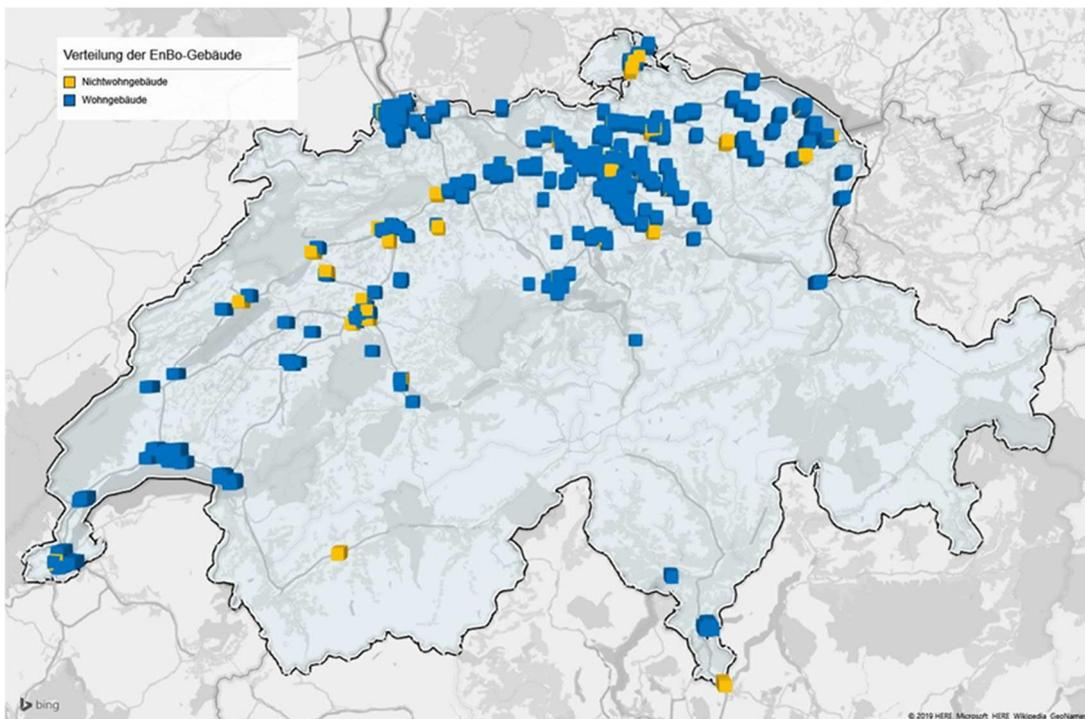




Schlussbericht

EnBo800 – Analyse des Endenergieverbrauchs und der energetischen Betriebsoptimierung bei 1400 Gebäuden in der Schweiz





EnBo800 – Analyse
des Endenergieverbrauchs
und der energetischen Betriebsoptimierung
bei 1400 Gebäuden in der Schweiz



AMSTEIN + WALTHERT

HOCHSCHULE
LUZERN Technik & Architektur
Wirtschaft

Datum: 9. August 2019

Ort: Zürich

Auftraggeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft
Forschungsprogramm „Energie in Gebäuden“
Bundesamt für Energie (BFE)
Mühlestrasse 4
3063 Ittigen

Auftragnehmer/in:

Arbeitsgemeinschaft EnBo800

Amstein + Walthert AG
Andreasstrasse 11
8050 Zürich
und
Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Autor/in:

Urs Vogel, urs.vogel@amstein-walthert.ch
Andreas Baumgartner, andreas.baumgartner@amstein-walthert.ch
Jürg Schwarz, juerg.schwarz@hslu.ch
Urs-Peter Menti, urs-peter.menti@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501473-01

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

Titelbild: Übersicht über die Standorte der untersuchten EnBo-Gebäude (Grafik Amstein+Walthert)

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 · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Mit den Resultaten des Forschungsprojekts EnBo800 wird nachgewiesen, dass mit energetischen Betriebsoptimierungen, die als sogenannte «Quick Check» organisiert und durchgeführt wurden, bei rund 500 Liegenschaften eine durchschnittliche, klimabereinigte Verbrauchsreduktion von 5 % gegenüber dem nicht optimierten Zustand erreicht wurde. Die erreichte Reduktion mag gering erscheinen, jedoch konnte durch die eingesparten Energiekosten der Aufwand für die energetische Betriebsoptimierung in der Periode 2013 bis 2016 um mehr als das Doppelte kompensiert werden. Die durchgeführte energetische Betriebsoptimierung erweist sich damit als sehr wirtschaftliche Massnahme. Ein zusätzlicher Nutzen zum reduzierten Energiebedarf und der kurzen Amortisationszeit, ist die Behebung bzw. Reduktion von Störungen und die Erhöhung der Betriebssicherheit. Somit trägt eine energetische Betriebsoptimierung auch wesentlich zum Werterhalt und zur Wertsteigerung einer Immobilie bei. Mängel an den Anlagen wurden erkannt und konnten in der Folge durch die verantwortliche Stelle behoben werden. Und nicht zuletzt ist es eines der wesentlichen Ziele, den Komfort für die Gebäudenutzer mit dem energetisch optimierten Betrieb zu gewährleisten. Die untersuchten rund 500 Liegenschaften sind in der ganzen Schweiz verteilt und umfassen rund 1400 Gebäude. Sie sind eine Teilmenge der Anlage-Immobilien der Credit Suisse Global Real Estate Switzerland. Die Credit Suisse hat alle Grundlagen zu den Gebäuden, zu deren Energieverbrauch und zu den durchgeführten Massnahmen der energetischen Betriebsoptimierung für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt. Die Resultate des vorliegenden Forschungsberichts können, für den Bestand der mittleren und grösseren Wohnbauten in der Schweiz, als gültig bezeichnet werden. Für den Vergleich des Energieverbrauchs von Gebäuden an unterschiedlichen Standorten und über die Betrachtungsperiode von fünf Jahren ist eine Normierung der gemessenen Verbrauchswerte erforderlich. Mit dem Forschungsprojekt wurde auch die Frage nach der bestgeeigneten Methode für die Klimakorrektur untersucht und beantwortet.



Résumé

Les résultats du projet de recherche EnBo800 montrent que grâce à des optimisations opérationnelles énergétiques organisées et réalisées sous forme d'un "Quick Check", une réduction moyenne de la consommation adaptée au climat de 5% par rapport à l'état non optimisé a été réalisée pour environ 500 immeubles. La réduction obtenue peut sembler faible, mais les économies d'énergie réalisées ont plus que doublé le coût de l'optimisation énergétique sur la période 2013-2016. L'optimisation énergétique de l'opération s'avère être une mesure très économique. Un avantage supplémentaire par rapport à la réduction de la consommation d'énergie et à la rentabilité à court terme est l'élimination ou la réduction des dysfonctionnements et l'augmentation de la sécurité de fonctionnement. Ainsi, une optimisation énergétique des opérations contribue également de façon significative au maintien et à l'augmentation de la valeur d'une propriété. Des défauts dans les systèmes ont été identifiés et ont pu être corrigés par le service responsable. Enfin, l'un des principaux objectifs est de garantir le confort des utilisateurs du bâtiment grâce à une exploitation optimisée sur le plan énergétique. Les près de 500 biens immobiliers examinés sont répartis dans toute la Suisse et se composent d'environ 1400 bâtiments. Il s'agit d'un sous-ensemble des immeubles de placement du Credit Suisse Global Real Estate Switzerland. Le Credit Suisse a fourni au projet de recherche toutes les informations de base sur les bâtiments, sur leur consommation énergétique et sur les mesures prises pour optimiser l'efficacité énergétique. Les résultats de ce rapport de recherche sont considérés comme valables pour le parc de bâtiments résidentiels de moyenne et grande taille en Suisse. Afin de comparer la consommation d'énergie des bâtiments à différents endroits et sur une période de cinq ans, les valeurs de consommation mesurées doivent être normalisées. Le projet de recherche a également examiné et répondu à la question de la méthode la plus appropriée pour la correction climatique.



Summary

The results of the EnBo800 research project demonstrate that, with energetic operational optimisations organised and carried out as a "Quick Check", an average climate-adjusted reduction in consumption of 5% compared with the non-optimised state was achieved at around 500 properties. The reduction achieved may seem small, but the savings in energy costs more than doubled the cost of energy optimisation in the period 2013 to 2016. The energetic optimisation of operations carried out is thus proving to be a very economical measure. An additional benefit to the reduced energy requirement and the short pay-back is the elimination or reduction of malfunctions and the increase in operational reliability. Thus, an energetic optimization of operations also contributes significantly to maintaining and increasing the value of a property. Defects in the systems were identified and could subsequently be rectified by the responsible body. And last but not least, one of the main goals is to guarantee comfort for the building users through energetically optimised operation. The approximately 500 properties examined are distributed throughout Switzerland and comprise around 1400 buildings. They are a subset of the investment properties of Credit Suisse Global Real Estate Switzerland, which provided the research project with all the basic information on the buildings, their energy consumption and the measures implemented to optimize energy efficiency. The results of this research report can be described as valid for the stock of medium-sized and larger residential buildings in Switzerland. In order to compare the energy consumption of buildings at different locations and over a period of five years, a standardisation of the measured consumption values is necessary. In order to apply the required climate correction of the consumption values, the research project also investigated and answered the question of the most suitable method for climate correction.



Referenzen, verwendete Literatur

Die untersuchten Liegenschaften und Gebäude sind Anlage-Immobilien der Credit Suisse Global Real Estate Switzerland CS GRES. Alle im vorliegenden Bericht verwendeten Daten zu den Gebäuden, deren Energieverbrauch und zu den durchgeführten energetischen Betriebsoptimierungen sind Eigentum der CS GRES, welche der Publikation von ausschliesslich aggregierten Ergebnissen zugestimmt hat.

Die Energieverbrauchswerte wurden im Auftrag der CS GRES mehrheitlich durch die Wincasa AG als Jahresverbrauchswerte erhoben und sind systematisch im EMC-System Siemens Navigator erfasst. Die energetische Betriebsoptimierung wurde im Auftrag der CS GRES und unter operativer Führung der Wincasa durch Siemens Schweiz AG und weitere Beauftragte durchgeführt und durch Wincasa dokumentiert.

Die folgende Literatur wurde verwendet:

- [1] SIA Schweizer Ingenieure und Architekten, SN 504 380, Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden, SIA, 2015
- [2] EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie, Modell zur verbrauchsabhängigen Energie- und Wasserkostenabrechnung VEWA, 2. Auflage, BFE, 2018
- [3] Kemmler A., Prognos AG, Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung, BFE, 2015
- [4] SIA, Schweizer Ingenieure und Architekten, SN 520 380/1, Heizwärmebedarf, SIA, 2016
- [5] SIA, Schweizer Ingenieure und Architekten, SN EN ISO 15927-6:2007, Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 6: Akkumulierte Temperaturdifferenzen (Gradtage), SIA, 2008
- [6] SIA, Schweizer Ingenieure und Architekten, SN R 592048, Energetische Betriebsoptimierung, SIA, 2015
- [7] BFE, Bundesamt für Energie, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2016, BFE, 2016



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Referenzen, verwendete Literatur	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Kurzfassung	11
Themenbereich 1: Energie-Performance des untersuchten Gebäudebestandes	11
Themenbereich 2: Wirkung und Wirtschaftlichkeit der energetischen Betriebsoptimierung eBO	12
1 Energie-Performance des untersuchten Gebäudebestandes	14
1.1 Kategorisierung des untersuchten Gebäudebestandes	14
1.1.1 Die EnBo-Liegenschaften	14
1.1.2 Gebäudekategorien	15
1.1.3 Verteilung nach Gebäudekategorie	15
1.2 Entwicklung des Energieverbrauches 2012 bis 2016	17
1.2.1 Verbrauchsentwicklung ohne Klimakorrektur	17
1.2.2 Verbrauchsentwicklung mit Klimakorrektur	18
1.3 Energiekennzahlen des untersuchten Gebäudebestandes	20
2 Wirkung und Wirtschaftlichkeit der energetischen Betriebsoptimierung	22
2.1 Grundlagen energetische Betriebsoptimierung eBO	22
2.2 Analyse der durchgeführten eBO-Massnahmen	23
2.2.1 Analyse der Massnahmen	23
2.3 Wirkung und Aufwand der energetischen Betriebsoptimierung	25
2.3.1 Wirkung und Nutzen der eBO	25
2.3.2 Aufwand und Kosten- Nutzen-Verhältnis der eBO	28
2.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Durchführung der energetischen Betriebsoptimierung bei fremdgenutzten Liegenschaften	29
3 Grundlagen und Methodik	30
3.1 Grundlagen Rohdaten	30
3.2 Genereller Ansatz der Wirkungsanalyse	31
3.3 Bestehende Methoden der Klimakorrektur	32
3.3.1 HGT Heizgradtage	32



3.3.2	GT&S Gradtage und Strahlung	33
3.3.3	ATD Akkumulierte Temperaturdifferenz	34
3.3.4	Die Basistemperatur Θ_b für die Anwendung mit der Methode ATD	34
3.3.5	Vergleich ATD mit HGT20/12	35
3.3.6	Zusammenhang Basistemperatur und Heizwärmeverbrauch	36
3.4	Die Methode PTD für die Klimakorrektur	37
3.4.1	Herleitung der Methode PTD	37
3.4.2	Bestimmung der Basistemperatur nach Methode PTD	38
3.4.3	Anwendung der Klimakorrektur nach Methode PTD	40
3.5	Erhebung der Klimadaten für die Klimakorrektur	40
3.5.1	Datenquellen	40
3.5.2	Modelle für Triangulation	45
3.5.3	Modellierung des Fehlers / Genauigkeit der Modellresultate	46
3.6	Unsicherheit der klimakorrigierten Verbrauchsanalyse	49
3.6.1	Unsicherheit bei der Verbrauchserhebung	49
3.6.2	Unsicherheit bei der Umrechnung Endenergie - Nutzenergie	49
3.6.3	Unsicherheit bei der Anwendung der Klimakorrektur	49
3.6.4	Abschätzung der Unsicherheit der klimakorrigierten Verbrauchsanalyse	50
3.7	Ausblick Methodenentwicklung Klimakorrektur PTD	51
3.7.1	Fazit Klimakorrektur nach Methode PTD	51
3.7.2	Weiterer Entwicklungsbedarf Methode PTD und interpolierte Klimawerte	51



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der untersuchten EnBo-Liegenschaften in der Schweiz	14
Abbildung 2: Anteil der Gebäudekategorien nach Anzahl Gebäude, Liegenschaften und Energiebezugsfläche.....	15
Abbildung 3: Anteile nach GWR-Gebäudekategorie (links) und Baujahresklasse (rechts) EnBo-Gebäude und GWR ganze Schweiz für Gebäude mit mehr als 6 Wohneinheiten.....	16
Abbildung 4: Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Gebäudekategorien. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.....	17
Abbildung 5: Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Baujahresklassen. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.....	18
Abbildung 6: Klimakorrigierte Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Gebäudekategorien. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.....	19
Abbildung 7: Klimakorrigierte Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Baujahresklassen. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.....	19
Abbildung 8: Spezifischer Endenergieverbrauch Raumheizung und Warmwasser in kWh/m ² . Nach Gebäudekategorie und Baualtersklasse. Mittelwert 2012-2016, klimakorrigiert auf 2012.....	20
Abbildung 9: Spezifischer Verbrauch Endenergie für Raumheizung und Warmwasser sowie geschätzter Heizwärmeverbrauch nach Gebäudekategorie	21
Abbildung 10: Anteile der Massnahmen 2013-2016, direkte Umsetzung und beantragte Umsetzung ..	24
Abbildung 11: Intensität der BO-Massnahmen und Veränderung des Energieverbrauches 2012-2016 in %	25
Abbildung 12: Korrelation der erwarteten Wirkung mit der gemessenen Wirkung 2012 bis 2016	26
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der per 2016 ermittelten Verbrauchsreduktion gegenüber 2012.....	26
Abbildung 14: Struktur Rohdaten, Datensätze	31
Abbildung 15: Genereller Ansatz für die Datenanalyse	31
Abbildung 16: Heizgradtage einer Jahresperiode basierend auf Raumtemperatur und Basistemperatur	32
Abbildung 17: Gradtage mit Anteil der genutzten Wärmegewinne nach dem Prinzip der Methode GT&S.....	33
Abbildung 18: Akkumulierte Temperaturdifferenz definiert durch die Basistemperatur Θ_b	34
Abbildung 19: Fehler der Klimakorrektur in % des Nominalwertes für ATD mit unterschiedlicher Basistemperatur im Vergleich zu HGT20/12.....	35
Abbildung 20: Qualitativer Zusammenhang Basistemperatur und Heizwärmeverbrauch	36
Abbildung 21: In der Methode PTD verwendete Grössen und Zusammenhänge.....	38
Abbildung 22: Bestimmung $\Theta_{b,PTD}$. Geometrische Lösung $y=x$ als Schnittpunkt von zwei Kurven.....	39
Abbildung 23: Klimazonen, Gemeinden mit EnBo800 Gebäuden und Messstationen.....	40
Abbildung 24: Datensätze und ihre Überdeckung	41
Abbildung 25: Veranschaulichung der Datenlücken der IDAweb Daten.....	42
Abbildung 26: Histogramm der Distanzen zwischen den gesuchten Orten und den vorhandenen Stationen	43
Abbildung 27: Veranschaulichung, welche Daten für die Berechnung der Abweichung von COSMO zu IDAweb relevant sind	43
Abbildung 28: Übersicht Zeiträume Daten, Veranschaulichung Prinzip Triangulation	44
Abbildung 29: Schemenhafte Darstellung der Distanzen zwischen Stationen und dem gesuchtem Ort	44
Abbildung 30: Überblick Modelle Triangulation	45
Abbildung 31: Histogramm Residuen Temperatur-Fit.....	46
Abbildung 32: Unterschiede der Modelle und Messungen.....	47



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition der Gebäudekategorien nach Wohnanteil	15
Tabelle 2: Anzahl der EnBo-Gebäude nach Gebäudekategorie und Baujahresklasse	16
Tabelle 3: Massnahmen der durchgeführten eBO nach Umsetzungsgrad und Wirkungsfeld	23
Tabelle 4: Festgestellte Verbrauchsreduktion 2016 in % zu 2012 nach Baualtersklasse	26
Tabelle 5: Prozentuale Abweichung HGT aus interpolierten Werten im Vergleich zu den Messtationen	48
Tabelle 6: Relative Unsicherheit von Energieverbrauchsmessungen gemäss SIA2031, Ziff. C.3.2	49
Tabelle 7: Anzustrebende Werte der relativen Unsicherheit nach Einflussfaktor der Klimakorrektur ...	50



Kurzfassung

Mit dem Forschungsprojekt «EnBo800» wird ein gut dokumentierter Gebäudebestand in der Schweiz in Bezug auf den gemessenen Energieverbrauch und in Bezug auf die Wirkung von realisierten Massnahmen der energetischen Betriebsoptimierung für die Jahre 2012 bis 2016 analysiert. Die untersuchten Liegenschaften sind eine Teilmenge des rund 800 Liegenschaften umfassenden Anlageportfolios der Credit Suisse Global Real Estate Switzerland (CS GRES). Für diese Liegenschaften wird seit 2012 im Rahmen der strategischen Zielsetzung „Nachhaltiges Immobilienmanagement“ der CS GRES ein Monitoring des Energieverbrauches sowie ein Programm der energetischen Betriebsoptimierung mit Schwerpunkt auf den Anlagen zur Wärmeerzeugung verfolgt. Für die Analyse der Wirkungen der energetischen Betriebsoptimierung wurden Liegenschaften ausgewählt, bei denen im Zeitraum der Jahre 2012 bis 2016 keine energetischen Massnahmen im Bereich der Hülle und der Gebäudetechnik durchgeführt wurden. Für den ganzen Zeitraum mussten gemessene Energieverbrauchswerte vorliegen und eine energetische Betriebsoptimierung der Liegenschaft musste durchgeführt und dokumentiert sein. Mit der Anwendung dieser Kriterien konnten rund 500 Liegenschaften mit insgesamt 1'400 Gebäuden für die Analyse berücksichtigt werden.

Für das Forschungsprojekt wurden zu Beginn der Arbeiten Forschungsfragen formuliert. Diese Forschungsfragen sind zwei Themenbereichen zugeordnet. Im ersten Teil der Kurzfassung werden Fragen zur Energie-Performance der untersuchten Gebäude beantwortet und im zweiten Teil wird die Wirkung, sowie Aufwand und Nutzen der energetischen Betriebsoptimierung untersucht. Der Hauptbericht hat noch einen dritten Teil, in dem die verwendeten Grundlagen und die angewendete Methodik erläutert wird.

Themenbereich 1: Energie-Performance des untersuchten Gebäudebestandes

Die Forschungsfragen des Themenbereichs 1 beziehen sich auf den Energieverbrauch und die Energiekennzahlen nach Gebäudekategorie und Einflussfaktoren wie Baujahresklasse und Jahresklima.

Ist der untersuchte Gebäudebestand repräsentativ für den Gebäudepark Schweiz (exkl. EFH)?

