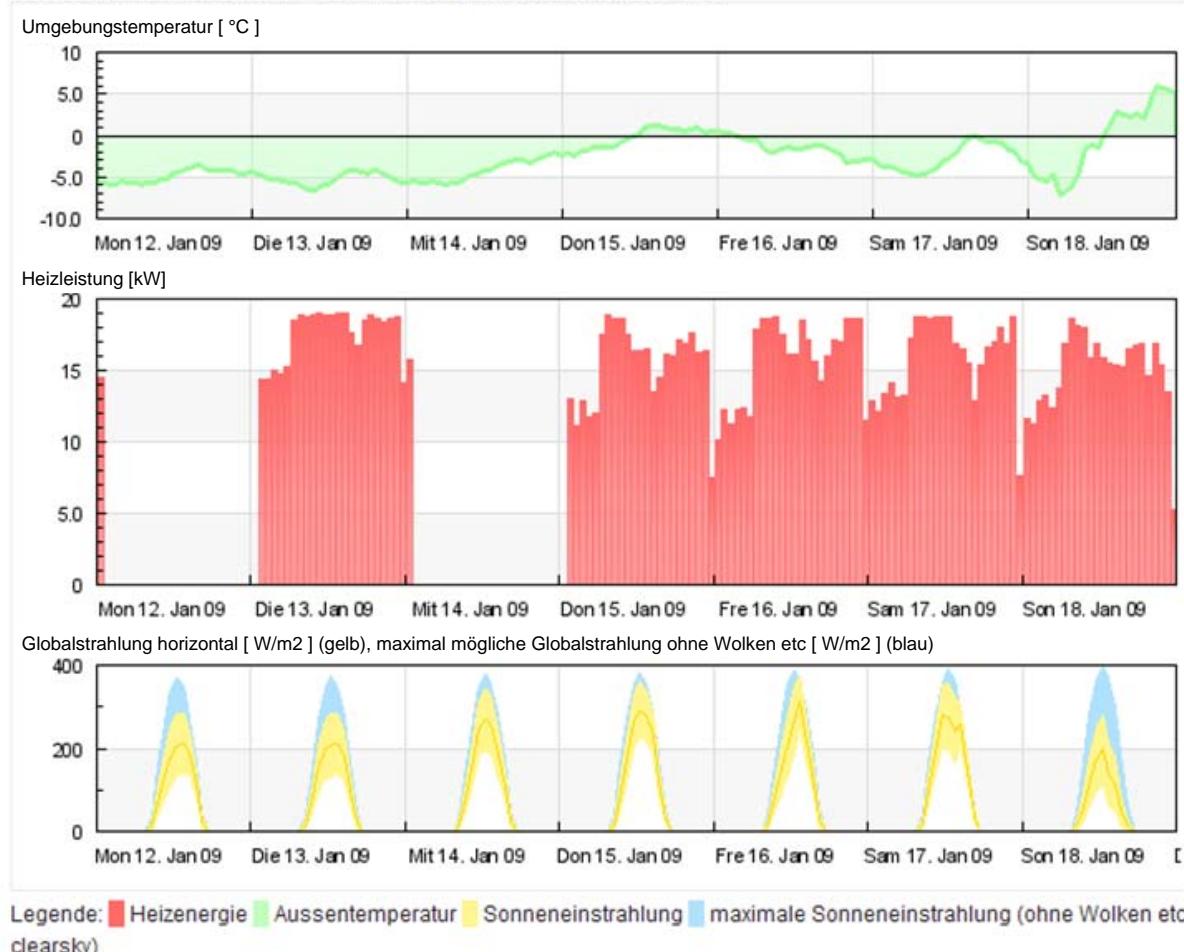


Abbildung 82: Messdaten und Meteodataen der 3. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 10. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 83). Ab einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von ca. 4°C scheint die Heizgradkurve abzuflachen (Abbildung 83). Es fehlen aber Messwerte bei mittleren Tagestemperaturen über 6°C. Für die Prognose des Jahresheizenergieverbrauchs wurde die Heizgrenze auf 15°C gesetzt und die mittlere Leistung gemäss Regression bei dieser Umgebungstemperatur als Leistung für die Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste im Sommer angenommen. Somit ergibt sich eine mittlere Leistung für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste von knapp 4'000 W (siehe Abbildung 86). Es wird ein Heizenergieverbrauch von 6'000 Liter Öl in einer durchschnittlichen Heizsaison prognostiziert und zusätzlich 900 Liter Öl im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste. Das Gebäude war zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht saniert, aber nicht mehr vollständig bewohnt. In der Heizsaison 2005/06 hatte der Besitzer einen Ölverbrauch von 5'500 Liter Öl gemessen.

