



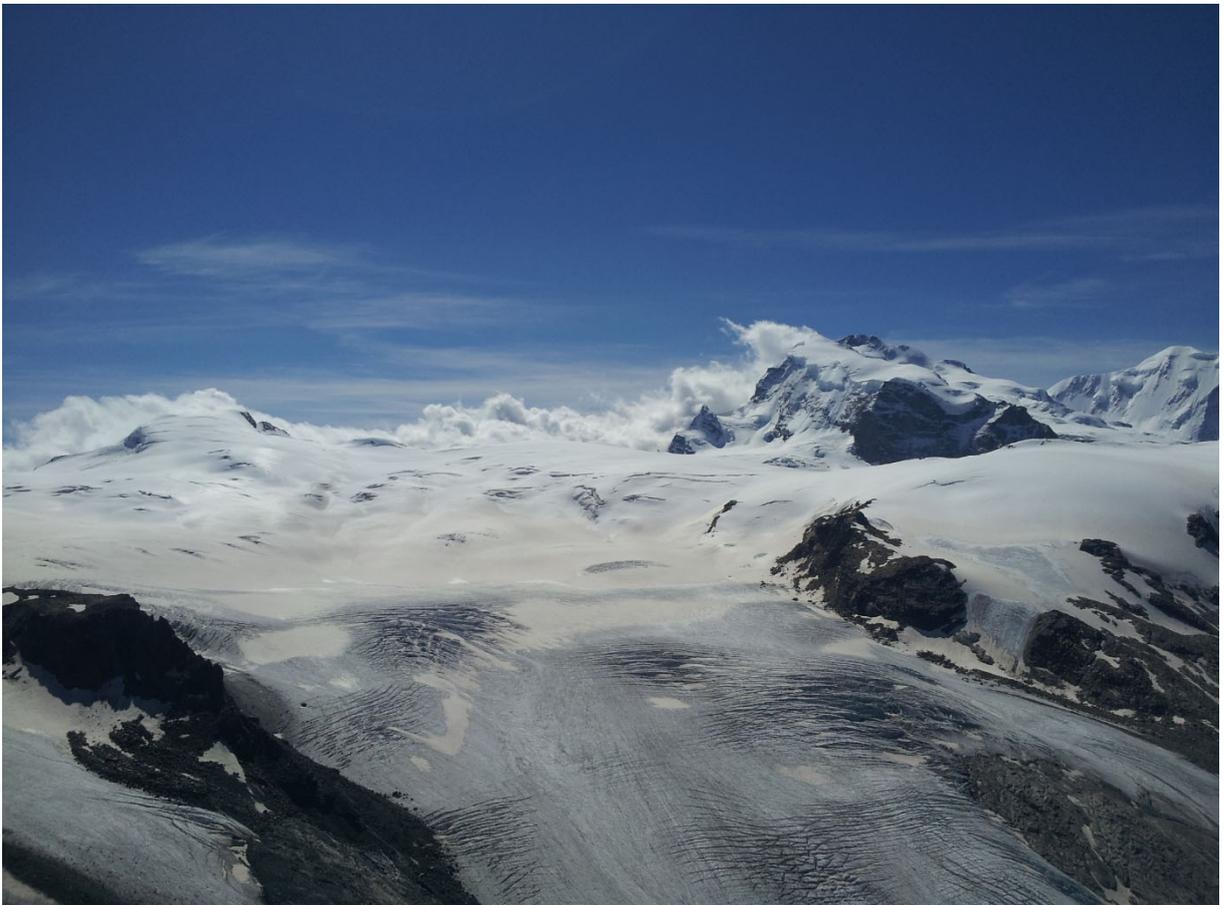
Schlussbericht 25. März 2019

---

## KlimaGapLite

# Literaturrecherche zu den bestehenden Methoden zur Witterungsbereinigung im Gebäudebereich

---



Sicht auf den Findelgletscher und das Monterosa Massiv ©SPF 2019



**Datum:** 25. März 2019

**Ort:** Rapperswil

**Auftraggeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Gebäude  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

SPF Institut für Solartechnik  
Hochschule für Technik Rapperswil HSR  
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil  
[www.spf.ch](http://www.spf.ch)

**Autoren:**

Igor Mojic, SPF Institut für Solartechnik, [igor.mojic@spf.ch](mailto:igor.mojic@spf.ch)  
Michel Haller, SPF Institut für Solartechnik, [michel.haller@spf.ch](mailto:michel.haller@spf.ch)

**BFE-Bereichsleitung:** Andreas Eckmanns, [andreas.eckmanns@bfe.admin.ch](mailto:andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)

**BFE-Programmleitung:** Rolf Moser, [moser@enerconom.ch](mailto:moser@enerconom.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501812-01

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

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Zusammenfassung

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat in den vergangenen Jahren einige Studien zum Thema Performance Gap in Auftrag gegeben. Dabei wurde festgestellt, dass die Klimakorrektur der Energiemessdaten einen starken Einfluss auf die Bestimmung des Performance Gap haben kann. Aus diesem Grund wurde das SPF beauftragt, eine Literaturstudie zu den Methoden der Klimakorrektur auszuarbeiten und weiteren Forschungsbedarf abzuklären. Bis zur Einführung der SIA 380:2015 wurde in der Schweiz der gemessene Heizwärmeverbrauch üblicherweise mittels der Heizgradtag-Methode witterungsbereinigt. Mit der Einführung der neuen Norm wird jedoch die Methode der akkumulierten Temperaturdifferenzen (ATD) empfohlen, welche in den meisten Ländern der Welt verwendet wird. Die Literaturrecherche zeigt, dass die grösste Herausforderung darin liegt die richtige Basistemperatur (Heizgrenze) für ein Gebäude zu bestimmen. Mit diesem Wert werden vereinfacht alle veränderlichen Gebäudeeigenschaften die einen Einfluss auf den Heizwärmebedarf haben, zusammengefasst. Die Schwäche der beiden genannten Methoden ist, dass diese davon ausgehen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Aussentemperatur besteht. Dies ist jedoch mit den neuen Baustandards (Passiv-/ Niedrigenergiehäuser) eine zu grobe Vereinfachung, da bei diesen Gebäuden die Nutzer oder klimatische Effekte wie die Solarstrahlung einen viel stärkeren Einfluss auf den Energiebedarf haben als bei älteren Gebäuden. Generell empfiehlt sich, die Basistemperatur möglichst für jedes Gebäude separat zu ermitteln, da die Verwendung der Standard Basistemperatur von 12 °C zu grossen Abweichungen führt. Falls diese jedoch nicht ermittelt werden kann, ist man zumindest bei Wohnbauten besser beraten, die HGT-Methode zu verwenden und nicht die ATD-Methode. Wir empfehlen neue Ansätze, die in der Literatur beschrieben werden, genauer zu untersuchen und ihre Anwendung für die Schweiz zu prüfen. Diese können als Ersatz der bestehenden Methoden oder aber auch als Ergänzung dienen, je nach Anwendungsfall.

## Résumé

L'Office Fédéral de l'Energie (OFEN) a par le passé commandité plusieurs études sur le thème de l'écart de performance. Il a été constaté que la normalisation météorologique des mesures énergétiques pouvait avoir une forte influence sur la détermination des écarts de performance. De fait, le SPF a été mandaté entre autres pour effectuer une étude bibliographique sur la méthode de normalisation météorologique. Jusqu'à la mise en place de la SIA 380:2015 la correction en fonction des conditions météorologique des besoins de chauffage s'effectuait en suisse selon la méthode degré-jour. Avec l'introduction de la nouvelle norme, la méthode des différences de température cumulées, est désormais conseillée. D'après la littérature, le plus gros challenge consiste à estimer la température de base (température limite de chauffage) pour un bâtiment. Cette valeur englobe toutes les caractéristiques du bâtiment ayant une influence sur les besoins en chauffage. Le point faible des deux méthodes est qu'elles assument une relation linéaire entre les besoins de chauffage et la température extérieure. Cette hypothèse est trop simpliste pour les nouveaux standards de construction (maison passive ou à basse consommation) étant donné que l'utilisateur ou les conditions météorologiques comme l'ensoleillement ont un effet sur les besoins énergétiques bien plus prononcés sur ce type de bâtiments que pour des bâtiments plus anciens. Comme l'utilisation d'une température de base standard de 12 °C engendre de trop grandes divergences, il convient de déterminer la température de base spécifiquement pour chaque bâtiment. Si cela n'est pas possible, la méthode HGT est à privilégier face à la méthode ATD, au moins pour les bâtiments résidentiels. Nous conseillons d'étudier plus précisément les nouvelles approches



décrites dans la littérature et de vérifier leur applicabilité en Suisse. Ces dernières pourraient remplacer ou compléter les méthodes actuelles en fonction de l'application.

## Summary

In recent years, the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) has commissioned several studies on the so-called "performance gap". It was found that the weather normalization of the energy measurement data can have a strong influence on the determination of the performance gap. For this reason, the Institute for Solar Technology (SPF) was commissioned to prepare a literature study on the methods of weather normalization and to clarify further research needs. Until the introduction of SIA 380:2015, the measured space heating consumption in Switzerland was usually weather-adjusted by using the heating degree day method. However, with the introduction of the new standard, the Accumulated Temperature Differences (ATD) method, which is used in most countries of the world, is recommended. Literature research shows that the greatest challenge is to determine the correct base temperature (heating limit) for a building. With this value, all variable building properties that have an influence on the space heating demand are summarized in a simplified way. The weakness of these two methods is that they assume that there is a linear relationship between energy demand and ambient temperature. However, with the new building standards (passive house, low-energy building) this is too much of a simplification, since in these buildings the user behavior or climatic effects such as solar irradiance have a much stronger influence on the energy demand than in older buildings. In general, it is advisable to determine, if possible, the base temperature for each building separately, as the use of the standard base temperature of 12 °C leads to large deviations. However, if this cannot be determined, at least for residential buildings it is better to use the HGT-method and not the ATD-method. We recommend to investigate new approaches described in the literature and to check their application for Switzerland. These can be used as a replacement for existing methods or also as a supplement, depending on the application.



## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>3</b>
<b>Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Literaturrecherche</b> .....	<b>8</b>
2.1 Akkumulierte Temperaturdifferenz ATD .....	8
2.2 Heizgradtage .....	17
2.3 Berücksichtigung der Solarstrahlung.....	20
2.4 Neuberechnung mit aktuellen Klimadaten.....	21
<b>3 Schlussfolgerungen</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Bibliographie</b> .....	<b>24</b>



## Abkürzungsverzeichnis

ATD	Akumulierte Temperaturdifferenzen
BFE	Bundesamt für Energie
BT	Basistemperatur
CDD	Cooling Degree Days
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
DACH	Deutschland (D), Österreich (A), Schweiz (CH)
GTS	Gradtage und Solarstrahlung
HDD	Heating Degree Days
HG	Heizgrenze
HGT	Heizgradtage
MFH	Mehrfamilienhaus
PTD	Proportionale Temperaturdifferenzen
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein



## 1 Einleitung

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat im Jahr 2016 bei einer Projektausschreibung neun Projekte zum Thema Performance Gap in Auftrag gegeben. Der Performance Gap beschreibt umgangssprachlich die Differenz zwischen geplantem und dem real gemessenen Energiebedarf. Dabei haben einige Studien [1–3] einen Mehrbedarf gegenüber der Planung feststellen können. Auf die Ursachen und die Zusammenhänge zum Performance Gap wird in dieser Studie nicht weiter eingegangen. Um jedoch einen Performance Gap feststellen zu können, müssen die Energieverbrauchsdaten eines Gebäudes unbedingt normalisiert werden, damit diese entweder mit der Normrechnung (z.B. SIA 380/1) vergleichbar werden oder mit anderen Jahren verglichen werden können. Da in zwei Studien [1,4] zum Performance Gap Unstimmigkeiten bezüglich der bestehenden Methoden zur Klimakorrektur festgestellt wurden, hat das BFE diese Literaturstudie in Auftrag gegeben, in welcher der Stand der Technik erfasst und weiterer Forschungsbedarf überprüft werden soll.

### Die Situation in der Schweiz

In der Schweiz wird seit Jahrzehnten die Heizgradtag-Methode (HGT) für die Witterungsbereinigung von Energiemessdaten verwendet. Diese wurde in der Norm SIA 381/3:1982 [5] beschrieben und seither nicht mehr angepasst. Mit der Einführung der neuen Norm SIA 380:2015 [6] wurde die Methode der akkumulierten Temperaturdifferenzen (ATD) auch in der Schweiz als Standard festgelegt. Diese gilt schon in vielen Ländern als Standard und wurde auf Grund der europäischen Norm EN 15927-6:2007 [7] auch in der Schweiz eingeführt. Untersuchungen der SIA haben gezeigt, dass die ATD-Methode den Heizwärmebedarf eines Gebäudes übers Jahr besser abbildet [8]. Deshalb sind nun einige Kantone bestrebt, von der HGT auf die ATD-Methode zu wechseln. Der Kanton Zürich wiederum empfiehlt auf einen Wechsel zu verzichten. Grundlage für diesen Entscheid waren eigene Untersuchungen [9] die zu ähnlichen Ergebnissen geführt haben wie die beiden oben erwähnten Performance Gap Studien.

Eine weitere Möglichkeit ist, ganz auf eine Klimakorrektur zu verzichten, was zum Beispiel im Monitoring-Standard für Gebäude und Areale [10] empfohlen wird, falls eine Messreihe von mind. drei Jahren zur Verfügung steht. Aus diesen drei Jahren wird anschliessend ein Mittelwert gebildet. Ein solches Vorgehen ist aus Sicht der Autoren nicht zu empfehlen, da die Unsicherheit als viel grösser eingestuft wird als wenn eine Klimakorrektur nach ATD oder HGT durchgeführt wird. Gerade in Bezug auf den Klimawandel ist eine Messreihe von drei Jahren gering, da sich extreme Wettersituationen häufen und damit auch einzelne Jahre kaum repräsentativ sind. Deshalb sind Messwerte einzelner Jahre untereinander nicht vergleichbar.

In Bezug auf den Klimawandel wird das Thema Kühlen auch in der Schweiz immer wichtiger. Es gibt jedoch keine Empfehlungen oder Richtlinien welche ausführen, wie Kältebedarfsdaten einer Klimakorrektur unterzogen werden sollen.



## 2 Literaturrecherche

Der Fokus dieser Arbeit lag zu Beginn vor allem auf Studien aus dem deutschen Sprachraum (DACH). Die Anzahl gefundener Studien aus dieser Region war jedoch gering. Vor allem ältere Studien stammen eher aus dem englischen Sprachraum. In den USA und England wurde viel Grundlagenarbeit auf diesem Gebiet geleistet. Neuere Studien stammen häufig aus dem europäischen Raum, im speziellen kann hier Italien genannt werden.

Insgesamt wurden 41 Studien zum Thema Klimakorrektur analysiert. Der überwiegende Teil der Studien befasst sich mit der Bedarfsberechnung von Heizwärme oder Kühlenergie und nicht spezifisch mit der Witterungsreinigung von Energiemessdaten (nur ca. 10 von 41). In den meisten Fällen ist es jedoch so, dass die beschriebenen Methoden sowohl für die Bedarfsberechnung als auch für die Klimakorrektur verwendet werden können. Es liegt in der Natur der Sache, dass sich aus jeder Bedarfsberechnung auch eine Klimakorrekturberechnung ableiten lässt.

Die Stossrichtung der gefundenen Literatur lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Energiebedarfsberechnung über die akkumulierten Temperaturdifferenzen (ATD, englisch DD oder HDD)
- Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden
- Klimakorrektur und Ermittlung von Gesamtenergiestatistiken (ganze Länder)
- Klimakorrektur von gemessenen Energiedaten für einzelne Gebäude

Auffällig war, dass sich die meisten Studien auf die Endenergie beziehen und nicht auf die Nutzenergie, damit fließt zum Beispiel die Effizienz des Wärmeerzeugers auch mit ein in die Auswertung. Auch befassen sich neuere Studien vermehrt mit der Kühlung und weniger mit dem Heizfall.

Nachfolgend werden die einzelnen Methoden, die in der Literatur beschrieben sind, aufgeführt und diskutiert. Dabei werden nur Methoden beschrieben die auch eine Relevanz für die Schweiz haben. Studien und Methoden die sich vor allem mit tropischen Ländern befassen werden hier nicht weiter erläutert.

### 2.1 Akkumulierte Temperaturdifferenz ATD

Die ATD entsprechen auf Englisch ausgedrückt den Degree-Days (DD) oder auch Heating Degree Days (HDD) welche neu auch in der Schweiz genutzt werden für die Witterungsreinigung von Messdaten. Zu beachten ist, dass die ATD nicht den HGT entsprechen, was eine direkte Übersetzung aus dem Englischen vermuten lassen würde ( $HGT \neq HDD$ ). Auf die Unterschiede zwischen ATD und HGT wird im Kapitel 2.2 genauer eingegangen. Der Einfluss der Witterung auf den Gebäudeenergiebedarf wurde schon 1906 und 1911 beschrieben [11]. Die Berechnungsmethode der ATD in Bezug auf Gebäude ist mehr als 90 Jahre alt: schon im Jahr 1920 wurde sie für die Ermittlung des Energieverbrauchs von Gebäuden in Abhängigkeit der Witterung beschrieben [12]. Der eigentliche Ursprung der ATD stammt aus dem Jahr 1878 mit deren Hilfe in der Landwirtschaft die Länge der Vegetationsperiode bestimmt wurde [12].



Die ATD-Methode stellt eine der einfachsten Berechnungsformen dar um den Energiebedarf von Gebäuden an verschiedenen Standorten zu berechnen. Dabei werden zusätzlich zur Mitteltemperatur für jeden Tag im Jahr nur zwei konstante Parameter benötigt:

- Basistemperatur (Erklärung folgt)
- Wärmeverluste des Gebäudes (UA-Werte und Lüftungsverluste)

Die Gleichung dazu kann wie folgt beschrieben werden:

$$\text{Gl. 1} \quad Q_H = H \cdot ATD \cdot t_h$$

Wobei  $H$  dem Verlustkoeffizienten in  $W/K$  des Gebäudes entspricht und  $t_h$  den Stunden an denen die Heizung über einen Tag betrachtet im Betrieb ist, in der Regel sind das 24 h/d. Die Berechnung der ATD ist in der Gleichung 2 beschrieben.

Mit dieser Methode lassen sich schnell und einfach unterschiedliche Gebäude miteinander vergleichen oder energetisch optimieren. Man kann einfach ermitteln, welche Änderungen an der Gebäudehülle zu welchen energetischen Effekten führen. Da sehr wenige Parameter benötigt werden, sinkt auch das Risiko falscher Eingabewerte. Dynamische Jahressimulationen sind beispielsweise sehr komplex und können nur von Spezialisten ausgeführt werden. Da viele Werte notwendig sind, sind auch Eingabefehler eher wahrscheinlich. Andererseits können ohne Simulation nur wenige Gebäudeparameter untersucht werden und dies mit einer geringen Detaillierungstiefe.