Der untersuchte Gebäudebestand wurde in zwei Klassen und vier Kategorien nach der Definition des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) des Bundesamts für Statistik unterteilt. Die zwei Klassen sind Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude, die Abgrenzung ist mit 50% Wohnanteil definiert. Wohnbauten sind weiter in reine Wohngebäude und Wohngebäude mit Nebennutzung unterteilt. Die Nicht-Wohnbauten sind unterteilt in Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung und Gebäude ohne Wohnnutzung. 90% der untersuchten EnBo-Gebäude sind Wohnbauten. Das GWR erfasst aktuell nur Wohnbauten und Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung systematisch. Die Erweiterung des Registers auch auf Gebäude ohne Wohnnutzung ist bereits beschlossen und soll bis 2020 umgesetzt werden. Für die vorliegende Arbeit konnten jedoch nur die Daten zu den Wohnbauten und den Gebäuden mit teilweiser Wohnnutzung verglichen werden. Die EnBo-Gebäude enthalten keine öffentlichen Bauten und nur Wohnbauten mit mehr als 6 Wohneinheiten. Im Vergleich mit dem entsprechenden Gebäudebestand der Schweiz sind Gebäude mit Baujahr von 1981-1990 zahlreicher, dagegen sind Gebäude mit Baujahr vor 1946 und nach 2000 eher untervertreten. Für mittlere und grössere Wohnbauten entsprechen die untersuchten Liegenschaften jedoch gut dem aktuellen Gebäudebestand der Schweiz. Die Resultate des vorliegenden Forschungsberichts können daher als gültig für den Bestand der mittleren und grösseren Wohnbauten in der Schweiz bezeichnet werden.



Wie hat sich der Energieverbrauch des untersuchten Gebäudebestandes über die Betrachtungsperiode von 5 Jahren entwickelt? Welches ist der Einfluss unterschiedlicher Jahresklimata auf den Energieverbrauch?

Der nicht klimakorrigierte Energieverbrauch des untersuchten Gebäudebestandes ist für die Perioden 2012 und 2013 praktisch unverändert und sinkt aufgrund milder Witterung in der Periode 2014 um rund 10% gegenüber den Vorjahren. In den Jahren 2015 und 2016 ist wieder ein leichter Verbrauchsanstieg zu beobachten. Die klimakorrigierten Verbrauchswerte sinken ab 2013 bis 2016 unter 95% des Wertes von 2012. Aus dieser klimakorrigierten Verbrauchsreduktion wird die Wirkung der ab 2013 durchgeführten energetischen Betriebsoptimierung ersichtlich. Dies wird im Themenbereich 2 noch weiter erläutert.

Welche Energiekennzahlen weist der untersuchte Gebäudebestand für typische Gebäudekategorien auf? Wie gross ist der Einfluss von Mischnutzungen auf die Energiekennzahl? Welche Teilnutzungen sind dabei besonders relevant?

Der durchschnittliche spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser liegt bei rund 105 kWh/m² für die untersuchten Wohnbauten und bei rund 75 kWh/m² für die Nicht-Wohnbauten. Dieser deutliche Unterschied wird primär mit dem höheren Warmwasserverbrauch der Wohnbauten gegenüber den Nicht-Wohnbauten erklärt. Nach Abzug von Erfahrungswerten für den Warmwasserverbrauch der Wohnnutzungen liegt der geschätzte effektive Heizwärmebedarf $Q_{h, \text{eff}}$ der EnBo-Gebäude bei rund 80 kWh/m² für die Wohngebäude und bei rund 60 kWh/m² für die Nichtwohngebäude. Vergleichbare Neubauten per 2018 müssen demgegenüber um mehr als auf die Hälfte reduzierte Werte für den Heizwärmebedarf $Q_{h, \text{eff}}$ einhalten.

Von den beiden Kategorien mit Mischnutzung weisen die EnBo-Gebäude der Kategorie Wohnbauten mit Nebennutzungen einen Wohnanteil von 78% und die Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung einen Wohnanteil von 28% auf. Die Kennwerte dieser zwei Kategorien mit Mischnutzung liegen nahe bei denen der reinen Wohnnutzungen bzw. bei den Gebäuden ohne Wohnnutzung. Eine klare Aussage zur Relevanz der Teilnutzungen kann im Wesentlichen mit dem oben erläuterten Unterschied zwischen Wohnnutzung und Nicht-Wohnnutzung gemacht werden. In Bezug auf eine Differenzierung der Nicht-Wohnnutzungen konnte dagegen kein aussagekräftiges Resultat gewonnen werden.

Themenbereich 2: Wirkung und Wirtschaftlichkeit der energetischen Betriebsoptimierung eBO

Seit dem Jahr 2013 werden an den EnBo-Gebäuden systematisch energetische Betriebsoptimierungen durchgeführt. Als Prämisse für dieses freiwillige Programm der CS GRES wurde ein Effizienzziel von bis zu 10% Verbrauchsreduktion über den untersuchten Gebäudebestand bei einer sehr hohen Wirtschaftlichkeit mit kurzen Pay-Back-Zeit der für die Zielerreichung erforderlichen Massnahmen formuliert. Die folgenden Fragen wurden mit dem Forschungsprojekt untersucht und beantwortet.

Welche quantitativen Wirkungen der Massnahmen Betriebsoptimierung auf den Energieverbrauch können nachgewiesen werden?

Die Wirkung der ab 2013 durchgeführten energetischen Betriebsoptimierungen eBO wird anhand der durchgeführten Auswertungen mit einer durchschnittlichen Verbrauchsreduktion von 5% per 2016 gegenüber dem Verbrauch von 2012 quantifiziert.



Welches sind die relevantesten Massnahmen und festgestellte Mängel in Bezug auf den Einfluss auf den Energieverbrauch?

Die mit rund zwei Drittel überwiegende Anzahl der Massnahmen wurden vor Ort durchgeführt und betreffen vor allem Einstellungen an den Anlagen der Wärmeversorgung. Die optimierte Einstellung der Heizgrenze und der Heizkurve sind die am meisten aufgeführten Massnahmen. Häufig wurden auch die Einstellungen der Warmwassererzeugung und der Warmwasser-Zirkulation optimiert. Mängel wurde bei rund 40% der Liegenschaften festgestellt und betreffen in der Regel defekte, nicht mehr zuverlässig funktionierende Anlageteile.

Wie gross ist der durchschnittliche Aufwand, personell und Sachinvestition, für die energetische Betriebsoptimierung pro Liegenschaft und pro eingesparte Energiemenge?

Die Kosten für die Durchführung einer eBO, wie sie hier durchgeführt wurden, beträgt nach Auskunft des zuständigen Bewirtschafters rund CHF 2'500 pro Fall. Von diesen Kosten entfällt jedoch nur ein Teil auf die effektive Begehung der Liegenschaft, Analyse der Anlagen und Durchführung der Vor-Ort-Massnahmen. Ebenfalls enthalten ist Vorbereitung und Organisation der eBO-Durchführung und die Nachbereitung mit der Übernahme des eBO-Rapports und dem Veranlassen von fallweise weiteren Massnahmen. Der finanzielle Aufwand für die Durchführung der eBO an den EnBo-Liegenschaften liegt bei durchschnittlich CHF 2'750 pro Liegenschaft, somit rund CHF 1.33 Millionen für die 483 Liegenschaften per 2016. Mit der ausgewiesenen Verbrauchsreduktion von rund 31 Millionen kWh per 2016 gegenüber dem nicht optimierten Zustand ist der Aufwand resultieren Kosten von rund 4.4 Rp. pro kWh eingesparte Energie. Da die durchschnittlichen Endenergiepreise für fossile Brennstoffe und Fernwärme im gleichen Zeitraum bei rund 10 Rp. pro kWh lagen, ist offensichtlich, dass die eBO eine sehr wirtschaftliche Massnahme ist.

Wie ist das Kosten-/Nutzenverhältnis der eBO-Massnahmen für unterschiedliche Gebäudekategorien?

Der finanzielle Nutzen der eBO durch Verbrauchsreduktion ist abhängig vom Erfolg der eBO. Dieser Erfolg ist umso grösser, je grösser der Energieverbrauch der Liegenschaft und die aus der eBO resultierende Einsparung ist. Die Gebäudekategorien an sich sind daher nicht relevant für das Kosten-/Nutzenverhältnis der eBO.

Welche Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Durchführung der energetischen Betriebsoptimierung bei fremdgenutzten Liegenschaften können aus den Erfahrungen gewonnen werden?

Die aufgrund der vorliegenden Untersuchung über einen grösseren Gebäudebestand zu erwartende Verbrauchsreduktion von durchschnittlich rund 5% durch eBO-Massnahmen mag gering erscheinen. Wie im Bericht gezeigt wird, erweisen sich die Massnahmen jedoch als sehr wirtschaftlich und zahlen sich vorliegenden Fall innerhalb der Betrachtungsperiode von 2013 bis 2016 im Durchschnitt doppelt zurück. Das Ziel des kurzen Pay-Backs ist damit erfüllt. Bei der Realisierung eines eBO-Programms sollte damit gerechnet werden, dass die eBO nicht bei jeder Liegenschaft zu einer substantiellen Verbrauchsreduktion führen kann. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Anlagen bereits im Optimum betrieben werden. Da es sich bei der eBO per Definition um eine Optimierungsaufgabe handelt, sollten die Rahmenbedingungen und die Einstellungen der Anlagen periodisch überprüft werden, um Abweichungen vom Optimum zu erkennen und fallweise zu korrigieren. Für die mittleren und grösseren Wohnliegenschaften wird ein Intervall für die eBO von 5 Jahren empfohlen.



1 Energie-Performance des untersuchten Gebäudebestandes

Die Forschungsfragen Thema 1 beziehen sich auf den Energieverbrauch und die Energiekennzahlen nach Gebäudekategorie und verschiedenen Einflussfaktoren wie Gebäudetyp, Gebäudezustand, Lage und Jahresklima.

1.1 Kategorisierung des untersuchten Gebäudebestandes

1.1.1 Die EnBo-Liegenschaften

Die untersuchten Liegenschaften sind eine Teilmenge der durch die Credit Suisse Global Real Estate Switzerland, CS GRES, verwalteten Anlageliegenschaften in der Schweiz. Die Teilmenge wurde dadurch bestimmt, dass für eine Liegenschaft gemessene Verbrauchswerte für die Jahresperioden 2012 bis 2016 vorhanden sein mussten und zwischen 2013 bis Anfang 2016 eine energetische Betriebsoptimierung durchgeführt und dokumentiert wurde. Zudem wurden nur Liegenschaften für die Analyse ausgewählt, bei denen im Zeitraum der Jahre 2012 bis 2016 keine energetischen Massnahmen im Bereich der Hülle und der Gebäudetechnik durchgeführt wurden. Diese Bedingungen erfüllten 483 Liegenschaften mit insgesamt rund 1400 Gebäuden verteilt in der ganzen Schweiz. Diese Liegenschaften und Gebäude werden im vorliegenden Bericht als EnBo-Liegenschaften beziehungsweise als EnBo-Gebäude bezeichnet.

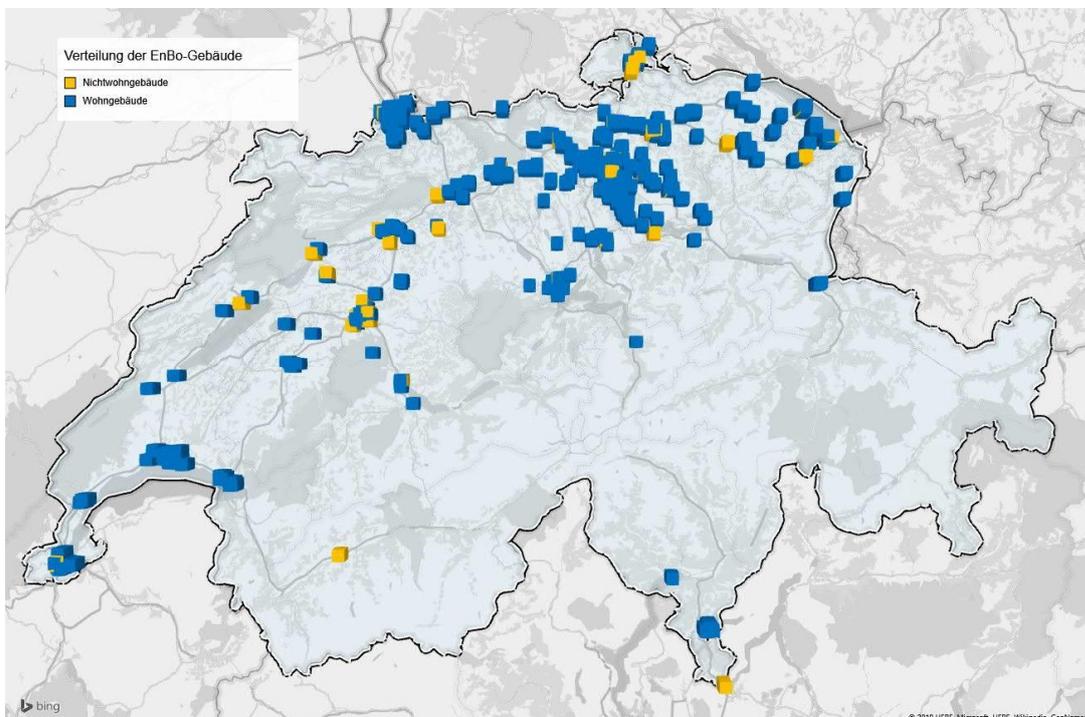


Abbildung 1: Verteilung der untersuchten EnBo-Liegenschaften in der Schweiz



1.1.2 Gebäudekategorien

Die Liegenschaften und Gebäude wurden für die Analyse in Gruppen eingeteilt. Die Einteilung berücksichtigt die bestehenden Definitionen:

- des Gebäude- und Wohnungsregisters, Bundesamt für Statistik (GWR)
- der Verordnung über die kollektiven Kapitalanlagen (KKV)

Tabelle 1: Definition der Gebäudekategorien nach Wohnanteil

Gebäudekategorie nach Wohnanteil (Fläche)		EnBo Sample Wohnanteil	Kategorien GWR	Kategorien KKV	Allgemein	
W100	95% bis 100%	98 %	Reine Wohngebäude GWR Code 1020	Wohnbauten (Wohnanteil ertragsbereinigt höher als 80%)	Wohnbauten	
W90	80% < 95%	92 %	Wohngebäude mit Nebennutzung GWR Code 1030			Bauten mit gemischter Nutzung (Wohnanteil ertragsbereinigt ca. 50% bis ca. 80%)
W70	60% < 80%	70%				
W50	40% < 60%	49%	Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung GWR Code 1040	Bauten mit kommerzieller Nutzung von mindestens 60% Ertragsanteil. (Wohnanteil ertragsbereinigt bis ca. 50%)	Nichtwohnbauten	
W30	20% < 40%	31%				
W10	> 5% < 20%	12 %				
W0	0% bis 5%	2%				Gebäude ohne Wohnnutzung GWR Code 1060

Die Hauptauswertung erfolgt anhand der vier Kategorien des GWR:

- Reine Wohngebäude, GWR Code 1020
- Wohngebäude mit Nebennutzung, GWR Code 1030
- Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung, CWR Code 1040
- Gebäude ohne Wohnnutzung, GWR Code 1060

Für weitere Analysen wurde für das Forschungsprojekt eine gegenüber der Einteilung nach GWR noch detaillierte Unterteilung in 7 Kategorien mit unterschiedlichem Wohnanteil definiert.

1.1.3 Verteilung nach Gebäudekategorie

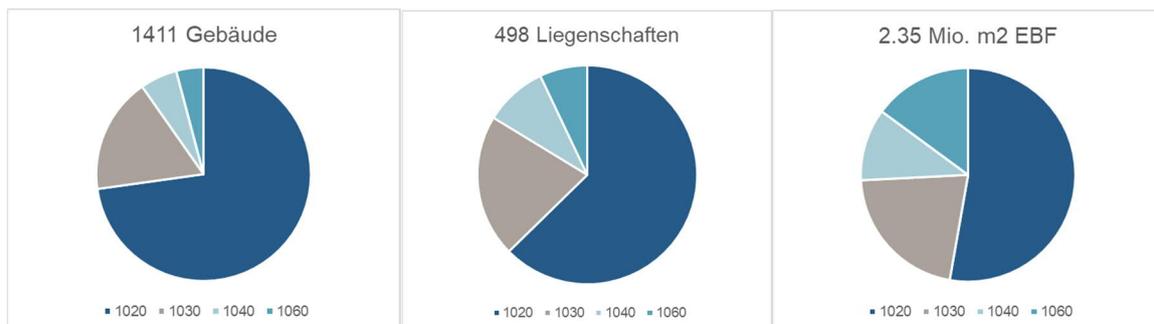


Abbildung 2: Anteil der Gebäudekategorien nach Anzahl Gebäude, Liegenschaften und Energiebezugsfläche.



Der untersuchte Gebäudebestand umfasst rund 1'400 Gebäude in rund 500 Liegenschaften mit einer Gesamtfläche von rund 2.35 Millionen Quadratmeter Energiebezugsfläche.

Die Wohngebäude haben einen Anteil von über 90% am untersuchten Gebäudebestand. 73% der Gebäude sind reine Wohngebäude und 18% sind Wohngebäude mit Nebennutzung. Nur 9% der Gebäude sind Nichtwohngebäude. Nur 4% der untersuchten Gebäude haben keine Wohnnutzung.

Bei der Flächenverteilung haben die Nichtwohngebäude jedoch einen gegenüber der Anzahl deutlich höheren Anteil von 26% gegenüber 74% der Wohngebäude. Die Nichtwohngebäude sind damit pro Gebäude betrachtet bedeutend grösser als die Wohngebäude.

Tabelle 2: Anzahl der EnBo-Gebäude nach Gebäudekategorie und Baujahresklasse

Anzahl EnBo-Gebäude	vor 1946	1946-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	Alle BJ	EnBo-Anteil nach Kategorie
1020	86	492	212	127	110	1027	73%
1030	34	85	54	32	39	247	18%
1040	20	19	16	10	12	79	6%
1060	15	17	9	4	12	58	4%
Alle	155	613	291	173	173	1411	100%
EnBo Anteil nach Baujahr	11%	43%	21%	12%	12%	100%	

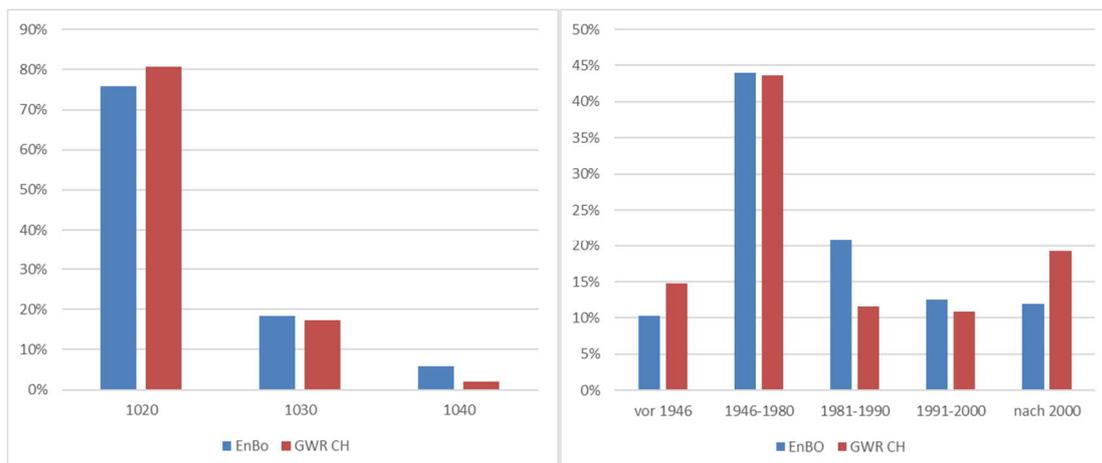


Abbildung 3: Anteile nach GWR-Gebäudekategorie (links) und Baujahresklasse (rechts) EnBo-Gebäude und GWR ganze Schweiz für Gebäude mit mehr als 6 Wohneinheiten.



Für das Forschungsprojekt EnBo800 konnte nur der Bestand der Wohnbauten, 1020 und 1030 und der Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung, 1040, verglichen werden. Die Statistik zu Gebäuden ohne Wohnnutzung, 1060, ist erst im Aufbau mit dem Ziel, bis 2020 auch diese Gebäude systematisch im GWR erfasst zu haben. In Abbildung 3 ist der Vergleich der EnBo-Gebäude, 1020, 1030 und 1040 mit dem Schweizer Gebäudebestand von Gebäuden mit mehr als 6 Wohneinheiten nach GWR verglichen. Bei den EnBo-Gebäuden ist die Baualtersklasse 1981-1990 übervertreten, dagegen sind Gebäude mit Baujahr vor 1946 und nach 2000 untervertreten. Sowohl die Verteilung nach Kategorie wie die die Verteilung nach Baujahresklasse ist jedoch sehr ähnlich.