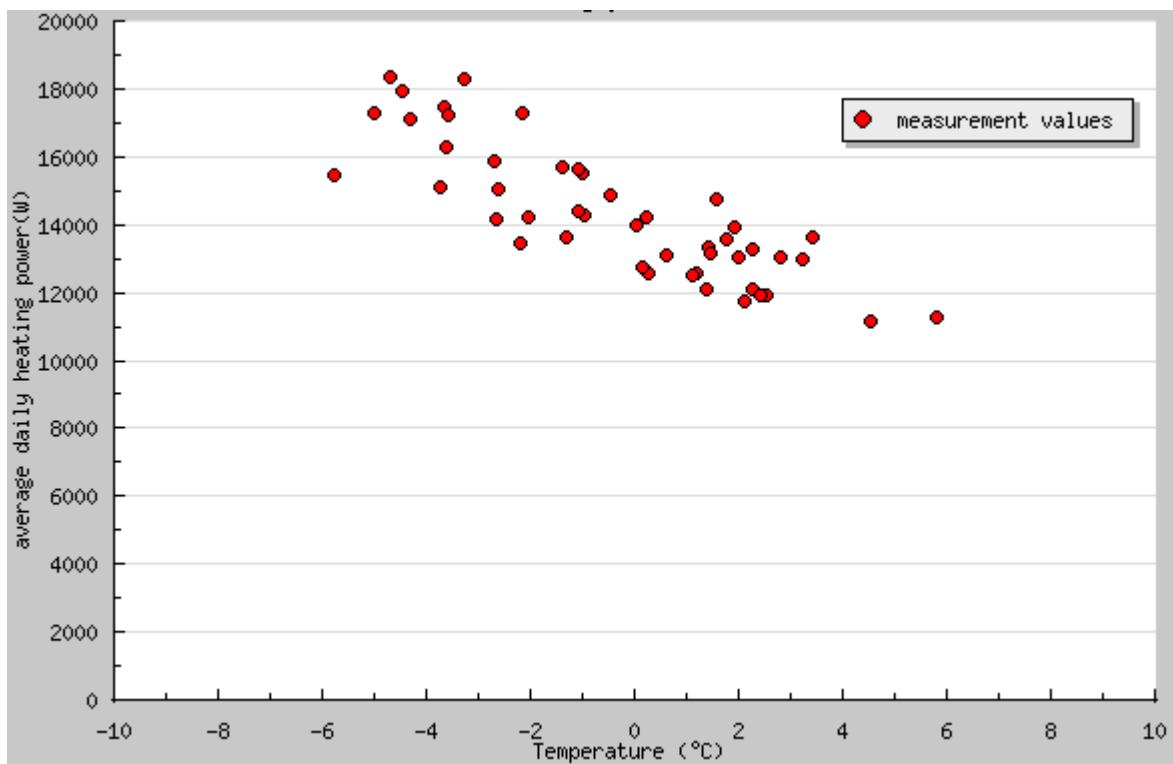


Abbildung 83: Korrelation zwischen Tagesmittelwert der Umgebungstemperatur und Heizleistung für das Gebäude Nr. 10.