In den 80er Jahren wurden in den USA vermehrt Energiesparprogramme gefördert. Jedoch gab es noch kein standardisiertes Vorgehen dafür, wie die Energieeinsparungen berechnet und ausgewiesen werden sollten. Eine der ersten kritischen Publikation dazu wurde von Margaret F. Fels [11] verfasst. Sie beschreibt, dass unverschämt hohe Einsparungen ausgewiesen werden, basierend auf Berechnungsmodellen die nicht mit realen Messungen validiert worden sind. Das Thema war von hoher Relevanz, weil die US-Behörden die energetische Sanierung mit Fördergeldern forciert hatten. Der Nutzen von Energiesparmassnahmen kann nur ausgewiesen werden, wenn der Witterungseinfluss richtig korrigiert wird. Die Ermittlung von Energieeinsparungen im Gebäudebereich ist heute wieder äusserst aktuell auf Grund der Bestrebungen des Bundes zur Umsetzung der Energiestrategie 2050, den Energiebedarf von Gebäuden zu senken. Auch Businessmodelle von Energiedienstleistern (zum Beispiel Energiespar-Contracting) sind angewiesen auf genaue Berechnungsmodelle.

Über die Jahrzehnte wurden unterschiedliche Berechnungsvarianten der ATD ausgearbeitet, die wichtigsten werden nachfolgend mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben.

### 2.1.1 Fixe Basistemperatur

Die einfachste Berechnungsmethode der ATD wird im Wesentlichen über die Tagesmittelwerte der Aussenlufttemperatur bestimmt. Dabei wird die Differenz zwischen einer Basistemperatur ( $\theta_b$ ) und der mittleren Tagesaussentemperaturen ( $\theta_{amb,m}$ ), unter der Bedingung, dass die Aussentemperatur die Basistemperatur unterschreitet (+), gemäss nachfolgender Formel berechnet:

$$\text{Gl. 2} \quad ATD = \sum(\theta_b - \theta_{amb,m})^+$$



Die Basistemperatur entspricht der Heizgrenze und ist damit gebäudespezifisch. Sie entspricht der Aussentemperatur bei welcher die gewünschte Innenraumtemperatur ohne aktive Heizung erreicht wird. Dies ist dann der Fall, wenn die internen Gewinne oder die solaren Gewinne die Wärmeverluste des Gebäudes kompensieren können. In den allermeisten Fällen wird eine fixe Basistemperatur für alle Gebäude gewählt. Diese ist von Land zu Land unterschiedlich:

- Schweiz (SIA 380:2015 [6]), Österreich [13], Italien [14]: 12 °C
- Deutschland [15]:
  - 15 °C Bestandsgebäude
  - 12 °C Niedrigenergiehäuser
  - 10 °C Passivhäuser
- England [12]: 15.5 °C
- USA [16] und Frankreich [17]: 18 °C
- Dänemark [17]: 17 °C
- EU Norm [7]: 12 °C

Es ist auffällig, dass die deutschsprachigen Länder eher tiefe Heizgrenzen, respektive Basistemperaturen verwenden. Überraschend ist der grosse Unterschied zu Dänemark, hier würde man ähnliche Werte erwarten wie in Deutschland, da die Gebäudeanforderungen bezüglich Dämmstandard in Dänemark nicht tiefer sind als in Deutschland [18].

**Der Vorteil** der ATD-Methode mit fixer Basistemperatur ist, dass sehr schnell und einfach Berechnungen zum Energiebedarf eines Gebäudes durchgeführt werden können. Gegenüber der noch einfacheren Methode nach EN ISO 13790-2004 [19], welche direkt die mittlere Tagesaussentemperatur verwendet, werden mit der ATD-Methode klimaextreme geglättet und Temperaturwerte oberhalb der Heizgrenze nicht berücksichtigt (da kein Heizwärmebedarf).

**Der Nachteil** liegt darin, dass die Basistemperatur als fixer Wert betrachtet wird, was eine grobe Vereinfachung ist. Denn die Basistemperatur ist von Objekt zu Objekt unterschiedlich und hängt stark von folgenden Parametern ab:

- Transmissionsverluste Gebäudehülle
- Wärmekapazität (vor allem relevant bei hoher zeitlicher Auflösung)
- Lüftungsverluste
- Solare Gewinne
- Interne Gewinne

Da die Lüftungsverluste, die solaren wie auch die internen Gewinne zum Teil stark vom Nutzerverhalten abhängig sind, kann eine Standardbasistemperatur über alle Gebäude zu einer hohen Streuung der ATD führen [20,21]. Den grössten Einfluss hat jedoch die Gebäudehülle über die Transmissionsverluste. Weiter wurde schon 1983 von Hitchin [22] darauf hingewiesen, dass die Basistemperatur für ein Gebäude auf Grund der Solarstrahlung innerhalb des Jahres stark variiert. Im Projekt ImmoGap [1] wurde festgestellt, dass das Benutzerverhalten in der Übergangszeit bezüglich Lüftung und Verschattung deutlich abweicht zum Winter. Der Wärmebedarf sinkt nicht linear mit zunehmender Aussentemperatur, weil bei mittleren Tagesaussentemperaturen grösser als ca. 8 °C vermutlich die Lüftungsverluste höher sind auf Grund von vermehrtem Fensteröffnen als in der Theorie angenommen.

Es wird vermutet, dass das Benutzerverhalten zu einem gewissen Grad auch von der Witterung abhängig ist, was im Umkehrschluss bedeutet, dass auch die Basistemperatur selber abhängig ist vom Wetter. Dies widerspricht der Annahme, dass der Wärmebedarf eine lineare Abhängigkeit zur Aussentemperatur hat [12,23–27]. Eine Untersuchung von 3'358 Wohnobjekten in den USA konnte aufzeigen, dass diese Annahme fehlerbehaftet ist [28].

Eine Erkenntnis aus dem Projekt ImmoGap ist, dass die Werte der SIA für die Basistemperatur mit 8 °C, 10 °C und 12 °C sehr tief sind. Die Auswertung von 65 Mehrfamilienhäuser (MFH) hat gezeigt, dass die auf Grund der Energiesignatur ermittelte Heizgrenze im Schnitt bei etwa 17 °C liegt und keines der Häuser eine Basistemperatur von unter 15 °C aufweist. In der nachfolgenden Abbildung sind diese aus der Energiesignatur ermittelten Heizgrenzen aufgeführt.

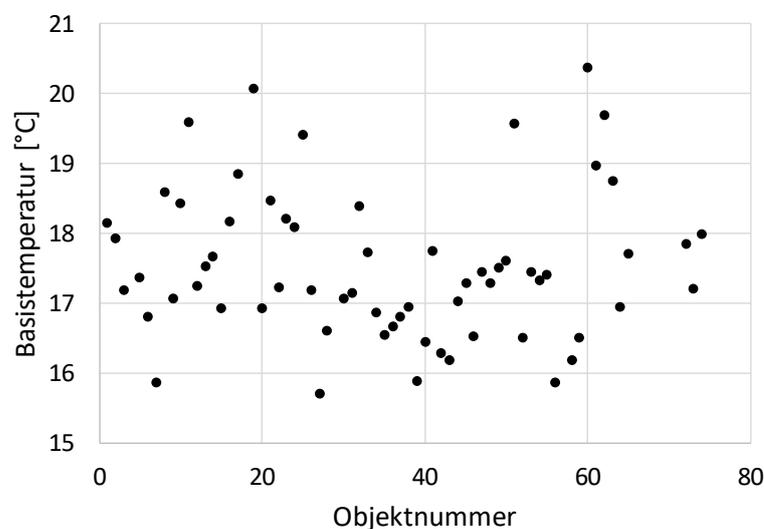


Abbildung 1: Basistemperatur von 65 MFH mit Baujahr 2006 bis 2014 berechnet aus Messdaten.

In der SIA 380:2015 ist grundsätzlich nur eine Berechnung der ATD mittels Tagesmittelwerten vorgesehen. Im Gegensatz dazu empfiehlt das englische Pendant zur SIA (CIBSE) die Berechnung mittels Stundenwerten, wenn diese zur Verfügung stehen. Auch die EU Norm EN ISO 15927-6 (2007) [7] lässt beide Varianten zu. Im Projekt ImmoGap konnten die Autoren feststellen, dass je nach Wahl der zeitlichen Auflösung unterschiedliche Ergebnisse resultieren. Zum Beispiel unterscheiden sich die klimakorrigierten Energiemessdaten in der Übergangszeit (Frühling und Herbst) je nach Wahl der Auflösung stark. Dies weil die Aussentemperatur in der Übergangszeit nahe bei der Basistemperatur liegt. Es konnte keine Literatur ermittelt werden, welche Untersuchungen zu diesem Umstand präsentiert.

Einige Studien [22,29–32] befassen sich mit der Ermittlung der ATD über Daten mit tiefer zeitlicher Auflösung (Monatswerte oder sogar Jahreswerte). Auf Grund der guten meteorologischen Datenlage in der Schweiz besteht kein Anlass zu solchen weitreichenden Vereinfachungen, welche auch einen entsprechenden Verlust an Genauigkeit mit sich bringen. Deshalb werden diese hier auch nicht weiter beschrieben.



## Ermittlung der Tagesmitteltemperatur

Über die Jahre wurden unterschiedliche Varianten zur Ermittlung der Tagesmitteltemperatur ausgearbeitet und für die Berechnung der ATD verwendet. In den USA wird beispielsweise der Mittelwert aus der minimal und der maximal gemessenen Temperatur gebildet [16]. Dies ist historisch bedingt, da stündliche Temperaturen früher nicht zur Verfügung standen. Da dieser Ansatz nicht immer zufriedenstellende Resultate erbringt, wurde vom englischen Meteorologie Zentrum (UKMO) [12] eine weitere Variante erarbeitet. Die Relevanz solcher Methoden für die Schweiz stufen wir als gering ein, da in der Schweiz wie bereits oben erwähnt für alle relevanten Standorte die stündlichen Tagesmitteltemperaturen zur Verfügung stehen.