1.2 Entwicklung des Energieverbrauches 2012 bis 2016

1.2.1 Verbrauchsentwicklung ohne Klimakorrektur

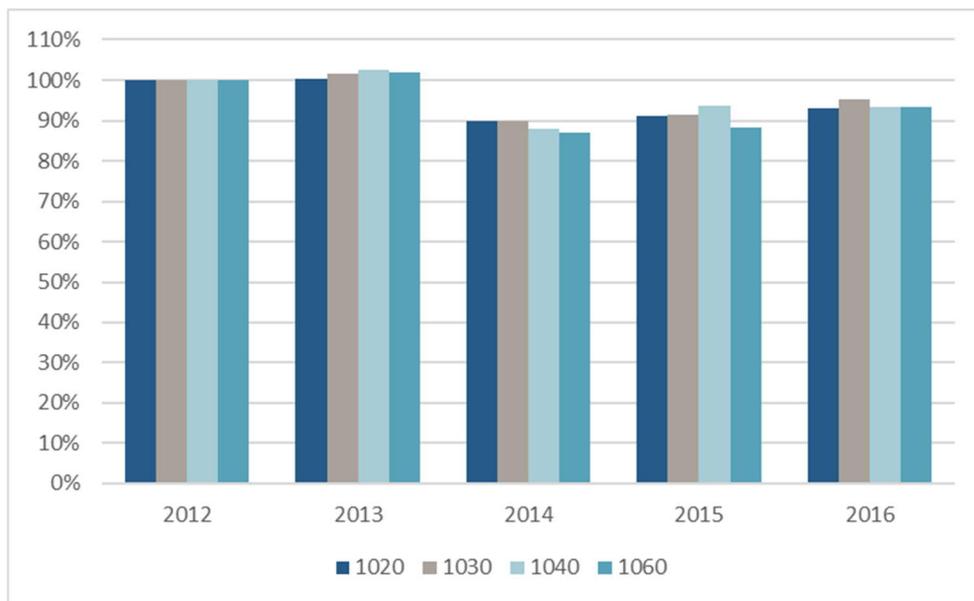


Abbildung 4: Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Gebäudekategorien.
Normierte Darstellung, 2012 = 100%.

Die Entwicklung des gemessenen Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser nach Gebäudekategorie ist in Abbildung 4 gezeigt. Die Darstellung ist für die bessere Vergleichbarkeit normiert auf das Jahr 2012. Die Verbrauchsentwicklung von allen vier Kategorien zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf. Der Unterschied 2012 zu 2013 ist sehr gering. Per 2014 zeigen alle Gruppen einen markanten Verbrauchsrückgang um rund 10%, verursacht durch milderen Winter im Vergleich zu den Vorjahren. In den Perioden 2015 und 2016 erfolgte ein leichter, wiederum wetterbedingter Verbrauchsanstieg.

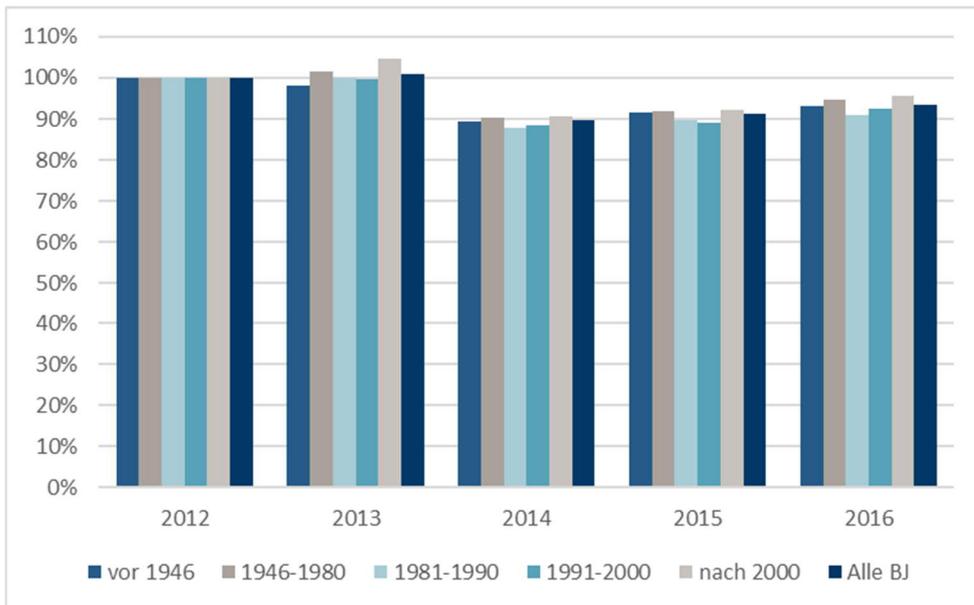


Abbildung 5: Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Baujahresklassen.
Normierte Darstellung, 2012 = 100%.

Die Entwicklung nach Baujahresklasse zeigt in Abbildung 5 den gleichen Verlauf. Die Unterschiede der Baujahresklassen in der Verbrauchsentwicklung sind gering.

Mit diesem Vergleich wird gezeigt, dass die Verbrauchsentwicklung der EnBo-Gebäude überwiegend durch Unterschiede der Winter bestimmt wird. Die Gebäudekategorie und die Baujahresklasse hat dagegen keinen markanten Einfluss auf die Verbrauchsentwicklung.

1.2.2 Verbrauchsentwicklung mit Klimakorrektur

Der im vorangegangenen Abschnitt festgestellte Einfluss unterschiedlich strenger Wintermonate kann mit der sogenannten Klimakorrektur rechnerisch kompensiert werden. Unterschiedliche Methoden zur Klimakorrektur und die in diesem Projekt verwendete Methode der proportionalen Temperaturdifferenz PTD sind im 3. Teil des Berichts erläutert.

Die klimakorrigierte Entwicklung nach Gebäudekategorien und Baujahresklassen verläuft wie die nicht korrigierte Entwicklung für alle Kategorien und Klassen weitgehend gleich. Im Unterschied zu der nicht korrigierten Entwicklung, sinkt der Verbrauch per 2013 gering und 2014 bis 2016 kontinuierlich ab. Der in der nicht klimakorrigierten Entwicklung festgestellte markante Rückgang per 2014 ist durch die Klimakorrektur kompensiert. Für die Jahre 2015 und 2016 zeigt die nicht korrigierte Verbrauchsentwicklung einen leichten Anstieg. Die klimakorrigierte Entwicklung zeigt dagegen einen Rückgang der klimakorrigierten Verbrauchswerte ab 2013, der bis 2016 noch klarer bestätigt ist.

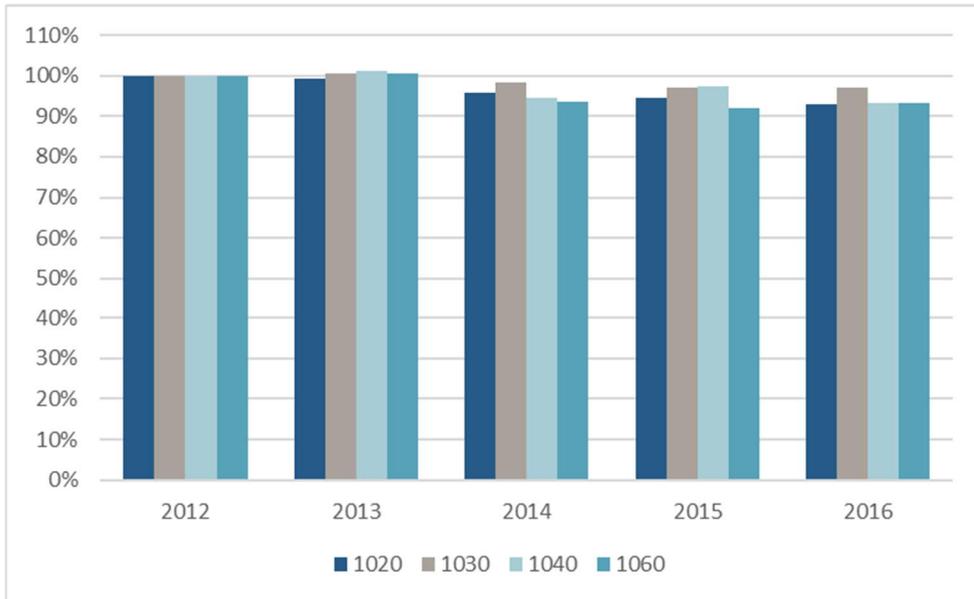


Abbildung 6: Klimakorrigierte Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Gebäudekategorien. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.

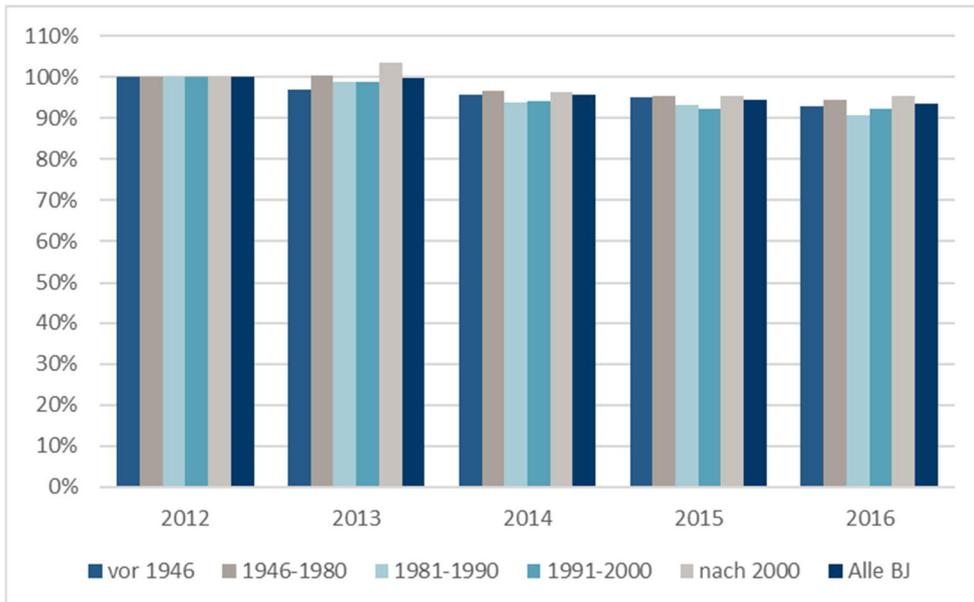


Abbildung 7: Klimakorrigierte Entwicklung Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser nach Baujahresklassen. Normierte Darstellung, 2012 = 100%.

Die klimakorrigierte Verbrauchsentwicklung zeigt relevante Unterschiede zu der nicht klimakorrigierten Entwicklung. Die nicht klimakorrigierte Entwicklung zeigt einen Verbrauchsrückgang per 2014 und für 2015 und 2016 wieder leicht ansteigende Verbrauchswerte. Die klimakorrigierte Entwicklung zeigt dagegen ab 2013 sinkende Verbrauchswerte. Die klimakorrigierte Verbrauchsentwicklung entspricht den Erwartungen, indem die Wirkung der realisierten energetischen Betriebsoptimierung in den Jahren 2014 bis 2016 abgebildet wird. In Abschnitt 2.3, Wirkung und Aufwand der energetischen Betriebsoptimierung, wird noch vertieft darauf eingegangen.



1.3 Energiekennzahlen des untersuchten Gebäudebestandes

Die Energiekennzahlen werden hier als spezifischer Endenergieverbrauch, Brennstoffe und Fernwärme für Raumheizung und Warmwasser, in kWh/m² angegeben. Bezugsgrösse ist die Energiebezugsfläche A_E der Gebäude. Diese Werte sind Mittelwerte der Jahresverbräuche der Perioden 2012-2016, klimakorrigiert auf das Basisjahr 2012.

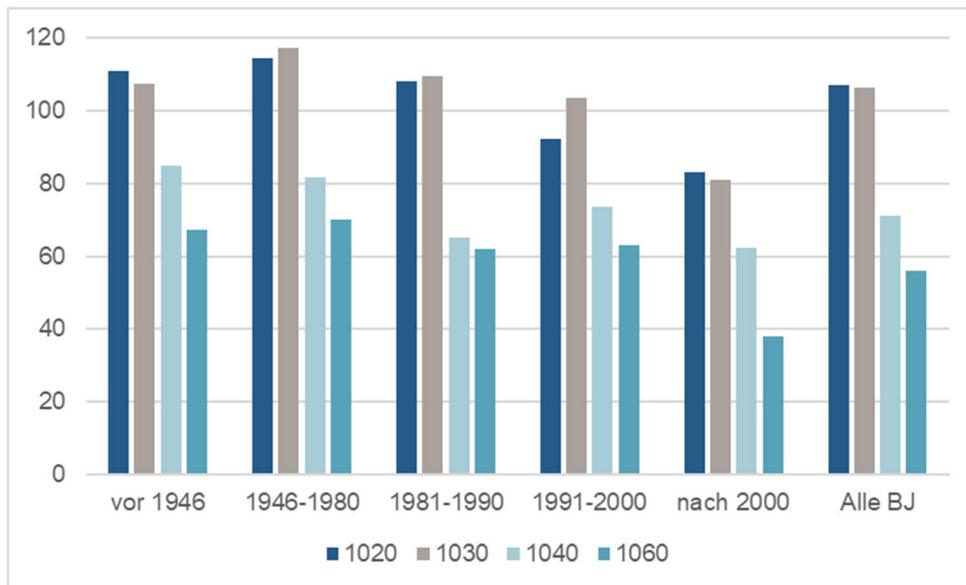


Abbildung 8: Spezifischer Endenergieverbrauch Raumheizung und Warmwasser in kWh/m².
Nach Gebäudekategorie und Baujahresklasse. Mittelwert 2012-2016, klimakorrigiert auf 2012.

Die Kennwerte der Wohnbauten liegen generell höher als die der Nichtwohnbauten. Bei den Wohnbauten haben die Gebäude der drei Baujahresklassen vor 1991 vergleichbare Kennwerte. Das bestätigt die Erfahrung, da der energetische Zustand älterer Gebäude meist nicht mehr dem Originalzustand des Baujahres entspricht. In der Regel sind diese Gebäude bereits einmal im Bereich der Energieversorgung und auch bei den Fenstern erneuert worden. Für Gebäude mit Baujahresklasse 1981-1990 ist dagegen wahrscheinlich, dass sie sich noch mehrheitlich im Originalzustand befinden.

Die Kennwerte der Wohnbauten nach Baujahresklassen sinken aufgrund der Wirkung der energetischen Vorschriften entsprechend mit der Baujahresklasse 1991-2000 und verstärkt noch mit Baujahr ab 2000. Bei den Nicht-Wohnbauten zeigt bereits die Baujahresklasse 1981-1990 tiefere Werte im Vergleich zu den älteren Gebäuden. Bei der Interpretation der Nicht-Wohngebäude ist zu beachten, dass die einzelnen Gruppen im Unterschied zu den Wohngebäuden je nur eine geringe Anzahl Gebäude aufweisen, vergleiche dazu Tabelle 2: Anzahl der EnBo-Gebäude nach Gebäudekategorie und Baujahresklasse auf Seite 15. Bei den Wohngebäuden ist die Anzahl pro Gruppe dagegen gross genug, damit die hier festgestellten Kennwerte als typisch für den Schweizer Gebäudebestand bezeichnet werden können.

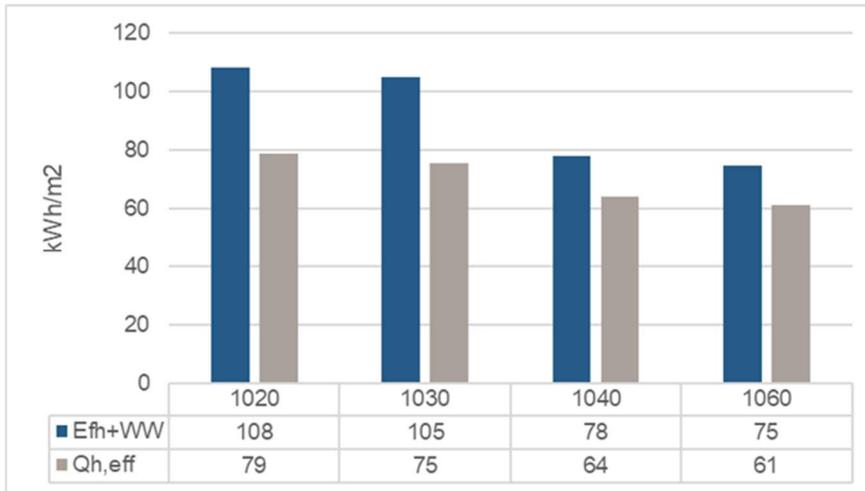


Abbildung 9: Spezifischer Verbrauch Endenergie für Raumheizung und Warmwasser sowie geschätzter Heizwärmeverbrauch nach Gebäudekategorie

Im Durchschnitt aller Baujahresklassen liegt der spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser für die Wohnbauten bei 108 bzw. 105 kWh/m² und bei 78 bzw. 75 kWh/m² bei den Nicht-Wohnbauten. Dieser klare Unterschied kann primär mit dem höheren Verbrauchsanteil für Warmwasser der Wohnbauten gegenüber den Nicht-Wohnbauten erklärt werden. Nicht-Wohnbauten haben zudem in der Regel höhere interne Lasten und in der Regel auch Nutzungszeiten, die gegenüber Wohnbauten reduziert sind. Damit kann der hier festgestellte Unterschied der Kennwerte der Wohnbauten zu den Nicht-Wohnbauten von rund 30 kWh/m² plausibel erklärt werden

Mit der Grösse des effektiven Heizwärmebedarfs $Q_{h, \text{eff}}$ ist eine Aussage über die Effizienz der Gebäudehülle möglich. Da für $Q_{h, \text{eff}}$ keine Messwerte vorliegen, wird die Grösse mit Annahmen zum Anteil Warmwasserverbrauch abgeschätzt. Nach Abzug von Erfahrungswerten für den Warmwasserverbrauch der Wohnnutzungen liegt der geschätzte effektive Heizwärmebedarf $Q_{h, \text{eff}}$ der EnBo-Gebäude bei rund 80 kWh/m² für die Wohngebäude und bei rund 60 kWh/m² für die Nichtwohngebäude. Für vergleichbare Neubauten per 2018 wird demgegenüber ein um mehr als auf die Hälfte reduzierter Wert für den Heizwärmebedarf $Q_{h, \text{eff}}$ erwartet. Die untersuchten EnBo-Gebäude haben daher ein erhebliches Effizienzpotential im Bereich der Gebäudehülle. Im Rahmen des aktuellen Forschungsprojekts wird darauf aber nicht weiter eingegangen.



2 Wirkung und Wirtschaftlichkeit der energetischen Betriebsoptimierung

2.1 Grundlagen energetische Betriebsoptimierung eBO

Im SIA Merkblatt 2048:2015 ist die Methodik und Vorgehensweise für die energetische Betriebsoptimierung eBO in Gebäuden als Standard definiert. Die eBO im vorliegenden Projekt wurden bereits ab 2013, vor Erscheinen des Merkblatts durchgeführt. Aufgrund der Analyse der Unterlagen erfüllen die an den EnBo-Gebäuden durchgeführten eBO in Bezug auf die Zielsetzung, Durchführung und Dokumentation die im SIA Merkblatt 2048 definierten Anforderungen.

Eine für das Verständnis der eBO wichtige Feststellung ist, dass die Verbrauchsreduktion nicht zu den Hauptzielen einer eBO zählen. Die Hauptziele einer eBO sind gemäss SIA Merkblatt 2048:

- den Betrieb der Anlagen der effektiven Nutzung bzw. dem effektiven Bedarf anzugleichen und darauf abzustimmen
- sowie die energetisch optimale Betriebsweise zu ermitteln, festzulegen, einzuführen und kontinuierlich beizubehalten.

Die mit dem energetisch optimalen Betrieb erzielbare Reduktion des Energieverbrauchs und der Energiekosten im Vergleich zu nicht optimalen Einstellungen, wird als Hauptnutzen einer eBO erwartet. Weitere Nutzen sind gemäss SIA Merkblatt 2048 (Auswahl mit Relevanz auf das EnBo - Projekt):

- Durch den energetisch optimierten Betrieb kann die Lebensdauer der Anlagen verlängert, können Störungen reduziert und die Betriebssicherheit erhöht werden. Somit trägt eine eBO wesentlich zum Werterhalt und zur Wertsteigerung einer Immobilie bei.
- Durch den energetisch optimierten Betrieb kann der Komfort für die Gebäudenutzer erhöht werden.
- Mängel an den Anlagen werden erkannt und können durch die verantwortliche Stelle behoben werden.

Die an den EnBo-Gebäuden durchgeführten eBO konzentrierten sich in der Regel auf die Heizungsanlagen und auf die Wärmeversorgung im Besonderen. Die eBO wurden als sogenannte «Quick-Checks» durchgeführt. Diese Art der Durchführung ist im SIA Merkblatt 2048 nicht explizit beschrieben. Ein «Quick-Check» besteht im Wesentlichen aus einer Begehung der Anlage und Aufnahme der Anlagekennwerte soweit diese vorgängig nicht verfügbar waren. Der «Quick Check» wird durch eine eBO-Fachperson durchgeführt. Bei den durchgeführten eBO für die EnBo-Gebäude hatten die eBO-Fachpersonen die explizite Aufgabe, bei der Begehung festgestellte, nicht optimale Einstellungen gleich vor Ort zu optimieren. Die direkt vorgenommenen Änderungen und Vorschläge für weitere Massnahmen, welche über die direkte Intervention hinausgehen, wurden in einem Begehungsrapport zu Händen der Bewirtschafter der Liegenschaften protokolliert. Für das Forschungsprojekt bilden diese Begehungsrapporte die Grundlage für die Analyse der durchgeführten Massnahmen. Der Leistungsumfang der «Quick Checks» ist vergleichbar mit der im SIA Merkblatt 2048 Anhang C beschriebenen energetischen Betriebsoptimierung unmittelbar nach Übergabe.