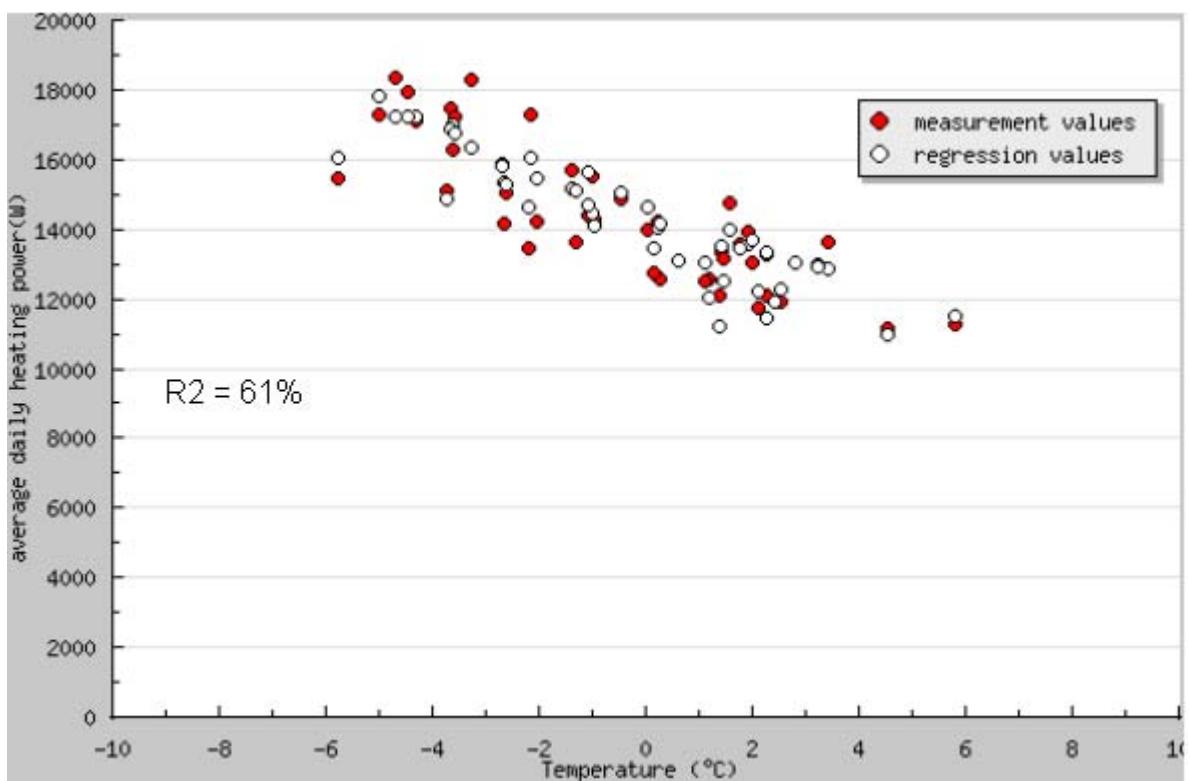


Abbildung 84: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 10. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

