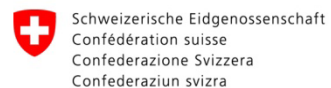


Vergleich der Gebäudevorschriften und Energieanforderungen im Bodenseeraum

Statusbericht

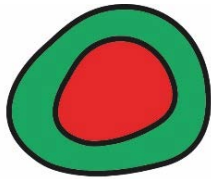
März 2018

Gefördert durch: IBK-Kleinprojektfonds 2015-2020 im
Interreg V-Programm Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein



Im Auftrag der Internationalen Bodensee-Konferenz (IBK)
Plattform Klimaschutz und Energie der IBK-Kommission Umwelt

Bearbeitet durch:



Energieinstitut Vorarlberg

Energieinstitut Vorarlberg
Bereich Energieeffizientes Bauen
Stadtstraße 33 / Campus V
A - 6850 Dornbirn
Tel.: 0043 (0)5572 31 202 0
info@energieinstitut.at
www.energieinstitut.at

Projektteam

Dipl.-Ing. (FH) Dr. Tobias Hatt, M.Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Michael Braun, M.Sc. MBA
Thomas Roßkopf, M.Sc.
Dipl.-Ing. Arch. Sabine Erber

Inhalt

1	Zusammenfassung / Kurzbericht	4
2	Ausgangslage	6
3	Gültige Regelwerke/Vorschriften für 2017	7
3.1	Vorarlberg 2017	7
3.2	Schweiz (IBK Kantone) 2017	8
3.3	Liechtenstein 2017	12
3.4	Deutschland 2017	14
4	Annahmen Regelwerke/Vorschriften für 2020	16
4.1	Vorarlberg 2020	16
4.2	Schweiz und Liechtenstein 2020	18
4.3	Deutschland 2020	19
5	Berechnungen und Analyse der Mustergebäude	21
5.1	Gegenüberstellung einiger Unterschiede der Regelwerke	21
5.2	Mustergebäude	25
5.3	Berechnungsablauf	26
6	Ergebnisauswertung und –darstellung	30
6.1	Mindestanforderungen vs. gebaute durchschnittliche Qualität	30
6.2	Mindestanforderungen für 2017	31
6.3	Einschub - Kostenoptimale Lösung im Vorarlberger Projekt KliNaWo	37
6.4	Bürogebäude/Nichtwohnbau	38
6.5	Mindestanforderungen für 2020	42
6.6	Gegenüberstellung 2017 – 2020	48
7	Fazit und Aussicht	52
	Abbildungsverzeichnis	54
	Literatur	55

1 Zusammenfassung / Kurzbericht

Im Bodenseeraum gelten unterschiedliche energetische Mindestanforderungen im Gebäudereich. Zudem werden Energiebedarf und Grenzwerte in Deutschland, der Schweiz, Liechtenstein und Vorarlberg unterschiedlich berechnet und dargestellt. Auch die Randbedingungen wie zum Beispiel die Bezugsfläche, die Primärenergie- CO₂- und nationalen Gewichtungsfaktoren oder die Klimadaten unterscheiden sich. Die Mindestanforderungen an die Gebäude sind dadurch über die Landesgrenzen hinweg leider nicht ohne weiteres vergleichbar. Deshalb wurden in vorliegender Studie anhand von vier Mustergebäuden die Mindestanforderungen in den IBK Mitgliedsländern untersucht und mit einem mittleren opaken U-Wert dargestellt. Mit Hilfe des mittleren opaken U-Wertes können die Mustergebäude in den jeweiligen Ländern verglichen werden.

Die folgende Abbildung 1 zeigt die mittleren opaken U-Werte, welche je Mustergebäude in den vier Ländern nach den derzeit gültigen Mindestanforderungen von 2017 noch baurechtlich zulässig sind. Die Bandbreite ergibt sich aus unterschiedlichen Hüllqualitätsanforderungen für verschiedene erneuerbare (grün) und nichterneuerbare (rot) Haustechniksysteme und Energieträger.

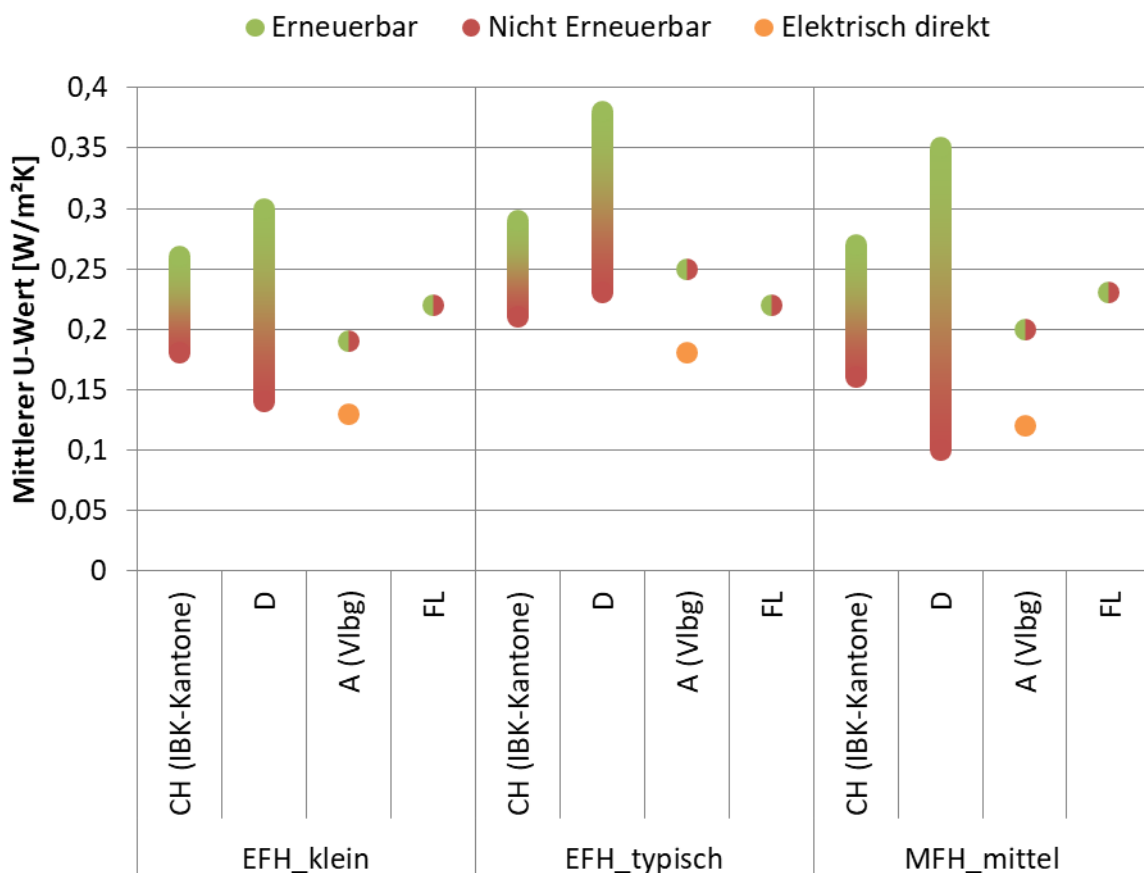


Abbildung 1: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2017) abhängig vom Energieträger.

Liechtenstein bewertet die Haustechnik und den Energieträger momentan nicht mit. Deshalb gibt es für jedes Mustergebäude in der Abbildung nur einen Grenzwert. Vorarlberg berücksichtigt zwar die Haustechnik und den Energieträger, aber die CO₂ und PE Grenzwerte sind so hoch, dass sie faktisch nicht zum Tragen kommen und somit, wie in Liechtenstein, nur eine Hüllanforderung besteht. Einzige Ausnahme sind direkt elektrische Systeme, für diese gelten verschärfte CO₂ Grenzwerte. Deutschland und die Schweiz berücksichtigen die Haustechnik und den Energieträger. Deshalb ergeben sich für unterschiedliche Energieträger und Haustechniksysteme unterschiedliche Hüllanforderungen. Tendenziell ist es so, dass hier beim Verzicht auf fossile Energieträger eine ineffizientere Hülle gebaut werden darf. Für die Vergleichbarkeit bedeutet dies, dass es pro Mustergebäude und Land nicht nur einen Wert gibt sondern, je nach Haustechnik, viele verschiedene und somit eine Bandbreite an Ergebnissen wie man in der Abbildung sieht. Momentan (2017) sind beim Einsatz erneuerbarer Energieträger die Anforderungen in Vorarlberg und Liechtenstein ähnlich hoch und strenger als in Deutschland und der Schweiz. Beim Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger sind Deutschland und die Schweiz zum Teil deutlich strenger oder es ist gar nicht möglich manche Systeme, wie z.B. nur Gas ohne Kombination mit anderen Effizienzmaßnahmen, einzusetzen.

Wie in der Richtlinie 2010/31/EU [1] beschrieben ist, sollten sich die zukünftigen Effizienzanforderungen der Gebäude am Kostenoptimum orientieren. Das bedeutet, dass diejenigen Effizienzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, welche gesamtheitlich, also über die Errichtung und den Betrieb wirtschaftlich sind. Die momentanen Mindestanforderungen in allen Ländern sind für das in Vorarlberg untersuchte Mehrfamilienhaus „KliNaWo“ weniger streng als das Kostenoptimum für dieses Projekt in Vorarlberg, wobei die gebauten Qualitäten in den Ländern meist besser sind als die Mindestanforderungen und auch das Kostenoptimum von Land zu Land variiert.

Tendenziell werden die Anforderungen im Jahr 2020 mit den getroffenen Annahmen in allen Ländern strenger. Die einzige Ausnahme hier ist Liechtenstein und auch nur für den Fall, dass erneuerbare Energieträger eingesetzt werden. In diesem Fall kann die Hülle 2020 ein klein wenig ineffizienter gebaut werden als 2017. In Liechtenstein wird 2020 mit der voraussichtlichen Umsetzung der MuKE n 2014 im Vergleich zu 2017 die Haustechnik mitbewertet, dadurch erhöhen sich vor allem für fossile Systeme die Anforderungen. Vorarlberg berücksichtigt nach dem derzeitigen nationalen Plan auch 2020 die Haustechnik und den Energieträger, aber die CO₂ und PE Grenzwerte sind mit den getroffenen Annahmen gemäß derzeitigem nationalem Plan so hoch, dass sie faktisch nicht zum Tragen kommen und somit faktisch nur eine Anforderung an die Hülle besteht. In Deutschland werden die Anforderungen mit Umsetzung des GEG - Gebäude-Energie-Gesetz- strenger, genauso auch in der Schweiz mit der möglichen Umsetzung der MuKE n 2014.

2 Ausgangslage

Im Bodenseeraum gelten unterschiedliche Mindestanforderungen im Gebäudebereich. Zudem werden Energiebedarf und Grenzwerte unterschiedlich berechnet und dargestellt. Die Mindestanforderungen an die Gebäude sind dadurch über die Landesgrenzen leider nicht ohne weiteres vergleichbar. In der Regel werden die Grenzwerte und Bezugsgrößen aufgrund der länderspezifischen Anforderungen und Normen berechnet. Die Bilanzierungsgrenzen und Bewertungen mittels Primärenergiefaktoren sind in der Regel ebenfalls unterschiedlich. So ermittelte Grenzwerte und berechnete Energiebedarfe können deshalb oft nicht direkt miteinander verglichen werden. Beim grenzüberschreitenden Informationsaustausch besteht die Gefahr, dass es zu Fehlinterpretationen kommen kann. Der Bedarf für eine genauere Analyse ist deshalb gegeben.

Vereinfacht kann die Fragestellung lauten: **Darf ein Gebäude, das in Land¹ X gebaut werden darf, in Land Y in der gleichen Ausführung auch gebaut werden?**

Damit man eine Gegenüberstellung der Länder vornehmen kann, obwohl andere Berechnungsverfahren und Grenzwerte vorhanden sind, wird in der Studie folgende Vorgehensweise angewandt.

- Vergleich der Regelwerke (2017 – 2020)
- Analyse anhand von Mustergebäuden
- Ergebnisauswertung und -darstellung

Im ersten Punkt, dem Vergleich der Regelwerke werden die jeweils momentan in den Ländern gültige Regelwerke analysiert und gegenübergestellt. Danach werden die geplanten Regelwerke für das Jahr 2020 betrachtet und die Veränderungen herausgearbeitet. Es hat sich herausgestellt, dass eine einfache Vergleichbarkeit nicht gegeben ist und man durch die Gegenüberstellung der Regelwerke keine fundierte Aussage treffen kann. Deshalb werden im zweiten Punkt vier Mustergebäude mit den jeweils landesspezifischen Verfahren und den gültigen Mindestanforderungen berechnet und die Ergebnisse dann im letzten Punkt ausgewertet und dargestellt. Die Ergebnisdarstellung erfolgt anhand eines mittleren opaken U-Wertes, welcher vereinfacht die Qualität der Hülle ausdrückt und der für jedes Land und Mustergebäude dargestellt werden kann. Dieser mittlere opake U-Wert schwankt unter anderem auch in einem Land je nach Wärmeerzeuger und Energieträger. So kann die Gebäudehülle tendenziell ineffizienter gebaut werden, wenn erneuerbare Energien eingesetzt werden, als wenn man fossil die Wärme erzeugt.

¹ Mit Ländern sind in vorliegendem Bericht immer die IBK Länder und Kantone Baden-Württemberg, Schaffhausen, Zürich, Thurgau, St.Gallen, Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden, Fürstentum Liechtenstein, Vorarlberg und Bayern gemeint.

3 Gültige Regelwerke/Vorschriften für 2017

3.1 Vorarlberg 2017

In Österreich sind die Gebäudeenergievorschriften Ländersache, das bedeutet dass die unterschiedlichen Bundesländer unterschiedliche Anforderungen definieren können und dies auch tun. In dieser Studie wird nur die Vorschrift für Vorarlberg untersucht.

Die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) [1] vom Europäischen Parlament ist die Basis für die Umsetzung in nationales Recht. Das Energieausweis-Vorlagegesetz (EAVG) regelt die Vorlage von Energieausweisen bei Verkauf und In-Bestand-Gabe (Vermietung und Verpachtung) von Gebäuden. Das Vorarlberger Baugesetz (BauG) regelt das Bauwesen im Lande in rechtlicher Hinsicht, die Verordnung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung, BTV) normiert die technischen Ausführungsbestimmungen. Inhalt und Form der Unterlagen für Baubewilligungspflichtige Vorhaben müssen der Baueingabeverordnung (BEV) entsprechen. Als Anforderung an Energieeinsparung und Wärmeschutz im Bauverfahren ist die Vorarlberger Bautechnikverordnung in Verbindung mit der OIB Richtlinien 6, Ausgabe März 2015 [2], mit dem dazugehörigen Leitfaden, den allgemeinen Begriffsbestimmungen und den zitierten Normen heranzuziehen. (Angelehnt an Energieausweiszentrale Vorarlberg) [3].

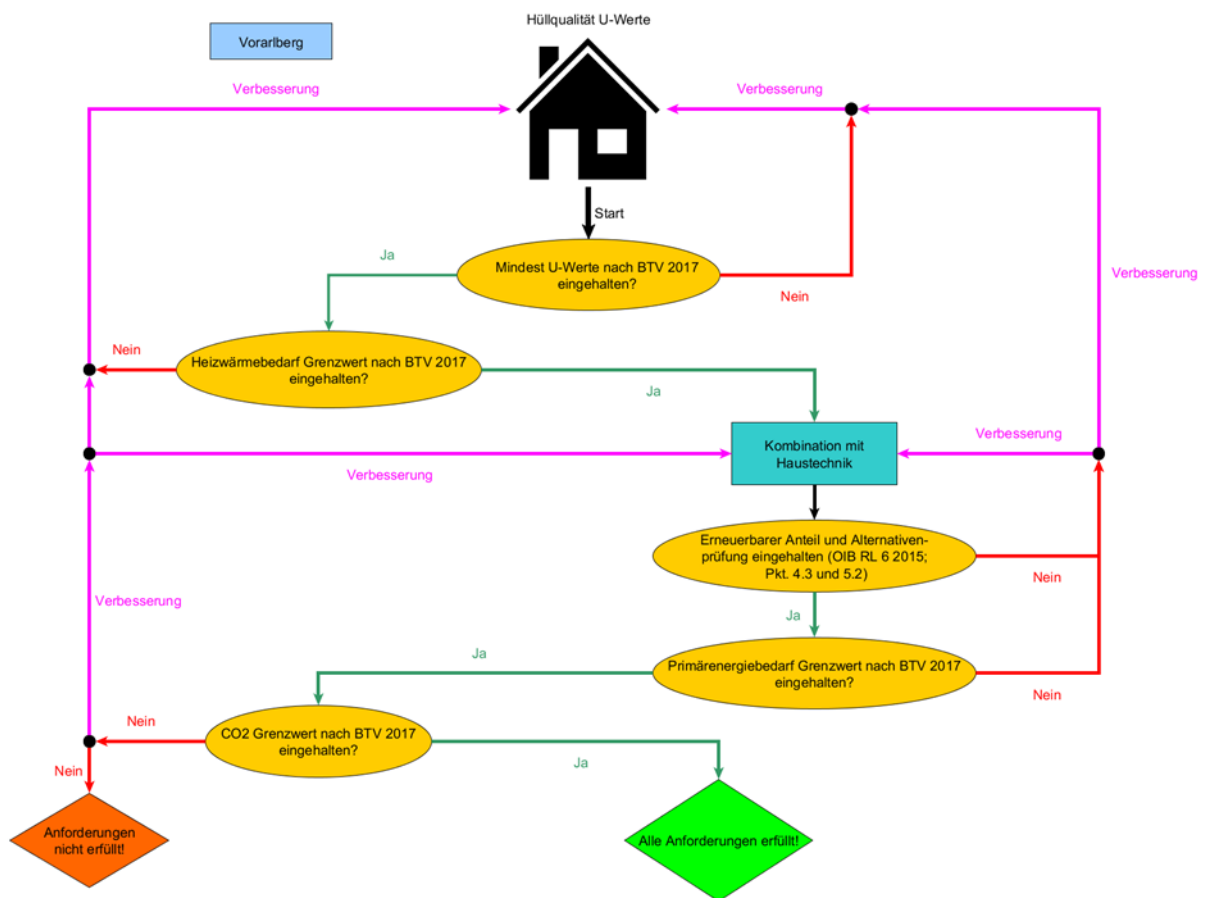


Abbildung 2: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Vorarlberg.

In Vorarlberg ist derzeit die Bautechnikverordnung 2017 (BTV 2017) [4] gültig. Das Ablaufschema in Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Nachweiswege auf. Generell gibt es vier Grenzwerte welche eingehalten werden müssen: Der mindest U-Wert, der Heizwärmebedarf, der Primärenergiebedarf und der CO₂-Grenzwert. Die Mindest-U-Wert-Anforderungen sind eher bauphysikalisch relevant –bei Einhaltung der Kennwerte wird beispielsweise eine Schimmelbildung verhindert-, stellen aber weder den energetisch notwendigen und sinnvollen Stand der Technik dar, noch die üblicherweise gebauten Dämmeigenschaften von Außenbauteilen welche in der Regel besser sind. Somit ist diese Anforderung im Neubau üblicherweise keine Hürde. Nächster Schritt ist der Nachweis des Heizwärmebedarfes. Hier werden Gewinne und Verluste des Gebäudes noch ohne die Haustechnik bilanziert und es muss der Grenzwert, welcher von der Kompaktheit des Gebäudes abhängt, eingehalten werden. Fast immer ist der Heizwärmebedarf das ausschlaggebende Kriterium. Nachfolgend wird die Haustechnik mit abgebildet, wobei Lüftungsanlagen, Solarthermie, verschiedene Haustechniklösungen und PV-Anlagen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden berücksichtigt werden können. In diesem Schritt ergibt sich aus der Nutzenergie die Endenergie getrennt nach Energieträger. Durch diese wird mit den Konversionsfaktoren nach Abbildung 9 der Primärenergiebedarf und die CO₂ Emissionen ermittelt. Diese müssen niedriger als die Grenzwerte von einem geometrisch gleichen Referenzgebäude ausfallen, um die Anforderungen einzuhalten. Wenn der Heizwärmebedarf eingehalten wird, werden die PEB und CO₂ Grenzwerte fast immer, außer bei direkt elektrischen Systemen, eingehalten. Bei den Haustechniksystemen muss außerdem noch der erneuerbare Anteil nachgewiesen und eine Überprüfung alternativer Systeme durchgeführt werden.

3.2 Schweiz (IBK Kantone) 2017

Für den Erlass von energetischen Vorschriften an Gebäude sind in der Schweiz gemäß der Bundesverfassung die Kantone zuständig. Die Kantone sprechen sich unter einander ab, um möglichst harmonisierte Anforderungen zu erlassen. Dies erfolgt im Rahmen der "Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE)". Die MuKE sind eine Empfehlung an die Kantone, wie energetische Vorschriften erlassen werden sollen. Herausgegeben werden sie von der Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK, www.endk.ch). Die MuKE sollen zur Harmonisierung der Vorschriften in der Schweiz beitragen. Zur Vereinfachung der Umsetzung in den Kantonen hat die der EnDK unterstellte EnFK (Konferenz Kantonaler Energiefachstellen) Energienachweis-Formulare und Vollzugshilfen dazu herausgegeben (--> siehe www.endk.ch >Fachleute).