Der Energieverbrauch der meisten EnBo-Gebäude wird im Jahresintervall oder Quartalsweise, in der Regel aufgrund der Lieferantenrechnungen erfasst. Nur wenige Gebäude der EnBo-Gebäude sind mit einer kontinuierlichen Verbrauchserfassung ausgerüstet. Nur für diese ausgewählten Gebäude erfolgt die eBO als Daueraufgabe analog zum Vorgehen gemäss SIA Merkblatt 2048, Anhang D.



2.2 Analyse der durchgeführten eBO-Massnahmen

2.2.1 Analyse der Massnahmen

Die in den einzelnen EnBo-Liegenschaften durchgeführten Massnahmen wurden in der Regel sehr detailliert dokumentiert. Die Dokumentation der Zustandsanalyse und der durchgeführten Massnahmen ist aber mehrheitlich stark textbasiert und die Dokumentation ist über alle Liegenschaften betrachtet nicht einheitlich geführt. Die für das Forschungsprojekt zu Verfügung gestellte Dokumentation unterscheidet vier Gruppen von Massnahmen. Zudem sind die Massnahmen unterschiedlichen Verwendungszwecken zugeordnet.

Direkte Umsetzung, bei Begehung vor Ort umgesetzt, unterteilt nach Verwendungszweck

- Raumheizung
- Warmwasser
- Lüftung (wenn vorhanden)
- übrige Elektroverbraucher

Diese Massnahmen umfassen die optimierte Einstellung der bestehenden Gebäudetechnik soweit dies vor Ort ohne spezielle Hilfsmittel möglich war.

Mängelanzeigen und nachfolgende Behebung, unterteilt nach Verwendungszweck

- Raumheizung
- Warmwasser
- Lüftung (wenn vorhanden)
- übrige Elektroverbraucher

Diese Massnahmen umfassen kleinere Ersatz und Reparaturarbeiten insbesondere an defekten Anlageteilen, um die bestehende Gebäudetechnik optimal betreiben zu können.

Investitions-Forderungen

Im Unterschied zu den Mängelanzeigen, welche auf Mängel an vorhandener Infrastruktur Bezug nehmen, sind mit Investitions-Forderungen Massnahmen beschrieben, mit denen die bestehenden Anlagen zur besseren Umsetzung des energetisch optimierten Betriebs ergänzt werden sollen. Dazu gehört auch die Forderung nach weiteren Dienstleistungen, wie z.B. die vertiefte Analyse von lohnenden Optimierungsmöglichkeiten über den Umfang des Quick-Check hinaus.

Investitions-Empfehlungen

In diese Gruppen werden weitergehende Ersatz und Erneuerungsmassnahmen wie Kesseleratz und auch bauliche Massnahmen wie z.B. Fensterersatz eingeteilt. Massnahmen dieser Gruppe werden durch die eBO-Fachpersonen als Empfehlung zu Händen der Bewirtschafter definiert.

Tabelle 3: Massnahmen der durchgeführten eBO nach Umsetzungsgrad und Wirkungsfeld

	direkte Umsetzung	Mängel	Investition Forderung	Investition Empfehlung	Diverse	Total	in %
Heizung	1'443	103	108	165	68	1'887	68%
Warmwasser	107	22	22	55	6	212	8%
Zirkulation	34	8	8	18	4	72	3%
Lüftung	49	12	22	36	3	122	4%
Kälte	2	3	2	9	-	16	1%
Beleuchtung	8	3	12	91	2	116	4%
Lift	1	3	11	26	-	41	1%
Dämmung	-	2	1	8	-	11	0%
Diverse	124	36	21	107	28	316	11%
Total	1'768	192	207	515	111	2'793	100%
	63%	7%	7%	18%	4%	100%	



Zwischen Januar 2013 bis Mitte 2016 wurde an den EnBo-Liegenschaften energetische Betriebsoptimierungen durchgeführt. Rund 2800 Einzelmassnahmen an den rund 480 Liegenschaften sind dokumentiert, im Durchschnitt rund 6 Einzelmassnahmen pro durchgeführte eBO. 63% der Massnahmen wurden direkt vor Ort umgesetzt. Optimierung an der Heizungsanlage ist mit 68% die häufigste Massnahme. Rund 1/3 der Massnahmen wurden beantragt und zu rund der Hälfte nachgängig ausgeführt.

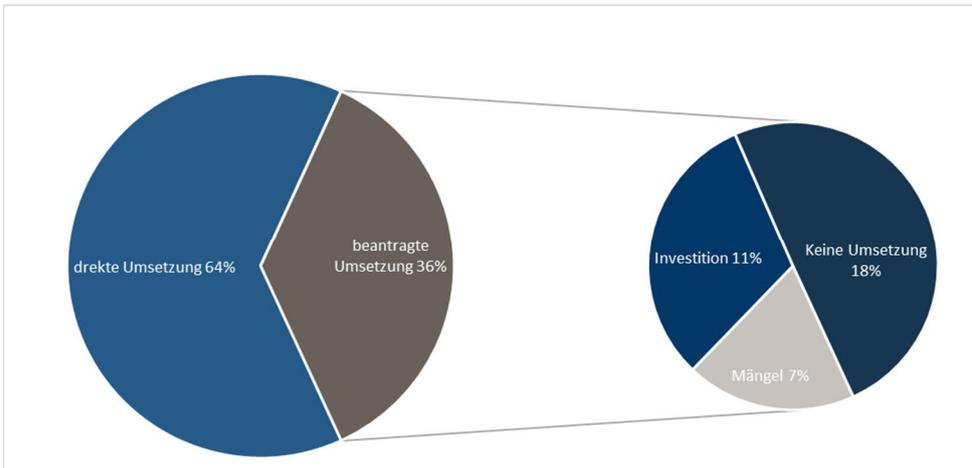


Abbildung 10: Anteile der Massnahmen 2013-2016, direkte Umsetzung und beantragte Umsetzung

Für die direkte Umsetzung vor Ort hatten die eBO-Fachpersonen die explizite Kompetenz, die Massnahmen soweit möglich umzusetzen. Rund ein Drittel der dokumentierten Massnahmen wurde mit dem eBO-Rapport dem Bewirtschafter für die nachträgliche Umsetzung beantragt. Davon wurde rund die Hälfte, also 18% der gesamten Massnahmen nicht umgesetzt. Die Ablehnung vorgeschlagener Massnahmen wurde in der Regel damit begründet, dass die vorgeschlagene Massnahme bis zu einer zukünftigen umfassenderen Erneuerung des Gebäudes oder der Anlage aufgeschoben wurde. Kleinere Mängel wurden in der Regel jedoch prompt zu Behebung beauftragt. Diese Mängelbehebung wird dabei als ohnehin erforderliche Instandsetzungs-Massnahme betrachtet. Rund 11% der Massnahmen wurden als Investitionen umgesetzt. Die Umsetzung erfolgte, wenn die Vorteile der Umsetzung gegenüber den Kosten überwiegend waren.



2.3 Wirkung und Aufwand der energetischen Betriebsoptimierung

2.3.1 Wirkung und Nutzen der eBO

2.3.1.1 Wirkung der eBO auf den Endenergieverbrauch

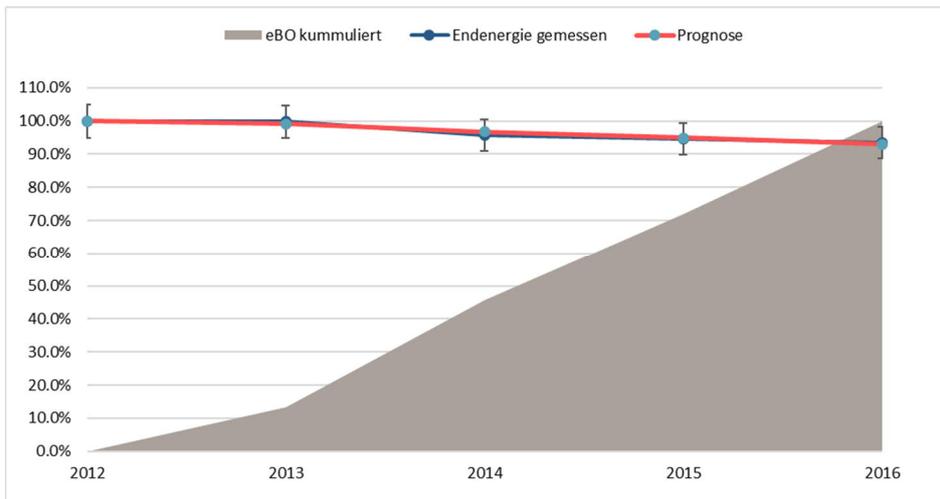


Abbildung 11: Intensität der BO-Massnahmen und Veränderung des Energieverbrauches 2012-2016 in %

Der Gesamtverbrauch der in dieser Auswertung berücksichtigten 482 Liegenschaften mit rund 1400 Gebäuden zeigt ab 2013 kontinuierlich sinkende Verbrauchswerte gegenüber den Vorjahren. Dieser klimakorrigierte Verlauf korreliert mit der kumulierten Wirkung der Anzahl der durchgeführten eBO. Siehe Abbildung 11. Die kumulierte Wirkung der eBO wird berechnet aus der Wirkungsdauer der eBO aufgrund des Zeitpunkts der Durchführung der eBO und dem Zeitpunkt der Verbrauchsdatenablesung. Als Beispiel sei eine eBO im März 2014 durchgeführt worden und die nächste Verbrauchsablesung erfolgte im Juni 2014. Die Wirkung dieser eBO auf den Verbrauchswert per Juni ist noch vergleichsweise gering, da im Vergleich mit einem Jahresverbrauch nur ein kleiner Verbrauchsanteil mit den optimierten Einstellungen der eBO konsumiert wurde. Ab der folgenden Ableseperiode, ein Jahr später, ist die eBO dann aber für die ganze Verbrauchsperiode als wirksam zu betrachten.

Die gute Korrelation zwischen der Intensität der eBO und der resultierenden Verbrauchsreduktion kann auch mit der Korrelations-Geraden gemäss Abbildung 12, gezeigt werden. Mit der X-Achse (Horizontal) wird die berechnete, erwartete Wirkung aufgrund der Zahl der kumulierten eBO dargestellt. Mit der Y-Achse (Vertikal) die gemessene Wirkung. Jeweils in % Verbrauchsreduktion zum Basisjahr 2012. Bei idealer Übereinstimmung der Erwartung mit der Messung hätte die Gerade die Steigung 1.0. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, wurde aufgrund der 2013 durchgeführten eBO bereits eine Wirkung von 1% Reduktion erwartet. Die Messungen per 2013 zeigten jedoch keine relevante Reduktion. Für 2014 wurde ein Ergebnis von 3% erwartet, die Messungen zeigten nun eine Reduktion von 4%. Also eine Wirkung über den Erwartungen. Für die Jahre 2015 bis 2016 war die Performance mit rund 3% von 2014 bis 2016 aufgrund der Messungen dagegen wieder geringer als die Erwartung mit 4% im gleichen Zeitraum. Die Korrelation zwischen den gemessenen Ergebnissen und den Erwartungen aufgrund der Anzahl von durchgeführten eBO ist auch trotz den festgestellten Abweichungen überzeugend für den Nachweis der Wirkung der eBO.

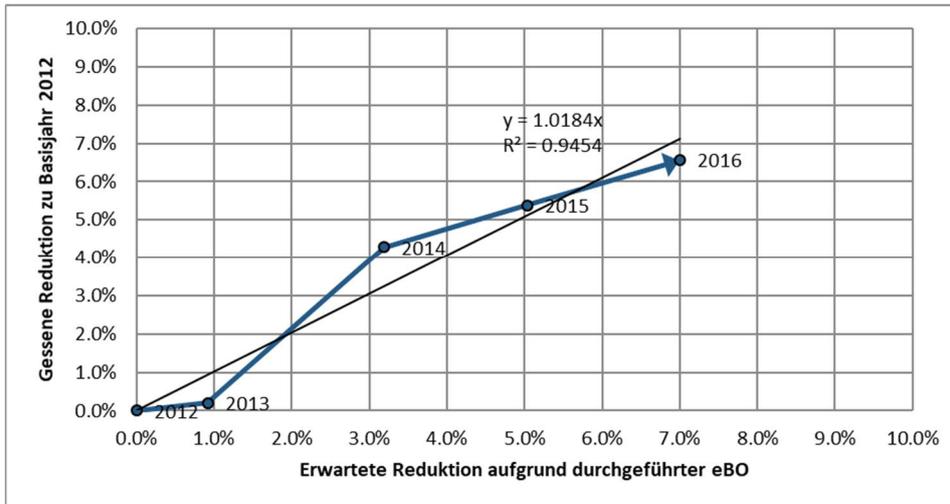


Abbildung 12: Korrelation der erwarteten Wirkung mit der gemessenen Wirkung 2012 bis 2016

Die Wirkung der eBO kann auch mit der Verteilung der Verbrauchsreduktion per 2016 im Vergleich zum Basisjahr 2012 dargestellt werden. Die Verteilung zeigt eine deutliche Abweichung von der ohne eBO zu erwartenden Normalverteilung. Die Verbrauchsreduktion im Bereich von 3 bis 9% ist am häufigsten vertreten. Diese Abweichung von der Normalverteilung der Verbrauchsreduktion wird mit den durchgeführten eBO erklärt.

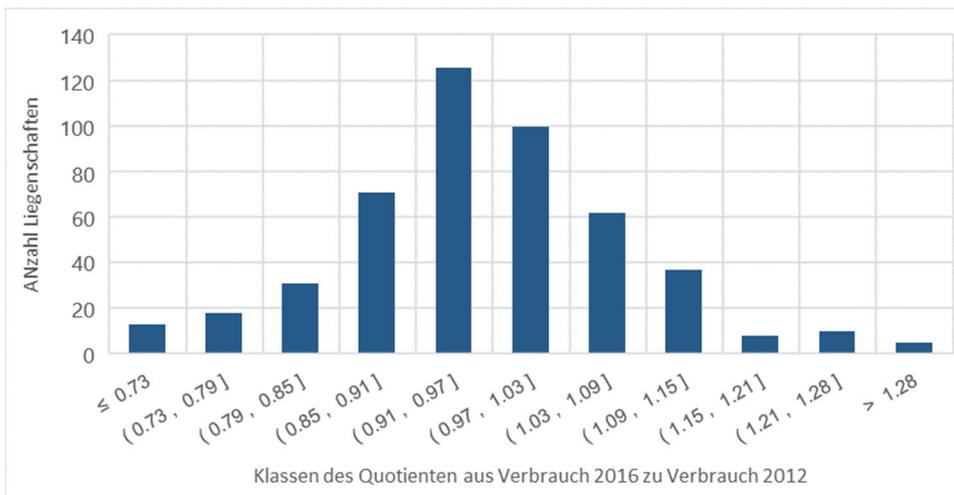


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der per 2016 ermittelten Verbrauchsreduktion gegenüber 2012

Als Wirkung der ab 2013 durchgeführten eBO wurde für die EnBo-Liegenschaften eine Verbrauchsreduktion von nominal 6.4% per 2016 gegenüber 2012 festgestellt. Der festgestellte Erfolg ist nach Baujahresklasse der Gebäude deutlich unterschiedlich.

Tabelle 4: Festgestellte Verbrauchsreduktion 2016 in % zu 2012 nach Baualtersklasse

Baujahresklasse	vor 1946	1946-1980	1981-1990	1991-2000	nach 2000	Alle BJ
Reduktion 2012-2016	-6.9%	-5.4%	-9.1%	-7.6%	-4.5%	-6.4%



Wie in Abschnitt 1.1.3 festgestellt wurde, ist die Zusammensetzung der EnBO-Gebäude in Bezug auf die Baualtersklassen zwar sehr ähnlich aber nicht ganz identisch mit dem Schweizer Gebäudebestand der mittleren und grösseren Wohnbauten. Bei den EnBo-Gebäuden ist die Baualtersklasse 1981-1990 deutlich übervertreten. Diese Klasse weist den grössten Reduktionserfolg auf. Dagegen ist die Klasse der nach dem Jahr 2000 erstellten Gebäude in der vorliegenden Auswertung untervertreten. Diese Gebäude weisen den geringsten Reduktionserfolg auf. Das ist plausibel, da diese neueren Gebäude im Vergleich zum Gesamtbestand mit modernerer Gebäudetechnik ausgerüstet sind und im Vergleich auch über eine bessere thermische Gebäudehülle verfügen. Vergleiche dazu Abbildung 8 auf Seite 20.

Werden die Anteile der Baujahresklassen auf die gemäss GWR für die Schweiz zutreffende Verteilung umgerechnet, reduziert sich die gesamtschweizerisch zu erwartende Verbrauchsreduktion durch eBO bei den entsprechenden Gebäudekategorien auf rund 6 %.

Überprüfung des Resultats mit Gruppenvergleichen

Die Wirkung der eBO auf den Endenergieverbrauch wurde mit Gruppenvergleichen verifiziert. Dazu wurden Gruppen von Liegenschaften mit eBO und ohne eBO aus der Gesamtheit gebildet und die Verbrauchsentwicklung je über den gleichen Zeitraum verglichen. Die Gruppenvergleiche zeigen, dass die Gruppen mit eBO gegenüber den Gruppen ohne eBO im jeweils gleichen Zeitraum stets eine signifikante Verbrauchsreduktion aufweisen. Quantitativ liegt die Verbrauchsreduktion der Gruppen mit eBO gegenüber den Gruppen ohne eBO bei rund 4% und ist damit tiefer als die für die Gesamtheit festgestellte Reduktion von 6.4%. Mit diesem Resultat kann argumentiert werden, dass nicht der gesamte, über die fünf Jahre festgestellte Reduktionserfolg von 6.4% der energetischen Betriebsoptimierung zugeschlagen werden kann. Wirkungen von Massnahmen, welche unabhängig der eBO durchgeführt wurden und für das Forschungsprojekt unbekannt sind, können nicht ausgeschlossen werden. Bei dieser Argumentation muss aber auch die generelle Unsicherheit bei den Verbrauchswerten und der verwendeten Klimakorrektur berücksichtigt werden. Da bei allen Liegenschaften der Gesamtmenge eine eBO durchgeführt wurde, konnte der Gruppenvergleich nicht wie für die Gesamtmenge über alle fünf Verbrauchsjahre gemacht werden, sondern nur über maximal drei Jahre, um Gruppen mit je genügender Anzahl Liegenschaften mit und ohne eBO für die Auswertung zu erhalten.

Der reduzierte Endenergieverbrauch durch energetische Betriebsoptimierung konnte ohne Ausnahme in allen Gruppenvergleichen klar nachgewiesen werden. Die generelle Wirkung der eBO ist damit bestätigt.

Für den quantitativen Unterschied von rund 4% Erfolg beim Nachweis durch Gruppenvergleich zu den rund 6% Erfolg der Gesamtmenge werden die Gründe beim für die Gruppenvergleiche kürzeren Betrachtungszeitraum und bei der Unsicherheit der Klimakorrektur vermutet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann der Unterschied jedoch nicht abschliessend erklärt werden.

2.3.1.2 Weiterer Nutzen der durchgeführten eBO

Die Ziele der energetischen Betriebsoptimierung wurden erreicht und für den Betrieb und Unterhalt der Wärmeversorgung wurde wertvoller Nutzen gewonnen. Das zeigt auch die hohe Zahl der analysierten und realisierten Massnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung und Mängelbehebung. Siehe dazu Tabelle 3.



2.3.2 Aufwand und Kosten- Nutzen-Verhältnis der eBO

2.3.2.1 Aufwand für die durchgeführte eBO

Für jede der 482 Liegenschaften wurde eine eBO durchgeführt, in 51 Fällen wurde eine Zweitbegehung gemacht. Somit wurden bei den untersuchten 482 EnBo-Liegenschaften insgesamt 533 Begehungen gemacht.

Die Kosten einer eBO, in der Art wie sie an den EnBo-Gebäuden durchgeführt wurden, beträgt nach Auskunft des zuständigen Bewirtschafters rund CHF 2'500 pro Fall. Von diesen Kosten entfällt jedoch nur ein Teil auf die effektive Begehung der Liegenschaft, Analyse der Anlagen und Durchführung der Vor-Ort-Massnahmen. Ebenfalls enthalten ist Vorbereitung und Organisation der eBO-Durchführung und die Nachbereitung mit der Übernahme des eBO-Rapports und dem Veranlassen von fallweise weiteren Massnahmen. Die Umsetzung von weiteren Massnahmen, welche über eBO mit der einmaligen Begehung der Liegenschaft im Umfang von rund einem Arbeitstag hinausgehen, ist in dem Preis jedoch nicht enthalten.