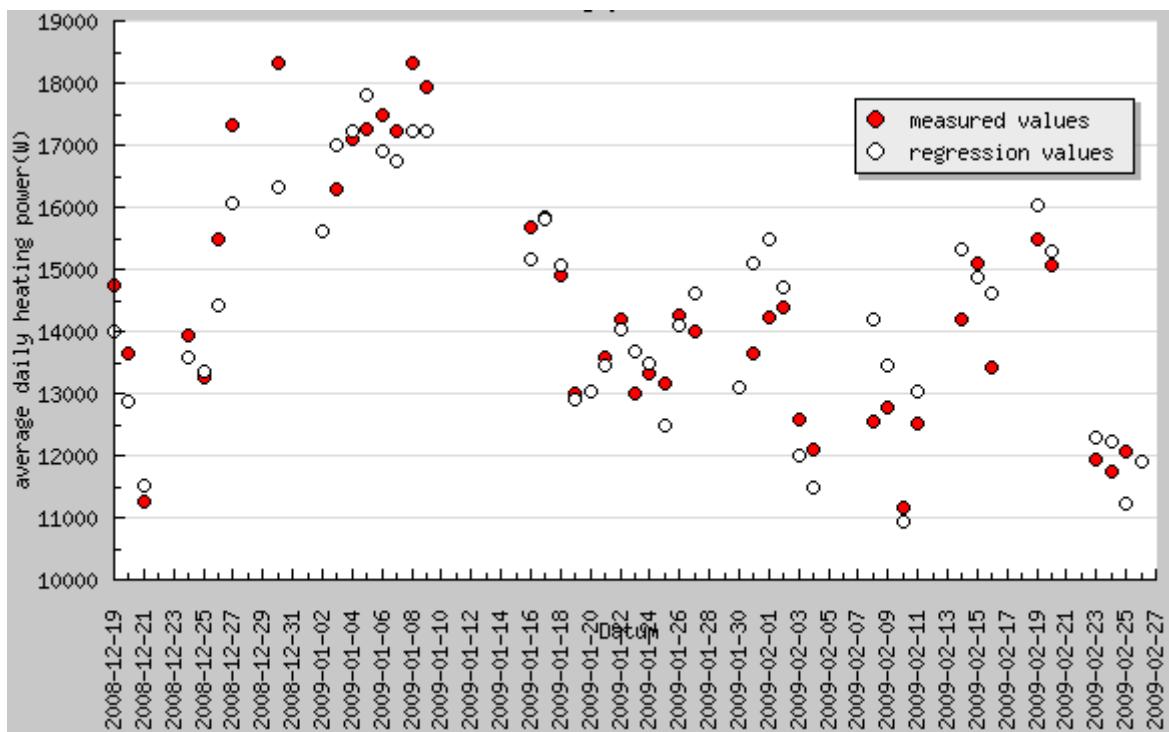


Abbildung 85: Dieselben Werte wie in der vorhergehenden Abbildung, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

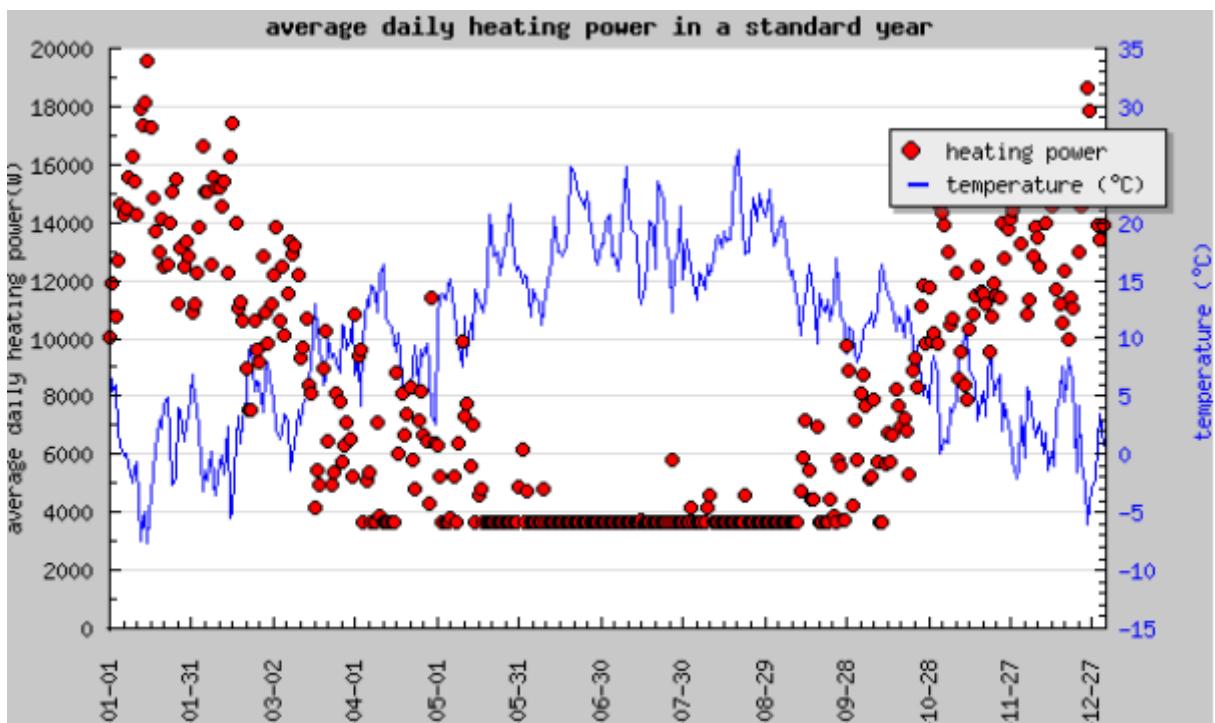


Abbildung 86: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

Gebäude Nr. 11, MFH

Dieses Gebäude wurde während den Messungen saniert. Die Messresultate können somit nicht als repräsentativ für den Heizenergieverbrauch des Gebäudes vor oder nach der Sanierung angeschaut werden.

Die Stundenwerte der gemessenen Heizleistung zeigen keine deutliche Nachtabensenkung (siehe Abbildung 87).

Die höchste stündliche Heizleistung beträgt ca. 86 kW. Der Brenner mit einer Leistung von 120 kW ist somit bis ca. 70% ausgelastet.