### 2.1.2 Berechnete Basistemperatur

Es konnten einige Studien [12,22,24,33,34] ausfindig gemacht werden, die eine fixe Basistemperatur auch als problematisch betrachten. Schon sehr früh (1966 [35]) gab es Literatur die darauf hinwies, dass man gebäudespezifische Basistemperaturen nutzen sollte. Dazu gibt es zwei bekannte Methoden die in der Literatur am häufigsten genannten werden.

### Energiesignatur-Methode

Die Ermittlung der Basistemperatur über die sogenannte Energiesignatur wurde wahrscheinlich das erste Mal 1985 [12] beschrieben. Diese wird auch in der SIA 380:2015 [6] beschrieben und empfohlen, unter der Voraussetzung, dass die benötigten Daten vorhanden sind. In Abbildung 2 sind zwei Energiesignaturen abgebildet. Dabei wird der tägliche Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit der mittleren Tagesaussentemperatur dargestellt. Wenn die Energieverbrauchswerte keine Warmwasseraufbereitung enthalten (Grafik links), entspricht die Basistemperatur dem Schnittpunkt der X-Achse und der Trendlinie der Messdaten (rot markiert in der Grafik). Wenn die Energieverbrauchswerte die Warmwasseraufbereitung auch beinhalten – und dies ist leider häufig der Fall - dann führt dies zu einer Verschiebung der Regressionsgeraden und damit zu einer zu hohen Basistemperatur (Abbildung 2, Grafik rechts). Hier müsste der Warmwasserbedarf zuerst durch eine geeignete Methode vom Wärmeverbrauch abgezogen werden, was jedoch die Unsicherheit der Messdaten beträchtlich erhöht. Auch funktioniert die Methode der Energiesignatur nur, wenn der Wärmeeintrag in die Räume reguliert ist, zum Beispiel über Thermostatventile, eine Einzelraumregelung oder Referenzraumregelung. Fehlt eine solche, so werde zeitweise deutlich höhere Raumtemperaturen erreicht, was in der Folge als Raumwärmeeintrag bei hohen Aussentemperaturen registriert wird und über die Energiesignatur zu einer höheren Basistemperaturen führt [36].

Der Nachteil der Energiesignatur-Methode ist, dass tägliche Messwerte benötigt werden, welche für viele bestehende Gebäude fehlen. In Zukunft werden diese aber wohl bei Neubauten vermehrt zur Verfügung stehen (z.B. dank Minergie-Reglement 2017). Die Energiekennlinien-Methode, welche nachfolgenden beschrieben wird, benötigt hingegen keine täglichen Messwerte.

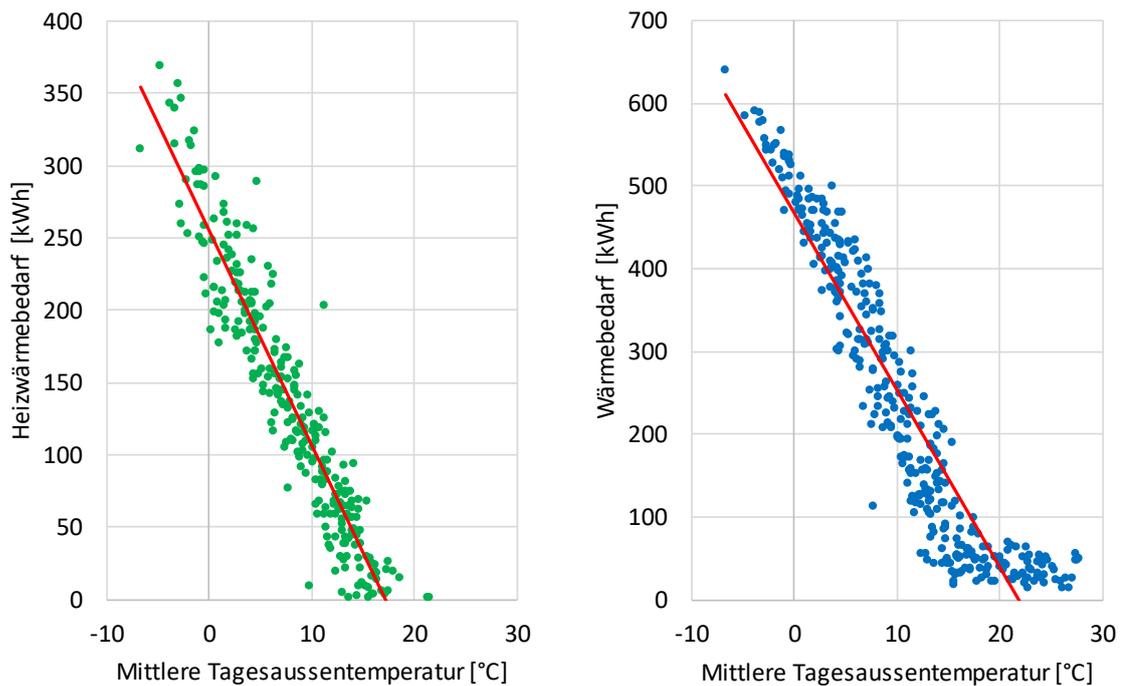


Abbildung 2: Energiesignatur aus Messdaten mit separater Brauchwarmwasser Messung (links) und ohne Trennung von Brauchwarmwasser und Heizung (rechts).

### Energiekennlinien-Methode (performance line<sup>1</sup>)

Die Energiekennlinie stellt den monatlichen Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit der ATD dar. Eine solche Kennlinie ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Vorteil hier ist, dass mittels gemessenen Monatswerten gerechnet wird, welche in der Praxis eher zur Verfügung stehen. Bei dieser Methode wird die Basistemperatur solange variiert, bis die Trendlinie ein möglichst hohes Bestimmtheitsmass ( $R^2$ )<sup>2</sup> aufweist. Dabei geht man davon aus, dass der Zusammenhang zwischen den ATD und dem Energieverbrauch linear ist und damit nur von der Aussentemperatur abhängt. Dies ist jedoch, wie schon weiter oben erwähnt, kritisch zu betrachten.

Nachfolgend wird der Effekt der Basistemperatur auf die Klimakorrektur genauer betrachtet. Dazu wurde in Abbildung 3 von vier MFH aus dem Projekt ImmoGap die Energiekennlinie geplottet. Die auf der x-Achse abgebildeten ATD wurden mit einer fixen Basistemperatur von 12 °C berechnet. Zusätzlich dargestellt sind die Resultate eines Referenzgebäudes, welches nach SIA 380/1 berechnet wurde. Die Gebäudeeigenschaften entsprechen in etwa dem Schnitt der 65 in ImmoGap untersuchten MFH mit Baujahr zwischen 2006 und 2014. In Abbildung 4 ist für dieselben Objekte die Energiekennlinie noch einmal dargestellt. Im Unterschied zu Abbildung 3 wurde nun jedoch die Basistemperatur aus der gemessenen Energiesignatur für jedes Gebäude separat ermittelt. Dabei fällt auf, dass die Energiekennlinien ein deutlich höheres Bestimmtheitsmass aufweisen, wenn sie mit individueller Basistemperatur berechnet wurden, als wenn eine fixe Basistemperatur

<sup>1</sup> Die direkte Übersetzung des Begriffs "performance line" wäre Leistungskennlinie, jedoch wird dieser Begriff in der Schweiz für eine "Energiesignatur" verwendet, welche die Heizleistung in Abhängigkeit der Aussentemperatur darstellt.

<sup>2</sup> Das Bestimmtheitsmass gibt an wie gut eine Punktwolke durch eine Regressionsgerade angenähert werden kann. Dabei wird die "erklärte Streuung" durch die "gesamte Streuung" dividiert, dabei liegt das  $R^2$  immer im Intervall zwischen 0 und 1.



verwendet wurde. Weiter kann festgestellt werden, dass die Trendlinien mit individueller Basistemperatur mehr oder weniger durch den Nullpunkt führen. In Tabelle 1 ist beispielhaft für das Gebäude 33 eine Klimakorrektur mit unterschiedlichen Methoden und Basistemperaturen zusammengefasst. Die Messwerte aus dem Jahr 2015 werden durch die Klimakorrektur auf das SIA Referenzjahr normiert. Die Differenz der ATD mit individueller Basistemperatur und der HGT 20/12 zur ATD 12 beträgt zwischen 6 und 7% für dieses Gebäude. Was im Umkehrschluss bedeutet, dass Energieeinsparungen beispielsweise von 7% oder weniger in der Unsicherheit untergehen. In der Literatur werden Unsicherheiten für die ATD-Methode bis zu 10% ausgewiesen [37], andere Berechnungsbeispiele zeigen, dass Energieeinsparungen von theoretisch 20% durch die Klimakorrektur auf nur noch 5% reduziert werden können [24]. Im Projekt ImmoGap wurde die Unsicherheit der Klimakorrektur sogar auf 37% abgeschätzt (Vertrauensintervall von  $2\sigma$ ).

Interessant ist, dass die HGT-Methode (siehe Tabelle 1), welche in einem späteren Kapitel besprochen wird, zu ähnlichen Ergebnissen führt wie die ATD mit individueller Basistemperatur.

Tabelle 1: Beispielrechnung mit unterschiedlichen Klimakorrektur-Methoden für das Gebäude 33.