Bei einem Gesamtpreis von CHF 2'500 pro eBO und total 533 durchgeführten eBO ist der finanzielle Aufwand somit rund CHF 1.33 Millionen für die 483 EnBo-Liegenschaften oder durchschnittlich CHF 2'750 pro Liegenschaft, bei einem Anteil von rund 10% Zweitbegehungen.

Die Kosten für Mängelbehebung und weitere Massnahmen werden hier nicht ausgewiesen. Bei der Mängelbehebung handelt es sich um Ohnehin-Kosten, also Kosten, welche früher oder später auch ohne eBO entstanden wären.

2.3.2.2 Kosten – Nutzenverhältnis der eBO

Den Kosten für die Durchführung der eBO steht primär der Nutzen durch geringeren Energieverbrauch gegenüber. Der Endenergieverbrauch der EnBo-Gebäude für Raumheizung und Warmwasser war 2012 rund 220 Millionen kWh. Durch die oben ausgewiesene Reduktion des Energieverbrauches konnten ab 2013 bis 2016 klimabereinigt insgesamt rund 31 Millionen kWh eingespart werden. Mit einem Energiepreis von rund 10 Rp. pro kWh über den Zeitraum 2013 bis 2016 hat diese Einsparung somit einen Wert von rund 3.1 Millionen CHF. Die oben ausgewiesenen Gesamtkosten der eBO ab 2012 bis 2016 sind damit per Ende 2016 bereits mehr als doppelt kompensiert.

Der finanzielle Nutzen der eBO durch Verbrauchsreduktion ist abhängig vom Erfolg der eBO. Dieser Erfolg ist umso grösser, je grösser der Energieverbrauch der Liegenschaft und die aus der eBO resultierende Einsparung ist. Der Einfluss unterschiedlicher Gebäudekategorien ist demgegenüber untergeordnet.



2.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Durchführung der energetischen Betriebsoptimierung bei fremdgenutzten Liegenschaften

Die aufgrund der vorliegenden Untersuchung festgestellte Verbrauchsreduktion von durchschnittlich rund 5% durch eBO-Massnahmen mag gering erscheinen. Das vom Auftraggeber CS GRES definierte Ziel der Verbrauchsreduktion um bis zu 10% wurde zwar für einen bedeutenden Teil der Gebäude erreicht. Im Durchschnitt der untersuchten Liegenschaften konnte für das konkrete Portfolio der EnBo-Gebäude mit 6.4% Reduktion per 2016 das selbst gesteckte Ziel noch nicht erreicht werden. Wie oben gezeigt, erweisen sich die Massnahmen jedoch als sehr wirtschaftlich und zahlen sich innerhalb der Betrachtungsperiode von 2013 bis 2016 im Durchschnitt doppelt zurück. Das Ziel des kurzen Pay-Backs ist damit erfüllt.

Da die Erhebung der Verbrauchswerte und auch die Klimakorrektur mit Unsicherheiten behaftet ist, siehe Erläuterung im Abschnitt 2.3.1, soll für die weitere Kommunikation ein defensiver Wert von durchschnittlich 5% erzielter Verbrauchsreduktion genannt werden.

Da es sich bei der eBO per Definition um eine Optimierungsaufgabe handelt, sollten die Rahmenbedingungen und die Einstellungen der Anlagen periodisch überprüft werden, um Abweichungen vom Optimum zu erkennen und fallweise zu korrigieren. Für die mittleren und grösseren Wohnliegenschaften wird ein Intervall für die eBO von 5 Jahren empfohlen.



3 Grundlagen und Methodik

3.1 Grundlagen Rohdaten

Als wertvoller Beitrag der CS GRES zum Forschungsprojekt wurden detaillierte Informationen zum Energieverbrauch und zu der durchgeführten energetischen Betriebsoptimierung zu Verfügung gestellt. Das durch die CS GRES verwaltete Anlageportfolio umfasste im Zeitraum 2012 bis 2016 durchschnittlich rund 850 Liegenschaften in der Schweiz. Bei 670 Liegenschaften wurde in diesem Zeitraum eine energetische Betriebsoptimierung durchgeführt. Gemessene Energieverbrauchswerte über alle fünf Jahre sind für 573 Liegenschaften vorhanden. Um die Wirkungsanalyse der energetischen Betriebsoptimierung nicht zu verfälschen, wurden nur Liegenschaften für die Analyse berücksichtigt bei denen im Zeitraum 2012 bis 2016 keine energetischen Massnahmen an Hülle und Gebäudetechnik durchgeführt wurden. Die Schnittmenge aus diesen Anforderungen ergibt 482 Liegenschaften. Diese Liegenschaften bilden die Grundgesamtheit der Untersuchung.

Die bestehenden, auf Stufe der einzelnen Liegenschaften und Gebäuden vorliegenden Daten werden für das Forschungsprojekt in fünf Datensätzen, DS0 bis DS4, geordnet. Der wissenschaftliche Ansatz des Forschungsprojekts ist eine Ex-Post-Analyse dieser Daten mit geeigneten statistischen Instrumenten.

- DS0: Klimadaten: Standortbezogene Stundenwerte der Aussentemperatur und Tageswerte der Globalstrahlung.
Die standortbezogenen Stundenwerte der Aussentemperatur wurden explizit für dieses Projekt mit einem neuen Modellansatz der Hochschule HSLU gebildet.
- DS1: Datensatz Gebäudebestand: Standort, Gebäudetyp, Nutzung und Zustand. Jahre 2012 bis 2016. Die Werte stammen aus dem Asset Management der CS GRES. Es sind alle relevanten Daten für eine detaillierte Klassierung des zu untersuchenden Gebäudebestandes nach Gebäudetyp, Zustand und Nutzung vorhanden.
- DS2: Datensatz Energieverbrauch. Jahre 2012 bis 2016.
Die Energieverbrauchswerte werden im Auftrag der CS GRES durch Siemens erhoben und bereitgestellt.
Die Energieverbrauchswerte bestehen aus den nach Energieträger gemessenen Verbrauchswerten für die Wärmeerzeugung Raumheizung inkl. Warmwasser sowie für Allgemeinstrom, in der Regel als Jahreswerte. Teilweise sind zudem Quartalswerte oder Monatswerte verfügbar.
- DS3: Datensatz Massnahmen Betriebsoptimierung. Jahre 2012 bis 2016.
Die Massnahmen zur Betriebsoptimierung werden im Auftrag der CS GRES unter Führung der Wincasa durch die Siemens Schweiz AG durchgeführt. Die Protokolle der Objektbegehungen und die am Objekt durchgeführten Massnahmen und festgestellten Mängel bilden den Inhalt für diesen Datensatz.
- DS4: Datensatz Bewirtschaftung. Jahre 2012 bis 2016.
Die Bewirtschaftung der Liegenschaften erfolgt im Auftrag der CS GRES durch die Wincasa AG. Für die Behebung der durch Siemens angezeigten Mängel wurden durch Wincasa die entsprechenden Firmen und Fachleute beauftragt. Die energierelevanten Mängelbehebungen, Instandhaltung und Instandsetzung, bilden den Inhalt für diesen Datensatz.

Die fünf Datensätze werden über einen bereits bestehenden, einheitlichen Hauptschlüssel (ID-Nummer der Liegenschaft) miteinander verknüpft und alle Werte werden in einer Datenbank abgelegt. Aus dieser Datenbank werden die Wertetabellen für die statistischen Analysen generiert. Die Resultate der Datenanalyse werden interpretiert und mit Angaben aus der Literatur verglichen. Mit den Ergebnissen der Analyse und der Interpretation werden die Forschungsfragen beantwortet.

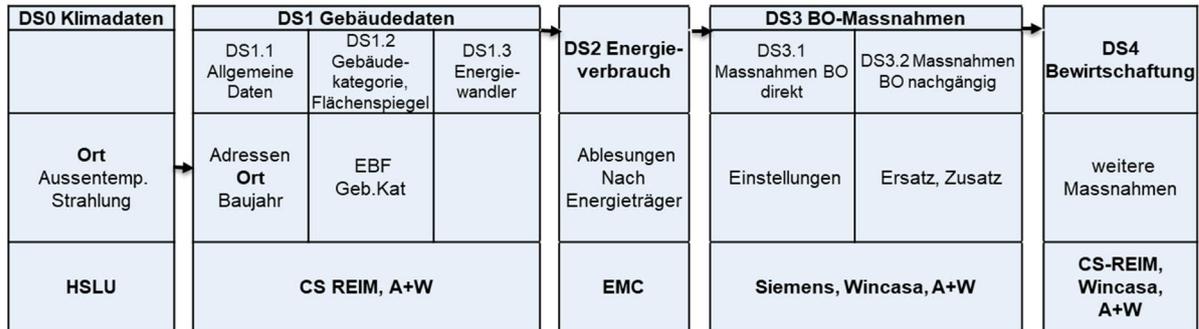


Abbildung 14: Struktur Rohdaten, Datensätze

3.2 Genereller Ansatz der Wirkungsanalyse

Mit der Aufbereitung und Bereitstellung der erläuterten Grundlagen wird der generelle Ansatz für die Datenanalyse gemäss Abbildung 15 beschrieben.

- Die über die Jahre gesteigerte «Intensität» der durchgeführten BO-Massnahmen:



bewirkt eine zu dieser Intensität proportionalen Energieeinsparung?

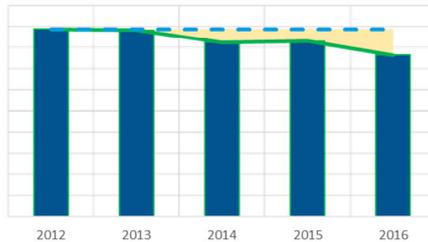


Abbildung 15: Genereller Ansatz für die Datenanalyse

Als Voraussetzung für die Wirkungsanalyse ist zunächst für alle Liegenschaften die Klimakorrektur durchzuführen, damit die über die Jahre variablen Klimawerte als Störgrösse bestmöglich eliminiert werden können.



3.3 Bestehende Methoden der Klimakorrektur

Das Konzept der Klimakorrektur besteht darin, für den Energieverbrauch einer bestimmten Messperiode einen zum Energieverbrauch proportional entsprechenden Klimawert zu bestimmen und dann aufgrund des bekannten Klimawertes einer Referenzperiode den proportional entsprechenden Energieverbrauch für diese Referenzperiode zu berechnen.

Drei Anwendungsmethoden sind in der Schweiz gebräuchlich:

- HGT Heizgradtage
- GT&S Gradtag & Strahlung (Prognos 2003, 2015; Spezialanwendung für BFE und BAFU)
- ATD Akkumulierte Temperaturdifferenz

Die Klimakorrektur wird im Prinzip stets nur auf den Wärmeverbrauch für Raumheizung, Stufe Nutzenergie, angewendet. Als diesem Wärmeverbrauch proportional entsprechender Klimawert wird verwendet:

- bei HGT die Heizgradtage
- bei GT&S die Gradtage mit zusätzlicher Strahlungskorrektur
- bei ATD die akkumulierte Temperaturdifferenz

3.3.1 HGT Heizgradtage

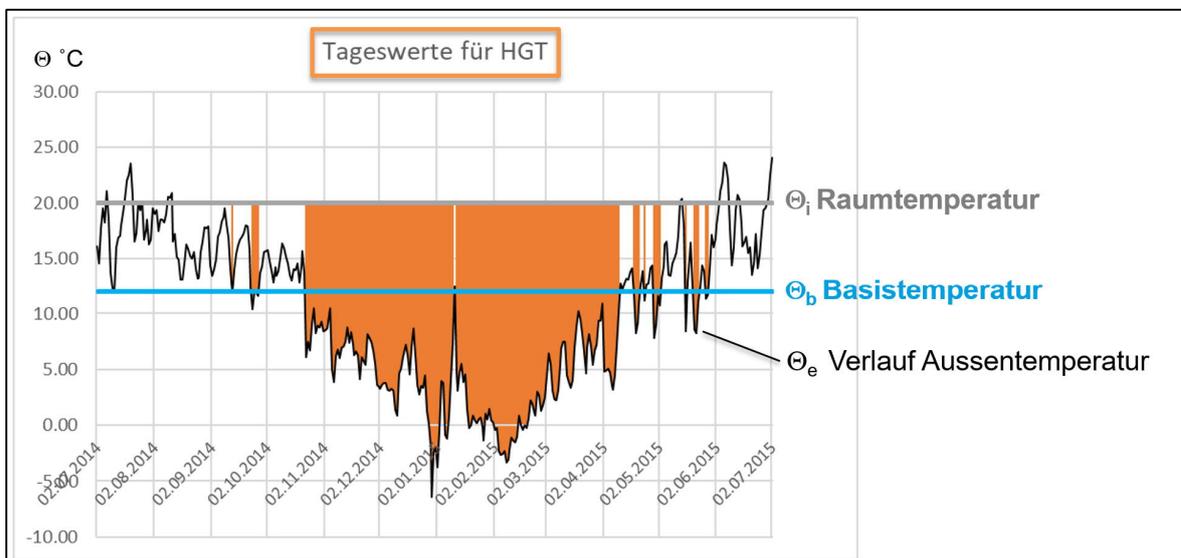


Abbildung 16: Heizgradtage einer Jahresperiode basierend auf Raumtemperatur und Basistemperatur

HGT ist die heute noch am gebräuchlichsten angewendete Methode für die Klimakorrektur. HGT ist jedoch seit 2015 als normativer Standard [1] und per 2018 auch als Branchenstandard [2] durch die Methode ATD abgelöst.

Heizgradtage HGT werden aufgrund des Verlaufs der Aussentemperatur mit einer festgelegten Raumtemperatur und einer festgelegten, sogenannten Basistemperatur bestimmt. Für Heizgradtage HGT 20/12 wird die positive Differenz zwischen der Raumtemperatur (20 °C) und der



Aussentemperatur verwendet, aber nur für die Intervalle (Tage) mit einer mittleren Aussentemperatur unter der Basistemperatur ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Die Summe der Heizgradtage der einzelnen Intervalle über die Messperiode wird als proportionaler Klimawert für die Klimakorrektur nach Methode HGT verwendet.

3.3.2 GT&S Gradtage und Strahlung

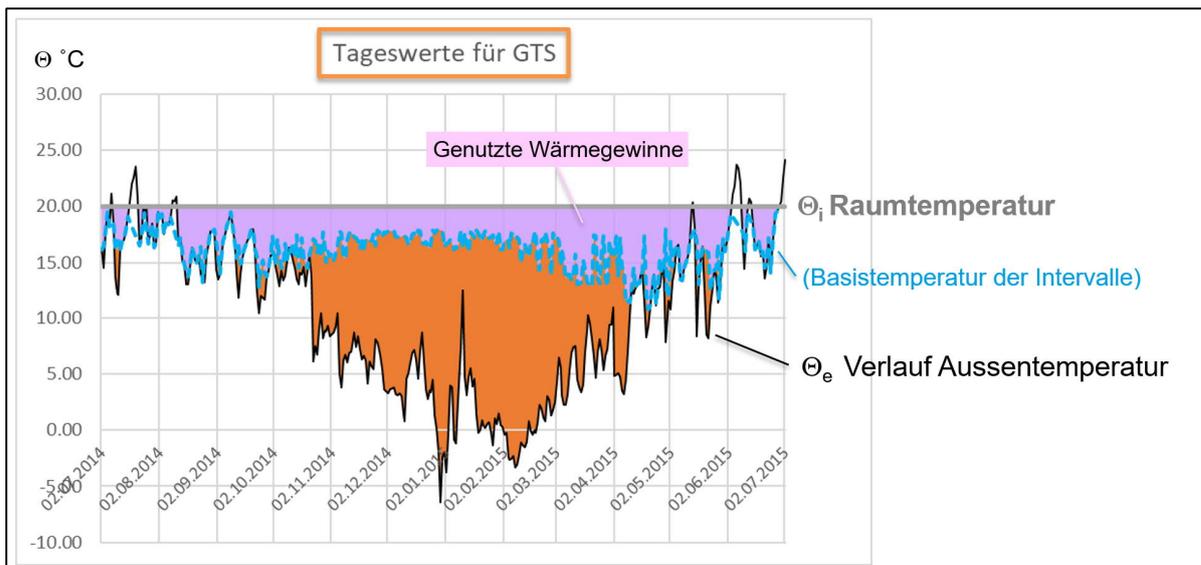


Abbildung 17: Gradtage mit Anteil der genutzten Wärmegewinne nach dem Prinzip der Methode GT&S

Die Methode GT&S wird im Rahmen von nationalen Erhebungen, Heizölpanel und Ex-Post-Analysen, durch das Bundesamt für Energie und das Bundesamt für Umwelt verwendet. Die Methode GT&S ist als Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung detailliert beschrieben [3]. Demgemäss bildet die Methode GT&S die Proportionalität des Klimawertes zum Heizwärmeverbrauch generell genauer ab als die Methode HGT.

Für die komplette Anwendung der Methode GT&S nach [3] werden Referenzgebäude verwendet. Die Methode GT&S kann daher nicht direkt für die Klimakorrektur beliebiger Gebäude verwendet werden.

Nach dem Prinzip der Methode GT&S wird zunächst analog zu HGT die positive Differenz zwischen der Raumtemperatur und der Aussentemperatur als Gradtage bestimmt. Im Unterschied zu HGT wird jedoch jedes Intervall der Messperiode bilanziert und zusätzlich wird der Anteil der genutzten Wärmegewinne pro Intervall ermittelt. Die genutzten Wärmegewinne und deren Berechnung ist in [4] beschrieben. Eine explizite Basistemperatur wird mit der Methode GT&S nicht verwendet. Durch die Abgrenzung der genutzten Wärmegewinne pro Intervall wird jedoch für jedes Intervall eine der Basistemperatur äquivalente Grösse implizit bestimmt.

Die Summe der Gradtage aller Intervalle abzüglich der Summe der Anteile der genutzten Wärmegewinne aller Intervalle werden als proportionaler Klimawert für die Klimakorrektur nach dem Prinzip der Methode GT&S verwendet.



3.3.3 ATD Akkumulierte Temperaturdifferenz

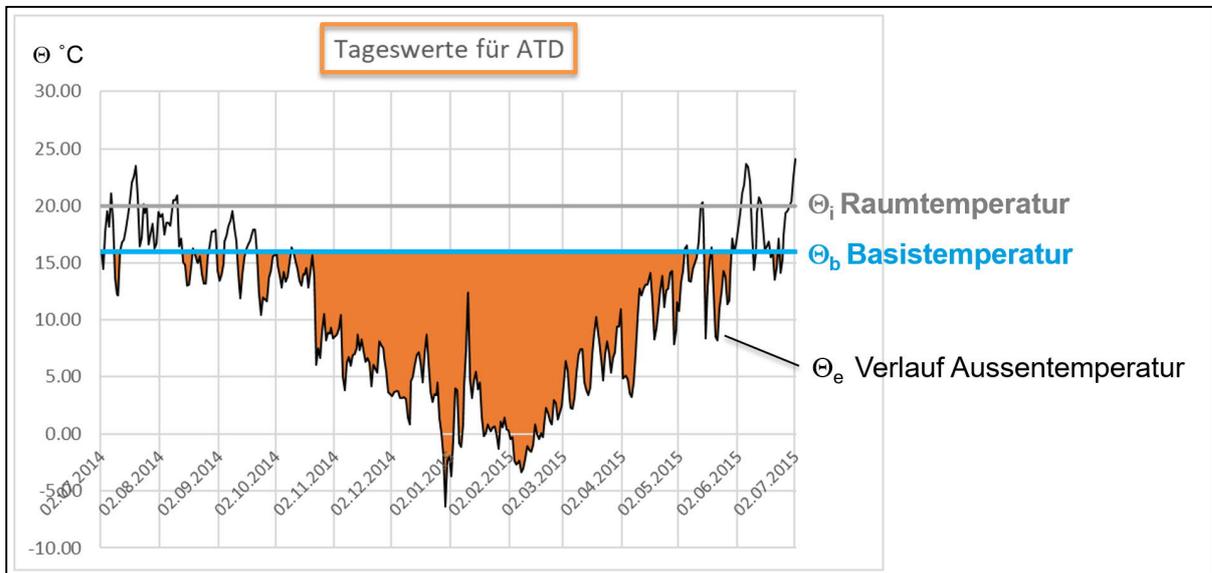


Abbildung 18: Akkumulierte Temperaturdifferenz definiert durch die Basistemperatur Θ_b

Die Klimagrösse der akkumulierten Temperaturdifferenz ATD ist als internationaler Standard [5] beschrieben und ist seit 2015 normativ als Standard für die Anwendung der Klimakorrektur in der Schweiz festgelegt [1].

Die Temperaturdifferenz der Intervalle wird als positive Differenz zwischen der Basistemperatur und der Aussentemperatur aufgrund des Verlaufs der Aussentemperatur bestimmt. Zum Beispiel wird für ATD16 die Basistemperatur 16 °C verwendet, siehe Abbildung 18. Die Raumtemperatur wird mit der Methode ATD nicht verwendet.