Im ersten Schritt des baurechtlichen Nachweisverfahrens wird die thermische Gebäudehüllqualität bewertet. Die baurechtlich notwendige Qualität wird in der Schweiz durch die Schweizer Norm SIA 380/1 Ausgabe 2009 [5] festgelegt. Die erwähnte Norm gilt, weil die

Kantone diese in ihren Vorschriften als "verbindlich einzuhalten" erklären. Alle Kantone machen das gleich, weil es in der MuKE 2008 so empfohlen wird. Der SIA hat die Norm SIA 380/1 Ausgabe 2009 auf die MuKE 2008 abgestimmt. Der Nachweis der thermischen Hüllqualität kann über zwei verschiedene Wege erfolgen. Diese sind in folgender Abbildung 3 durch die zwei oberen gelben Auswahlmöglichkeiten dargestellt.

Zur Gewährleistung von Bauschadensfreiheit und Komfort sind durch die SIA Norm 180, Ausgabe 2014, Mindest-U-Werte festgelegt. Diese Mindest-U-Werte kommen nur beim nachfolgend beschriebenen Systemnachweis zum Tragen und auch nur im Rahmen des Privatrechts, da die energetischen Einzelanforderungen deutlich strenger sind.

3.2.1 Einzelbauteil- oder Systemnachweis

Beim Einzelbauteilnachweis müssen alle flächigen Bauteile der thermischen Gebäudehülle maximal zulässige U-Werte (Grenzwerte) einhalten. Zudem müssen alle auftretenden Wärmebrücken nachgewiesen werden, welche ebenfalls festgelegte maximale Grenzwerte nicht überschreiten dürfen. Der Wärmebrückennachweis entfällt, wenn alle flächigen Bauteile verschärfte Grenzwerte einhalten.

Beim Systemnachweis wird gemäß der Norm ein Heizwärmebedarf für das Gebäude ermittelt, welcher bezogen auf die Energiebezugsfläche ausgewiesen wird. Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller Bruttogrundflächen innerhalb der thermischen Gebäudehülle. Für die Berechnung werden die Standardnutzungswerte je Gebäudekategorie verwendet: Raumtemperatur, Personenfläche, Wärmeabgabe pro Person, Präsenzzeit, Elektrizitätsbedarf, Reduktionsfaktor Elektrizitätsbedarf und Außenluft-Volumenstrom. Die Verschattung wird detailliert je Fenster berücksichtigt (Horizont, Überhang und Seitenblende). Alle auftretenden Wärmebrücken werden wie beim Einzelbauteilnachweis detailliert erfasst. Diese müssen mit Wärmebrückenberechnungsprogrammen berechnet werden. Alternativ können auch Wärmebrückenkataloge genutzt werden. Für die Berechnung wird je Gebäudekategorie ein fixer Außenluft-Volumenstrom verwendet. Auch wenn eine mechanische Lüftung vorhanden ist, wird für den Systemnachweis der festgelegte Wert herangezogen. Eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird also nicht in der Berechnung des Heizwärmebedarfs für den Systemnachweis berücksichtigt.

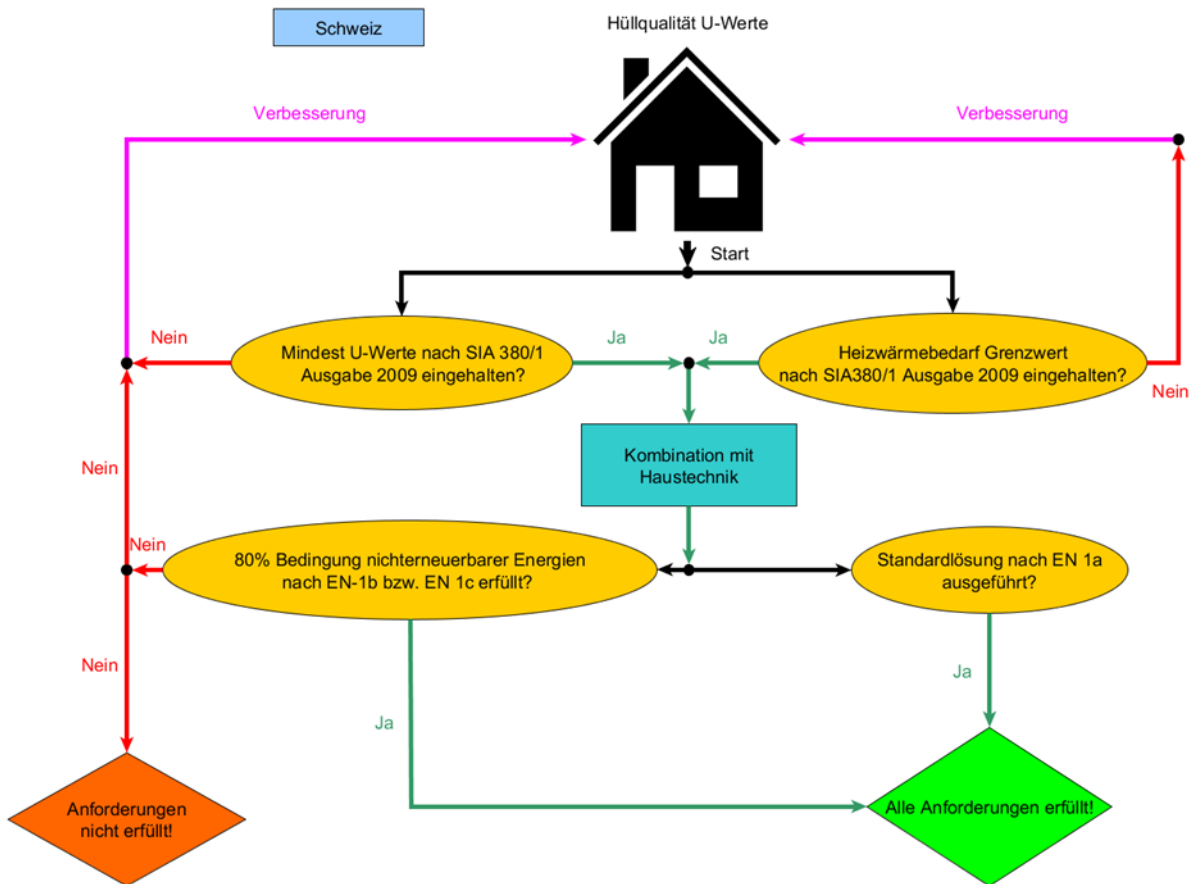


Abbildung 3: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in der Schweiz 2017.

Der Heizwärmebedarf wird mit den Klimadaten der vorgeschriebenen Klimastation aus dem Schweizer Merkblatt SIA 2028 Ausgabe 2008 [6] berechnet. Die vorgeschriebenen Klimastationen der IBK-Kantone sind in deren Energieverordnungen festgelegt:

- Appenzell Ausserrhoden: Klimastation St. Gallen
- Appenzell Innerrhoden: Klimastation St. Gallen
- Thurgau: Klimastation Güttingen
- Schaffhausen: Klimastation Schaffhausen
- St. Gallen: Klimastation St. Gallen
- Zürich: Klimastation Zürich-MeteoSchweiz

Für den Systemnachweis darf der berechnete Heizwärmebedarf den maximal zulässigen Heizwärmebedarf-Grenzwert nicht überschreiten. Der Grenzwert ist abhängig von der Gebäudekategorie, Gebäudehüllzahl (Verhältnis aus Gebäudehüllfläche und Energiebezugsfläche) und der Jahresmitteltemperatur der Klimastation.

3.2.2 Höchstanteil nichterneuerbare Energie oder Standardlösung

Im zweiten Schritt des baurechtlichen Nachweisverfahrens wird die Haustechnik des Gebäudes bewertet. Es darf nur eine bestimmte Menge nichterneuerbarer Energien für Heizung und Warmwasser benötigt werden. Dieser Grenzwert ergibt sich aus dem maximal zulässig-

gen Heizwärmebedarf und dem Energiebedarf für die Warmwasserbereitung. Der Warmwasserenergiebedarf ist abhängig von der Gebäudekategorie. Nur 80% der Energiemenge für Heizung und Warmwasser darf aus nichterneuerbaren Quellen bereitgestellt werden (80/20-Regel des Energienachweis-Formulars 1b bzw. 1c).

Auf der Bereitstellungsseite werden erneuerbare Wärmeerzeuger – Wärmepumpen, Holzheizungen, Abwärmenutzung und thermische Solaranlagen – sowie der Strombedarf einer Lüftungsanlage (sofern vorhanden) berücksichtigt. Der Energieträger Strom wird bei diesem Nachweisverfahren doppelt gewichtet (sowohl Strombedarf eines direkt elektrischen Systems, einer Wärmepumpe oder einer Lüftungsanlage). Der hier bewertete Heizwärmebedarf wird mit effektivem, thermisch wirksamem Außenluft-Volumenstrom ermittelt. Die Wärmerückgewinnung einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage wird demnach mit berücksichtigt. Die 80/20-Regel kann also durch den Einsatz von erneuerbaren Wärmeerzeugern oder bei nichterneuerbaren Wärmeerzeugern (Gas bzw. Öl) durch eine Verbesserung der thermischen Hülle oder durch den Einsatz einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage (niedrigerer Heizwärmebedarf) eingehalten werden.

Alternativ kann der Nachweis durch die Wahl einer Standardlösung des Energienachweis-Formulars 1a erfolgen, wie in Abbildung 3 an den zwei unteren gelben Auswahlmöglichkeiten ersichtlich ist. Standardlösungen umfassen z.B. eine Verbesserung der Wärmedämmung, den Einsatz einer Komfortlüftung oder von erneuerbaren Wärmeerzeugern. Der Nachweis mittels Standardlösung muss gewählt werden, wenn im ersten Schritt des baurechtlichen Nachweisverfahrens der Einzelbauteilnachweis gewählt wurde. Das ist ein „systembedingtes Muss“, da keine Heizwärmebedarfsrechnung vorliegt und somit keine Berechnung der nichterneuerbaren Energie möglich ist.

Eine weitere Einschränkung für haustechnische Systeme durch die Energiegesetze und Energieverordnungen der Kantone ist das Verbot von ortsfesten elektrischen Widerstandsheizungen als Raumheizung in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden sowie von rein direkt elektrischer Warmwasserbereitung in Wohngebäuden. Zudem müssen Abluftanlagen mit einem Volumenstrom größer 1.000 m³/h und mehr als 500 Nutzungsstunden pro Jahr über eine Abwärmenutzung in Form einer Abluft-Wärmepumpe verfügen. Werden in Mehrfamilienhäusern mit innenliegenden WC, Bad/WC oder Dusche/WC kleine Einzel-Abluftventilatoren mit Lichtsteuerung eingesetzt, wird die 1000 m³/h-Grenze unterschritten und somit eine Abwärmenutzung nicht verpflichtend.

3.2.3 Nachweis elektrische Energie – Beleuchtung und Lüftung

Für Nicht-Wohngebäude mit einer Energiebezugsfläche größer als 1.000 m² muss zusätzlich der Strombedarf für Lüftung und Beleuchtung nach SIA 380/4 Ausgabe 2006 [7] nachgewiesen werden. Die beiden Nachweise können entweder vereinfacht durch Einhaltung der Einzelanforderung oder der Systemanforderung erfolgen.

Bei der Einzelanforderung darf pro Nutzungszone die geforderte spezifische Beleuchtungs- bzw. Lüftungsleistung, bezogen auf die Nettoraumfläche, nicht überschritten werden. Bei der Systemanforderung wird für alle Nutzungszonen des Gebäudes, in Abhängigkeit der Nutzungsstunden und installierten Beleuchtungs- bzw. resultierenden Lüftungsleistung aufgrund des benötigten Außenluftvolumenstroms, der Strombedarf für Raumbelichtung bzw. Lüftung berechnet. Dabei dürfen für das im Rahmen dieses Projekts untersuchten Bürogebäudes folgende spezifische Grenzwerte, bezogen auf die Nettoraumfläche von $1.909 \text{ m}^2_{\text{NRF}}$, nicht überschritten werden.

- Beleuchtung: $26,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$
- Lüftung: $4,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$

Der thermische wirksame Außenluft-Volumenstrom und der Lüftungsstrombedarf, welche sich aus der SIA 380/4-Berechnung ergeben, werden in die Berechnung der nichterneuerbaren Energien übernommen. Der Strombedarf für Beleuchtung wird separat beurteilt und nicht mit den anderen Bedarfswerten (d.h. Heizung, Warmwasser, Lüftung, Klima, ...) verrechnet.

In der nachfolgenden Ergebnisdarstellung in Kapitel 6.1 ist immer die schlechteste mögliche Gebäudehüllqualität je Haustechniksystem ausgewiesen, welche entweder aus der 80/20-Regel für eingesetzte nichterneuerbare Energie oder aus der jeweils passenden Standardlösung resultiert.

3.3 Liechtenstein 2017

Nach der Liechtensteinischen Energieverordnung [8] bestehen für Gebäude mit einem Bruttovolumen unter 2.000 m^3 zwei Nachweismöglichkeiten, wie in Abbildung 4 ersichtlich. Entweder ist nachzuweisen, dass die energierelevanten Baukonstruktionen die maximal zulässigen U-Werte der Verordnung nicht überschreiten (Einzelbauteilnachweis) oder es muss der Heizwärmebedarf des Gebäudes nach SIA 380/1 Ausgabe 2009 berechnet werden, welcher 80% des maximal zulässigen SIA-Grenzwerts einhält (Systemnachweis). Für Gebäude mit einem Bruttovolumen über 2.000 m^3 muss der Heizwärmebedarf des Gebäudes berechnet werden. Dieser darf 90% des maximal zulässigen SIA-Grenzwerts nicht überschreiten.

Ortsfeste Widerstandsheizungen zur Gebäudebeheizung dürfen nach der Energieverordnung nur bis zu einer Nennleistung von 3 kW eingesetzt werden. Zur Warmwasserbereitung sind elektrische Widerstandsheizungen über 3 kW nur einsetzbar, wenn das Warmwasser primär mittels erneuerbarer Energie erwärmt wird oder wenn die dezentrale Brauchwarmwassererwärmung eine energetisch vorteilhafte Lösung darstellt (Bürogebäude).

Bei Nicht-Wohngebäuden mit einem Bruttovolumen über 2.000 m^3 muss wie in der Schweiz der Strombedarf für Lüftung und Beleuchtung nach SIA 380/4 Ausgabe 2006 nachgewiesen werden.

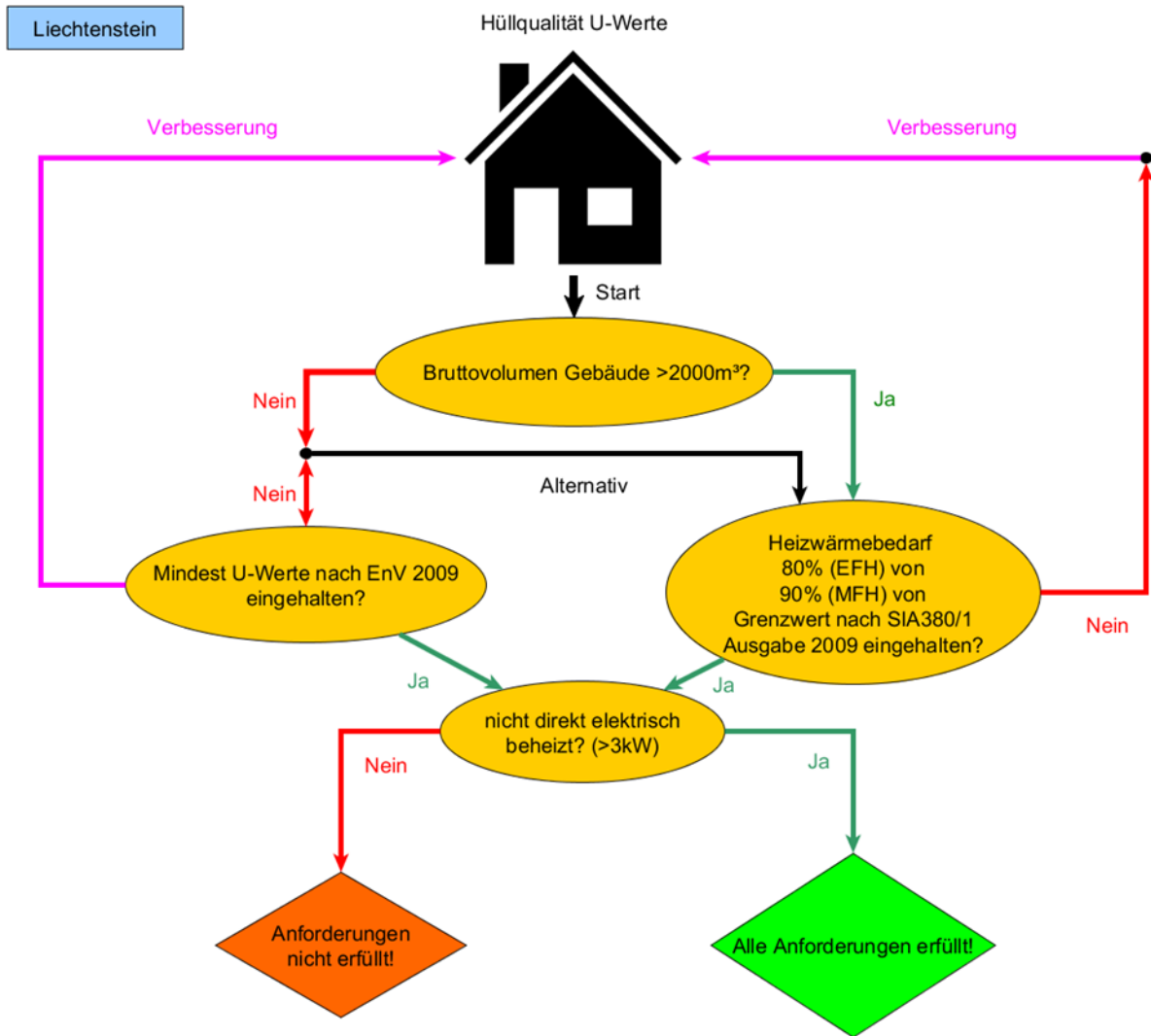


Abbildung 4: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Liechtenstein.

3.4 Deutschland 2017

Wie auch in Österreich ist für Deutschland die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) [1] vom Europäischen Parlament die Grundlage für das nationale Recht. Umsetzung findet diese Richtlinie in dem Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden, auch Energieeinsparungsgesetz (EnEG) genannt. Dies ist ein Bundesgesetz und gilt somit in allen 16 Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Die Anforderungen an die energetischen Baustandards werden wiederum in der Energieeinsparverordnung (EnEV) [9] festgelegt, welche durch das EnEG legitimiert ist. Die EnEV verweist hierbei unter anderem auf die Normen DIN 4108 [10] (Wärmeschutz im Hochbau) und DIN 4701-10 [11] (Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung), wodurch diese Normen –entgegen den meisten anderen- rechtsverbindlich sind. Die Reihe der Bundesgesetze wird durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ergänzt, welches den Ausbau von erneuerbaren Energien in der Gebäudetechnik für den Wärme- und Kältebedarf forcieren soll.

Sowohl die EnEV als auch das EEWärmeG geben Grenzwerte vor, die Gebäude gleichzeitig einhalten müssen - es ist somit keine "Entweder-oder-Regelung", sondern eine "und"-Vorschrift. Konkret werden - wie in Abbildung 5 dargestellt - vier Grenzwert-Bedingungen gestellt, welche ein Gebäude einhalten muss (das Flussdiagramm in Abbildung 5 leitet sich aus der Eingabe- und Fragelogik des verwendeten Berechnungs-Programms ab, ist aber sinngemäß unabhängig von der genutzten Software).

Begonnen wird bei allen bekannten Berechnungsverfahren immer mit der Eingabe der Gebäudehülle. Hierbei stellt die DIN 4108-4, welche -wie eingangs genannt- als eine der wenigen Normen einen rechtverbindlichen Charakter hat, Anforderungen an die U-Werte der Bauteile. Diese U-Wert-Anforderungen sind ausschließlich bauphysikalisch relevant –bei Einhalten der Kennwerte wird beispielsweise eine Schimmelbildung verhindert-, stellen aber weder den energetisch notwendigen und sinnvollen Stand der Technik dar, noch die üblicherweise gebauten Dämmeigenschaften von Außenbauteilen. Somit ist diese Anforderung üblicherweise keine Hürde.