	<b>ATD 12</b>	<b>ATD 17.7</b>	<b>HGT 20/12</b>	
Referenzjahr SMA	1674.8	3190.1	3434.8	Kd
2015	1391.4	2855.3	3031.4	Kd
Klimakorrekturfaktor	1.20	1.12	1.13	-
Gemessener Heizwärmeverbrauch	74'740	74'740	74'740	kWh/a
Witterungsbereinigter Heizwärmeverbrauch	89'688	83'709	84'456	kWh/a
Differenz Heizwärmebedarf	Vergleichsbasis	-5979 (-6.7%)	-5232 (-5.8%)	kWh/a

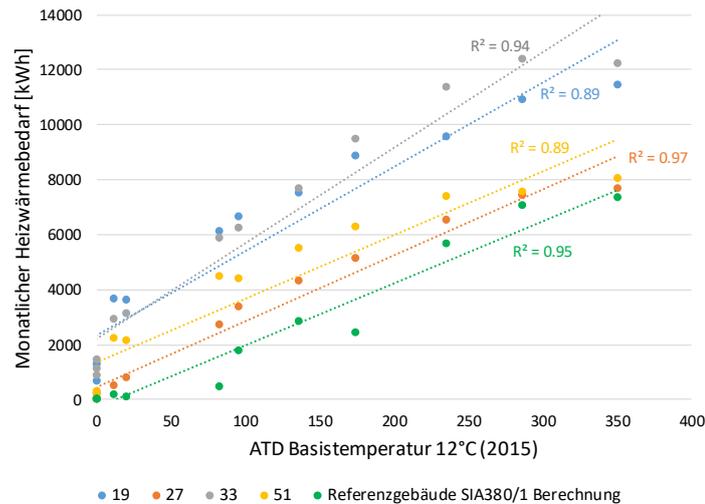


Abbildung 3: Gemessener monatlicher Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der ATD für das Jahr 2015 mit fixer Basistemperatur von 12 °C, für vier Objekte aus dem Projekt ImmoGap.

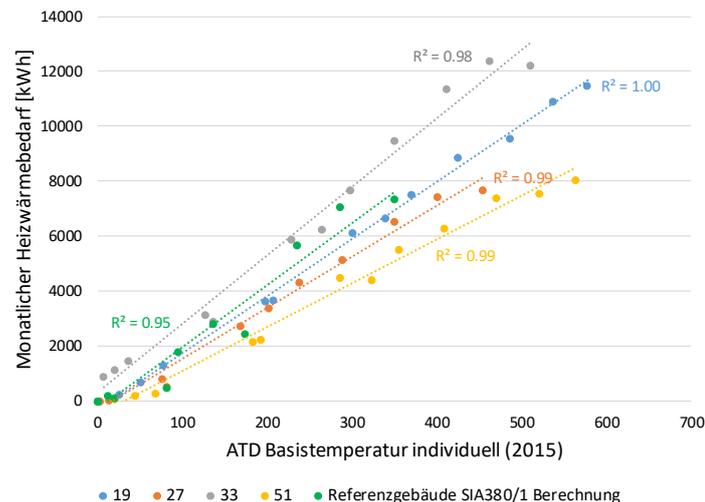


Abbildung 4: Gemessener monatlicher Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der ATD für das Jahr 2015 mit individueller, mittels Energiesignatur ermittelter, Basistemperatur.

Bei der Klimakorrektur von Verwaltungsgebäuden oder Schulen stellen sich andere Herausforderungen als zum Beispiel bei Wohngebäuden. Bei Wohngebäuden kann das Nutzerverhalten den Energiebedarf stark beeinflussen. Bei Verwaltungsgebäuden kann man davon ausgehen, dass der Nutzereinfluss geringer ist, da zum Beispiel die Fensterverschattung häufig automatisiert ist und das Bedürfnis die Fenster zu öffnen im Falle eines funktionierenden Lüftungssystems wahrscheinlich geringer ist. Jedoch spielen die Temperaturabsenkung am Wochenende und Schulferien eine Rolle, und damit auch die thermische Masse. Hier gibt es Ansätze aus England (Admittance Method [12]) wie die Basistemperatur mit Berücksichtigung der thermischen Masse ermittelt werden kann. Ob dies jedoch für die Klimakorrektur der richtige Ansatz ist, wurde nicht thematisiert.

Die meisten Studien die untersucht wurden, beziehen sich auf die Endenergie und selten auf die Nutzenergie. Das bedeutet, dass der Wirkungsgrad der Wärme- oder Kälteerzeugung eine weitere Unsicherheit verursacht. Da die Theorie zu den ATD in Zeiten entwickelt worden ist als vor allem mit Heizöl und Gas geheizt wurde, konnte man davon ausgehen, dass der



Wirkungsgrad der Heizung nicht wesentlich vom Klima beeinflusst wird. Heute werden jedoch vermehrt Luft-Wärmepumpen eingesetzt, bei welchen die Effizienz stark von der Aussentemperatur abhängig ist. Noch stärker ist dies bei Kältemaschinen ausgeprägt, deshalb sind die akkumulierten Kühlgradtage (englisch: CDD) mit noch grösserer Unsicherheit behaftet.

Eine Umrechnung der ATD auf andere Basistemperaturen ohne die stündlichen Aussentemperaturen muss über spezifische Gleichungen erfolgen. Dazu gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen auf die hier nicht im Detail eingegangen wird [5,12]. Wünschenswert wäre eine Ergänzung der SIA 380 mit einer entsprechenden Methode. Damit hätte der Nutzer der Norm eine einfache Möglichkeit, bei Bedarf eine andere Basistemperatur für sein Gebäude zu verwenden.

### **Komplexe Berechnungsansätze**

Einen Ansatz für die Ermittlung der Basistemperatur für jeden Tag, welcher es erlaubt die ATD noch genauer zu ermitteln, zeigt eine Studie von Day et. al. [37]. Der Ansatz ist interessant, kann jedoch in der Praxis für die meisten Fälle nicht angewendet werden, denn dieser Ansatz erfordert die Kenntnis aller Wärmeverluste (U-Wert, total) als Einzelwerte eines Gebäudes, eine sehr gute Abschätzung der internen Gewinne und die mittlere Raumtemperatur. Dies könnte zukünftig für professionell bewirtschaftete Büro- und Schulgebäude interessant sein, für ältere Wohngebäude ist der Aufwand jedoch viel zu gross. Ein ähnlicher Ansatz ist die Verwendung von sogenannten Grey-Box-Modellen [34], was vereinfacht bedeutet, dass die Basistemperatur in Abhängigkeit von Messungen (Anwendung von Statistik) und Berechnungen ermittelt wird. Dabei kann sowohl die Solarstrahlung als auch – für Kühlanwendungen - die relative Feuchtigkeit mitberücksichtigt werden. Dieser Ansatz wurde vor allem hinsichtlich der Witterungsbereinigung im Kühlfall entwickelt.

Ein interessanter Ansatz wurde von Lindelöf [24] beschrieben. Im Vergleich zum vorangehenden Ansatz wird nur der Wärmeverlustkoeffizient des Gebäudes benötigt. Dabei wird der Statistische Ansatz von Bayes verwendet, welcher die Ermittlung der Basistemperatur auf Grund von variablen Energiemessungen ermöglicht. Der Nachteil dieser Methode ist, dass für die Berechnung eine Software benötigt wird und somit nicht von jedermann von Hand berechnet werden kann. Nichtsdestotrotz, ein spannender Ansatz welcher weiterverfolgt werden sollte, eine vertiefte Validierung mit Messdaten wäre sinnvoll.

Aus dem BFE Projekt EnBo [4] wurde die Methode der proportionalen Temperaturdifferenz (PTD) entwickelt, da die Witterungsbereinigung mit den Standardmethoden (HGT, ATD) zu unbefriedigenden Ergebnissen führte. Dieser Ansatz benötigt wie auch die oberen zwei Ansätze die Kenntnis von einigen Gebäudeparametern (Raumtemperatur, Transmissionsverluste, Wärmegewinne). Diese Parameter können beispielsweise aus dem Energienachweis abgeleitet werden, woher diese Daten genau stammen sollen, wurde im Bericht nicht definiert und könnte in einem zweiten Schritt erarbeitet werden. Ein Nachteil wie im Fall von Lindelöf ist, dass eine Software für die Klimakorrektur benötigt wird.



## 2.2 Heizgradtage

Die Heizgradtage wurden vor allem in der Schweiz, Österreich, Deutschland und Italien verwendet. Diese unterscheiden sich zu den ATD darin, dass nicht eine Differenz zwischen Basistemperatur und Aussentemperatur gebildet wird, sondern zwischen Innenraumtemperatur und Aussentemperatur. In beiden Methoden wird die Differenz erst bei unterschreiten einer bestimmten Basistemperatur (Heizgrenze) summiert. In der Schweiz wird eine Heizgrenze von 12 °C für beide Methoden verwendet. Die aktuellsten Berechnungsgrundlagen zu den Heizgradtagen stammen aus dem Jahr 1982 und werden in der SIA 381/3 [5] beschrieben. Auf Grund der EN ISO 15927-6 [7] empfiehlt nun auch die SIA von den HGT auf die ATD zu wechseln, da Untersuchungen gezeigt haben, dass der Jahresverlauf mit den ATD realistischer abgebildet wird [8]. Aktuelle Studien [1,4,9,38] zum Energieverbrauch von einer grösseren Anzahl Wohnhäuser zeigen jedoch, dass die ATD-Methode nicht grundsätzlich eine bessere Klimakorrektur durchführt als die HGT-Methode. Beide Methoden haben die Schwäche, dass sie den Heizwärmebedarf eines Gebäudes ausschliesslich von der Aussentemperatur abhängig machen. In der SIA 381/3:1982 wird auch darauf hingewiesen, dass dies eine Vereinfachung darstellt. Wie schon im Kapitel 2.1.2 gezeigt, ist es entscheidend, die richtige, für jedes Gebäude individuell bestimmte, Basistemperatur zu verwenden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen für fünf Gebäude aus dem Projekt ImmoGap die Energiekennlinie in Abhängigkeit der ATD und der HGT. Dabei fällt auf, dass für die HGT-Methode mit der Standard-Basistemperatur von 12 °C das Bestimmtheitsmass höher ist als bei der ATD-Methode. Auch ist der Achsenabschnitt geringer. Es ist auch möglich die HGT-Methode mit einer individuellen Basistemperatur (Heizgrenze) zu verwenden. Dies erfordert jedoch eine eigene Berechnung da nicht die Daten von MeteoSchweiz genutzt werden können (Standardmässig HGT 20/12). Dies wurde für die fünf Objekte in Abbildung 8 gemacht. Berechnet man für jedes Gebäude die individuelle Basistemperatur (Energiesignatur) dann liefert, über alle Gebäude gesehen, die ATD-Methode bessere Resultate. Damit wird deutlich, dass eine pauschale Aussage, welche Methode die bessere ist nicht einfach so getroffen werden kann, es hängt sehr stark davon ab ob man die individuelle Basistemperatur kennt oder nicht. Wenn nur das Referenzgebäude betrachtet, welches nach SIA 380/1:2009 berechnet wurde (in Lesosai) dann fällt auf, dass mit ATD 12 ein höheres Bestimmtheitsmass erreicht wird als mit HGT 20/12. Ein Grund dafür ist, dass die SIA 380/1 Berechnung (Standardnutzung) nicht das reale Benutzerverhalten abbildet und in einem solchen Fall die ATD-Methode mit Basistemperatur von 12 °C die Standardnutzung gut abbilden kann. Das bedeutet, dass neben theoretischen Modellen auch reale Messdaten bei einer Validierung von Klimakorrekturen verwendet werden sollten.