Periode: Mon 16. März 2009 - Son 22. März 2009, Kalenderwoche 12

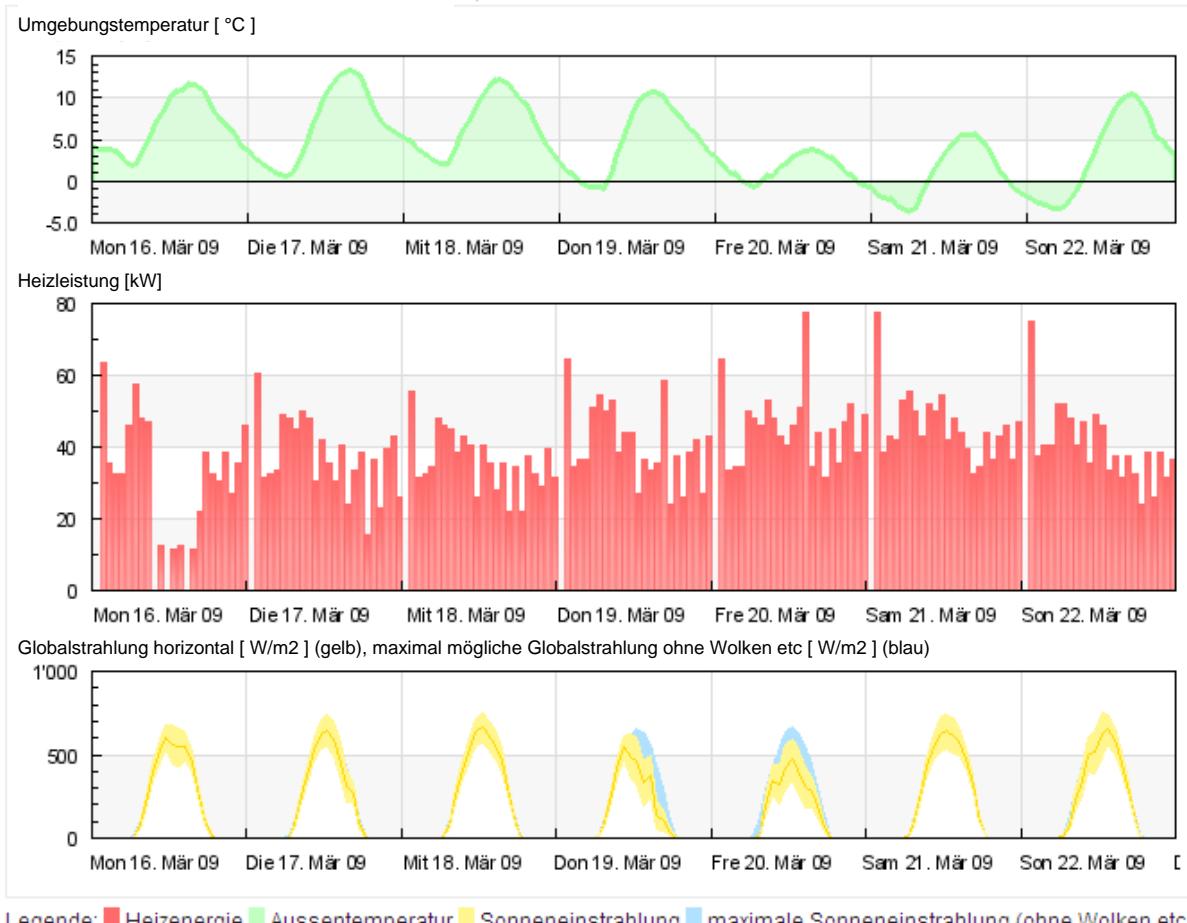


Abbildung 87: Messdaten und Meteodataen der 12. Kalenderwoche 2009 für Gebäude 11. Angezeigt werden die Stundenmittelwerte.