Die Summe aller energetischen Eigenschaften der Umschließungsflächen gehen dann aber auch in einen weiteren Kennwert, den so genannten H_t' –Wert ein. Der H_t' -Wert stellt eine Art flächengewichteter mittlerer U-Wert dar, in den auch die Wärmebrücken miteinfließen. Ist auch dieser Grenzwert eingehalten, so muss / kann mit der Eingabe der Kennwerte der haustechnischen Systeme begonnen werden. Zu diesen zählen u.a. neben den Wirkungsgraden der verschiedenen Heizsystemen mit ihren individuellen Energieträgern (Gas, Biomasse, Strom) auch die Verluste von Rohrleitungen, der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung sowie die Energieaufwände und –einsparungen von Lüftungsanlagen. Bei Nicht-Wohngebäuden zählt auch der Beleuchtungsstrom dazu. Der Grenzwert für den Primärener-

giekennwert ergibt sich durch das auch in anderen Berechnungssystemen vorkommende Referenzhaus-Verfahren, bei dem ein Gebäude mit derselben Geometrie und energetischen Kennwerten wie das eingegeben Gebäude mit einer haustechnischen Referenzausstattung versehen wird. Der Primärenergiekennwert bildet bei vielen untersuchten Varianten das ausschlaggebende Kriterium, wenn auch nicht das letzte, welches eingehalten werden muss. Neben den bauphysikalischen Mindest-U-Werten gem. DIN 4108-4, dem H_t' sowie dem Primärenergiegrenzwert muss auch dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz genüge getan werden. Hier wird eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien festgesetzt, welche durch verschiedene Maßnahmen sowie mögliche Ersatzmaßnahmen nachgewiesen werden kann.

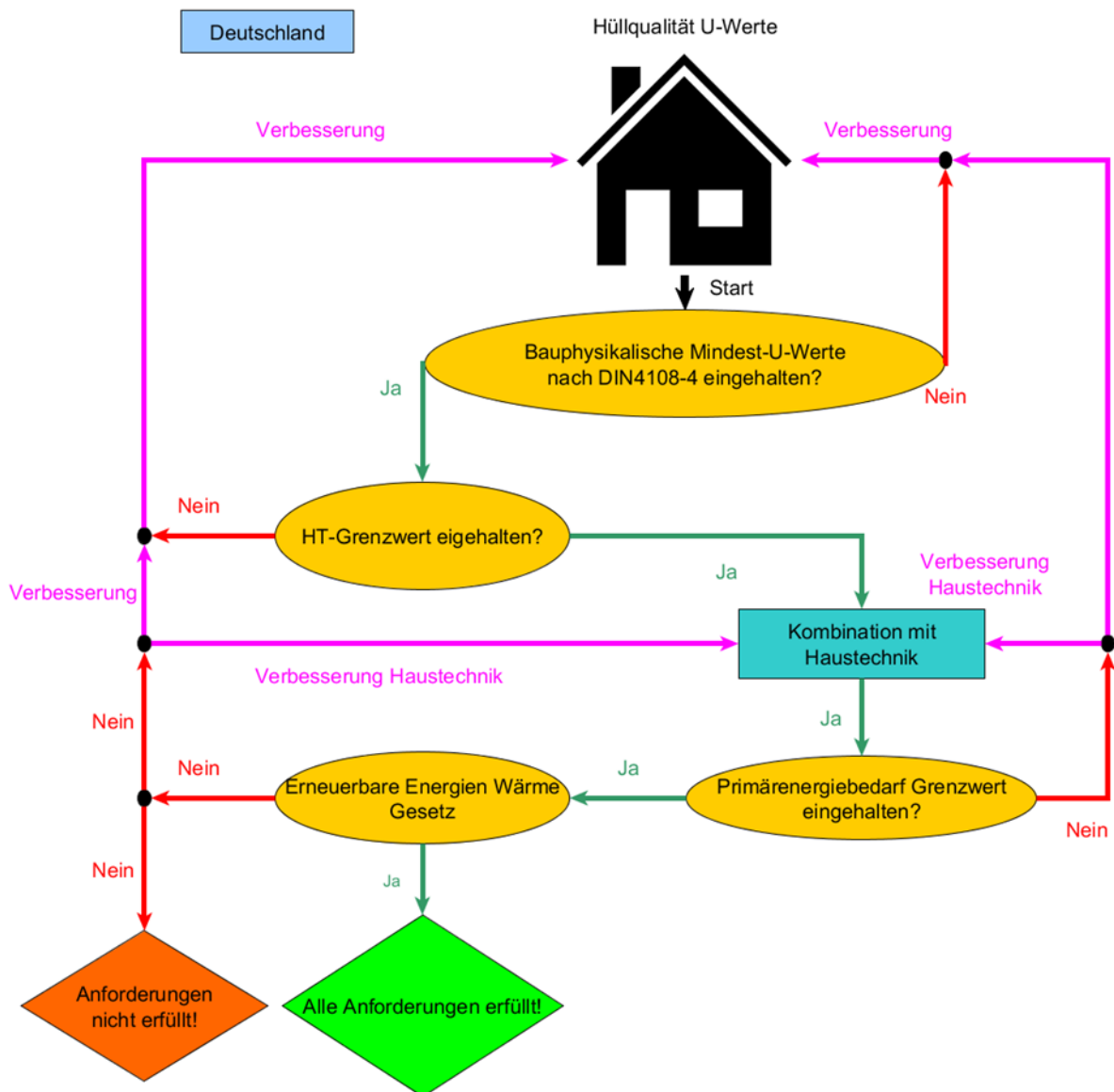


Abbildung 5: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Deutschland.

4 Annahmen Regelwerke/Vorschriften für 2020

In Kapitel 3 Gültige Regelwerke/Vorschriften für 2017 wird die momentan gültige Vorgehensweise in den verschiedenen Ländern dargestellt. Ein weiterer Teil der Studie ist ein Ausblick was in den Ländern bis zum Jahr 2020 geplant ist, bzw. möglich sein könnte. 2020 wird deshalb als Zukunftsjahr angesetzt, weil hier die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) [1] vom Europäischen Parlament laut Artikel 9 Absatz 1 (a) fordert, dass alle Neubauten nahezu Nullenergiegebäude sein sollen. Auch die Schweiz und Liechtenstein planen eine Erneuerung der Regelwerke. Je nach Land sind hier die Regelungen und Gesetze unterschiedlich weit fortgeschritten sowohl in der Formulierung, wie auch der Umsetzung. Einige Punkte der Unsicherheit sind:

- die Anforderungen sind noch nicht oder noch nicht exakt definiert bzw. werden derzeit nochmals überarbeitet (vor allem VlbG)
- die Anforderungen sind politisch noch nicht beschlossen und/oder umgesetzt (vor allem D, CH, FL)
- die Berechnungsverfahren oder neuen Grenzwerte sind in den Programmen noch nicht umgesetzt
- die Randbedingungen wie z.B. Konversionsfaktoren oder Klimadaten sind noch nicht bekannt

⇒ **Die Berechnungsergebnisse für die Mustergebäude für 2020 sind mit höheren Unsicherheiten behaftet als die für 2017 und sollten nur als Abschätzung einer Tendenz gelten.**

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird beschrieben, welche Zukunftsannahmen in den einzelnen Ländern getroffen wurden. Diese werden dann als Berechnungsgrundlagen für die Mustergebäude für das Jahr 2020 herangezogen

4.1 Vorarlberg 2020

In Österreich wurde im Jahr 2014 ein Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ [12] verfasst. In diesem Dokument werden die zukünftigen Mindestanforderungen festgelegt

„Diese Mindestanforderungen sollen in zukünftigen Ausgaben der OIB-Richtlinie 6 umgesetzt werden. Insbesondere sind Inhalt dieses Dokuments (des nationalen Planes):

- *Eine ausführliche Darlegung der praktischen Umsetzung der österreichischen Definition des Niedrigstenergiegebäudes unter Berücksichtigung der österreichischen Ge-*

gebenheiten auf Basis des Heizwärmebedarfs (in kWh/m²a) einschließlich numerischer Indikatoren für den Primärenergiebedarf (in kWh/m²a) und die Kohlendioxidemissionen (in kg/m²a), ausgedrückt und festgelegt durch die Anforderungen für 2020.

- *Zwischenziele für die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz neuer Gebäude für 2014 (Inkrafttreten mit 1.1.2015), 2016 (1.1.2017), 2018 (1.1.2019) und 2020 (1.1.2021) für den Neubau und größere Renovierungen.*

Bei der Festlegung der Mindestanforderungen für den Niedrigstenergiehausstandard und der Zwischenziele sind die Länder mehrheitlich übereingekommen, dass neben den verpflichtend einzuführenden Anforderungen an den Primärenergiebedarf auch Anforderungen an die Kohlendioxidemissionen formuliert werden.

Sämtliche Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energieeinsparung – also die Gesamtenergieeffizienz– von Gebäuden wird in Österreich durch die vier Indikatoren

- *Heizwärmebedarf,*
- *Gesamtenergieeffizienz-Faktor,*
- *Primärenergiebedarf und*
- *Kohlendioxidemissionen*

angegeben“ (Zitat aus dem nationalen Plan [12, S. 2])

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben ist, ist die Umsetzung der OIB RL-6 in Österreich Ländersache. In Vorarlberg werden bereits jetzt neben dem Heizwärmebedarf der Primärenergiebedarf und der CO₂ Ausstoß angegeben und müssen einen Grenzwert einhalten. Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor als zweiter Nachweisweg ist in Vorarlberg, im Gegensatz zu vielen anderen Bundesländern lt. Anforderung BTV nicht möglich, da an den fGEE keine Anforderungen gestellt werden bzw. dieser nicht belastet wird. In Abstimmung mit den Projektbeteiligten im Land Vorarlberg wird für die Berechnungen in vorliegender Studie die Annahme getroffen, dass dieses Nachweisverfahren mit dem Weg eins so beibehalten wird, nur die Grenzwerte werden verschärft. Es wird für die Berechnungen in vorliegender Studie angenommen, dass in Vorarlberg im Jahr 2020 am ehesten die 12er-HWB Linie im Wohnungsneubau umgesetzt werden wird und die PEB und CO₂ Grenzwerte aus dem nationalen Plan übernommen werden. Die 10er-HWB Linie aus dem nationalen Plan für das Jahr 2020 wurde damals noch unter Anrechnung der WRG bei Lüftungsanlagen festgelegt, nachdem aber die Anrechenbarkeit nach Umstellung von der OIB-RL 6 (2011) auf die OIB-RL 6 (2015) nicht mehr gegeben ist, wird dieser Wert wohl nach oben korrigiert werden. Auch die Konversionsfaktoren für PE und CO₂ haben sich mit dieser Umstellung geändert. Eine Überarbeitung des nationalen Planes läuft derzeit.

- ⇒ Bei der Berechnung für Vorarlberg wird in vorliegender Studie die Annahme getroffen, dass für 2020 die 12er HWB-Linie kommen könnte und für die PE und CO₂ Grenzwerte wird angenommen, dass diese nach dem Nationalen Plan für 2020 Anwendung finden könnten²

4.2 Schweiz und Liechtenstein 2020

In der Schweiz besteht mit den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich aus dem Jahr 2014, kurz MuKE n 2014 [13] ein mögliches Zukunftsszenario wie die baurechtlichen Anforderungen für das Jahr 2020 aussehen könnten. Das zweiteilige Nachweisverfahren (Bewertung Gebäudehüllqualität und Haustechnik) mit den beiden möglichen Nachweiswegen (Einzelbauteil oder System bzw. Höchstanteil nichterneuerbare Energie oder Standardlösung) bleibt gleich. Die maximal zulässigen U-Werte des Einzelbauteilnachweises und der Heizwärmebedarf-Grenzwert des Systemnachweises sind gegenüber dem derzeit gültigen Verfahren verschärft. Anstelle der 80/20-Regel wird nun ein gewichteter Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung berechnet, welcher einen bestimmten Grenzwert je Gebäudekategorie (Wohnbau 35 kWh/(m²_{EBF}*a), Bürogebäude 40 kWh/(m²_{EBF}*a)) nicht überschreiten darf (Energienachweis-Formular 101b).³ Die dazu verwendeten nationalen Gewichtungsfaktoren sind in Abbildung 9 in Kapitel 5.1.2 aufgeführt. Die Standardlösungen als Ersatz zum rechnerischen Nachweis sind gegenüber dem derzeit gültigen Verfahren ebenfalls verschärft. Abhängig vom Wärmeerzeuger können unterschiedlich strenge Gebäudehüllvorgaben als sogenannte Standardlösungskombinationen umgesetzt werden (Energienachweis-Formular 101a).

Zusätzlich muss bei einem Neubau eine Photovoltaikanlage mit einer Mindestnennleistung von 10 W_{peak} pro m²_{EBF} errichtet werden. Übersteigt die daraus resultierende Mindestnennleistung 30 kW_{peak} sind maximal 30 kW_{peak} erforderlich.

Zur Berechnung der Mindestanforderungen für 2020 in Kapitel 6.5 werden die Anforderungen der MuKE n 2014 für die Schweiz und Liechtenstein gleichermaßen übernommen.⁴

² Abgestimmt mit Projektleitung nach der Sitzung vom 5.10.2017

³ Diese Anforderungen entsprechen bei Wohnbauten einer Anforderung zwischen den 2009er Anforderungen des Standards Minergie (38 kWh/m²_(EBF*a)) und Minergie-P (30 kWh/(m²_{EBF}*a)), bei den übrigen Bauten entsprechen sie denjenigen von Minergie 2009.

⁴ Abgestimmt mit Projektleitung nach der Sitzung vom 5.10.2017

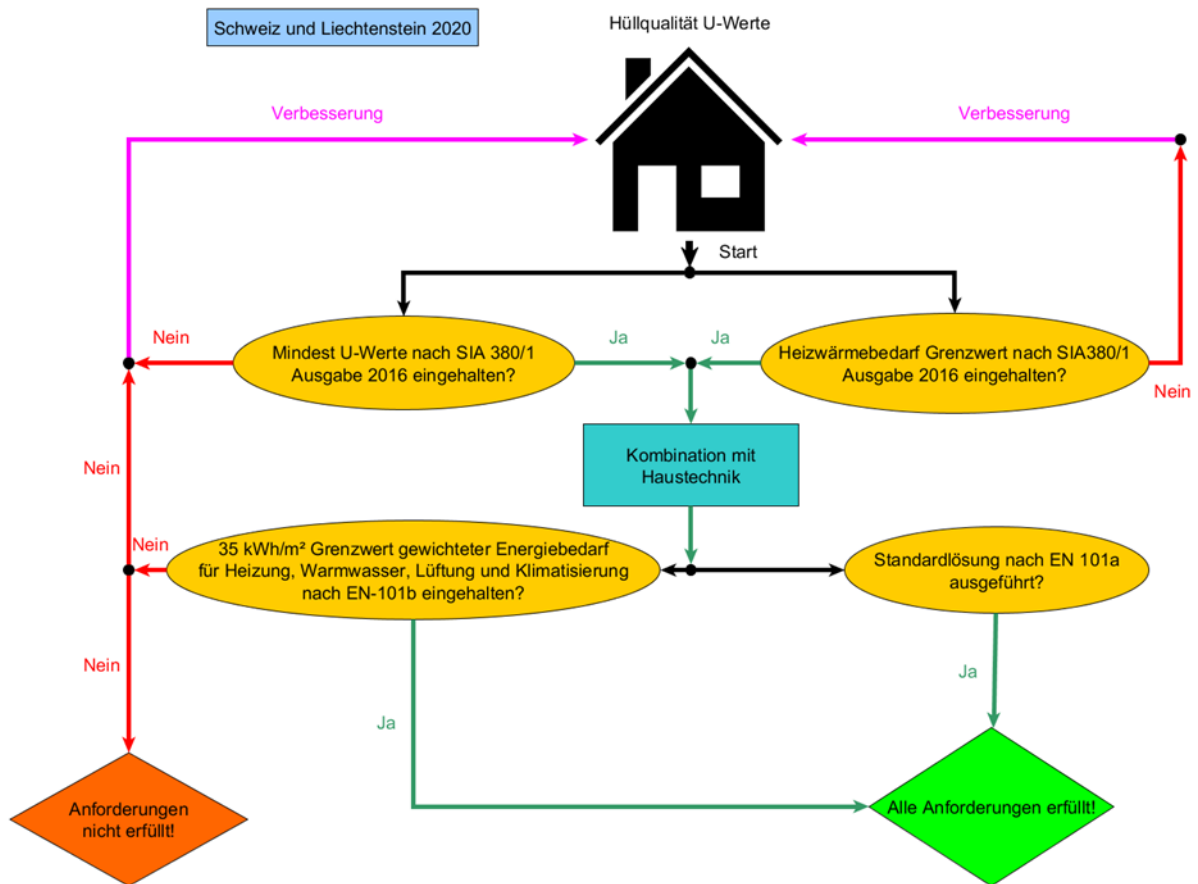


Abbildung 6: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in der Schweiz und Liechtenstein mit der MuKE n 2014 im Jahr 2020.

4.3 Deutschland 2020

In Deutschland stellt sich die Lage bezüglich der energetischen Anforderungen im Jahr 2020 wie folgt dar:

Es liegt ein fertiger Gesetzentwurf vor (GEG - Gebäude-Energie-Gesetz) [14], welcher das EnEG (Energieeinspargesetz), die EnEV (Energieeinsparverordnung) sowie das EEWärmeG (Erneuerbare Energien-Wärme-Gesetz) in einem vereint. Die Verabschiedung des Entwurfs hätte im Januar 2017 erfolgen sollen, wurde aber auf Grund von Einsprüchen bis auf weiteres verschoben. Eine erneute Behandlung samt Beschluss ist bis Mitte / Ende 2018 auf Grund der aktuell⁵ noch nicht abgeschlossenen Regierungsbildung nicht zu erwarten. Auf Grund der neuen Regierungskonstellation kann auch keine Abschätzung getroffen werden, ob, wann und mit welchen Veränderungen das Gesetz in Kraft treten wird. Das vorgeschlagene Berechnungsverfahren sieht die DIN V 18599, welche bisher nur für Nicht-Wohngebäude gilt, auch für Wohngebäude vor. Das Berechnungsverfahren weicht von dem in der Studie verwendeten Berechnungsverfahren ab und ist dementsprechend nur teilweise

⁵ (Stand: 5. Feb. 2018)

im aktuellen Berechnungsprogramm umgesetzt. Somit kann mit dem bisherigen Verfahren nur eine Annäherung gerechnet werden. Eine Berechnung für Deutschland im Jahr 2020 ist somit nicht möglich. Deshalb wird in der Studie, gestützt auf Aussagen aus der Fachliteratur [15], mit dem momentanen Berechnungsverfahren und dem jetzigen KfW 55 Standard gerechnet, welcher ungefähr die zukünftigen Anforderungen widerspiegelt⁶ (siehe auch Abbildung 7 Balken GEG 2019/2020).

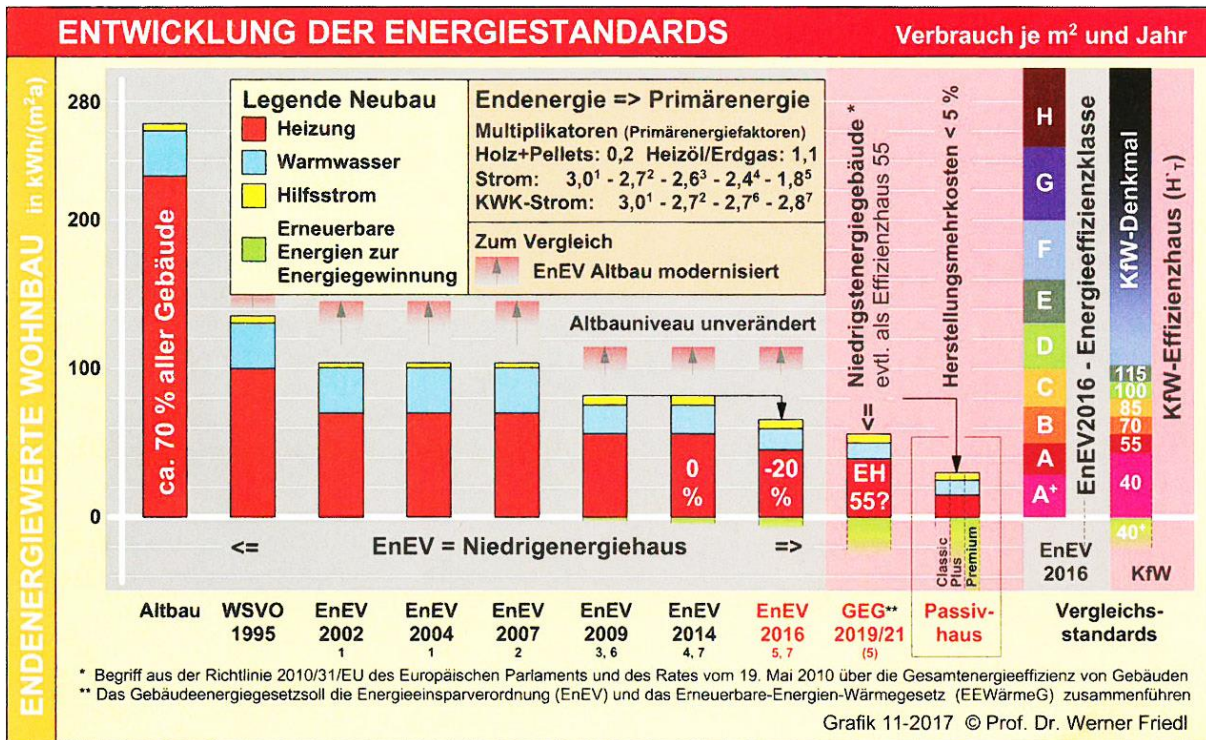


Abbildung 7: Geschichtliche Entwicklung der Energiestandards in Deutschland. Quelle [15].