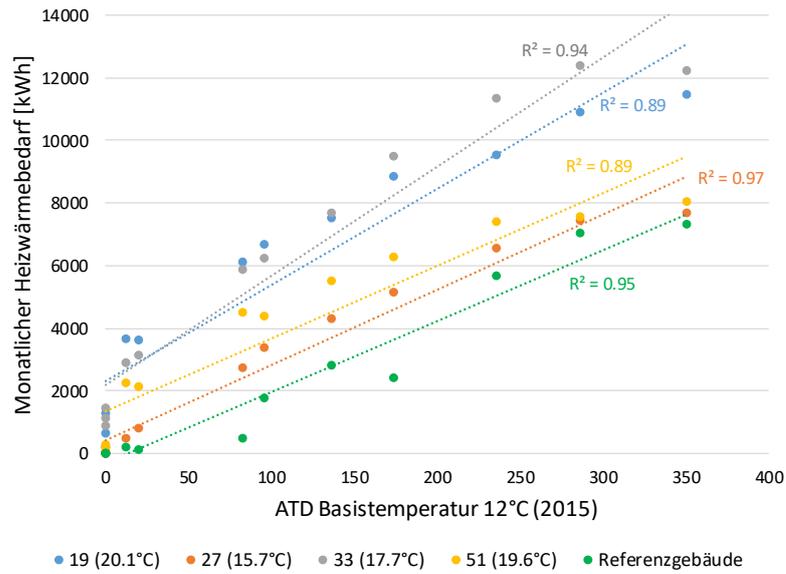


Abbildung 5: Energiekennlinie basierend auf der ATD-Methode von fünf MFH mit fixer Basistemperatur von 12 °C.

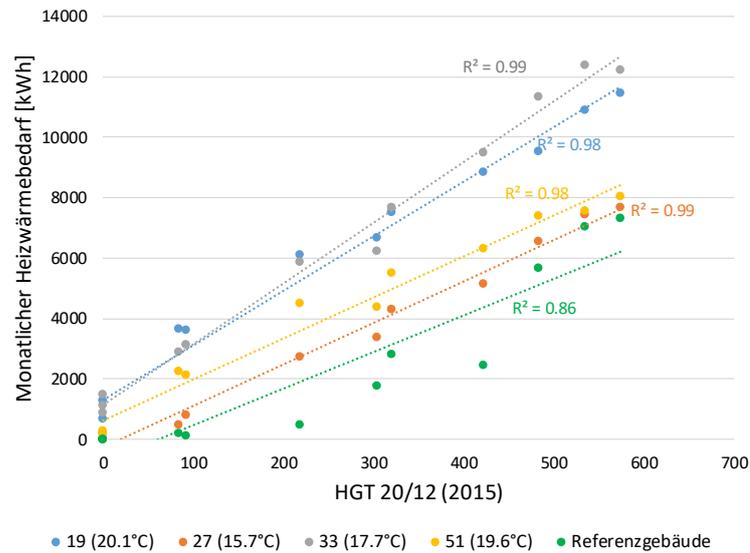


Abbildung 6: Energiekennlinie basierend auf der HGT-Methode von fünf MFH mit fixer Basistemperatur von 12 °C.

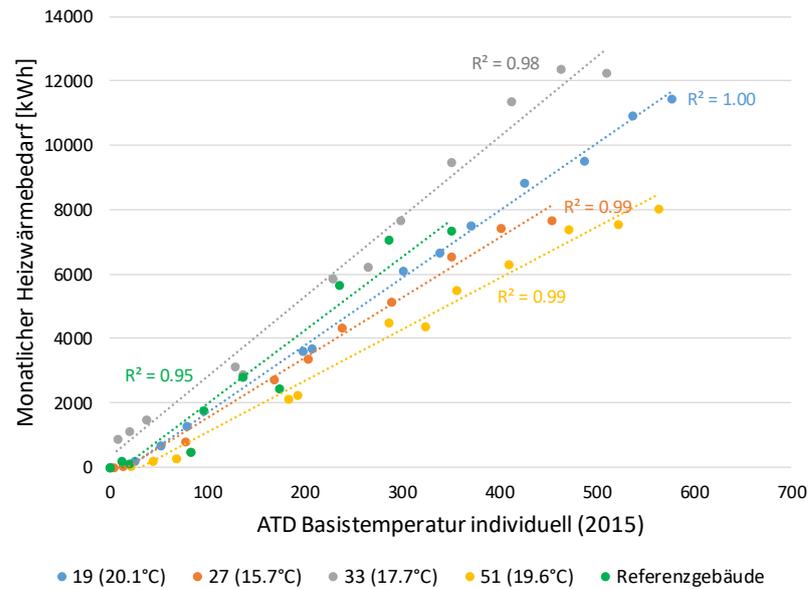


Abbildung 7: Energiekennlinie basierend auf der ATD-Methode von fünf MFH mit individueller Basistemperatur.

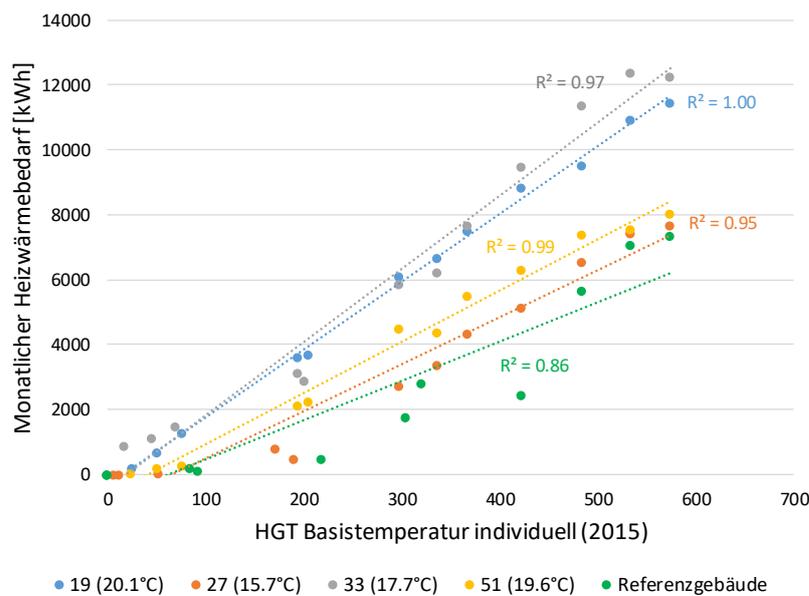


Abbildung 8: Energiekennlinie basierend auf der HGT-Methode von fünf MFH mit individueller Basistemperatur

### 2.2.1 Kühlgradtage (engl. CDD)

Die neuere Literatur zur ATD befasst sich immer häufiger mit dem Kühlfall. Die Berechnungsmethode bleibt die gleiche, nur dass andere Werte für die Basistemperatur genommen werden. Diese entspricht im Kühlfall der sogenannten Kühlgrenze. Diese wurde bis ins Jahr 2000 vor allem in den USA verwendet (CDD – Cooling Degree Days), durch die Sensibilisierung bezüglich Energieeffizienz auch in anderen Regionen der Welt, nimmt auch die Relevanz der Witterungsberichtigung im Kühlfall zu [12]. In der Schweiz gibt es keine Empfehlung oder Richtlinien dazu. Dies sollte in naher Zukunft korrigiert werden, da durch den Klimawandel ein erhöhter Kühlbedarf auch in der Schweiz erwartet wird [39]. Im Rahmen einer Anpassung der Klimakorrektur für den Heizwärmebedarf, könnte analog auch eine Korrektur für den Kühlfall erarbeitet werden. Der Kühlfall ist dabei etwas komplexer, da die thermische Masse, free-cooling und auch die Solarstrahlung eine viel grössere Rolle spielt [34].