Werden die Tagesdurchschnittswerte der Heizleistung gegen die Umgebungstemperatur aufgetragen, ergibt sich eine abnehmende Leistung mit zunehmender Umgebungstemperatur (siehe Abbildung 88). Zwischen einer durchschnittlichen täglichen Aussentemperatur von 8 bis 15°C weisen die Messwerte eine sehr hohe Streuung auf. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Gebäude in diesem Zeitraum saniert wurde und sich deshalb verschiedene Heizkurven überlagern. Es fehlen Messwerte bei mittleren Tagestemperaturen über 15°C, so dass der Übergang von der Heizsaison zur Sommersaison nicht beobachtet werden konnte. Für die Prognose des Jahresheizenergieverbrauchs wurde die Heizgrenze auf 14°C gesetzt und die mittlere Leistung gemäss Regression bei dieser Umgebungstemperatur als Leistung für die Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste im Sommer angenommen. Somit ergibt sich eine mittlere Leistung für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste von ca 10'000 W (siehe Abbildung 91). Es wird ein Heizenergieverbrauch von 19'400 m³ Gas in einer durchschnittlichen Heizsaison prognostiziert und zusätzlich 2'500 m³ Gas im Sommer für Brauchwassererwärmung und Zirkulationsverluste.

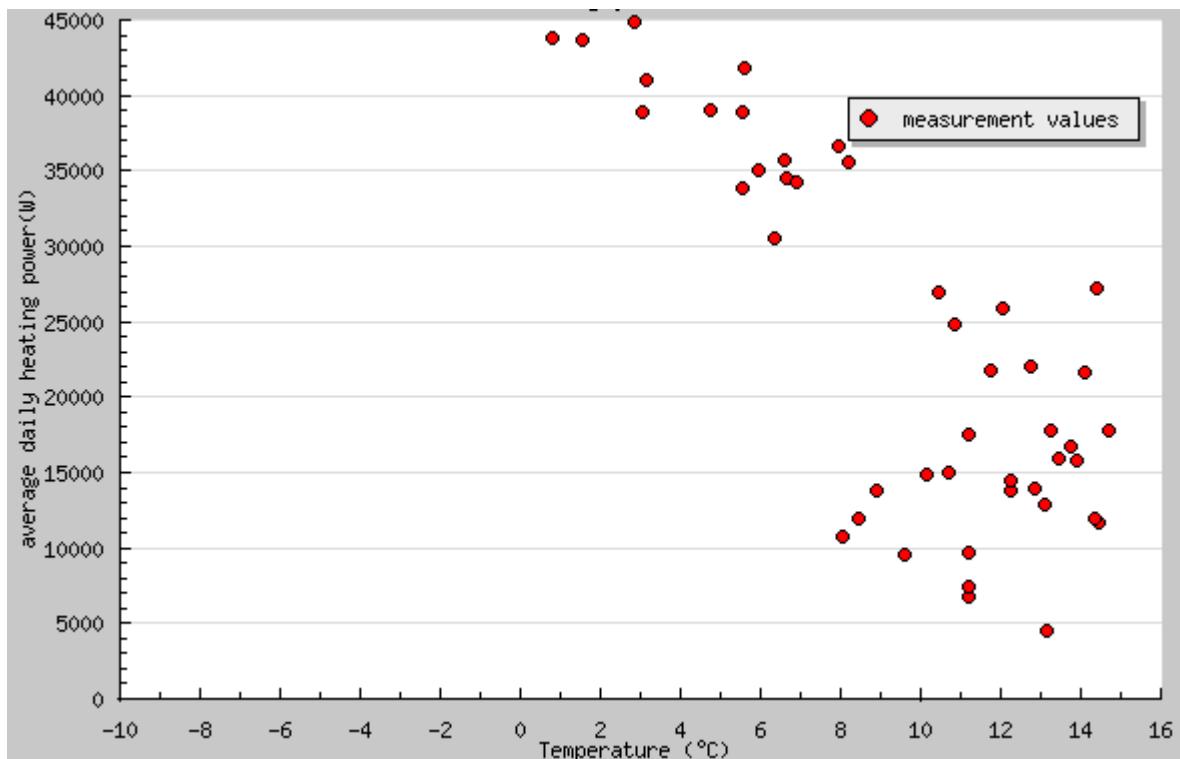


Abbildung 88: Korrelation zwischen Tagesmittelwert der Umgebungstemperatur und Heizleistung für das Gebäude Nr. 11.