⁶ Abgestimmt mit Projektleitung nach der Sitzung vom 5.10.2017

5 Berechnungen und Analyse der Mustergebäude

5.1 Gegenüberstellung einiger Unterschiede der Regelwerke

5.1.1 Klimadaten

Die Klimadaten als Eingangsparameter beeinflussen das Ergebnis der Energiebedarfsberechnungen. In einem milden Klima ist für dasselbe Gebäude der Heizenergiebedarf niedriger als in einem kühlen. Die untersuchten Berechnungsregeln unterscheiden sich hierbei bei der Auswahl des Klimastandortes. In Deutschland wird für den EnEV Nachweis immer mit dem Klimadatensatz von Potsdam gerechnet, egal ob sich das Gebäude in einem Alpental oder an der Ostsee befindet. In Vorarlberg wird mit dem Standortklima des Gebäudes gerechnet, in Liechtenstein mit der Klimastation Vaduz (bis 1.100 m.ü.M.) bzw. Engelberg (ab 1.100 m.ü.M.) und in der Schweiz wird kantonsabhängig ein Klimastandort angegeben, wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben. Im Kanton St. Gallen wird z.B. immer mit einem Klimadatensatz gerechnet. Dieser ist strenger als z.B. der Klimadatensatz für Vaduz (siehe Abbildung 8). Deshalb sind bei gleichen Berechnungsgrundlagen die Anforderungen an die Energiekennzahl in St. Gallen höher als in Vaduz. Dies gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

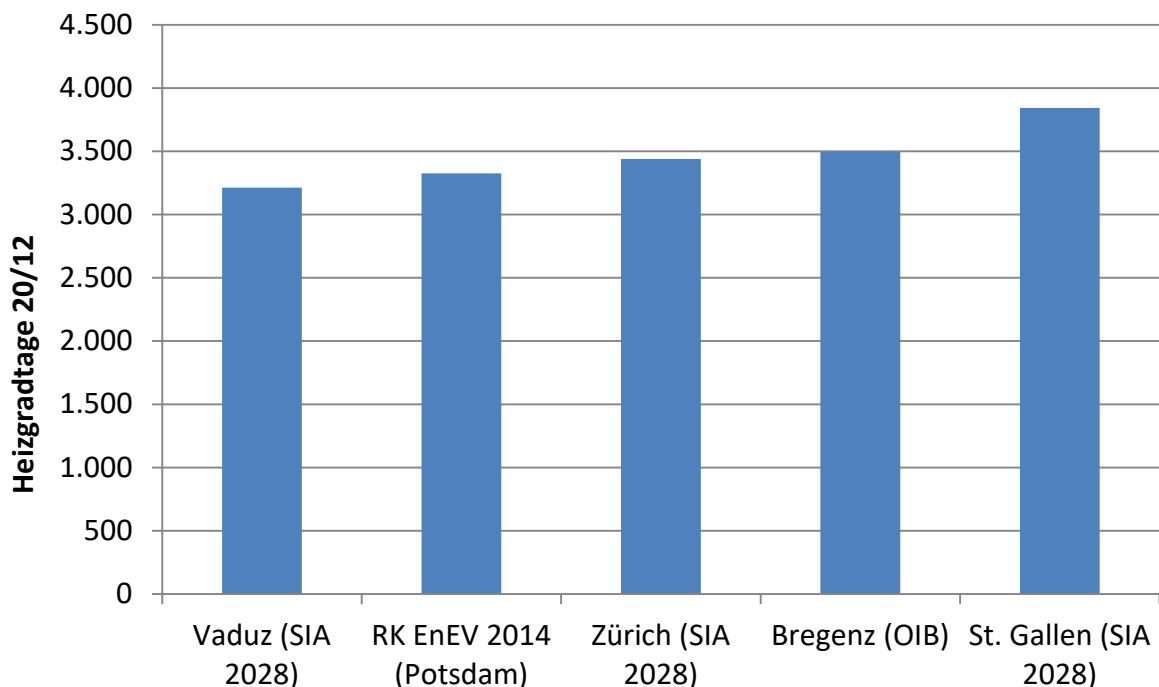


Abbildung 8: Vergleich der Heizgradtage für verschiedene Standorte.

Die Mustergebäude wurden mit den nachfolgenden Klimastandorten berechnet:

- Deutschland: Potsdam
- Liechtenstein: Vaduz

- Schweizer IBK-Kantone: St. Gallen
- Vorarlberg: Bregenz

5.1.2 Primärenergie- CO₂- und nationale Gewichtungsfaktoren

In Österreich, Deutschland und in manchen Nachweisverfahren in der Schweiz wird nicht nur der Heizenergiebedarf bewertet, sondern das gesamte Gebäude inklusive der verschiedenen Energieträger für die verschiedenen Anwendungen. Die Bilanzgrenzen fallen dabei unterschiedlich aus. In Österreich wird beispielsweise der Haushaltsstrom mitbewertet. In keinem IBK-Mitgliedsland gelten Grenzwerte auf Endenergieebene, sehr wohl aber auf Primärenergie- und in Vorarlberg auch auf CO₂ -Ebene. Die Anforderungen sind aber nicht direkt miteinander vergleichbar, da außer den unterschiedlichen Bilanzgrenzen unterschiedliche Konversions- oder Gewichtungsfaktoren Verwendung finden.

- Österreich: PE erneuerbar und nicht erneuerbar als Summe, CO₂
- Deutschland: PE nur der nicht erneuerbare Anteil
- Schweiz: Nationaler Gewichtungsfaktor der EnDK (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren)

→ Starker Unterschied vor allem bei Biomasse und Fernwärme aus erneuerbaren Energien

Die Primärenergie- oder Gewichtungsfaktoren sind in Abbildung 9 dargestellt. Die meisten Faktoren sind über die letzten Jahre betrachtet relativ konstant geblieben außer in D und A für Strom. Aufgrund des zunehmenden Anteils von erneuerbaren Energien wurde der Primärenergiefaktor für elektrischen Strom in der deutschen EnEV von 3,0 über 2,7 und 2,6 auf 2,4 gesenkt. Seit dem 1. Januar 2016 ist er für den nicht erneuerbaren Anteil auf 1,8 abgesenkt worden. In Österreich wurde der Faktor von 2,62 in der OIB-RL6 2011 [16] auf 1,91 in der OIB RL-6 2015 [2] gesenkt. Wird nur der nicht erneuerbare Anteil betrachtet wie in D dann wird der Faktor mit Ausbau der erneuerbaren Energieträger weiter abnehmen. Bei einer gemeinsamen Betrachtung von erneuerbarem und nichterneuerbarem Anteil wie momentan in Österreich, wird der Faktor mittelfristig noch sinken, kann aber ab 2030-2040 wieder leicht steigen. Für den Fall, dass die Entwicklung stark in Richtung erneuerbares Stromsystem führt, ist dieser Effekt auf die Umwandlungs- und Speicherverluste zurückzuführen wie z.B. bei Power to gas. Das Verhältnis der Gewichtungsfaktoren Strom zu Gas/Öl ist entscheidend für den Einsatz von Wärmepumpen anstelle fossiler Heizungen [17].

	Österreich	Deutschland	Schweiz
	f PE (ern.+n.ern.)	f PE (n.ern.)	nat. Gewichtungsfaktor ⁷
Kohle	1,46	1,1-1,2	1
Heizöl	1,23	1,1	1
Erdgas	1,17	1,1	1
Biomasse	1,08	0,2	0,5
Strom-Mix (Bezug)	1,91	1,8	2
Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1,6	0,1	0,4-0,8
Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)	1,52	1,3	1
Fernwärme aus hocheffizienter KWK	0,3-0,94	0-0,7	0,4-1,0
Abwärme	0,3-1	k.a.	0,4-1,0
Sonne, Umweltwärme, Geothermie	k.a.	0	0

Abbildung 9: Primärenergie und nationale Gewichtungsfaktoren für A⁸, D, CH.

5.1.3 Bezugsflächen für den Energiebedarf

Werden Kennwerte, wie der Heizwärmebedarf oder der Endenergiebedarf nicht in absoluten Werten angegeben sondern spezifisch pro Bezugsfläche, hat die Definition dieser einen Einfluss auf das Ergebnis. Durch Bezugnahme einer anderen Fläche treten am Beispiel des kleinen EFH Unterschiede bis zu 50% auf. Die Bezugsflächen sind in den einzelnen Ländern bzw. Berechnungsregeln wie folgt definiert und in Abbildung 10 für das EFH klein, sowie in Abbildung 11 für das MFH mittel dargestellt.

- PHPP: TFA (treated floor area) in etwa die beheizte netto Wohnfläche (Bsp. EFH + MFH 100%).
- DE nach EnEV: Die "Nutzfläche" A_N nach der deutschen Energieeinsparverordnung ist ein auf eine Fläche linear umgerechnetes Bruttovolumen: $A_N = 0,32 \text{ m}^{-1} * V$ (Bsp. EFH 121%, MFH 129%).
- AT: BGF Beheizte Brutto-Grundfläche, wobei beheizte Kellerabgänge vereinfacht nicht mitgerechnet werden. (Bsp. EFH 141%; MFH 128%).
- CH/FL: BGF Beheizte Brutto-Grundfläche, wobei beheizte Kellerabgänge mitgerechnet werden. (Bsp. EFH 151%, MFH 131%).

Durch die unterschiedlichen Flächenbezüge wird die Vergleichbarkeit von spezifischen Werten erschwert, bzw. wird das Ergebnis stark verfälscht.

⁷ „Schweiz: Gewichtungsfaktor = Steuergröße für Zukunft: Faktor vorausschauend zielorientiert festgelegt = Grenzfallbetrachtung Zukunft: Wahrscheinlichster 'Worst case' für Stromversorgung aus Sicht CO₂ = GUD und damit 1 kWh Strom aus 2 kWh Gas“ (Anmerkung zum Strom-Mix, C. Gmür, Kanton Zürich, Baudirektion).

⁸ CO₂ Konversionsfaktor für Strom in Österreich nach OIB RL-6 2015: 276 g/kWh

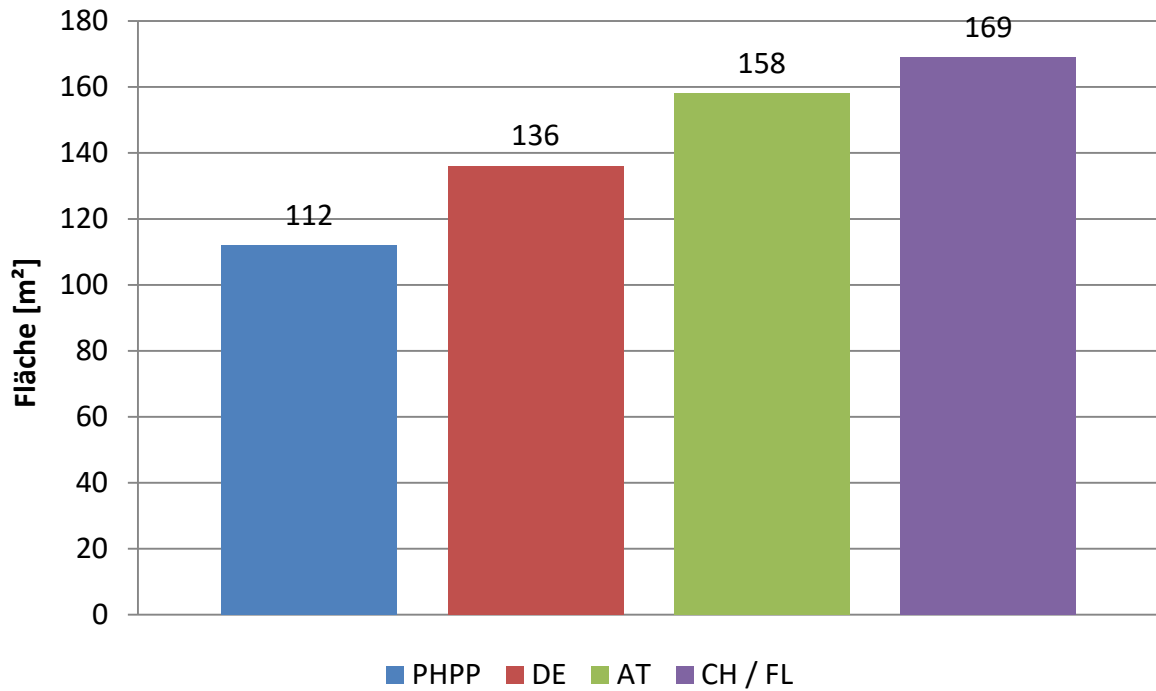


Abbildung 10: Vergleich unterschiedlicher Bezugsflächen für das EFH klein in den einzelnen Ländern.

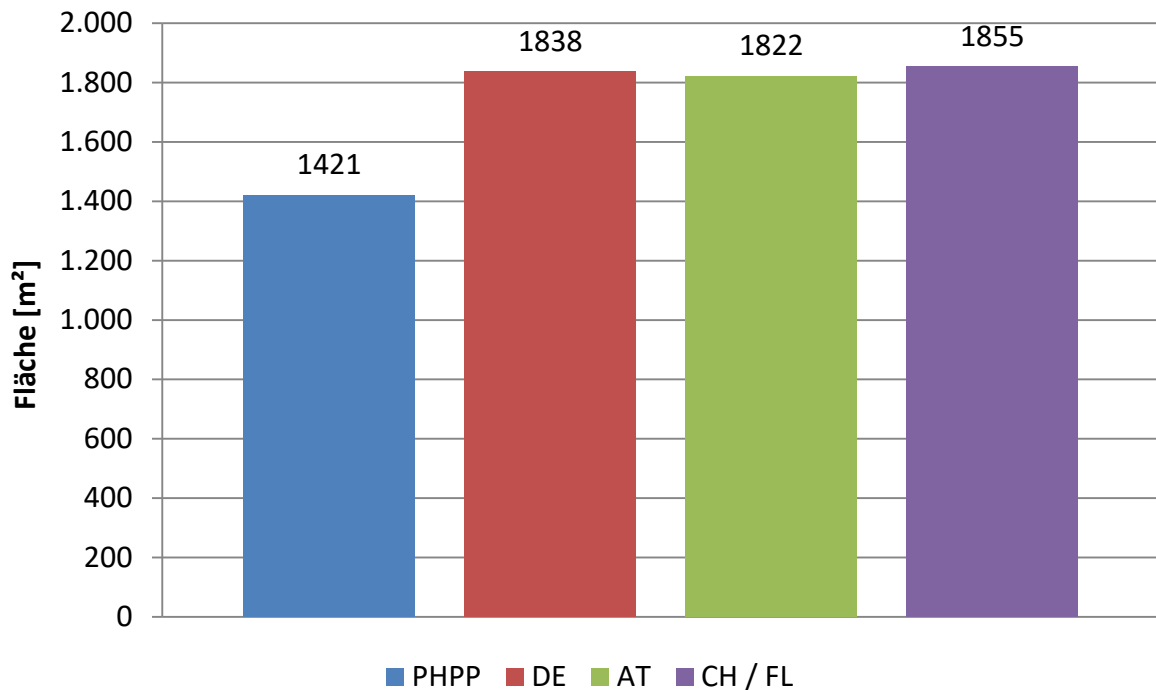


Abbildung 11: Vergleich unterschiedlicher Bezugsflächen für das MFH mittel in den einzelnen Ländern.

5.2 Mustergebäude

Durch die Aufbereitung der Regelwerke wie in Kapitel 3 beschrieben ist, hat sich herausgestellt, dass eine einfache Vergleichbarkeit nicht gegeben ist, weil jedes Land andere Vorgehensweisen und Kriterien hat und man durch eine reine Gegenüberstellung der Regelwerke keine fundierte Aussage treffen kann. Deshalb werden vier Mustergebäude mit den jeweils landesspezifischen Verfahren und den gültigen Mindestanforderungen berechnet, die Ergebnisse dann ausgewertet und gegenübergestellt.

Bei den Mustergebäuden handelt es sich um ein kleines Einfamilienhaus, ein „typisches“ Einfamilienhaus, ein Mehrfamilienhaus mittlerer Größe mit 19 Wohneinheiten und ein kleineres Bürogebäude. Für alle Mustergebäude sind die Planungsunterlagen vorhanden und falls Annahmen getroffen wurden, wurden diese, wo möglich in allen Berechnungsverfahren gleich berücksichtigt. Bei den Eingaben der Daten wurde sofern möglich auf Defaultwerte der Programme zurückgegriffen, da dies aus Erfahrung bei der Mehrzahl der Berechnungen in der Praxis so gehandhabt wird. Die Wärmebrücken und die Verschattung werden für die Mustergebäude so berücksichtigt wie diese in den Plänen ausgeführt sind. In den einzelnen Ländern werden diese dann in unterschiedlicher Weise berücksichtigt. So werden in Vorarlberg die Wärmebrücken als Defaultwerte berechnet, das heißt nicht detailliert erfasst da dies die typische Vorgehensweise ist. In Deutschland wird ein pauschaler U-Wert Zuschlag von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nach Abgleich der Details mit dem Wärmebrückenkatalog angesetzt. In der Schweiz und Liechtenstein werden die Wärmebrücken der Details der Mustergebäude aus dem Wärmebrückenkatalog ausgewählt. Die Qualität der Wärmebrücken der Mustergebäude bewegt sich im durchschnittlichen bis guten Bereich von Neubauten. Bei der Verschattung wurde gleich verfahren. In Vorarlberg und Deutschland pauschal, in der Schweiz und Liechtenstein wurde die Eigenverschattung durch das Gebäude detailliert berücksichtigt, die Horizontalverschattung für lockere Bebauung angesetzt. In innerstädtischer, stark verbauter Lage wird die Verschattung höher sein als für die Mustergebäude angesetzt.



Abbildung 12: Einfamilienhaus klein (EFH klein).

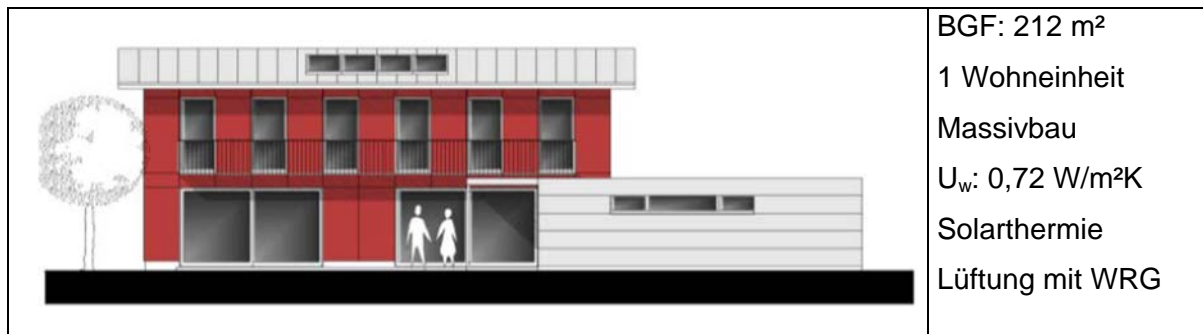


Abbildung 13: Einfamilienhaus typisch (EFH typisch).



Abbildung 14: Mehrfamilienhaus mittel (MFH mittel).

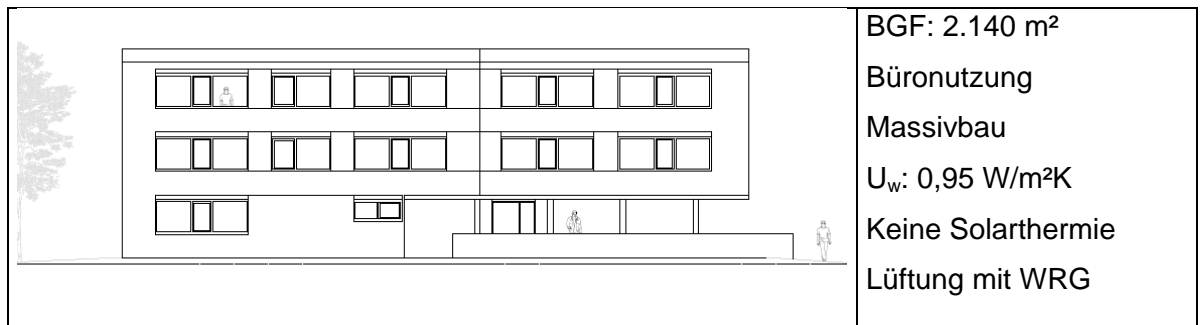


Abbildung 15: Bürogebäude klein (Büro klein).