Die Summe (Akkumulation) der positiven Temperaturdifferenzen zwischen der Basistemperatur und der Aussentemperatur der einzelnen Intervalle über die Messperiode wird als proportionaler Klimawert für die Klimakorrektur nach Methode ATD verwendet.

Aus dem Vergleich der Abbildung 17 mit Abbildung 18 ist erkennbar, dass die nach Methode ATD als Konstante über die ganze Messperiode verwendete Basistemperatur eine Analogie zum Verlauf der Abgrenzung der genutzten Wärmegewinne nach dem Prinzip der Methode GT&S aufweist. Die Festlegung der Basistemperatur nach Methode ATD entspricht damit der nach dem Prinzip der Methode GT&S berechneten Abgrenzung der genutzten Wärmegewinne für die Bestimmung des zum Heizwärmeverbrauch proportionalen Klimawertes.

3.3.4 Die Basistemperatur Θ_b für die Anwendung mit der Methode ATD

Die mit der Methode ATD zu verwendende Basistemperatur wird im internationalen Standard als Grundtemperatur bezeichnet. Die Definition lautet:

nach internationalem Standard [5]: *jede konventionelle Temperatur, z. B. die Innenbemessungstemperatur minus den auf inneren oder solaren Gewinnen beruhenden Dekrementen*

nach normativem Standard [1]: *Konventionelle Temperatur, welche z.B. gleich der Aussentemperatur am Knickpunkt der Leistungskennlinie (Energiesignatur) festgesetzt werden kann.*



Aus diesen Definitionen geht hervor, dass die Basistemperatur individuell pro Gebäude bestimmt werden soll und die individuell während der Messperiode genutzten Wärmegevinne zu berücksichtigen sind.

Um die Relevanz der bestmöglichen Bestimmung der Basistemperatur zu evaluieren, wurde im Forschungsprojekt die gebäudespezifische Abhängigkeit der Basistemperatur und der mögliche Fehler der Klimakorrektur bei einer willkürlichen Festlegung der Basistemperatur untersucht.

3.3.5 Vergleich ATD mit HGT20/12

Die heute noch gebräuchlichste Klimakorrektur mit Heizgradtagen HGT wird in der Praxis stets mit den Parameterwerten von 20°C Raumtemperatur und 12°C Basistemperatur angewendet.

Für den neuen Standard ATD ist sowohl in den normativen Standard wie im Branchenstandard VEWA die generell zu verwendende Basistemperatur von 12°C festgeschrieben.

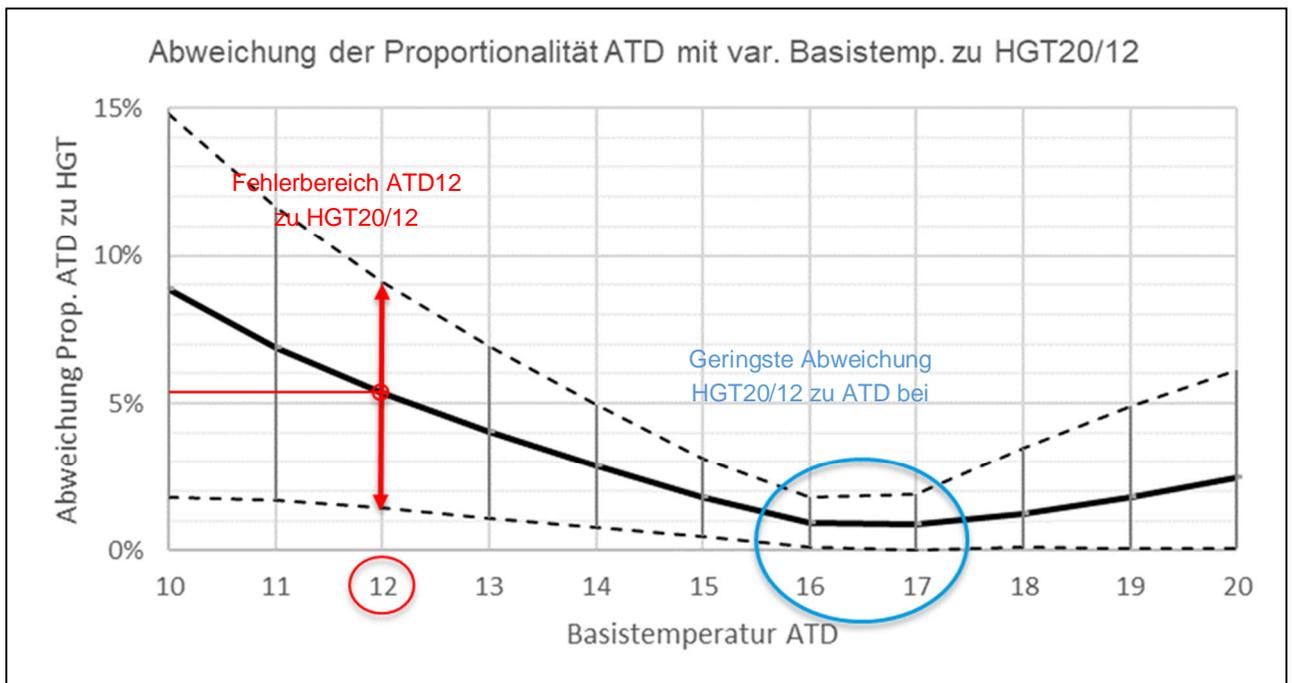


Abbildung 19: Fehler der Klimakorrektur in % des Nominalwertes für ATD mit unterschiedlicher Basistemperatur im Vergleich zu HGT20/12.

In Abbildung 19 ist die absolute Abweichung der Proportionalität von ATD mit unterschiedlichen Basistemperaturen zu HGT20/12 für unterschiedliche Vergleiche von Messperioden und Referenzperioden im Zeitraum 2012 bis 2016 dargestellt. Für den Vergleich wurden die Tagesmitteltemperaturen für die Klimastation Zürich SMA für unterschiedliche Mess- und Referenzperioden zwischen 1.1.2012 und 31.12.2016 verwendet.



Gegenüber HGT20/12 hat die ATD mit einer Basistemperatur im Bereich von 16°C bis 17°C die geringste Abweichung. ATD mit Basistemperatur 12°C weist gegenüber HGT20/12 eine Abweichung der Proportionalität von 3% bis 9%, im Mittel ca. 5% auf. Die Abweichung der Proportionalität ist abhängig vom Unterschied der mittleren Aussentemperatur der Messperiode im Vergleich zur Referenzperiode. Sind die Perioden diesbezüglich ähnlich, resultiert eine geringe Abweichung. Sind die Perioden stark unterschiedlich, resultiert eine grössere Abweichung.

Aus diesem Vergleich folgt:

- Eine Klimakorrektur mit den gebräuchlichen HGT20/12 entspricht im Resultat der Anwendung ATD bei einer Basistemperatur zwischen 16°C und 17°C am besten.
- Die Klimakorrektur nach ATD mit Basistemperatur 12°C (ATD12) führt im Vergleich zu HGT20/12 zu Abweichungen des korrigierten Nominalwertes in einem Bereich von rund 3% bis 9% je nach Unterschied der Perioden in Bezug auf den Verlauf der Aussentemperatur.

Der Fehlerbereich gemäss Abbildung 19 gilt auch für die Abweichung des Resultats der Klimakorrektur ATD mit unterschiedlichen Basistemperaturen, z.B. mit einer willkürlich festgelegten Basistemperatur im Vergleich mit einer gemäss Definition der normativen Grundlagen für das individuelle Gebäude korrekt festgelegten Basistemperatur.

3.3.6 Zusammenhang Basistemperatur und Heizwärmeverbrauch

Aus den Definitionen der Basistemperatur geht hervor, dass ein Zusammenhang zwischen dem Wert der für ein bestimmtes Gebäude anzuwendenden Basistemperatur und dem Heizwärmeverbrauch besteht. Mit den im Forschungsprojekt durchgeführten Berechnungen wurde der folgende qualitative Zusammenhang zwischen der Basistemperatur und dem spezifischem Heizwärmeverbrauch gefunden.

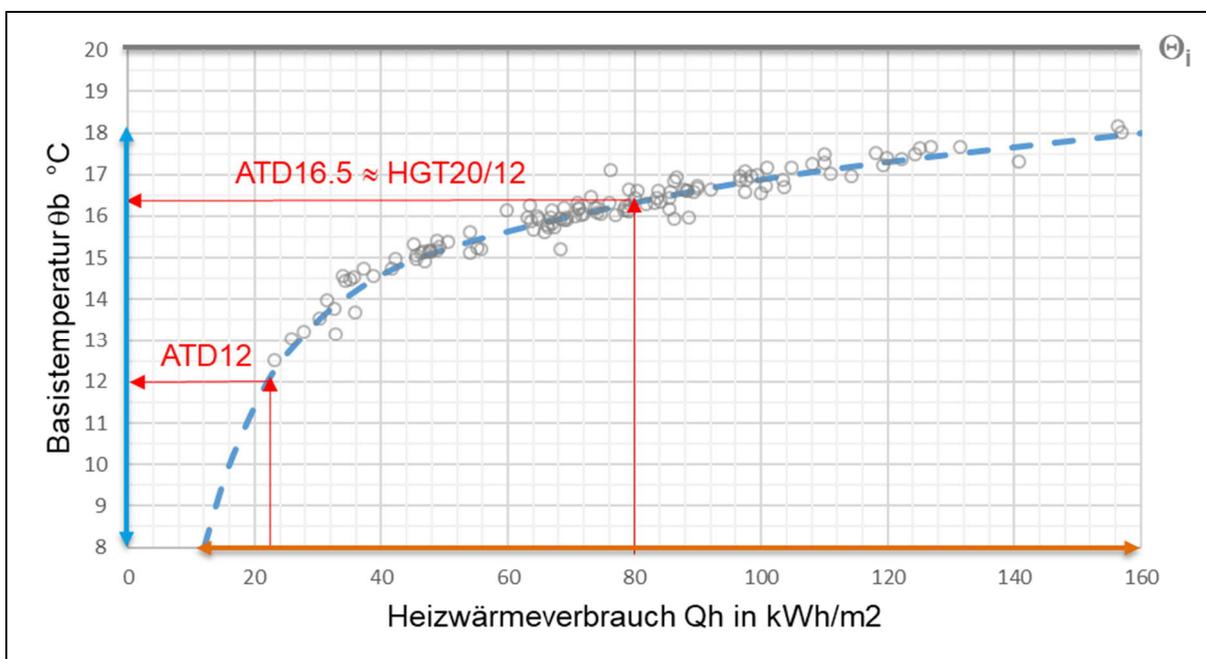


Abbildung 20: Qualitativer Zusammenhang Basistemperatur und Heizwärmeverbrauch

Die für die Methode ATD zu verwendende Basistemperatur Θ_b kann in Abhängigkeit des spezifischen Heizwärmeverbrauchs Q_h eines Gebäudes in einem Wertebereich von 8°C bis 18°C variieren.



Zwei Beispiele sind in Abbildung 20 gezeigt: Q_h 80kWh/m², entsprechend dem Durchschnitt der Bestandsgebäude aus der vorliegenden Untersuchung. Für dieses Gebäude wäre eine Basistemperatur von 16.5°C einzusetzen. Das zweite Beispiel mit der Festlegung der Basistemperatur auf 12°C. Dieser Wert korrespondiert mit einem tiefen Heizwärmebedarf Q_h um 20 kWh/m², entsprechend tiefen Werten für einen Neubau nach MuKE 2014.

Wie weiter oben gezeigt, entspricht die Klimakorrektur mit ATD16.5 sehr gut der Klimakorrektur mit HGT20/12. Für ein Bestandsgebäude mit dem im Beispiel gezeigten Heizwärmebedarf liefert HGT20/12 somit gleichwertige Resultate wie ATD mit einer auf das Gebäude angepassten Basistemperatur. Für die Anwendung mit ATD12 auf diese Bestandsgebäude wäre die Klimakorrektur dagegen mit einem grösseren Fehler behaftet.

Die im normativen Standard und im Branchenstandard VEWA gleichermassen festgelegte generelle Basistemperatur von 12°C ist gemäss Abbildung 20 nur für Neubauten bzw. energetisch erneuerte Bestandsbauten mit einem sehr tiefen effektiven Heizwärmeverbrauch um 20 kWh/m² anzuwenden.

3.4 Die Methode PTD für die Klimakorrektur

3.4.1 Herleitung der Methode PTD

Mit der Methode ATD wird der Heizwärmeverbrauch $Q_{h,per}$ einer bestimmten Periode mit der durch die Basistemperatur Θ_b definierten, akkumulierten Temperaturdifferenz ATD_{per} der Periode abgebildet.

Bei der Methode PTD wird der mittlere Wärmefluss $\Phi_{h,per}$ einer bestimmten Periode mit der proportionalen Temperaturdifferenz PTD_{per} der Periode abgebildet. Die proportionale Temperaturdifferenz PTD_{per} der Periode ist die Differenz zwischen der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD,per}$ und der Aussentemperatur $\Theta_{e,PTD,per}$ der Periode.

Die Proportionalität zwischen Wärmefluss und Temperaturdifferenz ist aus der Betrachtung der Heizleistungskennlinie gemäss Abbildung 21 ersichtlich.

- Der für die Einhaltung einer bestimmten Innentemperatur Θ_i erforderliche gesamte Wärmefluss Φ_{tot} ist für ein bestimmtes Gebäude proportional zur Differenz der Innentemperatur Θ_i minus der Aussentemperatur Θ_e .
- Der gesamte Wärmefluss Φ_{tot} setzt sich zusammen aus dem Wärmefluss der genutzten Gewinne Φ_{ug} und dem Wärmefluss der Raumheizung Φ_H .
- Mit der Basistemperatur $\Phi_b = \Phi_{b,PTD}$ wird die gesamte Temperaturdifferenz $\Theta_i - \Theta_e$ in zwei zu den Wärmeflüssen je proportionale Temperaturdifferenzen unterteilt.
- Der Wärmefluss der Raumheizung Φ_H ist somit als proportional zur Temperaturdifferenz $\Theta_{b,PTD} - \Theta_e$ definiert.
- Für die Bestimmung von $\Theta_{b,PTD}$ müssen die Grössen Θ_i , Θ_e , Φ_H und Φ_{ug} bekannt sein.

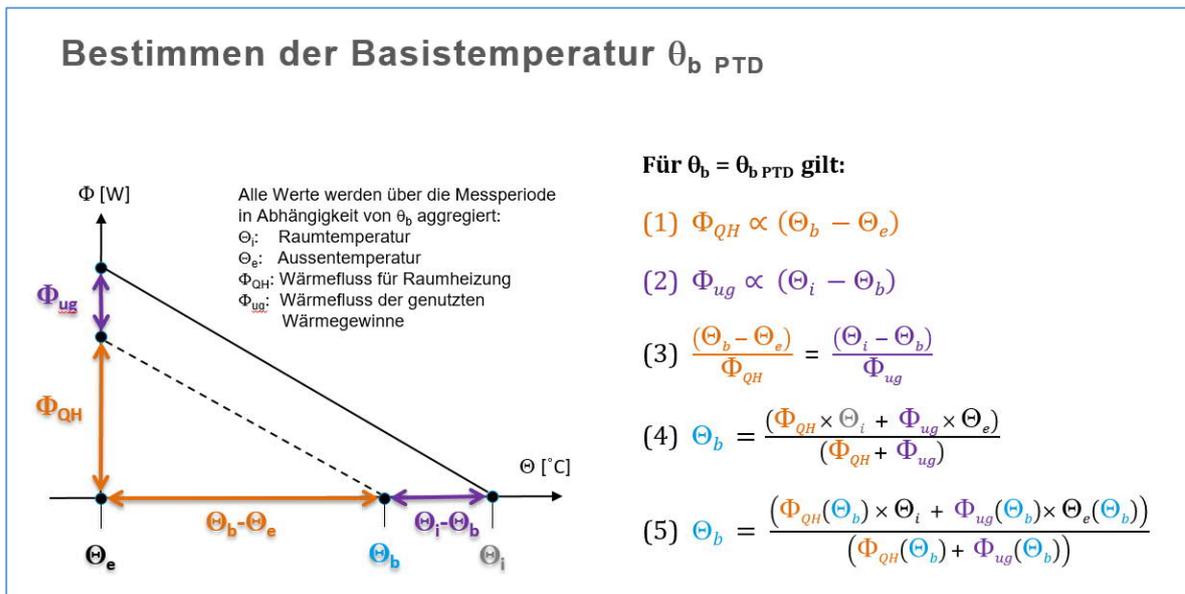


Abbildung 21: In der Methode PTD verwendete Grössen und Zusammenhänge

3.4.2 Bestimmung der Basistemperatur nach Methode PTD

3.4.2.1 Definition der verwendeten Grössen

Für die Bestimmung von $\theta_{b,PTD}$ einer bestimmten Messperiode, wird die Messperiode in Intervalle unterteilt. Die Dauer eines Intervalls richtet sich nach der verfügbaren Auflösung der Messwerte für die Aussentemperatur und Globalstrahlung. Es können einheitlich entweder Stunden- oder Tageswerte verwendet werden. Es gelten die folgenden Definitionen:

- d: Dauer des Intervalls. (Einheit: Hier als Tag mit 86'400 Sekunden)
- N_{per} : Summe der Dauer aller Intervalle der Periode, wenn die Temperaturdifferenz $\theta_b - \theta_e$ des Intervalls positiv ist. (Einheit: Sekunden, s).
- $\theta_{i,per}$: Raumtemperatur der Periode als ein mit der Temperaturdifferenz $\theta_b - \theta_e$ gewichteter Mittelwert über alle Intervalle der Periode, wenn die Temperaturdifferenz $\theta_b - \theta_e$ des Intervalls positiv ist.
 $\theta_{i,per}$ kann als Konstante eingesetzt werden. (Einheit: Grad Celsius, °C).
- $\theta_{e,per}$: Aussentemperatur der Periode als ein mit der Temperaturdifferenz $\theta_b - \theta_e$ gewichteter Mittelwert über alle Intervalle der Periode, wenn die Temperaturdifferenz $\theta_b - \theta_e$ des Intervalls positiv ist.
 $\theta_{e,per} =$ (Einheit: Grad Celsius, °C)
- $Q_{H,per}$: Gemessener oder berechneter Heizwärmebedarf für die Periode. Der Heizwärmebedarf muss nicht explizit eine Auflösung in Intervalle aufweisen und kann beispielsweise auch als Jahreswert eingegeben werden.
- $\Phi_{H,per}$: Wärmefluss Raumheizung der Periode. Gemessener bzw. berechneter Wärmebedarf Q_H (in Wattsekunden) über die Periode dividiert durch die Summe der Intervalldauer N_{per} .
 $\Phi_{H,per} = Q_{H,per} / N_{per}$ (Einheit: Watt, W)



$Q_{ug,per}$: Berechnete genutzte Gewinne der Periode.

$\Phi_{ug,per}$: Wärmefluss genutzter Gewinne der Periode. Summe der berechneten genutzten Gewinne (in Wattsekunden) über alle Intervalle der Periode, wenn die Temperaturdifferenz $\Theta_b - \Theta_e$ des Intervalls positiv ist, dividiert durch die Summe der Intervalldauer N_{per} .
 $\Phi_{ug,per} = Q_{ug,per} / N_{per}$ (Einheit: Watt, W)

3.4.2.2 Bestimmung der Basistemperatur mit geometrischer Lösung

Aus den obenstehenden Definitionen für die Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$ geht hervor, dass die Grössen selbst von der Festlegung für Θ_b abhängig sind. Wie auch in Formel 5 der Abbildung 21 gezeigt wird, kann die Gleichung für die Bestimmung von $\Theta_{b,PTD}$ nicht aufgelöst werden.

Die Bestimmung von $\Theta_{b,PTD}$ muss über ein Näherungsverfahren erfolgen. Für die Anwendung in diesem Forschungsprojekt wurde eine geometrische Lösung gewählt. Für diese geometrische Näherungslösung wird der Schnittpunkt von zwei Kurven bestimmt. Die zwei Kurven sind unterschiedliche Funktionen in Abhängigkeit einer Reihe von Werten für $\Theta_{b,param}$. Die erste Kurve ist eine Gerade $\Theta_b = \Theta_{b,param}$. Die zweite Kurve besteht aus den Werten der Funktion $\Theta_b = f(\Theta_{b,param})$ gemäss Formel 5 aus Abbildung 21.