## 2.3 Berücksichtigung der Solarstrahlung

Da der Fensteranteil bei Neubauten stark ansteigt und die Gebäudehülle immer besser wird, nimmt der Einfluss der solaren Gewinne deutlich zu. Damit wird eine Berücksichtigung der Solarstrahlung in der Klimakorrektur relevant. Gerade in Bezug auf die Kühlung geht man davon aus, dass die solaren Lasten einen noch stärkeren Effekt auf die Klimakorrektur haben als im Heizfall [27] und damit eine Berücksichtigung der Solarstrahlung noch wichtiger scheint. Einige Studien [40,41] gehen dem Thema solare Gewinne nach. Eine vertiefte Untersuchung ist von Karlsson et.al. [21] durchgeführt worden. In dieser Studie konnte aufgezeigt werden, dass die Basistemperatur sehr stark vom Fensteranteil abhängig ist. Wird eine Korrektur der Solarstrahlung mitberücksichtigt, kann dieser Effekt stark reduziert werden. Jedoch wird kein einfacher Ansatz präsentiert wie die Basistemperatur auf Grund der Solarstrahlung korrigiert werden kann. Die vorgeschlagene Methode benötigt sehr viele Gebäudekennwerte (Fensterflächen pro Fassade, g-Wert etc.) und die stündlichen Globalstrahlungswerte pro Fassadenseite.

Eine andere Studie [42] geht einen anderen Weg und beschreibt eine Methode, bei welcher eine sogenannte "Sonnentemperatur" zum Einsatz kommt. Diese Methode berücksichtigt bei der Ermittlung der Basistemperatur, dass sich die Gebäudefassade bei Sonneneinstrahlung erwärmt und damit die Wärmeverluste über die opake Fassade sinken. Die solaren Gewinne über die Fenster werden jedoch nicht thematisiert. Der Ansatz einer "Solartemperatur" ist an sich interessant, jedoch sollten unserer Meinung nach auch die Gewinne über die Fenster in einer solchen mitberücksichtigt werden.

Im Auftrag des BFE hat Prognos das GTS-Verfahren [43] erarbeitet, in welchem die Methode der Gradtage um die Solarstrahlung erweitert wurde. Die Gradtage berücksichtigen im Gegensatz zu den Heizgradtagen (HGT) keine Heizgrenze, oder anders ausgedrückt: die Gradtage entsprechen den ATD mit einer Basistemperatur von 20 °C. Diese Methode wird für die jährliche Ex-Post-Analyse des Schweizer Energieverbrauchs und für Berechnungen der Schweizer CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet und nicht für die Klimakorrektur von einzelnen Gebäuden. Die Witterungsreinigung bezieht sich auf die gesamte Schweiz (Mittelwerte) und kann deshalb regionale Abweichungen nicht berücksichtigen. Bei dieser Methode wurde für jeden Gebäudetyp (Schule, MFH, EFH etc.) eigene Parameter zur Klimakorrektur erarbeitet. Der Ansatz ist interessant, da man davon ausgehen kann, dass sich ein Schulgebäude anders verhält bezüglich Energieverbrauch als ein Einfamilienhaus. Dabei wurden 40 Gebäudemodelle verwendet die auch in der SIA 380 zur Validierung der ATD-Methode genutzt wurden. Diese Modelle basieren auf Normwerten bezüglich Nutzerverhalten und Gebäudeparameter. Das reale Nutzerverhalten wird damit jedoch nicht abgebildet, was dazu führt, dass die Heizgrenze für die Objekte im Vergleich zu Resultaten aus Feldstudien sehr tief ausfällt. Für die Berechnung im gesamtschweizerischen Kontext kann diese Vereinfachung zielführend sein, im Fall der objektspezifischen Witterungsreinigung müsste die Methode angepasst und mit hoch aufgelösten Messdaten validiert werden.



## 2.4 Neuberechnung mit aktuellen Klimadaten

Der Ansatz der Klimakorrektur mittels der gängigen Methoden scheint für sehr energieeffiziente Gebäude oder Passivhäuser nicht zu funktionieren [44–46]. Das Verhältnis zwischen den Wärmeverlusten und Wärmegewinnen ist bei sehr gut gedämmten Häusern und insbesondere für Passivhäuser ganz anders als bei "normalen" Häusern. Die Abhängigkeit von der Aussentemperatur ist deutlich geringer beim Passivhaus, weshalb bei einer Klimakorrektur eine konstante Basistemperatur nicht zielführend ist. Deshalb geht beispielsweise das Passivhaus-Institut in Deutschland einen anderen Weg. Jedes Gebäude wird mit den aktuellen Klimadaten neu berechnet. Dabei wird das Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) verwendet, welches die Solarstrahlung auf die Fassade berücksichtigt. Auf die Schweiz bezogen würde das bedeuten, dass die SIA 380/1 Berechnung jedes Jahr mit den aktuellen Klimadaten durchgeführt wird und mit den realen Messdaten validiert wird. Das setzt jedoch voraus, dass die Eingabeparameter wie Lüftungsverluste und interne Gewinne etc. auf Grund der Messung angepasst werden (reales Nutzerverhalten), was in der SIA 380/1 der Aufgabenstellung "Messwertvergleich" entspricht. Damit lässt sich der Erfolg einer Energieeffizienzmassnahme am besten ermitteln. Es bedeutet jedoch mehr Aufwand als wenn die ATD-Methode angewendet wird. Der Aufwand könnte jedoch verringert werden, wenn dem Nutzer die Eingabe der aktuellen Klimadaten vereinfacht wird und auch Hilfe geboten wird, die realen Gebäudeparameter aus der Messung zu ermitteln. Einige Vorschläge dazu wurden im Projekt ImmoGap [1] beschrieben. Dazu gehört auch, dass die Berechnung nach SIA 380/1 zum Beispiel als Softwarefile zur Verfügung steht.

## 3 Schlussfolgerungen

Die Literaturstudie hat aufgezeigt, dass grundsätzlich fast alle Länder dieselben beiden Methoden (ATD und HGT) für die Klimakorrektur verwenden. Beide Methoden basieren darauf, dass der Heizwärme- und Kühlbedarf vorwiegend von der Aussentemperatur abhängig ist. Die variablen thermischen Eigenschaften eines Gebäudes werden in beiden Methoden auf einen einzigen Wert reduziert, der sogenannten Basistemperatur. Viele der untersuchten Studien beschreiben unterschiedliche Ansätze und Verbesserungsvorschläge für die Bestimmung der Basistemperatur. Denn es hat sich gezeigt, dass eine fixe Basistemperatur, wie sie in ziemlich allen Ländern verwendet wird, zu ungenau ist für eine Klimakorrektur. Die Verwendung einer fixen Basistemperatur für alle Gebäude ist aus praktischen Gründen entstanden, da damit für Planer, Gebäudemanager etc. eine möglichst einfaches Verfahren geboten wird, und weil früher der Zugang zu Rechenprogrammen als auch die Computerleistung selber beschränkt war. Auf Grund der Entwicklung im EDV-Bereich sehen wir diese Hürde nicht mehr als wesentlich, heute können einfache Programme fast überall integriert werden (z.B. Programme für die Gebäudeverwaltung etc.).

Die Grundlagen zur Klimakorrektur sind mehr als 80 Jahre alt und basieren auf Annahmen die heute für Neubauten nicht mehr aktuell sind:

- Geringe solare Gewinne (kleiner Fensteranteil)
- Undichte Gebäudehülle
- Tiefe Raumtemperaturen
- Hohe Verluste über Gebäudehülle
- Fensterlüftung
- Heizungssysteme vorwiegend Öl- und Gasheizungen



Dies führt dazu, dass gerade für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser die klassischen Methoden fehleranfällig sind. Denn die solaren Gewinne, die thermische Masse und das Benutzerverhalten haben einen sehr grossen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Damit sinkt die Abhängigkeit von der Aussentemperatur. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurden unterschiedliche Ansätze in der Literaturstudie gesichtet, welche in vier Gruppen unterteilt werden können:

- Komplexe Neuberechnung: Verwendung von spezieller Software zur Berechnung des Heizwärmebedarfs mit aktuellen Klimadaten (für jedes Jahr einzeln)
- Statistik: Auswertung von Messdaten durch statistische Verfahren
- Grey-Box: Kombination von Gebäudeparameter (z.B. aus dem Energienachweis) und statistischer Auswertung von Messdaten
- Einfache Berechnung: Verwendung von Gebäudeparameter um mit geringem Aufwand (mit einfachen Algorithmen) den Heizwärmebedarf oder die Basistemperatur zu bestimmen

Erschwerend kommt noch hinzu, dass in den meisten Studien der Endenergiebedarf betrachtet worden ist. Dies führt dazu, dass das Heizungssystem mit all seinen Komponenten auch berücksichtigt wird bei der Auswertung, und somit in die Klimakorrektur mit einfließt. Dies war früher, als vorwiegend Öl- und Gasheizungen zum Einsatz kamen, nicht entscheidend. Heute jedoch ist dies anders: der vermehrte Einsatz von Luft-Wärmepumpen und Sonnenkollektoren beeinflusst das Ergebnis sehr stark, da im Gegensatz zur Ölheizung die Effizienz von Wärmepumpen und Sonnenkollektoren viel stärker vom Aussenklima abhängig ist. Deshalb sollte die Validierung von neuen Methoden unbedingt auf Basis der gemessenen Nutzenergie erfolgen.

## Empfehlungen

Auf Grund der Erkenntnisse aus dieser Studie empfehlen wir eine Überarbeitung der SIA 380:2015 bezüglich der Witterungsbereinigung. Wir empfehlen nachfolgende Punkte in der Norm aufzunehmen oder ergänzend in einem weiteren Dokument (z.B. Merkblatt) zu beschreiben und vertiefter zu untersuchen.