5.3 Berechnungsablauf

Grundsätzliche Vorgehensweise bei den Berechnungen: Die Musterhäuser werden so bearbeitet so wie ein „typischer“ Energieausweisersteller bzw. Energienachweisersteller ein „normales“ Projekt berechnen würde. Das heißt z.B. die Verwendung der Defaultwerte, wenn es möglich ist und das Treffen von Annahmen, wenn keine Information vorhanden ist. Die Berechnungen wurden wie folgt durchgeführt:

1. Berechnung der Mustergebäude im „IST“ Zustand (Planungs- bzw. Ausführungsstand) nach den jeweiligen nationalen Rechenverfahren.
2. Verändern des mittleren opaken U-Wertes bis ein nationales Kriterium gerade noch so erfüllt ist (HWB oder HT’).
3. Mit dem maximal zulässigen mittleren U-Wert werden dann die verschiedenen Haustechniksysteme variiert und geprüft, ob mit allen Systemen alle Anforderungen eingehalten werden.
4. Für die Systeme welche die Anforderungen nicht einhalten, wird in manchen Varianten noch der mittlere opake U-Wert verbessert, um zu überprüfen, ob sie die Anforderungen anschließend erfüllen.

Die Vorgehensweise ist grafisch in nachfolgender Abbildung 16 dargestellt.

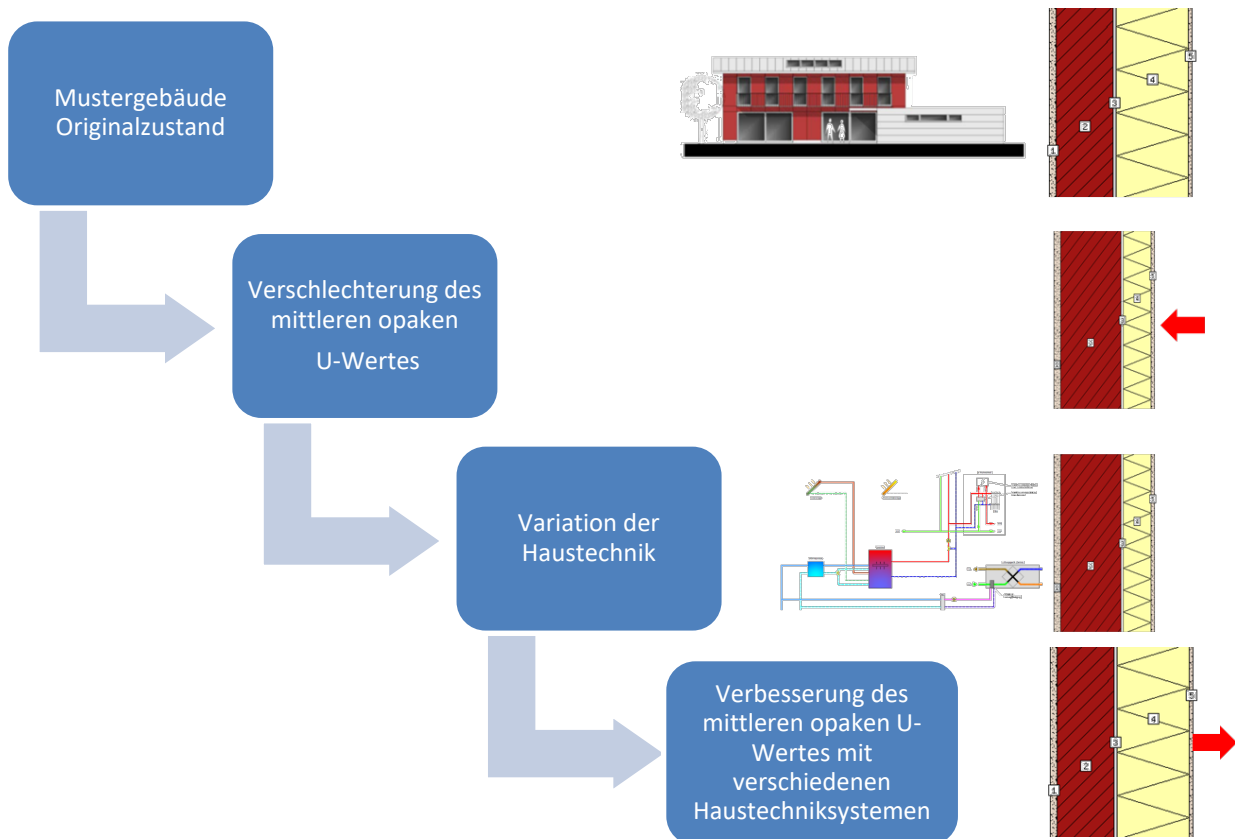


Abbildung 16: Schematischer Ablauf der Berechnungen.

Zur Vereinfachung und Vergleichbarkeit, werden die Ergebnisse anhand des mittleren opaken U-Wertes der Hülle dargestellt. Es wird der opake U-Wert gewählt, weil dieser aus Sicht der Autoren eine verständliche Größe mit Werten in der Größenordnung der Bauteil U-Werte ist. Werden die Fenster mit berücksichtigt ist das Verständnis schwieriger, da neben der Fensterqualität auch der Fensterflächenanteil Einfluss hat. In dieser Studie sind im mittleren

opaken U-Wert die opaken Bauteile der energetisch relevanten Gebäudehülle berücksichtigt, diese sind:

- Bodenplatte oder Kellerdecke (unterer Abschluss) (B)
- Außenwände oder Wände zu unbeheizt (vertikaler Abschluss) (AW)
- Dach oder oberste Geschoßdecke (oberer Abschluss) (D)

Diese opaken U-Werte der obengenannten Bauteile werden im Anschluss mit nachfolgender Formel flächengewichtet gemittelt.

$$U_{m,opak} = \frac{U_B * A_B + U_{AW} * A_{AW} + U_D * A_D}{\sum A}$$

Fenster sind eine wichtige energetische Komponente und werden bei den Berechnungen in der Studie immer berücksichtigt. Zur einfacheren Darstellung sind sie im mittleren opaken U-Wert aber nicht enthalten und werden bei den Berechnungen nicht variiert. Die Fenster in den Mustergebäuden sind alle von hoher energetischer Qualität. Guter Rahmen und sehr gute 3-fach Wärmeschutzverglasung. Je nach Mustergebäude haben die Fenster einen U_w von ca. 0,75-0,95 und sind damit immer besser als die Einzelanforderung nach SIA 380/1.

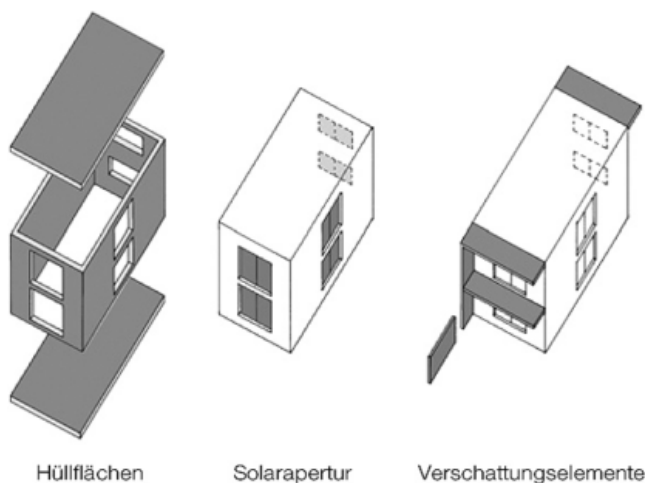


Abbildung 17: Darstellung der wesentlichen Flächen eines Baukörpers (Quelle: [17]).

Wie vorhergehend beschrieben, werden die Haustechniksysteme variiert und der jeweilige Grenz-U-Wert ermittelt. So kann man beispielsweise in Deutschland bei Einsatz eines erneuerbaren Energieträgers eine ineffizientere Hülle bauen als beim Einsatz eines fossilen Energieträgers. Die Haustechnikvarianten welche geändert wurden, sind nachfolgende:

- Wärmeerzeuger/Energieträger
 - Luft-Wasser Wärmepumpe (als energetisch schlechteste WP Variante)
 - Pelletkessel

- Fernwärme (Großteils aus erneuerbaren Quellen)
- Gas-Brennwertkessel
- Solarthermie
 - Keine
 - Klein (EFH 4m², MFH 47m²)
 - Groß (EFH 10m², MFH 115m²)
- PV
 - Keine
 - Vorhanden (EFH 5 kWp, MFH 35 kWp)

In der Baupraxis kommen gerade die Sole-Wärmepumpen sehr häufig vor. Die Luft-WP wurde deshalb als Referenz angenommen weil sie die WP-Lösung mit den niedrigeren Wirkungsgraden ist. Wenn die Luft-WP die Grenzwerte erfüllt, dann sollte es die Sole- oder Grundwasser-WP jederzeit erfüllen. Dies stellt also eine obere Abschätzung dar. Wenn statt der Luft-WP eine Sole-WP eingesetzt wird, können die Grenzwerte mit eventuell ineffizienteren mittleren U-Werten eingehalten werden.

Die Berechnungen wurden mit jeweils landestypischen Berechnungswerkzeugen durchgeführt. Hier ein Dankeschön an die freundliche Unterstützung der Firmen Hottgenroth Software GmbH & Co. KG und Lesosai Team E4tech Software SA. Die verwendeten Programme sind:

- Vorarlberg: GEQ Zehentmayer Software GmbH
- Schweiz und Liechtenstein: Lesosai von E4tech Software SA
- Deutschland: Energieberater Professional von Hottgenroth Software GmbH & Co. KG

Es wurden für alle Mustergebäude zusammen insgesamt über 470 verschiedene Varianten gerechnet, damit ein möglichst breites Spektrum an Variationen berücksichtigt werden kann.

6 Ergebnisauswertung und –darstellung

6.1 Mindestanforderungen vs. gebaute durchschnittliche Qualität

Wichtig bei der Interpretation der Ergebnisse ist, dass in der Studie nur die jeweiligen **Mindestanforderungen** untersucht wurden. Die durchschnittlich gebaute Qualität liegt meist über den Mindestanforderungen, weil:

- Förderungen Anreize für bessere Qualitäten liefern
- Bauherren oder Bauträger motiviert sind bessere Qualitäten zu bauen, z.B. Minergie P oder Passivhausstandard
- Der Stand der Technik, also das „normal Umsetzbare“ und am Markt verfügbare besser ist als die Mindestanforderungen
- Planer berücksichtigen erfahrungsgemäß etwas Reserve (z.B. etwa 10% siehe www.energie.zh.ch/pk >Vollzugsuntersuchungen). Ohne eine solche Reserve besteht die Gefahr, dass beim kleinsten Fehler schon die Vorschriften verletzt wären, wofür der Planer allenfalls belangt werden könnte.

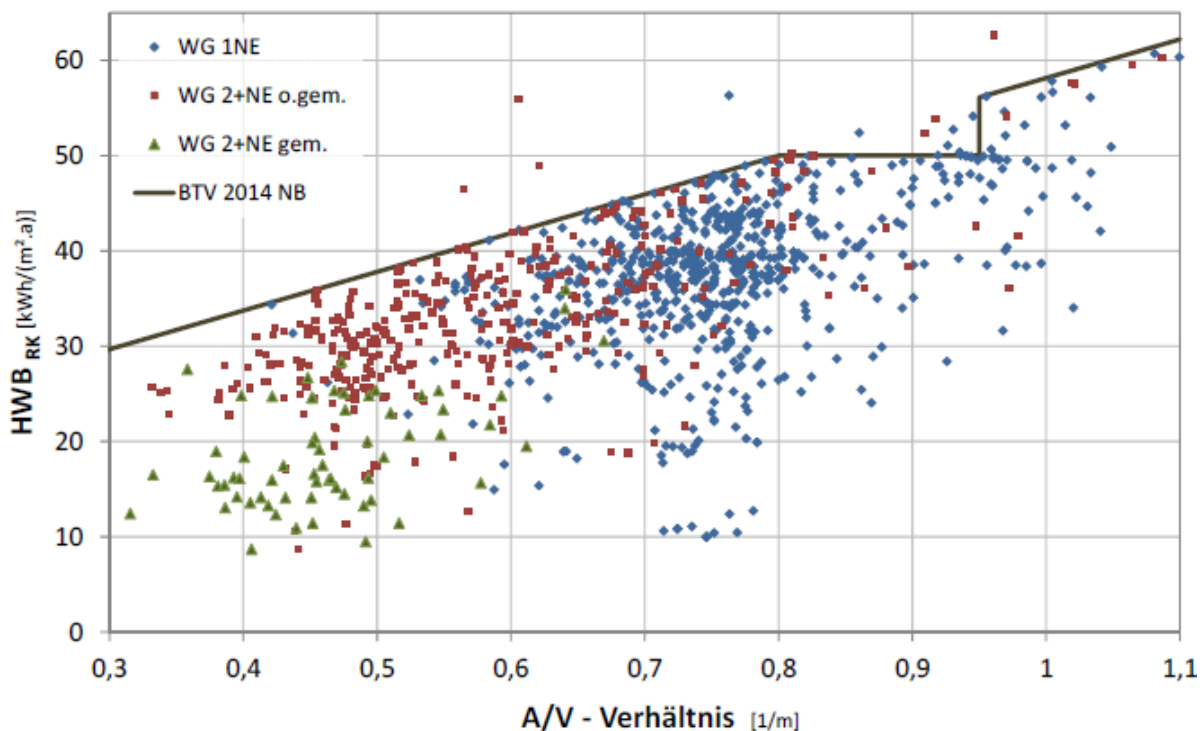


Abbildung 18: Punktwolke- HWB_{RK} aller Wohnungsneubauten 2015 über A/V -Verhältnis (Quelle: [18]).

Am Beispiel Vorarlbergs wird der Unterschied zwischen Mindestanforderungen und gebauter durchschnittlicher Qualität in Abbildung 18 gezeigt. Die Punktwolke am Beispiel Neubau Wohngebäude in Vorarlberg [18] zeigt die Variation der einzelnen Gebäude im Vergleich zum Grenzwert welcher als schwarze Linie dargestellt ist. Man erkennt dass eine Vielzahl an Gebäuden weit unter dem Grenzwert liegt.

Nachfolgende Ergebnisse repräsentieren nur die Mindestanforderungen für die Mustergebäude in den jeweiligen Ländern und nicht die gebaute durchschnittliche Qualität.

6.2 Mindestanforderungen für 2017

Die folgende Abbildung 19 zeigt die mittleren opaken U-Werte, welche je Mustergebäude in den vier Ländern nach den derzeit gültigen Mindestanforderungen von 2017 noch baurechtlich zulässig sind. Die Abbildung dient nicht dazu die verschiedenen Mustergebäude miteinander zu vergleichen, weil diese unterschiedliche Randbedingungen besitzen, sondern je Mustergebäude die Anforderungen in den unterschiedlichen Ländern. Die Bandbreite ergibt sich aus unterschiedlichen Gebäudehüllqualitätsanforderungen für verschiedene erneuerbare (grün) und nichterneuerbare (rot) Haustechniksysteme. Diese Haustechnikvarianten sind detaillierter in Abbildung 20 und folgenden dargestellt. Eine Beschreibung des Inhaltes erfolgt je nach Land dann nach der Abbildung 20.

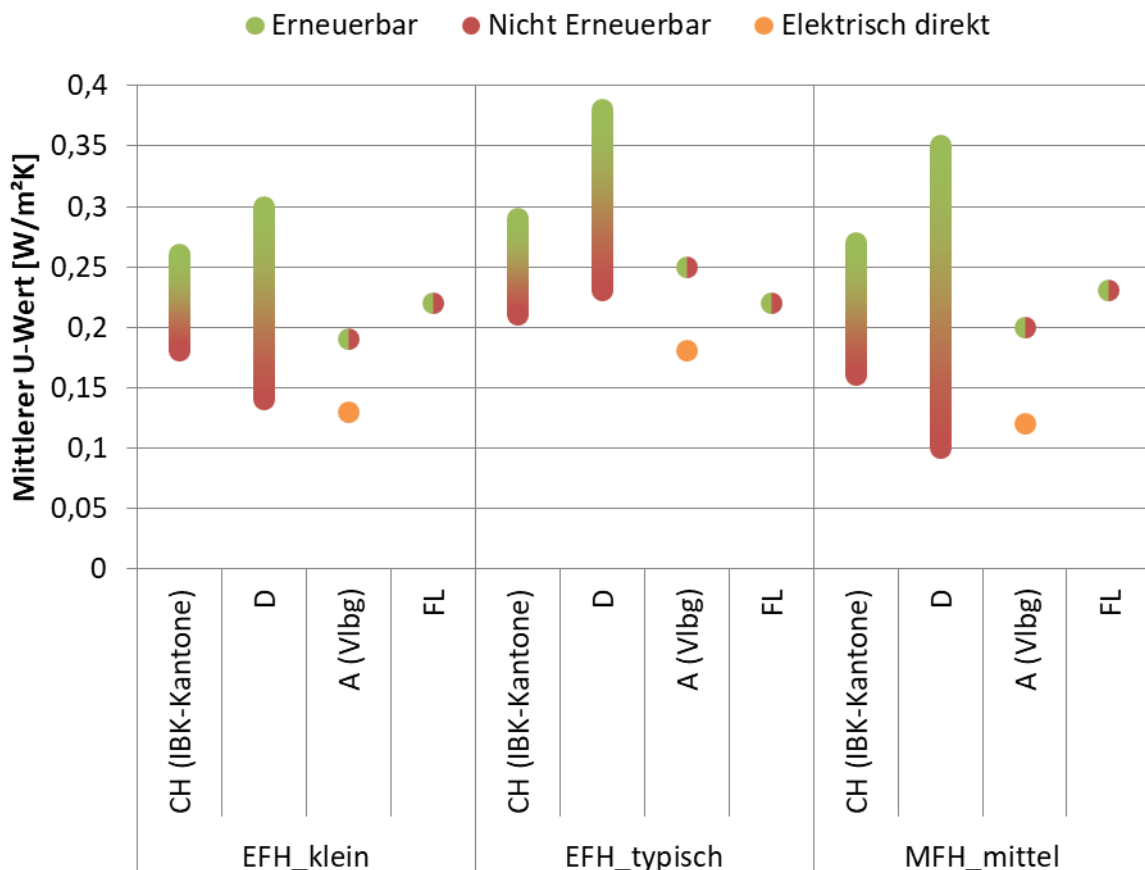


Abbildung 19: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2017) abhängig vom Energieträger.

In Abbildung 19 ist für jedes Mustergebäude und Land ein Wert oder ein Bereich dargestellt, aber nicht was sich dahinter verbirgt. Wie sich diese Bereiche aus den unterschiedlichen

Haustechniksystemen ergeben, ist in den nachfolgenden drei Tabellen in Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 jeweils für jedes Mustergebäude getrennt dargestellt. Farblich hinterlegt ist die Tendenz, ob die Systeme auf nicht erneuerbare (rot) oder eher auf erneuerbare Energieträger (grün) gestützt sind. Hierbei werden direktelektrische Systeme durch den derzeitigen Strom-Mix den nicht erneuerbaren zugewiesen und die Fernwärme, unter der Annahme, dass diese vorwiegend aus Erneuerbaren erzeugt wird, eben den Erneuerbaren. Das Verbotssymbol wurde für die Varianten verwendet, welche die baurechtlichen Mindestanforderungen nicht erfüllen oder nur mit einem mittleren opaken U-Wert kleiner 0,10 W/(m²K) ausgestattet sind. Kleinere Werte sind baupraktisch nur noch sehr schwer zu realisieren und deshalb auch mit dem Symbol markiert. In den farbigen Balken ist bei jeder Variante und jedem Land der baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Wert für das Mustergebäude angegeben. Wenn es noch Besonderheiten zu den Varianten gibt, sind diese als Fußnote in der jeweiligen Abbildung aufgeführt.

EFH klein – 2017		CH	D	Vlbg	FL
Nicht erneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + 5 kWp PV	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + WRG	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + WRG + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,13	⊘
	Gas	0,18	⊘	0,19	0,22
	Gas + 4 m ² Solar	0,23	0,14	0,19	0,22
	Gas + 10 m ² Solar	0,26	0,30	0,19	0,22
	Gas + 5 kWp PV	0,18	⊘	0,19	0,22
	Gas + WRG	0,22	⊘	0,19	0,22
	Gas + WRG + 4 m ² Solar	0,26	0,14	0,19	0,22
Erneuerbar	Gas + WRG + 10 m ² Solar	0,26	0,30	0,19	0,22
	Gas + WRG + 5 kWp PV	0,22	⊘	0,19	0,22
	Luft-WP	0,26	0,30	0,19	0,22
	Pellet	0,26	0,30	0,19	0,22
	Fernwärme	0,26	0,25	0,19	0,22
	Fernwärme + 4 m ² Solar	0,26	0,30	0,19	0,22

Abbildung 20: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH klein (2017).