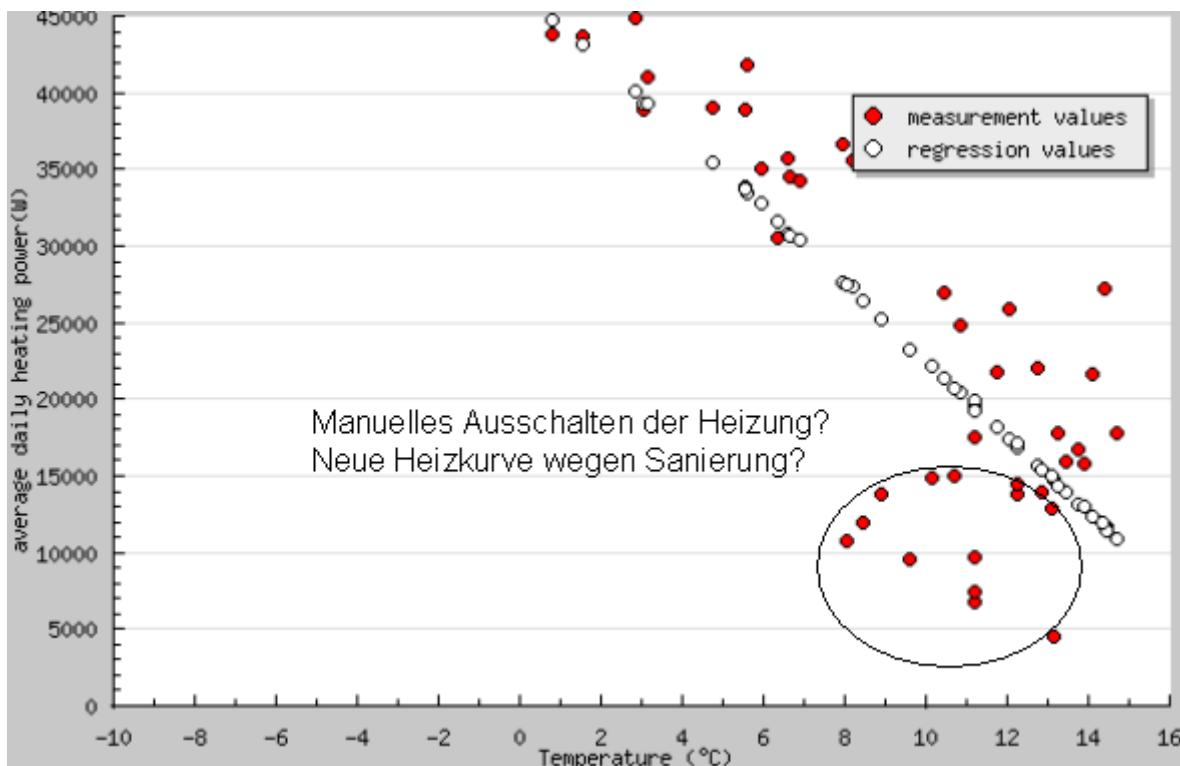


Abbildung 89: Korrelation zwischen Tagesmittelwerten der Umgebungstemperatur und durchschnittlicher täglicher Heizleistung für Gebäude Nr. 11. Ebenfalls eingezeichnet sind die Regressionswerte.