- Erhöhung der Standard-Basistemperatur von 12 °C: Reale Messungen von 65 Wohnbauten (Baujahr 2009-2014) haben gezeigt, dass die Basistemperatur eher bei 17 °C liegt als bei 12 °C.
- Unterscheidung zwischen Gebäudearten: Die Basistemperatur sollte für die unterschiedlichen Gebäudearten (Wohnbau, Verwaltung, Schule etc.) separat aufgeführt werden, und sie sollte sowohl auf den Dämmstandard als auch auf die internen Gewinne angepasst werden. Gebäudeparameter unterscheiden sich zum Teil deutlich (z.B.: Wochenendabsenkung).
- Umrechnung auf andere Basistemperaturen: Es soll ein Verfahren ergänzt werden, welches erlaubt die HGT und die ATD auf andere Basistemperaturen umzurechnen.
- Zeitliche Auflösung überprüfen: Der Einfluss der Datenauflösung auf die Bestimmung der Klimakorrektur muss überprüft werden. Unterschiedliche Empfehlungen sind in der Literatur zu finden.
- Unsicherheitsbestimmung: Es sollten die Grenzen der Klimakorrektur aufgezeigt werden, insbesondere deren Unsicherheitsbereich.



- Abgrenzung der Klimakorrektur ermitteln: Mittels Simulationen soll ein allenfalls korrigierender Effekt durch die Witterungsbereinigung auf den fehlerhaften Betrieb eines Gebäudes bestimmt werden. Denn bei der Untersuchung des Performance Gap, stellt sich die Frage, inwiefern mit der ATD-Methode nur das Klima korrigiert wird oder auch Effekte wie fehlende Thermostatventile, falsch eingestellte Heizkurven und so weiter.
- Neue Ansätze: In der Literatur sind einige interessante Ansätze beschrieben, diese sollten mit realen Messdaten und dynamischen Jahressimulationen für unterschiedliche Gebäudetypen genauer untersucht werden. Neben dem "realen" Benutzerverhalten sollen auch zukünftige Gebäudeentwicklungen wie zum Beispiel grosser Fensteranteil oder Komfortlüftung, mitberücksichtigt werden können.
- Niedrigenergie- und Passivhäuser: Da sich der Baustandard in den letzten 30 Jahren deutlich verbessert hat, und eine lineare Abhängigkeit zwischen Wärmebedarf und der Temperaturdifferenz zwischen Aussentemperatur und Basistemperatur für gut gedämmte Gebäude nicht gegeben ist, empfiehlt es sich, bestehende und neue Ansätze für sehr gut gedämmte Gebäude genauer zu überprüfen. Diese sollten insbesondere den Einfluss der Solarstrahlung auf die Gebäudebilanz berücksichtigen.
- Empfehlungen für die Branche: Es braucht konkrete Empfehlungen, um abhängig vom Anwendungsfall die richtige Methode anzuwenden. Wenn Effizienzmassnahmen im Rahmen eines Energiespar-Contractings ausgewiesen werden sollen, kann mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht dieselbe Methode verwendet werden, wie für eine Ex-Post-Analyse des Schweizer Energieverbrauchs.
- Korrektur für den Kühlfall entwickeln: Auf Grund des Klimawandels wird auch in der Schweiz ein vermehrter Kühlbedarf erwartet. Deswegen wird in naher Zukunft auch eine Klimakorrektur für den Kühlfall benötigt.



## 4 Bibliographie

- [1] I. Mojic, M. Luzzatto, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, S. Van Velsen, ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern, SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2018.
- [2] W. Reimann, E. Bühlmann, M. Lehmann, S. Bade, S. Krämer, W. Ott, D. Montanari, M. Ménard, Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015, 2016.
- [3] M. Roost, M. Ménard, M. Lehmann, W. Ott, B. Sitzmann, WP-GAP: Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe - die Rolle der Betreiber, Bundesamt für Energie BFE, Zürich, 2018.
- [4] U. Vogel, A. Baumgartner, J. Schwarz, U.-P. Menti, EnBo - Analyse des Endenergieverbrauchs und der Betriebsoptimierung bei 1400 Gebäuden in der Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, 2018.
- [5] SIA 381/3: Heizgradtage der Schweiz, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 1982.
- [6] SIA380:2015: Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2015.
- [7] EN ISO 15927-6:2007-11: Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 6: Akkumulierte Temperaturdifferenzen (Gradtage), ISO, 2007.
- [8] G. Zweifel, SIA: Neue Berechnung der Heizgradtage, TEC21. (2015) 19–20.
- [9] C. Gmür, Faktenblatt Energiekennlinien im Kt. Zürich, AWEL, Zürich, 2018.
- [10] U. Vogel, N. Nübold, S. Schneider, Monitoring-Standard für Gebäude und Areale, 2000 Watt Areale, EnergieSchweiz, 2017.
- [11] M. Fels, PRISM: An Introduction, Energy and Buildings. 9 (1986) 5–18.
- [12] T. Day, Degree-days: theory and application. TM41:2006, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2006.
- [13] ÖNORM B 8110-5: 2011 - Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Austrian Standards, 2011.
- [14] G. Ciulla, V. Lo Brano, A. D'Amico, Numerical assessment of heating energy demand for office buildings in Italy, Energy Procedia. 101 (2016) 224–231.
- [15] Erläuterungen zur Datei "Gradtagszahlen\_Deutschland.xls," IWU - Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Deutschland, 2018.
- [16] M.S. Owen, ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE, 2013.
- [17] A.A. Machard, A renewed degree-day model to estimate the space heating consumption of low-energy buildings, Aalborg University, Aalborg, 2014.
- [18] IEE Project TABULA: Typology Approach for Building Stock Energy Assessment, (2012). <http://webtool.building-typology.eu>.
- [19] ISO 13790:2004: Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating, ISO, Genf, 2004.
- [20] J. Woods, C. Fuller, Estimating base temperatures in econometric models that include degree days, Energy Economics. (2014) 166–71.
- [21] J. Karlsson, A. Roos, B. Karlsson, Building and climate influence on the balance temperature of buildings, Building and Environment. (2003) 75–81.
- [22] E.R. Hitchin, Estimating monthly degree-days, Building Services Engineering Research and Technology. 4 (1983) 159–162.
- [23] M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, L.A. Tagliafico, Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach, Applied Energy. (2014) 217–229.
- [24] D. Lindelöf, Bayesian estimation of a building's base temperature for the calculation of heating degree-days, (2016) 154–161.
- [25] E.R. Hitchin, A.J. Hyde, The estimation of heating energy use in buildings, in: Symp. Environment Inside Buildings, Institute of Mathematics and its Applications, Southend-on-Sea, 1979.



- [26] C. Giannakopoulos, P. Hadjinicolaou, C. Zerefos, G. Demosthenous, Changing Energy Requirements in the Mediterranean Under Changing Climatic Conditions, *Energies*. 2 (2009) 805–815.
- [27] F. Calise, D.M. D’Accadia, C. Barletta, V. Battaglia, A. Pfeifer, N. Duic, Detailed modelling of the deep decarbonisation scenarios with demand response technologies in the heating and cooling sector: a case study for Italy, *Energies*. 10 (2017) 1535.
- [28] K. Steemers, G. Young Yun, Household energy consumption: a study of the role of occupants, *Building Research & Information*. 37 (2009) 625–637.
- [29] H.C.S. Thom, The rational relationship between heating degree-days and temperature, *Monthly Weather Review*. 82 (1954) 1–6.
- [30] H.C.S. Thom, Normal degree days below any base, *Monthly Weather Review*. 94 (1966) 461–466.
- [31] D. Erbs, S. Klein, W. Beckman, Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures, *ASHRAE*. 60–5 (1983).
- [32] G.J. Schönau, R.A. Kehrig, A method for calculating degree-days to any base temperature, *Energy Build*. 14 (1980) 299–302.
- [33] A.R. Day, I. Knight, G. Dunn, R. Gaddas, Improved methods for evaluating base temperature for use in building energy performance lines, *Building Services Engineering Research and Technology*. 24 (2003) 221–228.
- [34] G. Krese, Z. Lampret, V. Butala, M. Prek, Determination of a Building’s balance point temperature as an energy characteristic, *Energy*. 165 (2018) 1034–1049.
- [35] N.S. Billington, Estimation of annual fuel consumption, *F. Inst. Heating Ventilating Eng.* (1966) 253–256.
- [36] I. Mojic, M. Haller, OpEEr - Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Einzelraumtemperaturregelung, SPF Institute for Solar Technology, Rapperswil, 2018.
- [37] A.R. Day, T.G. Karayiannis, Identification of the uncertainties in degreeday-based energy estimates, *CIBSE - Building Serv. Eng. Res. Technol*. 20 (1999) 165–172.
- [38] *Energie in Wohnbauten 2018*, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft - AWEL, Zürich, 2018.
- [39] G. Settembrini, S. Domingo-Irigoyen, T. Heim, A. Zakovorotnyi, A. Seerig, G. Zweifel, U.-P. Menti, *ClimaBau - Planen angesichts des Klimawandels*, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2017.
- [40] J.D. Balcomb, *Passive solar buildings*, Cambridge MIT Press, MA, 1992.
- [41] Y.G. Yohanis, B. Norton, Utilization factor for building solar-heat gain for use in a simplified energy model, *Applied Energy*. 63 (1999) 227–239.
- [42] A. Kaiser, M. Carlier, C. Feldmann, J. Kurnitski, A new method for contrasting energy performance and near zero energy building requirements in different climates and countries, *Energies*. 11 (2018) 1334.
- [43] A. Kemmler, *Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung*, Prognos AG, Bern, 2015.
- [44] J. Kurnitski, V. Grönlund, E. Reinikainen, Comparison of energy performance requirements in selected countries, in: *11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Prague, Czech Republic, 2013.
- [45] E.A. Mohareb, C.A. Kennedy, D. Harvey, K.D. Pressnail, Decoupling of building energy use and climate, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 2961–2963.
- [46] W. Feist, *Stellungnahme zur Vornorm DIN-V-4108-6:2000 aus Sicht der Passivhausentwicklung*, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001.