In der Schweiz ergibt sich aufgrund des zweiten Nachweisschritts eine Bandbreite von maximal möglichen opaken U-Werten in Abhängigkeit der Haustechniksysteme. Tendenziell erfordern nicht erneuerbare Haustechniksysteme eine bessere Gebäudehüllqualität als erneuerbare Systeme. Mit den erneuerbaren Wärmeerzeugern Außenluft-Wärmepumpe, Pellet und Fernwärme kann ein Gebäude mit dem maximal zulässigen Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 Ausgabe 2009 errichtet werden. Der Einzelbauteilnachweis ist bei allen untersuchten Mustergebäuden die strengere Anforderung als der Systemnachweis (Mittlerer opaker U-Wert: EFH klein 0,26 statt 0,21 bzw. EFH typisch 0,29 statt 0,21 bzw. MFH mittel 0,27 statt

0,22 W/(m²*K) möglich).⁹ Beim EFH klein und EFH typisch ist das rechnerische Nachweisverfahren mit der 80/20-Regel bei allen haustechnischen Systemen einfacher zu erreichen als die Standardlösungen. Beim MFH mittel mit Wärmeerzeuger Gas ohne solarthermische Anlage ist Standardlösung 1 „Verbesserte Wärmedämmung“ bei Fensterlüftung bzw. Standardlösung 2 „Verbesserte Wärmedämmung und Komfortlüftung“ bei kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung einfacher zu erreichen als die 80/20-Regel (Mittlerer opaker U-Wert: 0,16 statt 0,12 bzw. 0,18 statt 0,14 W/(m²*K) möglich). Wird eine Abluftanlage mit einem Volumenstrom größer 1.000 m³/h und mehr als 500 Nutzungsstunden pro Jahr eingesetzt, muss die Abwärme mit einer Abluft-Wärmepumpe genutzt werden, wie bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben. Deshalb können die Wärmeerzeuger Gas, Außenluft-Wärmepumpe, Pellet und Fernwärme beim MFH mittel nur mit kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage oder Fensterlüftung eingesetzt werden.

In Deutschland sind für Wohngebäude vier Kennwerte/Bedingungen zu erfüllen. Dies sind wie eingangs beschrieben der Primärenergiebedarf (Q_p), eine Art mittlerer U-Wert der Umschließungsflächen (H_t'), der Mindest-U-Wert einzelner Bauteile sowie die Erfüllungsgrade des Erneuerbare Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG). Für die Bewertungen in diesem Projekt maßgeblich waren aber in der Regel nur der Primärenergiekennwert sowie die Anforderungen aus dem EEWärmeG, da die hier strengen Grenzwerte dazu führten, dass die U-Werte, sowie die mittleren U-Werte –mit wenigen Ausnahmen- immer unter den maximal zulässigen Kennwerten lagen. Der Primärenergiekennwert wird sehr stark durch das gewählte Gebäudetechniksystem (Heizung und Belüftung), sowie dem Primärenergiefaktor des verwendeten Energieträgers bestimmt, so dass sich hier wie in der Schweiz ein Wertebereich für den mittleren U-Wert ergibt. Dieser ist wiederum deutlich größer als in der Schweiz (siehe Abbildung 19). Verallgemeinert liegt dies vor allem daran, dass die Anforderungen an Gebäude mit Systemen, welche mit erneuerbaren Energiequellen oder hohen Jahresarbeitszahlen betrieben werden, etwas „lockerer“ sind, wohingegen die Grenzwerte für Anlagen mit fossilen, nicht erneuerbaren Energieträgern zum Teil deutlich strenger sind. Dies führt im Endeffekt dazu, dass mit technisch und wirtschaftlich sinnvollen und machbaren mittleren U-Werten (Werte größer 0,10 W/(m²K)) im Vergleich zu den Systemen in den anderen Ländern einige Gebäude-Technik-Kombinationen gar nicht gebaut werden dürfen – speziell beim Einsatz von nicht erneuerbaren Energieträgern (vgl. Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22).

⁹ Dieses Ergebnis gilt nur für die untersuchten Mustergebäude. Für Gebäude mit vielen Wärmebrücken, starker Verschattung und/oder thermisch ineffizienten Fenster kann der Einzelbauteilnachweis der einfachere Nachweisweg sein.

In Vorarlberg gibt es zwar wie in Kapitel 3.1 beschrieben vier Anforderungen zu erfüllen, tatsächlich ist aber, außer bei direktelektrischen Heizsystemen, nur der Heizwärmebedarf ausschlaggebend. Deshalb ist in Vorarlberg, ähnlich wie in Liechtenstein kein Bereich dargestellt, in dem sich die Hülle bewegen kann, sondern nur zwei Werte pro Mustergebäude. Hierbei ergibt sich pro Gebäude der strengere Wert für ein direktelektrisches Heizsystem. Gebäude mit solchen Wärmeerzeugern müssen einen strengeren CO₂ Grenzwert von 13 statt 24 kg/(m²a) einhalten um überhaupt gebaut werden zu dürfen. Wie man in den nachfolgenden Tabellen sieht, ist dies nie mit einem reinen direktelektrischen System möglich, sondern immer nur in Kombination mit anderen Maßnahmen wie Lüftung mit WRG und PV Erzeugung. Bei allen anderen Heizsystemen ist die Anforderung an die Hülle immer gleichbleibend und nicht so streng wie bei der direktelektrischen Lösung, egal ob mit erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Energieträgern die Wärme bereitgestellt wird. Dies wird in der Schweiz und Deutschland anders gehandhabt.

In Liechtenstein ist derzeit nur eine Gebäudehüllqualität pro Mustergebäude einzuhalten. Es findet keine Unterscheidung aufgrund verschiedener haustechnischer Systeme statt, wie in obiger Abbildung 19 ersichtlich. Einzig elektrisch direkte Systeme sind durch die liechtensteinische Energieverordnung nicht möglich. Beim EFH klein und EFH typisch ist der Einzelbauteilnachweis einfacher zu erreichen als der Systemnachweis (Mittlerer opaker U-Wert: EFH klein 0,22 statt 0,20 bzw. EFH typisch 0,23 statt 0,22 W/(m²K) möglich). Beim MFH mittel muss der Systemnachweis erbracht werden, da das Bruttovolumen des Gebäudes größer als 2.000 m³ ist.

Nachfolgend noch die beiden Tabellen zum EFH typisch und zum MFH mittel. Die Inhalte wurden schon vorhergehend erläutert.

EFH typisch – 2017		CH	D	Vlbg	FL
Nicht erneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + 5 kWp PV	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + WRG	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + WRG + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,18	⊘
	Gas	0,21	⊘	0,25	0,23
	Gas + 4 m ² Solar	0,26	0,24	0,25	0,23
	Gas + 5 kWp PV	0,21	⊘	0,25	0,23
	Gas + WRG	0,25	⊘	0,25	0,23
	Gas + WRG + 4 m ² Solar	0,29	0,23	0,25	0,23
	Gas + WRG + 5 kWp PV	0,25	⊘	0,25	0,23
Erneuerbar	Luft-WP	0,29	0,38	0,25	0,23
	Pellet	0,29	0,38	0,25	0,23
	Fernwärme + 10 m ² Solar	0,29	0,38	0,25	0,23
	Fernwärme + WRG	0,29	0,30	0,25	0,23

Abbildung 21: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH typisch (2017).

Zu der Ausgangsfrage von Kapitel 1: **Darf ein Gebäude, das in Land X gebaut werden darf, in Land Y in der gleichen Ausführung auch gebaut werden?**

Am Beispiel des MFH mittel sieht man in Abbildung 22 dass dies vom mittleren opaken U-Wert und von dem gewählten Haustechniksystem abhängt. An zwei Beispielen, welche in der Abbildung schwarz umrandet dargestellt sind, wird dies genauer erklärt.

- Beispiel 1:** Wollte man dieses Gebäude mit Gas beheizen, müsste man, um es in allen Ländern bauen zu dürfen, eine Solarthermieanlage installieren und einen mittleren opaken U-Wert von 0,14 W/(m²K) erreichen. Hier sind die Anforderungen in Deutschland am strengsten, erfüllt man diese, darf man es in den anderen Ländern auch bauen.
- Beispiel 2:** Wollte man das Gebäude mit einem erneuerbaren Energieträger beheizen, so kann man das in allen Ländern ohne die Kombination mit einer Solarthermieanlage. Will man es in allen Ländern bauen, müssten die strengsten Hüllanforderungen, in diesem Fall Vorarlbergs, eingehalten werden und somit höchstens 0,20 W/(m²K) im mittleren opaken U-Wert.

MFH mittel – 2017		CH	D	Vlbg	FL
Nicht erneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	⊘	⊘
	Elektrisch + 35 kWp PV	⊘	⊘	0,12	⊘
	Elektrisch + WRG	⊘	⊘	0,12	⊘
	Gas	0,16 ¹	⊘	0,20	0,23
	Gas + 47 m ² Solar	0,26 ¹	0,14	0,20	0,23
	Gas + 35 kWp PV	0,16 ¹	⊘	0,20	0,23
	Gas + WRG	0,18	⊘	0,20	0,23
	Gas + WRG + 47 m ² Solar	0,27	0,10	0,20	0,23
Erneuerbar	Gas + WRG + 35 kWp PV	0,18	⊘	0,20	0,23
	Luft-WP	0,27 ²	0,35	0,20	0,23
	Pellet	0,27 ¹	0,35	0,20	0,23
	Fernwärme	0,27 ¹	0,26	0,20	0,23
	Fernwärme + 47 m ² Solar	0,27 ¹	0,35	0,20	0,23

¹ nur bei Fensterlüftung, bei Abluftanlage Abwärmenutzung verpflichtend → Abluft-WP
² bei Fensterlüftung Außenluft-WP, bei Abluftanlage Abluft-WP

Abbildung 22: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – MFH mittel (2017).

Die Berechnungen der Mustergebäude für den Ausgangszustand 2017 erbrachten in Kurzform folgende Ergebnisse:

- Hüllqualität oder Anforderungen an die Hülle:
 - Wenn nicht erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, dann ergeben sich meist strengere Anforderungen an Hüllqualität, außer in FL und bedingt in Vlbg.
 - D: sehr großer Hüllqualitätsbereich, vor allem bei Gas sehr streng.
 - Vlbg und FL: Im Durchschnitt die strengste Hüllqualitätsanforderung, außer bei Gas.
- Energieerzeuger/Energieträger/Haustechnik:
 - Nur Gas ohne Zusatzlösungen ist in Deutschland nicht möglich, in den anderen Ländern schon, auch wenn in CH hier die Hülle verbessert werden muss.
 - Elektrisch direktes System als Hauptheizsystem nur in Vlbg zulässig und dort auch nur wenn die gesamten CO₂-Emissionen 13 kg/(m²a) nicht überschreiten → sehr gute thermische Gebäudehülle in Kombination mit einer PV-Anlage erforderlich.
 - FL: derzeit keine Haustechnikunterscheidung oder die Differenzierung nach Energieträger (außer elektrisch direkte Systeme > 3kW).
 - PV wird in CH und FL nicht berücksichtigt, in Vlbg und D schon.
 - Lüftung mit Wärmerückgewinnung wird in Vlbg und D in PE und CO₂ berücksichtigt, in CH in den Systemlösungen oder in der 80/20 Regel, in FL nicht.

6.3 Einschub - Kostenoptimale Lösung im Vorarlberger Projekt KliNaWo

Die zukünftigen Effizienzanforderungen der Gebäude sollten sich am Kostenoptimum orientieren. Das bedeutet, dass diejenigen Effizienzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, welche gesamtheitlich, also über die Errichtung und den Betrieb wirtschaftlich sind.

In vorliegender Studie wurden keine Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt, anhand deren diese Kostenoptima für jedes Land bestimmt werden können. Nachfolgend wird deshalb nur als informativer Einschub das Ergebnis eines Vorarlberger Forschungsprojektes im Vergleich zu den Mindestanforderungen der Länder dargestellt. Das Kostenoptimum wird von Land zu Land aufgrund unterschiedlicher Energiepreise und Baukosten variieren.

In Vorarlberg wurde 2016 in dem Forschungsvorhaben KliNaWo für ein typisches Mehrfamilienhaus, ebenfalls das Mustergebäude MFH mittel dieser Studie, dieses kostenoptimale Anforderungsniveau untersucht [19]. Das Ergebnis kann man in Bezug zu den Anforderungen in den untersuchten Ländern setzen um eine Einordnung zu erhalten, auch wenn die Kostenoptima von Land zu Land aufgrund unterschiedlicher Energiepreise und Baukosten variieren können. Diese Einordnung ist in Abbildung 23 für das MFH mittel dargestellt.

Für einen energetisch-wirtschaftlich optimierten Gebäudeentwurf wurden im KliNaWo Projekt Varianten in:

- unterschiedlichen Konstruktionsarten
- zwei Hüllqualitäten (BTV und Passivhaus)
- Abluft oder Komfortlüftung
- mit 4 unterschiedlichen Wärmeerzeugern, Verteil- und Abgabesystemen
- mit unterschiedlich dimensionierten Thermie- und PV Systemen

geplant und ausgeschrieben. Durch die modulare Ausschreibung konnten Bauwerkskosten für 60.000 Gebäudevarianten ermittelt werden. Die Entscheidung für die zu realisierende Variante wurde auf der Basis der Lebenszykluskosten (Investition, Wartung und Energie) getroffen. Dazu wurden die Energiebedarfswerte aller 60.000 Varianten mit einem makro-basierten PHPP-tool berechnet. Hauptergebnisse zu Kosten und Wirtschaftlichkeit in diesem Projekt für Vorarlberg sind:

- Die Mehrkosten (Invest) der hocheffizienten Gebäudevarianten (PH mit Solarthermie) gegenüber den mittelmäßigen (BTV Vorarlberg o. Solarthermie) liegen bei etwa 4-6%
- das Kostenoptimum des Primärenergiebedarfs nach OIB RL 6 (2011) liegt mit Werten von 80 bis 105 kWh/m²_{BGFA} je nach Wärmeerzeuger weit unter derzeitigen und zukünftig geplanten Grenzwerten .
- Eine sehr gute Gebäudehülle ist wirtschaftlich.

- Die Kostenoptima sind sehr flach ausgeprägt, so dass die Ergebnisse der Studie belastbar sind.

Um dieses Ergebnis aus Vorarlberg in Bezug zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie zu bringen, wurde für dieses MFH, welches auch das Mustergebäude MFH mittel in diesem Bericht ist, der mittlere opake U-Wert berechnet. Es hat sich in der KliNaWo Studie gezeigt, dass eine sehr gute Gebäudehülle wirtschaftlich ist. Diese wies einen mittleren opaken U-Wert von ca. 0,11-0,13 W/m²K auf, was in etwa einer Passivhaushülle oder einer Hülle nach Minergie-P entspricht. Diesen Wert, welcher zwar Vorarlberg spezifisch ermittelt wurde, kann man in Bezug zu den Anforderungen in den untersuchten Ländern setzen, was in Abbildung 23 für das MFH mittel dargestellt ist. Das Kostenoptimum wird von Land zu Land aufgrund unterschiedlicher Energiepreise und Baukosten variieren.

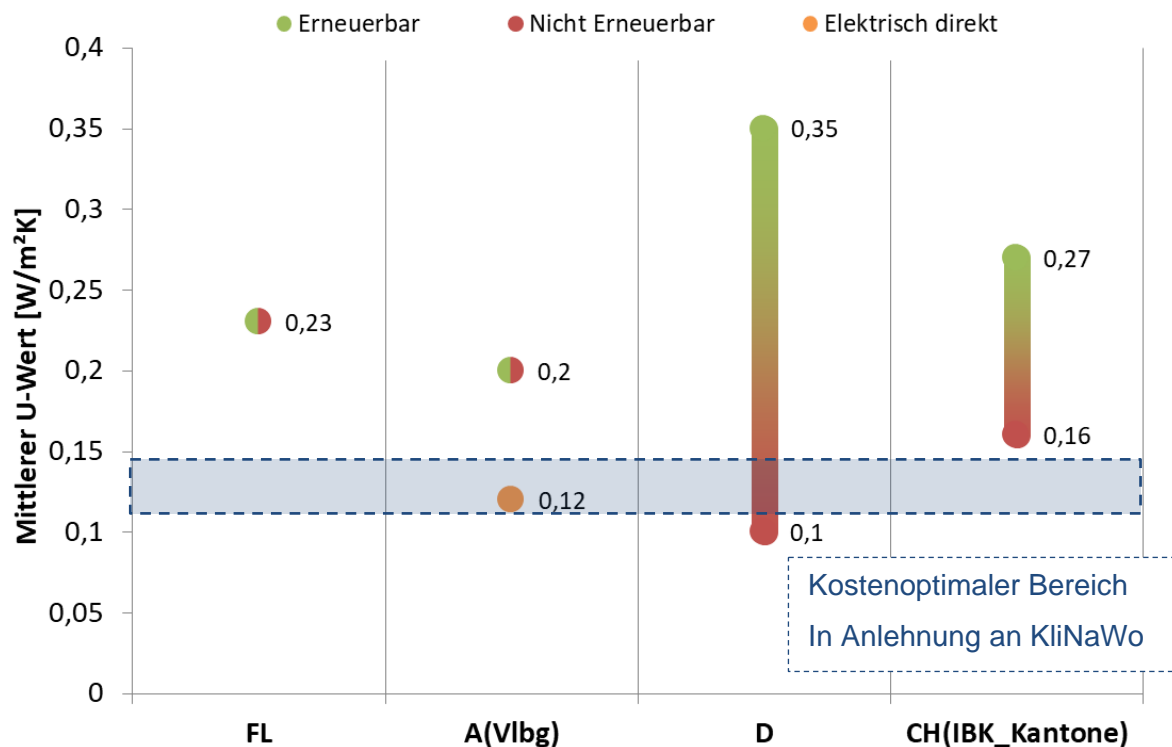


Abbildung 23: Mittlerer opaker U-Wert des MFH mittel in den verschiedenen Ländern im Vergleich zu den kostenoptimalen Anforderungen aus dem Vorarlberger Projekt KliNaWo.

6.4 Bürogebäude/Nichtwohnbau

In den einzelnen Ländern unterscheiden sich die Berechnungsmethoden eines Wohngebäudes von denen eines Nichtwohnbaus. In Deutschland gilt z.B. eine andere Norm für unterschiedlichen Gebäudenutzungstypen. Schon durch die Umstellung der Berechnungs- bzw. Bewertungsverfahren sind Wohngebäude und Nichtwohngebäude nicht direkt miteinander vergleichbar.

Im Gegensatz zu den Wohngebäuden wurden für das Bürogebäude in der Haustechnik folgende Varianten der Energieträger untersucht:

- Gas
- Sole-WP, weil hier die Möglichkeit zum free-cooling gegeben ist
- Fernwärme zum Großteil aus erneuerbaren Quellen

Pellet-Kessel als Wärmeerzeuger wurden nicht untersucht, da diese in Bürogebäuden eine eher untergeordnete Rolle spielen. Grundsätzlich ist es für Bürogebäude empfehlenswert eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung zu installieren. Für die fossile Variante mit Gas wurde zusätzlich untersucht, wie gut die Hülle sein müsste, damit eine Fensterlüftung, überhaupt, möglich ist.

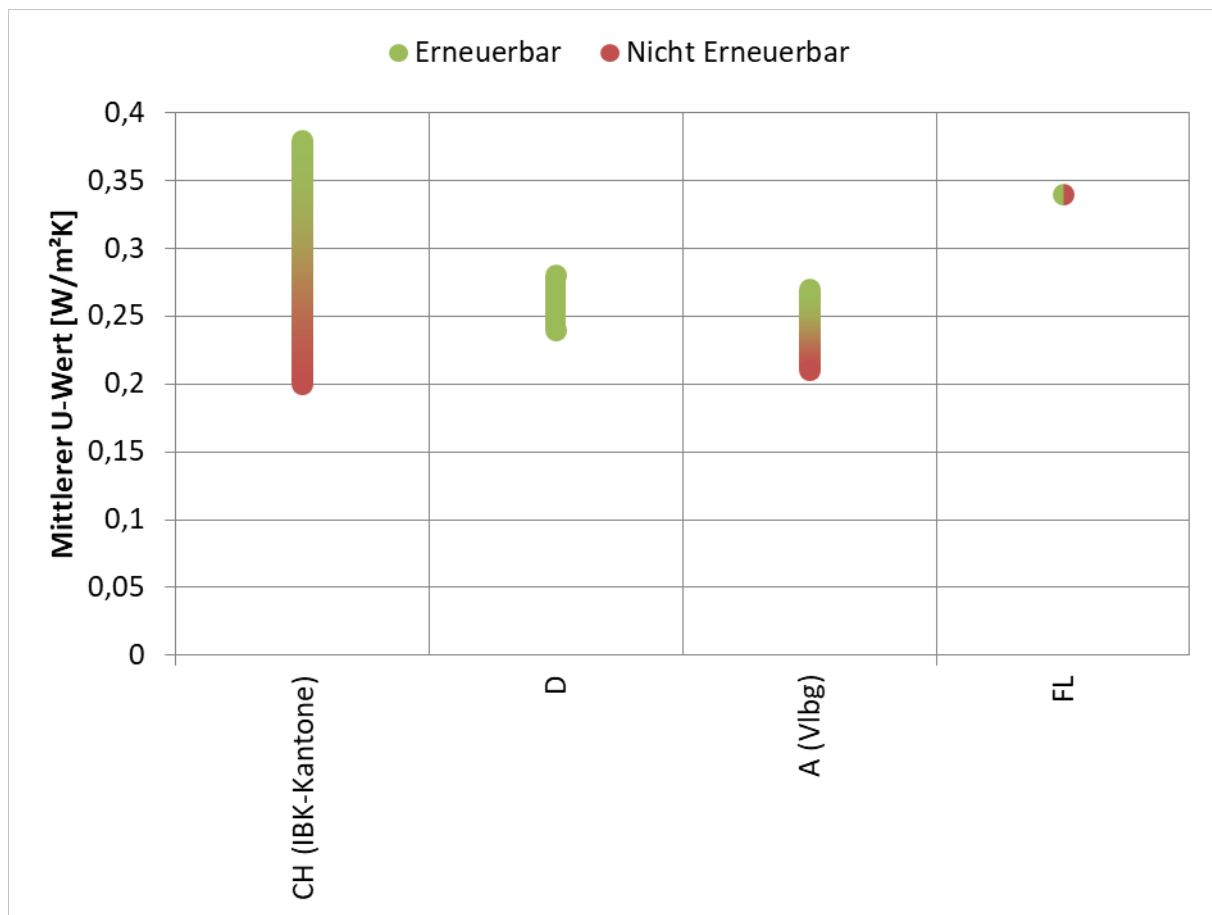


Abbildung 24: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte des Bürogebäudes je Land abhängig vom Energieträger.