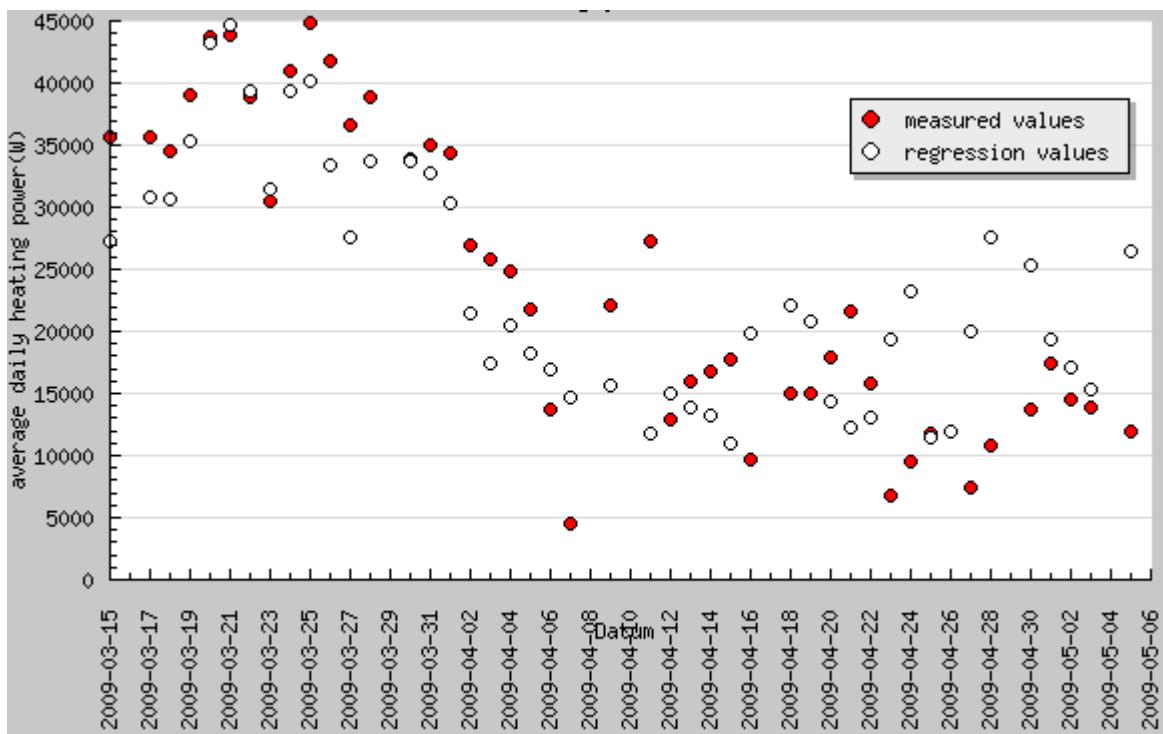


Abbildung 90: Dieselben Werte wie in der vorhergehenden Abbildung, aber mit der Zeit anstelle der Umgebungstemperatur auf der x-Achse.

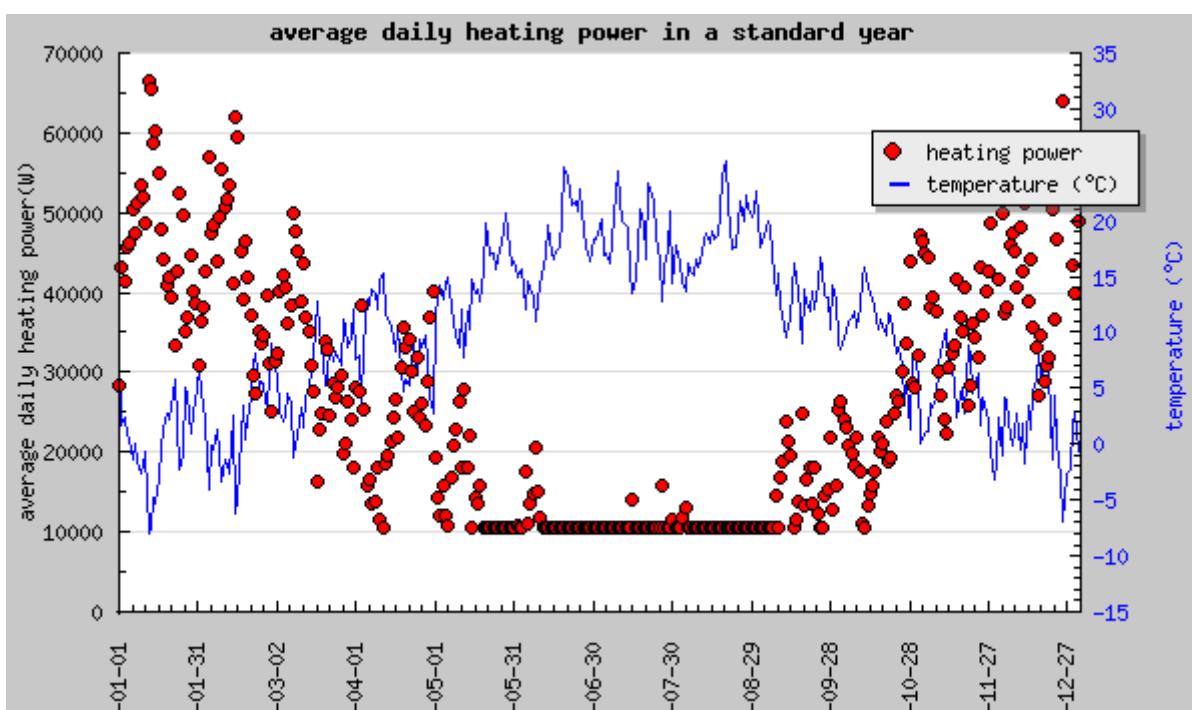


Abbildung 91: Prognostizierte Tagesmittelwerte der Heizenergie für ein Standardjahr.