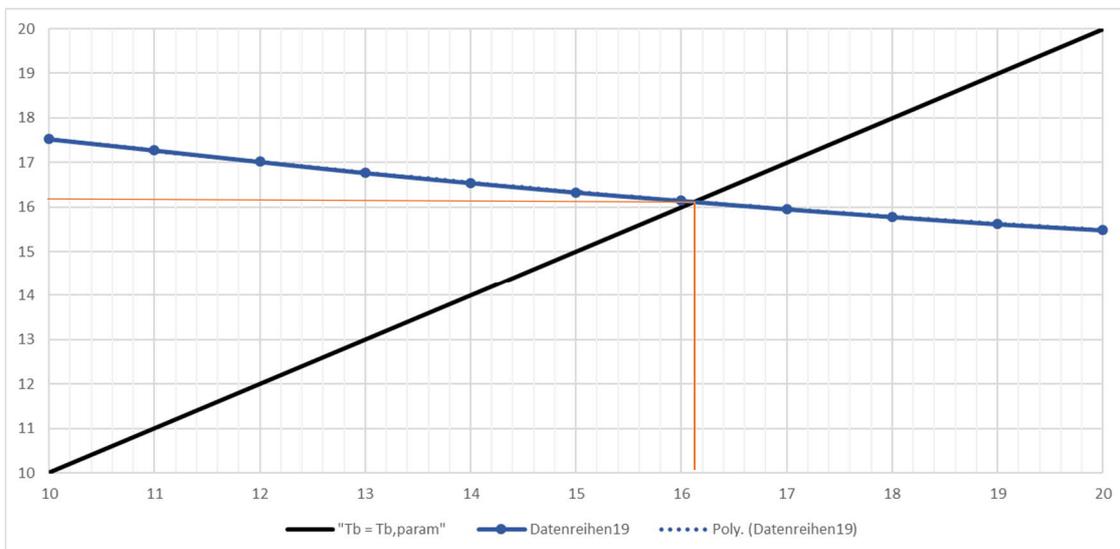


Abbildung 22: Bestimmung $\Theta_{b,PTD}$. Geometrische Lösung $y=x$ als Schnittpunkt von zwei Kurven



3.4.3 Anwendung der Klimakorrektur nach Methode PTD

Die hier beschriebene Methode der proportionalen Temperaturdifferenz PTD unterscheidet sich vom normativen Standard ATD allein durch die für PTD explizit vorgegebene individuelle Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$. Dazu sind detaillierte Klimawerte, mindestens Tageswerte für Aussentemperatur und Globalstrahlung erforderlich. Es können keine Tabellenwerte publiziert werden.

Nach Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$ gelten die gleichen Anwendungsregeln wie für die Methode ATD.

3.5 Erhebung der Klimadaten für die Klimakorrektur

3.5.1 Datenquellen

3.5.1.1 Überblick

Die im Rahmen des Projektes untersuchten 500 Gebäude befinden sich in 314 Gemeinden. Die geografische Lage dieser Gemeinden ist in Abbildung 23 veranschaulicht. Quelle für die Klimadaten war das Datenportal IDAweb¹ von MeteoSwiss.

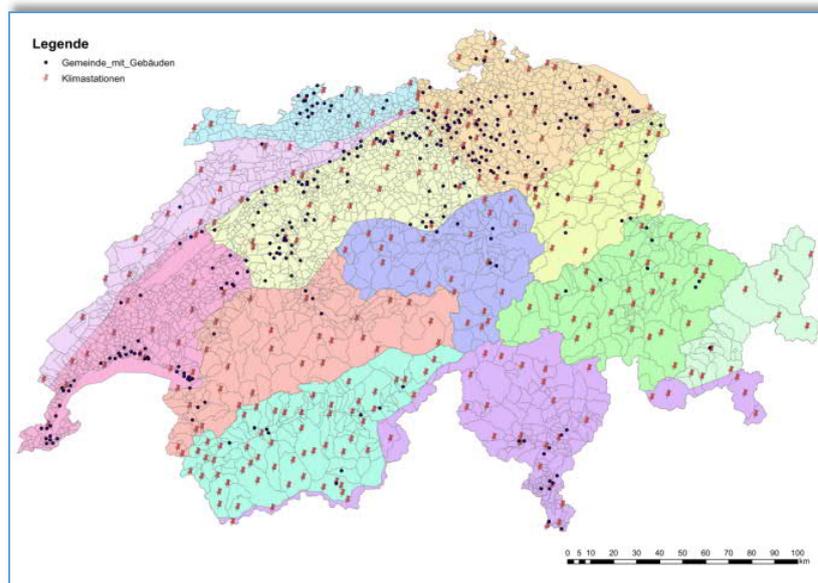


Abbildung 23: Klimazonen, Gemeinden mit EnBo800 Gebäuden und Messstationen

Im für die Studie relevanten Zeitraum von 01.01.2012 bis zum 31.12.16 stehen nicht für alle der 314 Gemeinden Klimadaten zur Verfügung. Es gibt Gemeinden, für die Daten zu gewissen Zeiten nicht verfügbar sind sowie Gemeinden, vor allem kleinere Gemeinden, für die IDAweb gar keine Klimadaten vorhält. Die Interpolation dieser Datenlücken ist eine der Hauptaufgaben dieses Teilprojekts. Weil es

¹ <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/beratung-und-service/datenportal-fuer-lehre-und-forschung.html>



sich bei dieser Interpolation um ein Verfahren handelt, das Klimadaten aufgrund der örtlichen Verhältnisse interpoliert, wird sie auch *Triangulation* genannt.

Verwendet werden Temperaturwerte und Globalstrahlungswerte. Andere Einflüsse wie Feuchtigkeit oder Druck wurden als vernachlässigbar eingestuft.

Neben Messdaten aus dem IDAweb Portal wurden auch modellierte Daten aus dem COSMO Prognosesystem² verwendet, das ebenfalls von MeteoSwiss betrieben wird. Der Nachteil der COSMO Daten ist, dass es sich um simulierte Werte handelt. Der Vorteil ist, dass sie nicht an Messstationen gebunden sind, sondern für jeden Punkt in der Schweiz erstellt werden können. Das COSMO Prognosesystem wurde in den letzten Jahren entwickelt, weshalb Daten erst ab 1. März 2016 zur Verfügung stehen.

In Abbildung 24 werden die verschiedenen Datensätze und ihre Überdeckung schematisch dargestellt. IDAweb Daten sind reale Messungen, die während des gesamten Zeitraums aber nicht für alle gesuchten Orte verfügbar sind. COSMO Daten sind modellierte Daten, die für alle Orte zur Verfügung stehen, jedoch nicht während des gesamten Untersuchungszeitraums.

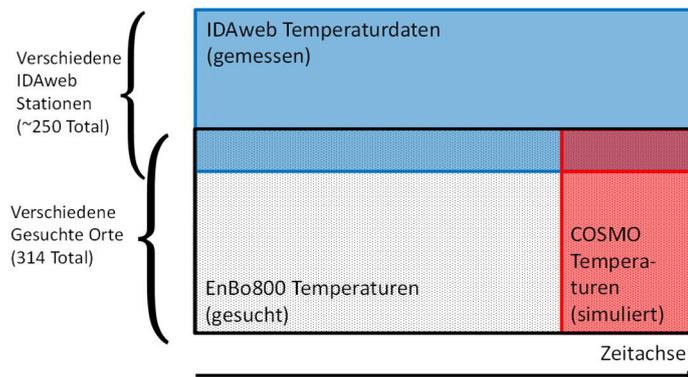


Abbildung 24: Datensätze und ihre Überdeckung

Die horizontale Achse in Abbildung 24 repräsentiert die Zeit und die vertikale Achse geografische Orte. Es gibt eine eher kleine Überdeckung der Gemeinden ("Orte"), die im Projekt EnBo800 untersucht werden und die von IDAweb verfügbar sind.

3.5.1.2 IDAweb Daten

Bei den über das IDAweb Datenportal beschafften Klimadaten handelt es sich primär um Stundenmittelwerte, jedoch wurden auch Daten mit 10-Minuten Auflösung beschafft und zu Stundenwerten gemittelt. Bei Orten, bei denen beide Arten der Daten vorhanden waren, wurden jeweils die Stundendaten verwendet, es sei denn die gemittelten 10-Minuten-Daten waren in einem grösseren Zeitraum vorhanden. Der Unterschied zwischen den zwei Methoden konnte anhand von den überlappenden Zeiträumen bestimmt werden. Die Abweichung war zu den allermeisten Zeiten sehr gering, unter 0.1°C, jedoch gab es auch Zeitpunkte, wo die Abweichung mehrere °C betrug.

Idealerweise wären nur genau die Klimadaten der Gemeinden nötig, die im Projekt EnBo800 untersucht werden, jedoch gab es wie erwähnt beträchtliche Lücken in den IDAweb Daten. Aus diesem Grund wurden alle im Zeitraum vorhandenen Daten verwendet, um eine möglichst umfangreiche Basis für die Interpolation zu haben.

² <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/warn-und-prognosesysteme/cosmo-prognosesystem.html>



Insgesamt wurden über das IDAweb Portal Daten von 257 verschiedenen Wetterstationen beschafft: Von 176 Stationen Stundendaten, von 207 Stationen 10-Minuten Daten. Nur 41 der Stationen mit Stundendaten wiesen lückenlose Datenreihen während des gesamten gesuchten Zeitraums auf. Bei insgesamt 92 IDAweb Wetterstationen mit Stundendaten fehlen über den gesamten Zeitraum gesehen 5% der Daten oder weniger. Wenn Lücken dieser Grössenordnung einbezogen und durch Imputation geschlossen werden, kann die verfügbare Datenmenge beträchtlich vergrössert werden.

Diese Situation wird in Abbildung 25 veranschaulicht. Über alle 257 verfügbaren Stationen (= Anzahl Zeilen) und die 43848 betrachteten Stunden (= Anzahl Spalten) gesehen, gibt es total insgesamt 11'268'936 mögliche Datenpunkte. In der Realität sind in dieser Tabelle nur 3'635'915 Datenpunkte vorhanden, was etwa 32% der gesamten Menge entspricht. Die Lücken sind deshalb bedeutsam.

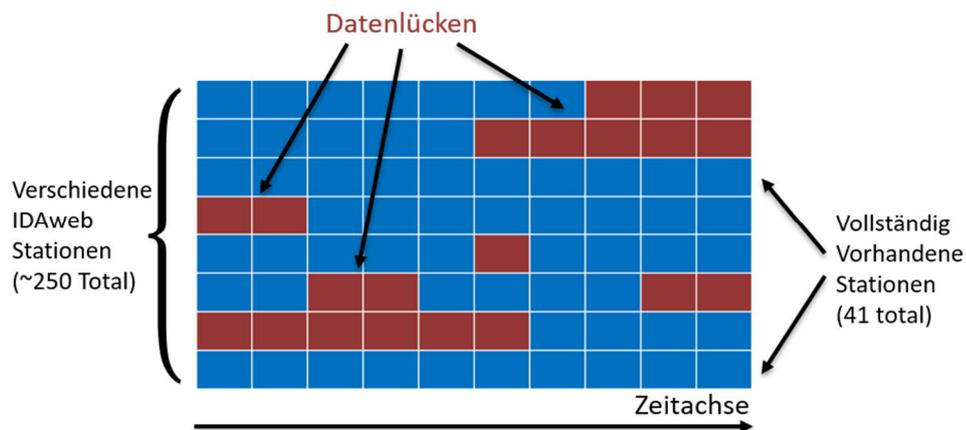


Abbildung 25: Veranschaulichung der Datenlücken der IDAweb Daten

3.5.1.3 COSMO Daten

Das COSMO Prognosesystem ist ein unter anderem von MeteoSwiss entwickeltes Wettermodell, das ein enges, 3-dimensionales Gitter (Länge, Breite, Höhe) über die Schweiz (bzw. Europa, je nach Version von COSMO) legt und für jeden der Punkte dieses Gitters Klimadaten prognostizieren kann. Die COSMO Daten weisen keine Lücken auf, da sie modelliert werden.

Im Rahmen dieses Projektes wurden COSMO Daten für die 314 involvierten Gemeinden verwendet, nicht aber für die IDAweb Stationen. Es handelt sich dabei um Stundenwerte der Temperatur im Zeitraum vom 01.03.2016 bis 18.09.2017. Da der Zeitraum der verfügbaren EnBo800 Energiedaten nur bis zum 31.12.2016 reicht, wurden die COSMO Daten nur bis zu diesem Datum betrachtet.

Abbildung 26 zeigt ein Histogramm, das die kürzesten Distanzen zwischen den COSMO Daten für die 314 involvierten Gemeinden und den vorhandenen IDAweb Stationen darstellt. Es zeigt sich, dass sehr viele der COSMO Orte innerhalb von wenigen Kilometern einer Station liegen. Jedoch gibt es auch einige Orte, die innerhalb von 10 km keine IDAweb Station haben, d.h. für die keine Temperaturdaten vorhanden sind.

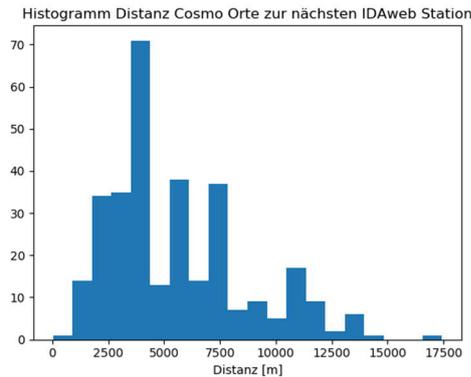


Abbildung 26: Histogramm der Distanzen zwischen den gesuchten Orten und den vorhandenen Stationen

Um zu vergleichen, wie stark die Temperaturwerte der beschafften COSMO Daten von denen der beschafften IDAweb Daten abweichen, wurden die Temperaturverläufe der COSMO Orte, die innerhalb von 3 km eine IDAweb Station haben, mit denen der jeweiligen korrespondierenden IDAweb Station verglichen. Dies sind insgesamt 38 Orte. Der Wert 3 km wurde arbiträr gewählt, weil davon ausgegangen wurde, dass das Wetter innerhalb von so kurzen Distanzen ziemlich identisch sein müsste. Aufgrund dieser örtlichen Einschränkung und der zeitlichen Einschränkung, dass die COSMO Daten nur während 9 Monaten verfügbar sind, findet sich eine relativ kleine Datenmenge, die für einen Vergleich verwendet werden kann. Dieser Bereich wird in Abbildung 27 illustriert.

Die Standardabweichung für diese Daten beträgt 1.75°C pro Messung. Wie diese Standardabweichung berechnet wird und zu interpretieren ist, wird in einem folgenden Kapitel ausführlich diskutiert.

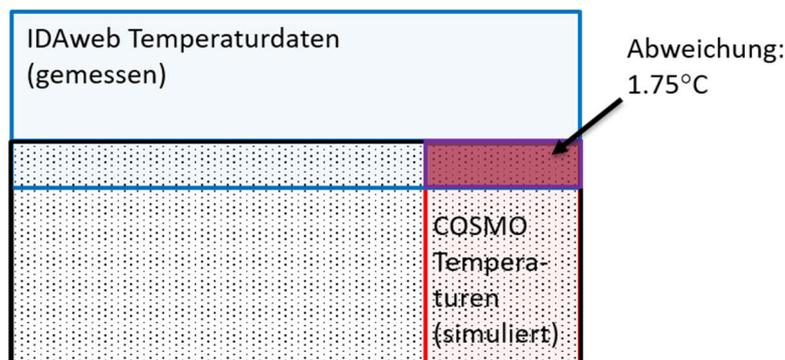


Abbildung 27: Veranschaulichung, welche Daten für die Berechnung der Abweichung von COSMO zu IDAweb relevant sind

3.5.1.4 Triangulation und Imputation von Datenlücken

In Abbildung 28 werden die vorhandenen Datensätze auf einer Zeitachse dargestellt. In Abbildung 30 wird die Idee des Triangulationsverfahrens schematisch illustriert: Basierend auf IDAweb Daten werden Klimadaten an den EnBo800 Orten interpoliert. Daraufhin wird die Plausibilität mittels Vergleich zu den COSMO Daten geprüft und so ein Fehler abgeschätzt.

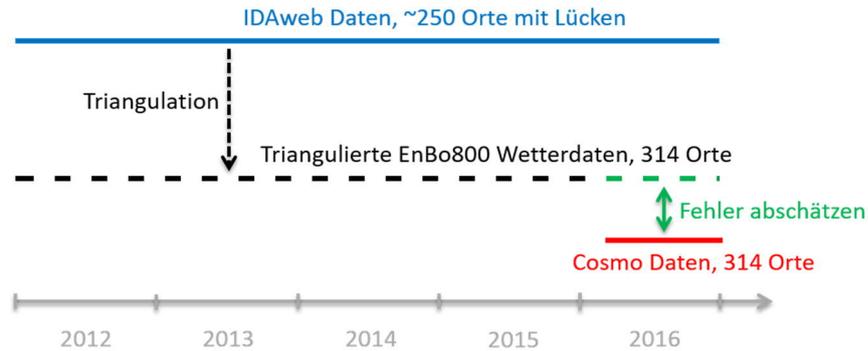


Abbildung 28: Übersicht Zeiträume Daten, Veranschaulichung Prinzip Triangulation

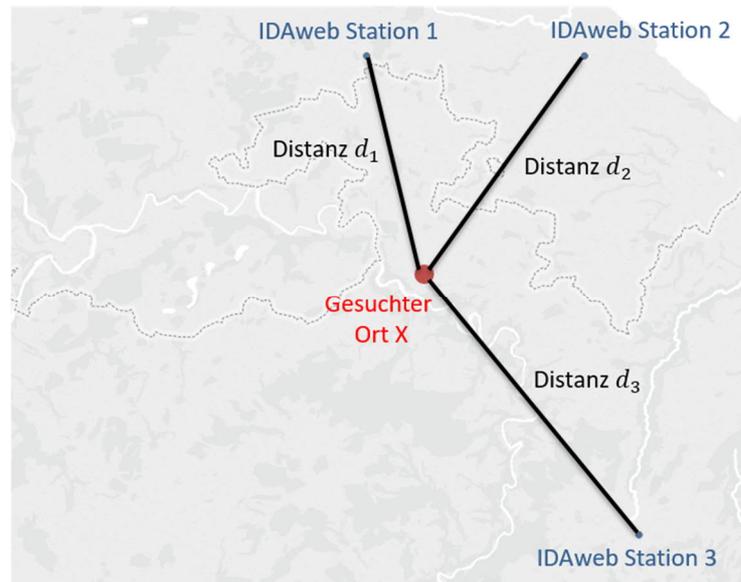


Abbildung 29: Schemenhafte Darstellung der Distanzen zwischen Stationen und dem gesuchten Ort

Durch die Triangulation werden örtliche Lücken gefüllt und die Qualität der Triangulation wird mit COSMO Daten überprüft. Massgebende Kriterien bei der Triangulation sind Koordinaten und Höhe der Orte. Für einen beliebigen geographischen Punkt werden also Temperaturdaten basierend auf geographisch nahe liegenden IDAweb Daten generiert.

Wie erwähnt haben die IDAweb Daten zeitliche Lücken. Dies ist eine der grössten Herausforderungen der Triangulation. Es gibt einige Möglichkeiten, mit solchen Lücken umzugehen, im Rahmen dieses Projektes wurden einige untersucht. Ein systematisches ausfüllen von Datenlücken vor der eigentlichen Datenverarbeitung wird als *Imputation* bezeichnet.

Gewisse Werte im Datensatz sind nicht explizit Lücken, aber trotzdem Artefakte, die keinen physikalischen Sinn ergeben und bei der Auswertung stören. Diese mussten also genauso behoben oder umgangen werden.



3.5.2 Modelle für Triangulation

3.5.2.1 Übersicht über die Modellklassen

Das von SwissMeteo (und europäischen Schwesterinstitutionen) entwickelte COSMO Prognosesystem stützt sich auf physikalische Gesetze und grosse Rechenleistung. Es ist in der Lage, diverse Klimadaten für Millionen von geografischen Punkten in der Schweiz zu bestimmen und wird für Wetterprognosen verwendet. Die in diesem Projekt verwendeten Daten zur Verifikation der Triangulation stammen vom COSMO Prognosesystem.

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Methoden getestet, um ein gutes Triangulationsmodell für die Interpolation der Temperaturen zu finden. Am intuitivsten und einfachsten schien es, eine einfache, lineare Superposition der vorhandenen Temperaturwerte anzusetzen, so dass die Temperatur $T_X(t)$ eines beliebigen Ortes X in der Schweiz zu einem beliebigen Zeitpunkt t im betrachteten Zeitraum berechnet werden kann als $\sum_n \beta_n T_n(t)$, wobei n eine bekannte IDAweb Station repräsentiert. Somit werden bei einer Summe über alle n auch alle Stationen berücksichtigt.

Es wurde davon ausgegangen, dass sich diese β_n im Verlaufe der Zeit nicht wesentlich ändern sollen. Sie drücken also eine zeitlich konstante "Ähnlichkeit" des Wetters vom gesuchten Ort X zur Station n aus. Man kann dies so verstehen, dass die Temperatur des neuen Ortes X als Summe aller bekannten Temperaturen geschrieben werden kann, jedoch mit unterschiedlichen Gewichten β_n .

Die Herausforderung ist dann, diese β_n mit einem Modell zu beschreiben. Jedes einzelne β_n sollte umso grösser sein, je ähnlicher der Ort X zum Ort n ist. Um dies zu modellieren, werden Parameter der Stationen wie Ort und Höhe verwendet, und somit kann das Modell einen nachvollziehbaren Bezug zu den physikalischen Tatsachen herstellen.

Ein anderer Ansatz ist ein neuronales Netzwerk, also eine Technik aus dem Bereich *Machine Learning*, zu verwenden. Ein Neuronales Netz wird durch Optimierung von gewissen Parametern trainiert, um aus den Input Daten die richtigen Output Daten herzuleiten.

Diese drei Modellkategorien werden in Abbildung 30 einander gegenübergestellt.