In der Schweiz können nach SIA 380/1 Ausgabe 2009 Bürogebäude mit einer ineffizienteren thermischen Gebäudehüllqualität als Wohngebäude gebaut werden, trotz zumeist kompakterer Bauweise. Das führt zu dem maximal baurechtlich möglichen, mittleren opaken U-Wert von 0,38 wie in Abbildung 24 und Abbildung 25 ersichtlich.¹⁰ In der Schweiz können die

¹⁰ Dieses Ergebnis gilt nur für das untersuchte Mustergebäude. Für Bürogebäude mit vielen Wärmebrücken, starker Verschattung, hohem Fensterflächenanteil und/oder thermisch ineffizienten Fenster kann der maximal baurechtlich mögliche, mittlere opake U-Wert niedriger sein.

beiden erneuerbaren Wärmeerzeuger Erdreich-Wärmepumpe und Fernwärme in Kombination mit der maximal baurechtlich möglichen Gebäudehüllqualität von 0,38 realisiert werden, da die beiden Systeme Standardlösungen entsprechen (Standardlösung 6 bzw. 10). Beim nichterneuerbaren Wärmeerzeuger Gas ergeben sich die Werte in Abbildung 25 durch die 80/20-Regel. Wird eine Abluftanlage eingesetzt, muss die Abwärme wie beim Mehrfamilienhaus mit einer Abluft-Wärmepumpe genutzt werden, weshalb die Haustechnikkombination von Gas-Brennwertkessel und Abluftanlage nicht möglich ist. Wird der Strombedarf der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nach dem Grenzwert des SIA 380/4 Nachweis ausgelegt, ergibt sich nach der 80/20-Regel eine strengere Hüllqualitätsanforderung als bei Fensterlüftung, da der Strombedarf der Lüftungsanlage doppelt gewichtet wird. In diesem Fall würde in der Praxis wahrscheinlich nur die Hüllqualität wie bei der Variante mit Fensterlüftung nachgewiesen werden. Bei Variante „Gas + WRG“ ist eine effizientere Lüftungsanlage mit Strombedarf nach dem Zielwert des SIA 380/4 Nachweis berücksichtigt, wodurch sich der mittlere opake U-Wert von 0,20 auf 0,23 erhöhen kann.

Bürogebäude – 2017		CH	D	Vlbg	FL
Gas + Fensterlüftung	0,20	⊘	0,21	0,34	
Gas + Abluftanlage + PV	⊘ ¹	⊘ ⁵	0,27	0,34	
Gas + WRG	0,23 ²	⊘ ⁴⁺⁵	0,27	0,34	
Erdreich-WP + WRG	0,38	0,24 ³	0,27	0,34	
Fernwärme + WRG	0,38	0,28 ³	0,27	0,34	

¹ bei Abluftanlage Abwärmenutzung verpflichtend → Abluft-WP mit mittlerem U-Wert 0,38

² verbesserte Lüftungsanlage (Zielwert SIA 380/4), sonst wie Variante Gas + Fensterlüftung

³ nur mit besten Beleuchtungs-Defaultwerten möglich

⁴ in Kombination mit PV-Anlage möglich

⁵ diese Haustechnik-Varianten werden bei gebauten Bürogebäuden unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen realisiert. Konnten aber für das konkrete Beispielgebäude nicht eingehalten werden.

Abbildung 25: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – Bürogebäude.

In Deutschland wird nicht mehr wie im Wohnbau nach den Normen DIN 4108 (Wärmeschutz im Hochbau) und DIN 4701-10 (Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung) gerechnet, sondern im Nichtwohnbau nach der Norm DIN V 18599. Daher sind die Ergebnisse des Bürogebäudes nur bedingt mit denen der Wohngebäude vergleichbar. Bei dem Bürogebäude ergab sich aus den Berechnungen, dass vor allem die Art der Beleuchtung ausschlaggebend für den Primärenergiekennwert ist und somit die Hüllqualität im konkreten Fall eher untergeordnet ist.

Als Konsequenz führte dies dazu, dass es in einem ersten Berechnungsdurchlauf unter Verwendung der Defaultwerte für die Beleuchtung nicht möglich war, die Primärenergieanforderungen selbst mit extrem guten mittleren U-Werten einzuhalten. Dies hängt allerdings sehr stark vom gewählten Beispielgebäude sowie den angenommenen Randbedingungen ab – daher ist eine Verallgemeinerung besonders bei den Bürogebäuden nur schwer möglich, zumal die gewählten Haustechnik-Varianten bei anderen Gebäuden durchaus das Einhalten der Grenzwerte ermöglichen. Bei dem Beispielgebäude im Rahmen dieser Studie war es nach der Auswahl der besten, als Defaultwert verfügbaren Beleuchtungskombination möglich, die Primärenergiekennwerte einzuhalten. Analog zu den Wohngebäuden aber auch nur für Gebäudetechniksysteme mit hohen Jahresarbeitszahlen und/oder erneuerbaren Energieträgern. Dies führt in der Realität dazu, dass die Berechnung der Beleuchtung in der Regel detailliert durchgeführt wird und für den Nachweis des Energiebedarfs die eigens ermittelten projektspezifischen Kennwerte verwendet werden. Dies wurde auch von unserem fachlichen Ansprechpartner für Deutschland so bestätigt. Bei Verwendung von sehr guten Beleuchtungswerten war es für die erneuerbaren Systeme dann aber möglich, U-Werte bis zur erlaubten Obergrenze einzusetzen. Diese Obergrenze ersetzt bei Nicht-Wohngebäuden den temperaturspezifischen, auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust H_t' .

In Vorarlberg gibt es für die Hülle im Nichtwohnbau keinen HWB-Grenzwert sondern einen Grenzwert für den Transmissionswärmeverlust nach den Linien Europäischer Kriterien (LEK). Außerdem bestehen wie im Nichtwohnbau Anforderungen an den Mindest-U-Wert, an den Primärenergiebedarf und an die CO₂ Emissionen. Des Weiteren muss eine Nutzung erneuerbarer Quellen oder eine verbesserte Effizienz nachgewiesen werden. Bei der Variante Gas mit Fensterlüftung wird dieser Nachweis der verbesserten Effizienz gewählt und der Gesamtenergieeffizienz-Faktors f_{GEE} um 5 % verbessert, indem die Hülle verbessert wird. Deshalb weist diese Variante einen besseren mittleren opaken U-Wert auf als die anderen Varianten. Gas in Kombination mit einer Lüftung mit WRG oder einer PV-Anlage erfüllt die Anforderung an die Nutzung erneuerbarer Quellen ebenfalls. Deshalb weisen diese Varianten, gleich wie die Varianten mit WP oder Fernwärme, den maximal möglichen mittleren opaken U-Wert welcher aus dem LEK-Grenzwert resultiert auf.

In Liechtenstein können nach SIA 380/1 Ausgabe 2009 Bürogebäude mit einer ineffizienteren thermischen Gebäudehüllqualität als Wohngebäude gebaut werden, trotz zumeist kompakterer Bauweise. Das führt zu dem maximal baurechtlich möglichen, mittleren opaken U-Wert von 0,34 in Liechtenstein, wie in Abbildung 24 und Abbildung 25 ersichtlich. Wie bereits beim Mehrfamilienhaus gilt in Liechtenstein für Gebäude mit einem Bruttovolumen über

2.000 m³ 90% des maximal zulässigen SIA-Grenzwerts. In Liechtenstein findet wie bei den Wohngebäuden keine weitere Unterscheidung aufgrund verschiedener haustechnischer Systeme statt. Ausgenommen ist der SIA 380/4 Ausgabe 2006 Nachweis für den Lüftungs- und Beleuchtungsstrombedarf. Diese beiden Nachweise haben jedoch keinen Einfluss auf die baurechtlich zulässige Gebäudehüllqualität in Liechtenstein.

6.5 Mindestanforderungen für 2020

Die folgende Abbildung 26 zeigt die mittleren opaken U-Werte welche je Mustergebäude in den vier Ländern nach den angenommenen Mindestanforderungen von 2020 noch baurechtlich zulässig sind. Die Abbildung dient nicht dazu die verschiedenen Mustergebäude miteinander zu vergleichen, weil diese unterschiedliche Randbedingungen besitzen, sondern je Mustergebäude die Anforderungen in den unterschiedlichen Ländern. Die Bandbreite ergibt sich aus unterschiedlichen Gebäudehüllqualitätsanforderungen für verschiedene erneuerbare (grün) und nichterneuerbare (rot) Haustechniksysteme. Diese Haustechnikvarianten sind detaillierter in Abbildung 27 und folgenden dargestellt. Eine Beschreibung des Inhaltes erfolgt je nach Land dann nach der Abbildung 27.

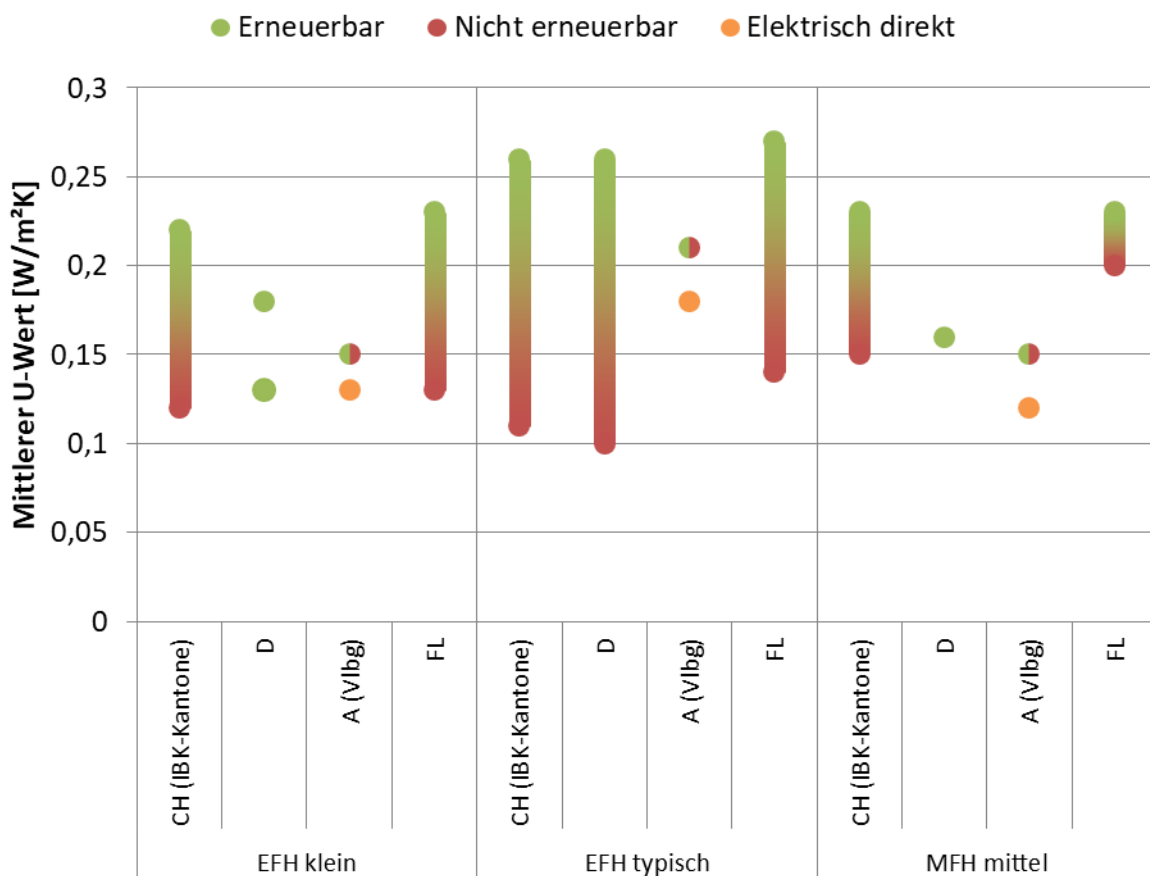


Abbildung 26: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2020).

In Abbildung 26 ist für jedes Mustergebäude und Land ein Wert oder ein Bereich dargestellt, jedoch nicht was sich dahinter verbirgt. Wie sich diese Bereiche aus den unterschiedlichen Haustechniksystemen ergeben, ist in den nachfolgenden drei Tabellen in Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29 jeweils für jedes Mustergebäude getrennt dargestellt.

EFH klein – 2020		CH ¹⁺⁷	D	Vlbg	FL ¹⁺⁷
Nicht erneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	²	⊘
	Gas	⊘	⊘	0,15	⊘
	Gas + 4 m ² Solar	⊘ ³	⊘	0,15	0,13
	Gas + 10 m ² Solar	0,13	⊘ ³	0,15	0,17
	Gas + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,15	⊘
	Gas + WRG	⊘	⊘	0,15	⊘ ³
	Gas + WRG + 4 m ² Solar	0,12	⊘	0,15	0,15
	Gas + WRG + 10 m ² Solar	0,14	⊘ ³	0,15	0,18
	Gas + WRG + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,15	⊘
	Luft-WP	⊘ ⁴	0,13	0,15	⊘ ⁴
	Pellet	0,19	0,18	0,15	0,23
	Fernwärme	0,22	0,18	0,15	0,23
	Luft-WP + 4 m ² Solar	0,19	0,18	0,15	0,19
	Luft-WP + 10 m ² Solar	0,19	0,18	0,15	0,22
	Luft-WP + 5 kWp PV	⊘ ⁴	0,18	0,15	⊘ ⁴
	Luft-WP + WRG	0,19	0,13	0,15	0,19
	Luft-WP + WRG + 4 m ² Solar	0,19	0,18	0,15	0,19
	Luft-WP + WRG + 10 m ² Solar	0,19	0,18	0,15	0,23
	Luft-WP + WRG + 5 kWp PV	0,19	0,18	0,15	0,19
	Pellet + 4 m ² Solar	0,22	0,18	0,15	0,23
Pellet + 5 kWp PV	0,19	0,18	0,15	0,23	
Pellet + WRG	0,19	0,18	0,15	0,23	
Pellet + WRG + 4 m ² Solar	0,22	0,18	0,15	0,23	
Pellet + WRG + 5 kWp PV	0,19	0,18	0,15	0,23	
Fernwärme + WRG	0,22	0,18	0,15	0,23	

¹ PV-Anlagenverpflichtung (min. 10 Wp/m², max. 30 kWp): min. 1,7 kWp beim EFH klein
² keine Aussage möglich
³ Mittlere U-Werte < 0,10 (CH: 0,09; D: 0,08; FL: 0,08)
⁴ Mittlerer U-Wert von 0,17 bei U_w ≤ 0,8 bzw. Erdreich/Grundwasser-WP
⁷ Ergebnisse variieren aufgrund unterschiedlicher Klimastandorte

Abbildung 27: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH klein (2020).

Farblich hinterlegt ist die Tendenz, ob die Systeme auf nicht erneuerbare (rot) oder eher auf erneuerbare Energieträger (grün) gestützt sind. Hierbei werden direktelektrische Systeme durch den derzeitigen Strom-Mix den nicht Erneuerbaren zugewiesen und die Fernwärme,

unter der Annahme dass diese vorwiegend aus Erneuerbaren erzeugt wird, eben den Erneuerbaren. Das Verbotssymbol wurde für die Varianten verwendet, welche die baurechtlichen Mindestanforderungen nicht erfüllen oder nur mit einem mittleren opaken U-Wert kleiner $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden können. Kleinere Werte sind baupraktisch nur noch sehr schwer zu realisieren und deshalb auch mit dem Symbol markiert. In den farbigen Balken ist bei jeder Variante und jedem Land der baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Wert für das Mustergebäude angegeben. Wenn es weitere Besonderheiten zu den Varianten gibt, sind diese als Fußnote in der jeweiligen Abbildung aufgeführt.

In der Schweiz ergibt sich wie bereits bei den derzeit gültigen Anforderungen auch nach der MuKE n 2014 eine Bandbreite von maximal möglichen opaken U-Werten je nach Haustechniksystem. Die erneuerbaren Systeme Fernwärme und Pellet (beim EFH klein und EFH mittel in Kombination mit solarthermischer Anlage) sind mit dem maximal zulässigen Heizwärmebedarf des Systemnachweises baurechtlich zulässig. Der Einzelbauteilnachweis ist erneut die strengere Anforderung als der Systemnachweis.¹¹

Beim Wärmeerzeuger Gas erfüllt keine der hier berücksichtigten Kombinationen eine Standardlösung, da die solarthermische Anlage zu klein ist. Die Kombination mit kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einer solarthermischen Anlage mit 12 m^2 beim EFH klein, 15 m^2 beim EFH typisch und 130 m^2 beim MFH mittel (Aperturfläche mindestens 7% der Energiebezugsfläche) entspricht einer Standardlösung.

Bei einigen Haustechnikvarianten mit Außenluft-Wärmepumpe (vor allem bei den Varianten ohne solarthermische Anlage) ist die Anforderung der Standardlösungskombination lockerer als bei Berechnung des gewichteten Energieverbrauchs. Das Haustechniksystem Außenluft-Wärmepumpe mit Fensterlüftung ist bei Standardlösungskombination 4 nur mit mittlerem opaken U-Wert von $0,17$ beim EFH klein und $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beim EFH typisch und MFH mittel möglich. Voraussetzung ist jedoch ein Fenster-U-Wert $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, welcher jedoch entfällt wenn eine Erdreich- oder Grundwasser-Wärmepumpe eingesetzt wird. Wie bereits beim derzeit gültigen Verfahren muss bei Abluftanlagen die Abwärme genutzt werden, weshalb die Abluftanlage nur mit Abluft-Wärmepumpe umgesetzt werden kann. Die Varianten Gas, Außenluft-Wärmepumpe, Pellet und Fernwärme sind demnach beim MFH mittel entweder mit kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder Fensterlüftung ausgeführt.

¹¹ Dieses Ergebnis gilt nur für die untersuchten Mustergebäude. Für Gebäude mit vielen Wärmebrücken, starker Verschattung und/oder thermisch ineffizienten Fenster kann der Einzelbauteilnachweis der einfachere Nachweisweg sein.

EFH typisch – 2020		CH ¹⁺⁷	D	Vlbg	FL ¹⁺⁷
Nichterneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	²	⊘
	Gas	⊘	⊘	0,21	⊘
	Gas + 4 m ² Solar	0,11	0,10	0,21	0,14
	Gas + 10 m ² Solar	0,13	0,15	0,21	0,17
	Gas + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,21	⊘
	Gas + WRG	⊘	⊘	0,21	⊘
	Gas + WRG + 4 m ² Solar	0,12	0,14	0,21	0,16
	Gas + WRG + 10 m ² Solar	0,15	0,14	0,21	0,19
	Gas + WRG + 5 kWp PV	⊘	⊘	0,21	⊘
	Luft-WP	⊘ ⁴	0,26	0,21	⊘ ⁴
	Pellet	0,21	0,26	0,21	0,27
	Fernwärme	0,26	0,26	0,21	0,27
	Luft-WP + 4 m ² Solar	0,19	0,26	0,21	0,19
	Luft-WP + 10 m ² Solar	0,19	0,26	0,21	0,22
	Luft-WP + 5 kWp PV	⊘ ⁴	0,26	0,21	⊘ ⁴
Erneuerbar	Luft-WP + WRG	0,19	0,26	0,21	0,19
	Luft-WP + WRG + 4 m ² Solar	0,19	0,26	0,21	0,20
	Luft-WP + WRG + 10 m ² Solar	0,19	0,26	0,21	0,22
	Luft-WP + WRG + 5 kWp PV	0,19	0,26	0,21	0,19
	Pellet + 4 m ² Solar	0,26	0,26	0,21	0,27
	Pellet + 5 kWp PV	0,21	0,26	0,21	0,27
	Pellet + WRG	0,21	0,26	0,21	0,26
	Pellet + WRG + 4 m ² Solar	0,26	0,26	0,21	0,27
	Pellet + WRG + 5 kWp PV	0,21	0,26	0,21	0,26
	Fernwärme + WRG	0,26	0,26	0,21	0,27

¹ PV-Anlagenverpflichtung (10 Wp/m², max. 30 kWp): min. 2,1 kWp beim EFH typisch
² keine Aussage möglich
⁴ Mittlerer U-Wert von 0,18 bei U_w ≤ 0,8 bzw. Erdreich/Grundwasser-WP
⁷ Ergebnisse variieren aufgrund unterschiedlicher Klimastandorte

Abbildung 28: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH typisch (2020).