Überblick Modelle

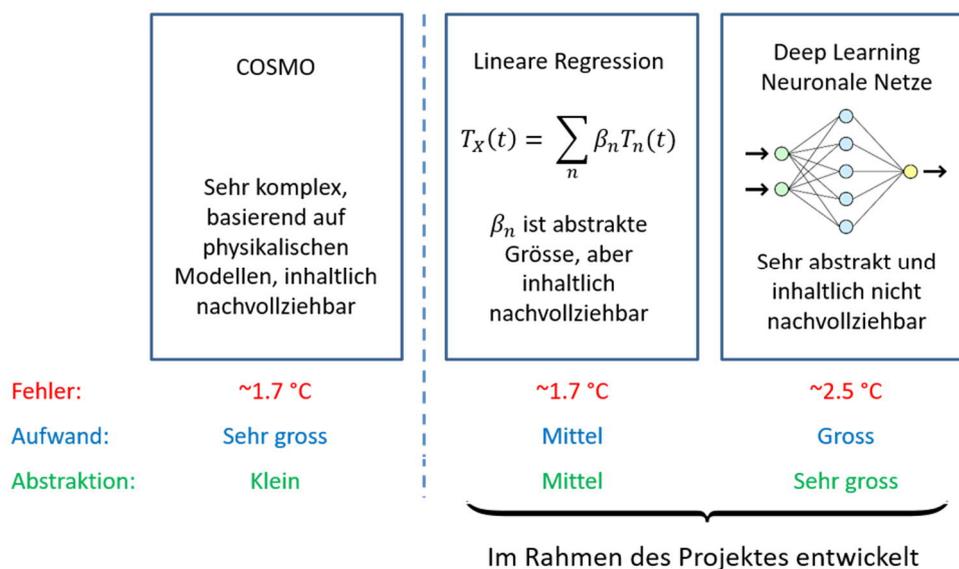


Abbildung 30: Überblick Modelle Triangulation



3.5.3 Modellierung des Fehlers / Genauigkeit der Modellresultate

3.5.3.1 Einführung

Als Fehlermass wird die Standardabweichung verwendet.

Falls ein Wert x der reale Wert ist und n Werte y_1, \dots, y_n die Schätzungen, dann ist die

Standardabweichung σ definiert als $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x)^2}{n}}$. Die Standardabweichung kann so interpretiert werden, dass eine nächste Schätzung y_{n+1} mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 68% höchstens den Abstand σ vom realen Wert x aufweist.

Beispiel: Falls der reale Temperaturwert $x = 22.5^\circ\text{C}$ ist und die Standardabweichung der Schätzung $\sigma = 1.2^\circ\text{C}$, dann ist zu erwarten, dass eine erneute Messung 68% Wahrscheinlichkeit zwischen $x - \sigma = 21.3^\circ\text{C}$ und $x + \sigma = 23.7^\circ\text{C}$ liegt.

Interessanter ist der Umkehrschluss: Falls x nicht bekannt ist, aber eine Messung y_m und die Standardabweichung σ , dann liegt der reale Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% innerhalb von $y_m - \sigma$ und $y_m + \sigma$.

3.5.3.2 Berechnungen

Es werden folgende Grössen eingeführt:

Temperaturdaten für einen Ort / eine Station X: Vektor T_X der Länge n_{Zeit}

Für dies Stundendaten im gesamten Zeitraum der EnBo800 Daten beträgt $n_{Zeit} = 43848 =$ Anzahl Stunden von 01.01.12 bis 31.12.16.

Einen triangulierten, bzw. gefitteten Temperaturverlauf für selben Ort / selbe Station X: Vektor $T_{X,Fit}$ der Länge n_{Zeit}

Residuen: n_{Zeit} Werte: $T_X - T_{X,Fit}$

Es zeigt sich, dass die Residuen annähernd Gauss verteilt um 0 sind, wie in Abbildung 31 gezeigt wird, und aufgrund der hohen Anzahl von Messwerten ($n_{Zeit} = 43848$) kann tatsächlich von einer Gaussverteilung ausgegangen werden.

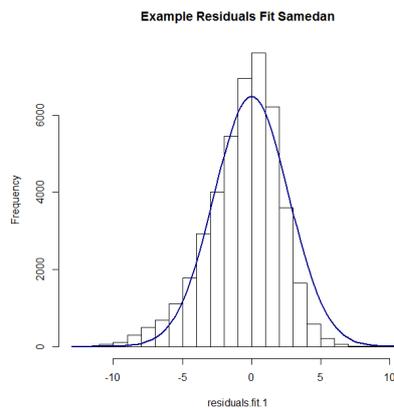


Abbildung 31: Histogramm Residuen Temperatur-Fit



Aus dieser Analyse geht hervor, dass die zuvor behandelte *Standardabweichung* als Fehlermass

zulässig ist:
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{Zeit}} (T_{X,i} - T_{X,Fit,i})^2}{n_{Zeit} - 1}}$$

Gemäss Definition von σ finden sich ungefähr 68% aller Werte innerhalb von $\pm 1 \sigma$ des geschätzten Wertes und ungefähr 95% innerhalb von $\pm 2 \sigma$. Dies wird auch tatsächlich so beobachtet.

Zu beachten ist, dass bei der Fehleranalyse keine Unterscheidung zwischen inhaltlich verschiedenen Zeitperioden gemacht wird. So wurde kein separater Fehler für Tag- und Nacht oder für verschiedene Jahreszeiten berechnet. Der Grund dafür war, dass dies sehr aufwändig gewesen wäre und eigentlich kein Nutzen davon absehbar ist, weil eine einzelne Schätzung verwendet werden soll, die über die ganze Zeitperiode gesehen möglichst genau sein muss.

3.5.3.3 Genauigkeit der Modellresultate

Die Werte, die beim gefundenen Modell für die 41 komplett vorhandenen Stationen resultieren, weisen eine Standardabweichung von $\sigma \approx 1.64^\circ\text{C}$ auf, der Differenz zu den korrespondierenden IDAweb Daten. Dieser Wert hat ungefähr die gleiche Grössenordnung wie die Abweichung von den simulierten Cosmo Daten zu den gemessenen IDAweb Daten. Diese beträgt 1.75°C .

Die mit dieser Formel erzielte Schätzung weist eine Standardabweichung von ungefähr 1.72°C auf, der Differenz zu den korrespondierenden Cosmo Daten. Diese drei Abweichungen sind in Abbildung 32 dargestellt. Dass diese drei Werte eine ähnliche Grösse aufweisen, ist ein Indikator, dass das Modell grundsätzlich valide Werte liefert und nur vor allem bei lokalen statistischen Schwankungen scheitert. Dies ist im Rahmen der vorhandenen Datenlage unausweichlich.

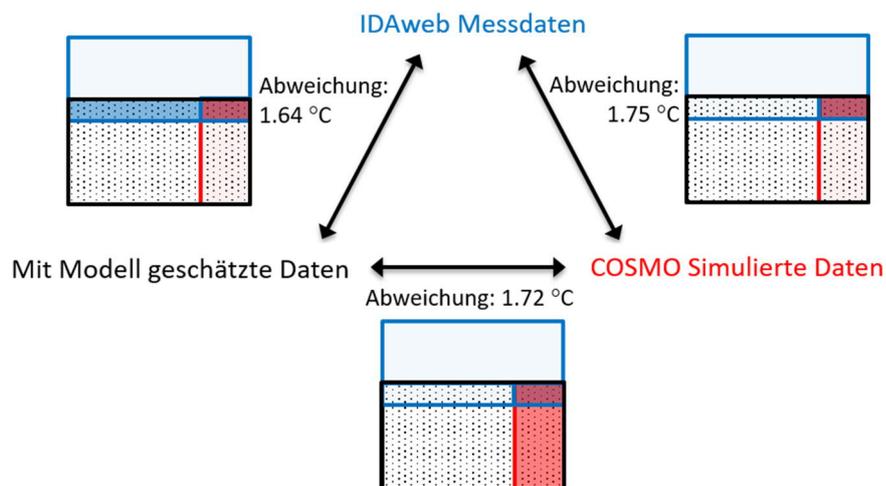


Abbildung 32: Unterschiede der Modelle und Messungen

3.5.3.4 Vergleich der Proportionalität

Für die Anwendung der interpolierten Klimadaten zur Klimakorrektur von Verbrauchswerten ist insbesondere die Genauigkeit der Proportionalität zwischen Messperiode und Referenzperiode relevant. Zur Überprüfung wurden die mit interpolierten Temperaturwerten berechneten Heizgradtage mit den publizierten Werten der Heizgradtage für verschiedene Messstationen verglichen.



EnBo800 – Analyse
des Endenergieverbrauchs
und der energetischen Betriebsoptimierung
bei 1400 Gebäuden in der Schweiz

Tabelle 5: Prozentuale Abweichung HGT aus interpolierten Werten im Vergleich zu den Messtationen

		2012	2013	2014	2015	2016	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Aadorf	Aadorf / Tänikon	0.0%	-0.7%	-1.2%	-0.4%	0.0%	0.0%	-0.5%	-1.2%	0.0%
Aigle	Aigle	0.0%	-0.2%	-1.3%	-2.5%	-0.1%	0.0%	-0.8%	-1.8%	-0.3%
Altdorf	Altdorf	0.0%	-0.3%	0.2%	-2.7%	-0.9%	0.0%	-0.2%	-0.9%	-2.3%
Basel	Basel-Binningen	0.0%	-0.2%	1.3%	0.2%	0.2%	0.0%	1.6%	0.5%	0.2%
Binningen	Basel-Binningen	0.0%	0.0%	0.1%	-0.6%	-0.4%	0.0%	0.1%	-0.3%	-0.6%
Zollikofen	Bern / Zollikofen	0.0%	-0.4%	-0.9%	-0.8%	0.4%	0.0%	-1.8%	-0.6%	-0.6%
Aarau	Buchs-Aarau	0.0%	0.5%	0.3%	0.6%	0.5%	0.0%	0.3%	-0.1%	0.8%
Rohr	Buchs-Aarau	0.0%	0.5%	0.3%	0.7%	0.6%	0.0%	0.3%	0.0%	0.9%
Chur	Chur	0.0%	0.1%	0.7%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.4%	0.1%
Davos	Davos	0.0%	0.6%	0.6%	-0.1%	0.5%	0.0%	-0.9%	-0.4%	-1.0%
Genève	Genève-Cointrin	0.0%	0.4%	0.4%	-0.6%	-0.6%	0.0%	0.4%	-0.6%	-1.2%
La Chaux-de-Fonds	La Chaux-de-Fonds	0.0%	0.4%	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%	0.1%	-0.1%	0.5%
Agno	Lugano	0.0%	3.3%	1.9%	5.5%	23.2%	0.0%	-0.1%	-0.8%	12.4%
Lugano	Lugano	0.0%	5.0%	3.6%	5.0%	22.2%	0.0%	1.1%	-0.7%	9.5%
Luzern	Luzern	0.0%	0.7%	1.3%	0.3%	1.4%	0.0%	2.2%	0.7%	1.5%
Neuenburg	Neuchâtel	0.0%	-1.9%	-2.6%	-5.7%	-0.1%	0.0%	0.2%	-5.7%	1.1%
Sion	Sion	0.0%	0.3%	1.0%	-3.5%	-1.8%	0.0%	-0.9%	-5.1%	-2.3%
Sitten	Sion	0.0%	-1.7%	-1.1%	-4.5%	0.0%	0.0%	-3.4%	-4.1%	-1.8%
St. Gallen	St. Gallen	0.0%	-3.1%	-1.9%	-0.8%	-0.2%	0.0%	2.8%	-1.5%	4.4%
Au-Wädenswil	Wädenswil	0.0%	0.0%	0.2%	-0.7%	0.6%	0.0%	2.4%	-1.0%	1.3%
Wädenswil	Wädenswil	0.0%	-0.1%	0.7%	-0.5%	0.6%	0.0%	2.4%	-0.4%	1.6%
Zürich	Zürich / Fluntern	0.0%	-1.8%	-0.2%	-0.2%	-0.5%	0.0%	1.9%	-0.4%	1.7%

Die Resultate für HGT mit den interpolierten Temperaturwerten zeigen mehrheitlich sehr geringe Abweichungen gegenüber den auf Messungen beruhenden Werte der Klimastationen. Für Vergleichsorte im Tessin sowie auch für andere Orte ergeben sich mit dem aktuellen Stand des Modells jedoch Abweichungen, welche in dieser Grösse für die Anwendung Klimakorrekturen ungeeignet sind.

Für die Durchführung der Klimakorrekturen der Forschungsarbeit wurden für die Orte mit grossen Abweichungen die Messwerte der Klimastation verwendet. Die Abweichungen des Modells sind mit weiteren Arbeiten noch zu untersuchen.



3.6 Unsicherheit der klimakorrigierten Verbrauchsanalyse

3.6.1 Unsicherheit bei der Verbrauchserhebung

Die Unsicherheiten in Bezug auf den gemessenen Energieverbrauch werden gemäss der Norm SN 592031, Anhang C abgeschätzt. Für die relative Unsicherheit der Verbrauchsmessungen werden die Werte aus Tabelle 6 verwendet.

Tabelle 6: Relative Unsicherheit von Energieverbrauchsmessungen gemäss SIA2031, Ziff. C.3.2

Stromzähler	3%
Gaszähler	2%
Ölzähler im Heizungsraum	2%
Wärmezähler	5%
Gelieferte Ölmengen	1%
Inhalt eines Tanks	5%
Gelieferte Kohlemengen	1%
Lager-Bewertung von Kohle	10%
Gelieferte Pelletmengen	1%
Lager-Bewertung von Pellets	10%

Bei der Verbrauchserhebung generell und bei der Klimakorrektur im Besonderen ist darauf zu achten, dass das Datum der verwendeten Verbrauchswerte mindestens auf den Tag genau erfasst wird und in weiteren Umrechnungen und Vergleichen stets korrekt berücksichtigt wird. Mit der Klimakorrektur können unterschiedliche, abweichende Erfassungszeitpunkte auf einen gemeinsamen Stichtag normiert werden. Für die Auswertungen in diesem Bericht wurden die Verbrauchswerte der Liegenschaften generell auf das Kalenderjahr vom 1.1 bis 31.12. umgerechnet.

3.6.2 Unsicherheit bei der Umrechnung Endenergie - Nutzenergie

Die in diesem Bericht betrachteten Methoden der Klimakorrektur sind nur für den Wärmebedarf auf Stufe Nutzenergie direkt anwendbar. Messwerte für den Energieverbrauch liegen in der Regel auf Stufe Endenergie vor und können auch Verbrauchsanteile enthalten, welche keine oder eine andere Klimakorrektur erfordern. Die für den vorliegenden Bericht verwendeten Verbrauchswerte sind und in der Regel Summenwerte für die Verwendungszwecke Raumheizung und Warmwasser und sie sind generell auf Stufe Endenergie gemessen.

In diesem Bericht wird die Klimakorrektur nur für den Heizwärmeverbrauch auf Stufe Nutzenergie angewendet. Dazu muss für die Messperiode der Heizwärmeverbrauch mit Annahmen zum Verbrauchsanteil Warmwasser und zum Nutzungsgrad der Wärmeversorgung abgeschätzt werden. Nach der Klimakorrektur des Heizwärmeverbrauches muss dann für die Referenzperiode analog zur Messperiode der Verbrauchsanteil Warmwasser und der Nutzungsgrad der Wärmeversorgung wieder berücksichtigt werden, um den mit der Messperiode korrespondierenden Verbrauchswert auf Stufe Endenergie zu erhalten.

3.6.3 Unsicherheit bei der Anwendung der Klimakorrektur

Bei der Anwendung der Klimakorrektur sind zwei Unsicherheiten zu berücksichtigen.

3.6.3.1 Unsicherheit bei der Festlegung der anzuwenden Basistemperatur

Wie im Abschnitt 3.3.5 gezeigt wird, hat die Festlegung der Basistemperatur einen relevanten Einfluss auf den Proportionalitätsfaktor der Klimakorrektur. Der mögliche Fehler durch die Festlegung einer unpassenden Basistemperatur ist gering bei kleinen Unterschieden der Klimawerte zwischen der



Messperiode und der Referenzperiode. Der Fehler kann aber bedeutend werden, wenn sich die Klimawerte der Messperiode und der Referenzperiode stark unterscheiden. Die Basistemperatur muss daher mit genügender Genauigkeit für das jeweilige Gebäude und die effektive Messperiode bestimmt werden, um die Unsicherheit durch die Festlegung der Basistemperatur zu minimieren. Anhand von Abbildung 19 kann aufgrund der Kurvensteigung abgeschätzt werden, dass bei einer Festlegung der Basistemperatur auf 1°C genau die relative Unsicherheit der Proportionalität für Jahresperioden unter 2% liegt.

3.6.3.2 Unsicherheit bei den verwendeten Klimadaten

Wie im Abschnitt 3.5.3 gezeigt wird, können die für den konkreten Fall verwendeten Klimawerte nicht als exakt betrachtet werden. Als genau im Sinne der Unsicherheitsbetrachtung gelten die Klimawerte nur für den exakten Standort der jeweiligen Messstation. Für einen konkreten Gebäudestandort bestehen Unsicherheiten entweder durch die in Abschnitt 3.5 erläuterte Interpolation der Klimawerte oder durch die Verwendung der genauen Klimawerte einer Messstation für einen Gebäudestandort, der mit der Messstation nicht identisch ist. Mit dem für diese Forschungsarbeit erstmals umgesetzten Ansatz der Interpolation von Klimawerten wird gemäss Tabelle 5 eine relative Unsicherheit der Proportionalität für Jahresperioden von mehrheitlich unter 1% erreicht, wobei für einzelne Stationen noch deutlich höhere Abweichungen festgestellt werden. Als Ziel für weitere Anwendungen sollte die relative Unsicherheit der Proportionalität der verwendeten Klimadaten bei 1 bis maximal 3% liegen.

3.6.4 Abschätzung der Unsicherheit der klimakorrigierten Verbrauchsanalyse

3.6.4.1 Unsicherheit für den untersuchten Gebäudebestand

Die oben erläuterten Unsicherheiten sind für die Beurteilung der Resultate der klimakorrigierten Verbrauchsanalyse zu berücksichtigen. Für die Abschätzung der Unsicherheit werden die folgenden Festlegungen verwendet:

Tabelle 7: Anzustrebende Werte der relativen Unsicherheit nach Einflussfaktor der Klimakorrektur

Einflussfaktor auf die Unsicherheit des Gesamtergebnisses	Relative Unsicherheit	
	Tief	Hoch
Energieverbrauchsmessung	2.0%	5.0%
Umrechnung Endenergie – Nutzenergie – Endenergie	0.5%	1.0%
Festlegung der Basistemperatur, Unterschied der Perioden	0.5%	2.0%
Verwendung Klimadaten	1.0%	2.0%
Resultierende Unsicherheit für das einzelne Gebäude	4.0%	10.0%

Für die vorliegende Forschungsarbeit wird von einer relativen Unsicherheit der Klimakorrektur von rund 5% ausgegangen. Für die Interpretation der Resultate auf Stufe des gesamten untersuchten Gebäudebestandes ist zu berücksichtigen, dass die Unsicherheiten mehrheitlich statistischer Natur sind und mit der Menge von rund 500 Messwerten pro Verbrauchsperiode eine gute Grundlage für belastbare Resultate besteht.



3.7 Ausblick Methodenentwicklung Klimakorrektur PTD

3.7.1 Fazit Klimakorrektur nach Methode PTD

Die hier vorgestellte Methode PTD ermöglicht durch die individuelle Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$ eine gleichermassen gute Klimakorrektur unabhängig vom Wärmebedarfs-Niveau des Gebäudes. Für die Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$ wird mit der Abschätzung der genutzten Gewinne analog zum Prinzip der Methode GT&S die Strahlung explizit mitberücksichtigt.

Für PTD können aufgrund des Prinzips der individuellen Bestimmung der Basistemperatur $\Theta_{b,PTD}$ keine Tabellenwerte publiziert werden, wie dies aktuell für HGT20/12 bzw. ATD12 aufgrund der festgelegten Werten der Temperaturparameter der Fall ist.

3.7.2 Weiterer Entwicklungsbedarf Methode PTD und interpolierte Klimawerte

Die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte und erstmals angewendete Methode der Klimakorrektur nach Methode PTD ist noch nicht abschliessend definiert und erfordert noch weitere Entwicklung insbesondere in den folgenden Punkten:

- Detaillierte Fehlerbetrachtung für die Definition der Genauigkeitsanforderungen der einzelnen Grössen
- Regeln für die einfache Bestimmung der genutzten Gewinne Q_{ug} mit Nutzungsfaktoren für die Globalstrahlung (externen Nutzungsfaktor) und resultierenden Wärmegewinnen (Ausnutzungsfaktor für Wärmeeinträge)
- Korrekte Berücksichtigung der Nutzungsgrade für unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme (Umwandlung Endenergie-Nutzenergie-Endenergie).
- Regeln für die separate Klimakorrektur des Warmwasserverbrauchs insbesondere für Wohnbauten.
- Bereitstellung der erforderlichen Klimadaten für Aussentemperatur und Globalstrahlung mit genügender Genauigkeit für den konkreten Gebäudestandort.