In Deutschland ist noch keine Berechnungsvorschrift für 2020 festgelegt. Allerdings gibt es bereits einen ausgearbeiteten Gesetzentwurf (GEG) hierzu, dessen Rechenverfahren allerdings noch nicht in den Berechnungsprogrammen im Detail hinterlegt ist. Zur Abschätzung wurden auf Basis der eingangs genannten Quellen dieselben Berechnungsverfahren mit denselben Anforderungsparametern wie für die Gebäude nach dem heutigen Stand verwendet, aber die Grenzwerte auf die Anforderungen des KfW 55-Standards verschärft. Der KfW 55 –Standard ist ein Energiestandard im Fördersystem der deutschen Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Dieser besagt, dass unter Verwendung desselben Rechenverfahrens (mit

minimalen Änderungen) strengere Grenzwerte als gesetzlich erlaubt eingehalten werden müssen. Dieser Standard entspricht am ehesten dem geplanten Stand für 2020. Bezüglich der Primärenergie besagt der KfW 55 – Standard, dass der neue Grenzwert bei 55% des gesetzlich zulässigen Werts liegt (daher der Name). Hinsichtlich des H_i' verschiebt sich der Wert auf 70% des gesetzlich zulässigen Werts.

Durch die strengeren Anforderungen ergibt sich, dass auch die „zulässigen“ mittleren U-Werte ambitionierter werden (vgl. Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29). Ansonsten ist das „Verhalten“ der Ergebnisse qualitativ dasselbe wie im Jahr 2017: regenerative Systeme können eingesetzt werden, wohingegen fossile Energieträger nahezu unmöglich bzw. nur durch den Einsatz von solarthermischen Systemen und mit sehr guten mittleren U-Werten möglich sind.

Auch mit den Annahmen für 2020 ist der Primärenergiegrenzwert neben den Werten des EEWärmeG der maßgebliche Kennwert.

In Vorarlberg gibt es mit den getroffenen Annahmen aus Kapitel 4.1 für 2020 vier Anforderungen zu erfüllen. Diese Anforderungen sind die Mindest-U-Werte, der maximale HWB, der maximale PEB und die maximalen CO₂ Emissionen. Wie 2017 ist mit den getroffenen Annahmen im Jahr 2020, außer bei direktelektrischen Heizsystemen nur der Heizwärmebedarf ausschlaggebend. Dieser Effekt erhöht sich sogar noch, denn die HWB-Anforderungen werden strenger und die PE und CO₂ Anforderungen bleiben nach den Annahmen aus Kapitel 4 fast gleich. Deshalb ist in Vorarlberg kein Bereich dargestellt, in dem sich die Hülle bewegen kann, sondern nur zwei Werte pro Mustergebäude. Hierbei ergibt sich pro Gebäude der strengere Wert für ein direktelektrisches Heizsystem. Es wird angenommen, dass Gebäude mit solchen Wärmeerzeugern auch in Zukunft einen strengeren CO₂ Grenzwert einhalten müssen, um überhaupt gebaut werden zu dürfen. In der Untersuchung wurde dieser CO₂ Grenzwert gleich wie für 2017 angenommen, da hierzu noch keine Aussage vorliegt. In den nachfolgenden Tabellen sieht man, dass dies nie mit einem reinen direktelektrischen System möglich ist, sondern eventuell nur in Kombination mit anderen Maßnahmen wie Lüftung mit WRG und PV Erzeugung. Da es hierzu aber noch keine Aussage gibt, sind in den Tabellen keine U-Werte für direktelektrische Systeme angegeben. Bei allen anderen Heizsystemen ist die Anforderung an die Hülle immer gleichbleibend, egal ob mit erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Energieträgern die Wärme bereitgestellt wird. Dies wird in der Schweiz, Liechtenstein und Deutschland jeweils unterschiedlich gehandhabt.

MFH mittel – 2020		CH ¹⁺⁷	D	Vlbg	FL ¹⁺⁷
Nichterneuerbar	Elektrisch	⊘	⊘	²	⊘
	Gas	⊘	⊘	0,15	⊘
	Gas + 47 m ² Solar	⊘ ³⁺⁵	⊘	0,15	0,13 ⁵
	Gas + 115 m ² Solar	0,12 ⁵	⊘	0,15	0,17 ⁵
	Gas + 35 kWp PV	⊘	⊘	0,15	⊘
	Gas + WRG	⊘	⊘	0,15	⊘
	Gas + WRG + 47 m ² Solar	0,15	⊘	0,15	0,20
	Gas + WRG + 115 m ² Solar	0,19	⊘	0,15	0,23
	Gas + WRG + 35 kWp PV	⊘	⊘	0,15	⊘
	Luft-WP	⊘ ⁴⁺⁵	0,16	0,15	⊘ ⁴⁺⁵
	Pellet	0,23 ⁵	0,16	0,15	0,23 ⁵
	Fernwärme	0,23 ⁵	0,16	0,15	0,23 ⁵
	Luft-WP + 47 m ² Solar	0,20 ⁶	0,16	0,15	0,23 ⁶
	Luft-WP + 115 m ² Solar	0,23 ⁶	0,16	0,15	0,23 ⁶
	Luft-WP + 35 kWp PV	⊘ ⁴⁺⁵	0,16	0,15	⊘ ⁴⁺⁵
	Luft-WP + WRG	0,20	0,16	0,15	0,20
	Luft-WP + WRG + 47 m ² Solar	0,23	0,16	0,15	0,23
	Luft-WP + WRG + 115 m ² Solar	0,23	0,16	0,15	0,23
	Luft-WP + WRG + 35 kWp PV	0,20	0,16	0,15	0,20
	Pellet + 47 m ² Solar	0,23 ⁵	0,16	0,15	0,23 ⁵
Pellet + 35 kWp PV	0,23 ⁵	0,16	0,15	0,23 ⁵	
Pellet + WRG	0,23	0,16	0,15	0,23	
Fernwärme + WRG	0,23	0,16	0,15	0,23	

¹ PV-Anlagenverpflichtung (10 Wp/m², max. 30 kWp): min. 18,6 kWp beim MFH mittel

² keine Aussage möglich

³ Mittlere U-Werte < 0,10 (CH: 0,08)

⁴ Mittlerer U-Wert von 0,18 bei U_w ≤ 0,8 bzw. Erdreich/Grundwasser-WP

⁵ nur bei Fensterlüftung, bei Abluftanlage Abwärmennutzung verpflichtend → Abluft-WP

⁶ bei Fensterlüftung Außenluft-WP, bei Abluftanlage Abluft-WP
→ Mittlerer U-Wert 0,20 (CH, FL 47 m²) bzw. 0,21 (FL 115 m²)

⁷ Ergebnisse variieren aufgrund unterschiedlicher Klimastandorte

Abbildung 29: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – MFH mittel (2020).

In Liechtenstein unterscheiden sich die Ergebnisse stark zwischen 2017 und 2020, da hier mit der MuKE n 2014 eine andere Berechnungsgrundlage herangezogen wird als bisher. Grundsätzlich gilt das oben aufgeführte für die Schweiz dann 2020 auch für Liechtenstein. Die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen der Schweiz und Liechtenstein trotz identischem Nachweisverfahren ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Klimastandorte St. Gallen

bzw. Vaduz. Vaduz ist etwas milder und deshalb sind die Anforderungen hier geringfügig leichter zu erreichen als in der Schweiz mit dem Klimastandort St. Gallen.

Die Berechnungen der Mustergebäude mit den Annahmen für 2020 sind in folgenden Ergebnissen kurz zusammengefasst:

- Hüllqualität oder Anforderungen an die Hülle:
 - Wenn nicht erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, ergeben sich meist strengere Anforderungen an Hüllqualität, außer in VlbG.
 - D, CH, FL: sehr großer Hüllqualitätsbereich, vor allem bei Gas sehr streng.
- Energieerzeuger/Energieträger/Haustechnik:
 - Nur Gas ohne Zusatzlösungen ist in Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein nicht möglich, in Vorarlberg jedoch schon.
 - Gas auch mit Zusatzlösungen ist in Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein nur mit strengen Hüllanforderungen möglich, in Vorarlberg gibt es keine Unterscheidung nach Energieträger.
 - Elektrisch direktes System als Hauptheizsystem in Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein nicht zulässig, in VlbG. noch keine Aussage möglich.
 - PV wird in CH und FL immer verpflichtend, in VlbG und D wird sie berücksichtigt.
 - Lüftung mit Wärmerückgewinnung wird in VlbG und D in PE und CO₂ berücksichtigt, in CH und FL in den Standardlösungen oder in der 80/20 Regel.

6.6 Gegenüberstellung 2017 – 2020

Die folgende Abbildung 30 zeigt die mittleren opaken U-Werte, welche je Mustergebäude in den vier Ländern nach den derzeit gültigen Mindestanforderungen von 2017 und nach den angenommenen Mindestanforderungen von 2020 noch baurechtlich zulässig sind. Die Abbildung dient dazu die Anforderungen in den unterschiedlichen Ländern und die Änderung von 2017 zu 2020 darzustellen. Durch die unterschiedlichen Randbedingungen können die verschiedenen Mustergebäude nicht direkt miteinander verglichen werden.

Die Bandbreite ergibt sich aus unterschiedlichen Gebäudehüllqualitätsanforderungen für verschiedene erneuerbare (grün) und nichterneuerbare (rot) Haustechniksysteme. Diese Haustechnikvarianten werden detailliert in den Kapiteln 6.2 und 6.5 beschrieben.

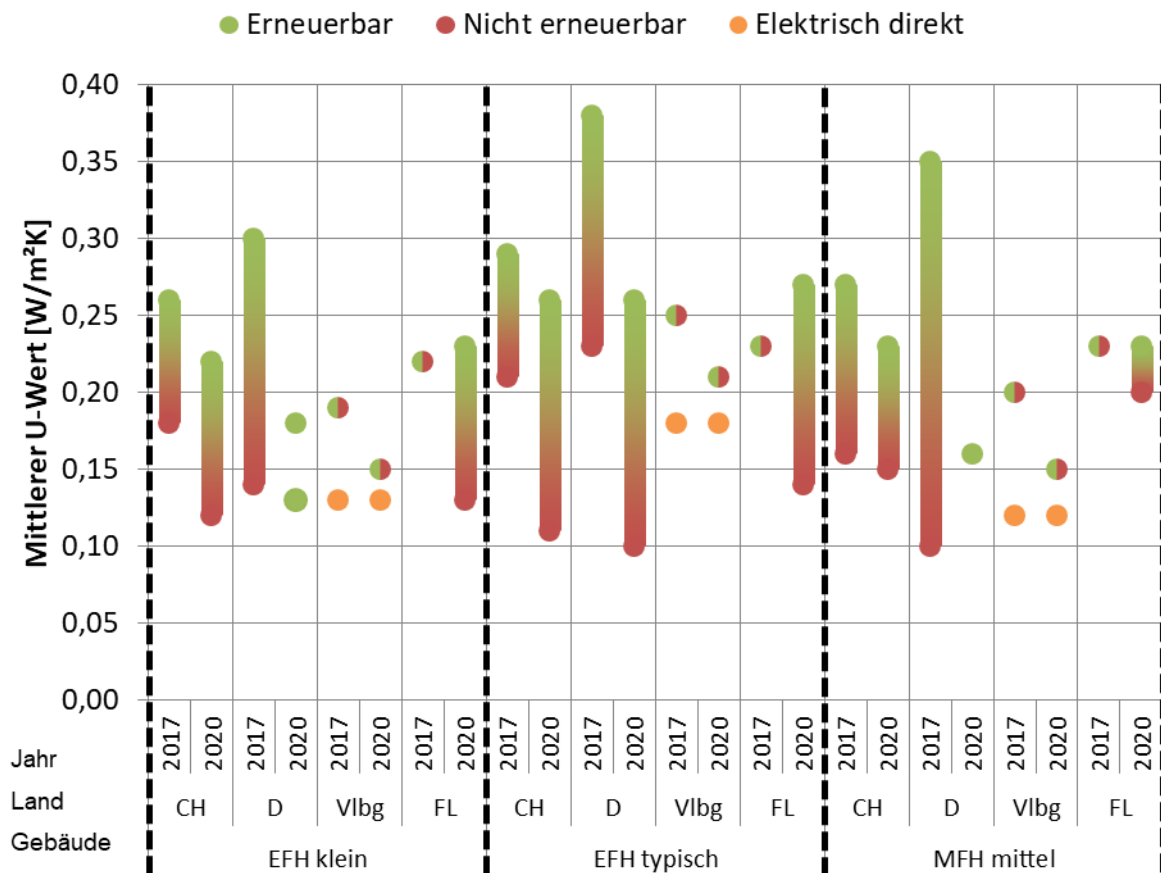


Abbildung 30: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Wert je Mustergebäude und Land – Vergleich 2017 und 2020.

In der Schweiz ergibt sich mit der Umsetzung der MuKE n 2014 für alle haustechnischen Systeme eine strengere Anforderung an die thermische Hüllqualität. Im direkten Vergleich zeigt sich, dass ein Gas-Brennwertkessel ohne solarthermische Anlage bei allen drei Mustergebäuden nicht mehr möglich ist. Zudem erfordert dieser Wärmeerzeuger bei Kombination mit einer Solarthermieanlage eine sehr gute Gebäudehülle um baurechtlich eingesetzt werden zu dürfen. Auch die Wärmepumpe kann nur mit einer Verbesserung der thermischen Gebäudehülle realisiert werden (mittlerer opaker U-Wert $\leq 0,18$ ohne Solarthermie bei allen drei Mustergebäuden). Bei einer Luft-Wärmepumpe ohne solarthermische Anlage muss zusätzlich die Fensterqualität verbessert werden ($U_w \leq 0,8$). Bei den Wärmeerzeugern Pellet und Fernwärme muss die thermische Gebäudehüllqualität im Vergleich zu den derzeitigen Anforderungen ebenfalls verbessert werden. Ein Pelletkessel unterliegt dabei strengeren Anforderungen als ein Fernwärmeanschluss, bei welchem die maximal mögliche Gebäudehüllqualität nach den Anforderungen der MuKE n 2014 zulässig ist.

In Deutschland ist zwischen 2017 und 2020 eine deutliche Verschärfung der Anforderungen sichtbar, wobei sich am grundsätzlichen Bewertungssystem –abgesehen von einem anderen Rechenverfahren- vermutlich nichts ändern wird. Für alle untersuchten Gebäude steigt die Anforderung zum Teil sehr deutlich an. Dies gilt für Gebäude, welche mit erneuerbaren Energien betrieben werden ebens, wie für Gebäude, welche mit fossilen Energieträgern versorgt werden. Bei den Konfigurationen der Mustergebäude war es teilweise gar nicht mehr möglich, nicht erneuerbare Energieträger einzusetzen. Dies lässt aber keine pauschale Aussage zu, da zum Beispiel am typischen Einfamilienhaus gezeigt werden konnte, dass deren Einsatz unter gewissen Rahmenbedingungen sehr begrenzt schon noch möglich ist. Auch die Tatsache, dass aus den U-Wert-Bereichen im Jahr 2020 Kennwert-Punkte geworden sind, ist den jeweiligen Gebäuden geschuldet. Beim EFH typisch hat sich auch hier ein Wertebereich für den mittleren U-Wert ausgebildet.

In Vorarlberg ändert sich zwischen 2017 und 2020 nichts am Nachweisverfahren, es werden aber voraussichtlich die Grenzwerte verschärft und hier vor allem der HWB Grenzwert. Durch diese Verschärfung werden für 2020 die mittleren opaken U-Werte um 0,04 bis 0,05 W/(m²K) niedriger als im Ausgangsjahr 2017. Wenn die PE und CO₂ Grenzwerte nicht weiter verschärft werden, bleibt es faktisch bei einer Hüllanforderung und die Haustechnik sowie der Energieträger werden nicht ausschlaggebend. Für die direkt elektrischen Systeme ist noch keine Aussage möglich, wenn man aber annimmt, dass der CO₂ Grenzwert mit 13 kg/(m²a) bestehen bleibt und der CO₂ Konversionsfaktor¹² unverändert bleibt, ändert sich für diese Systeme der mittlere opake U-Wert im Jahr 2020 nicht.

In Liechtenstein wird mit dem Nachweisverfahren nach MuKE n 2014 die Haustechnik mitbewertet. Für nichterneuerbare Wärmeerzeuger erhöht sich dadurch die Anforderung im Jahr 2020, wie in Abbildung 30 ersichtlich. Durch erneuerbare Energieträger kann die thermische Gebäudehülle beim EFH klein und EFH typisch ineffizienter ausgeführt werden, da die derzeitige Hüllanforderung nach dem Einzelbauteilnachweis strenger ist als die Systemanforderung für Einfamilienhäuser nach MuKE n 2014.

Zusammenfassend sind die Änderungen welche sich von 2017 zu 2020 ergeben folgende:

- Hüllqualität:
 - Tendenziell werden die Anforderungen an die Hülle im Jahr 2020 mit den getroffenen Annahmen in allen Ländern strenger. Die einzige Ausnahme hier ist Liechtenstein wenn erneuerbare Energieträger eingesetzt werden. In diesem

¹² CO₂ Konversionsfaktor für Strom in Österreich nach OIB RL-6 2015: 276 g/kWh

Fall kann die Hülle 2020 ein klein wenig ineffizienter ausgeführt werden als 2017.

- Energieerzeuger/Energieträger/Haustechnik:
 - In Liechtenstein wird 2020 im Vergleich zu 2017 die Haustechnik mitbewertet, dadurch erhöhen sich vor allem für fossile Systeme die Anforderungen.
 - In Vorarlberg wird, mit den getroffenen Annahmen, auch 2020 faktisch nur die Hülle bewertet, nicht die Haustechnik oder der Energieträger.
 - Der Einsatz von fossilen Energieträgern (in diesem Bericht aufgezeigt am Beispiel Gas, CH: auch Heizöl möglich) ist in allen Ländern, außer in Vorarlberg wenn überhaupt nur mit bester Hülle möglich. In Vorarlberg gibt es faktisch keine Unterscheidung der Energieträger.
 - PV wird 2020 in der Schweiz und in Liechtenstein immer verpflichtend. Dies ist eine separate Anforderung. Eine Verrechnung mit den anderen Anforderungen (wie Heizung, Warmwasser, Lüftung, Klima, ...) ist nicht vorgesehen.
 - Elektrisch direktes System ist als Hauptheizsystem in Deutschland, der Schweiz und Liechtenstein nicht zulässig, in Vorarlberg noch keine Aussage möglich.

7 Fazit und Aussicht

Im Bodenseeraum gelten unterschiedliche Mindestanforderungen im Gebäudebereich. Zudem werden Energiebedarf und Grenzwerte unterschiedlich berechnet und dargestellt. Die Mindestanforderungen an die Gebäude sind so über die Landesgrenzen leider nicht ohne weiteres vergleichbar. Deshalb wurden in vorliegender Studie anhand von Mustergebäuden die Mindestanforderungen in den Ländern untersucht und mit einem mittleren opaken U-Wertes welcher in Kapitel 5.3 beschrieben ist dargestellt. Somit können die Mustergebäude mit diesem mittleren opaken U-Wert in den jeweiligen Ländern verglichen werden.

Liechtenstein bewertet die Haustechnik und den Energieträger momentan nicht mit. Vorarlberg berücksichtigt im derzeitigen Baurecht die Haustechnik und den Energieträger. Die CO₂ und PE Grenzwerte sind aber so hoch, dass sie faktisch nicht zum Tragen kommen. Somit besteht faktisch nur eine Anforderung an die Hülle. Beim Einsatz fossiler Energieträger muss aber der Einsatz eines hocheffizienten alternativen Energiesystems laut Punkt 5.2. der OIB-Richtlinie 6 geprüft werden. Deutschland und die Schweiz berücksichtigen die Haustechnik und den Energieträger. Damit ergeben sich für unterschiedliche Energieträger und Haustechniksysteme unterschiedliche Hüllanforderungen. Tendenziell ist es so, dass hier beim Verzicht auf fossile Energieträger eine geringere Anforderung an die Gebäudehüllqualität besteht. Für die Vergleichbarkeit bedeutet dies, dass es pro Mustergebäude und Land nicht nur einen Wert gibt sondern, je nach Haustechnik, viele verschiedene und somit eine Bandbreite an Ergebnissen. Momentan (2017) sind beim Einsatz erneuerbarer Energieträger die Anforderungen in Vorarlberg und Liechtenstein ähnlich und strenger als in Deutschland und der Schweiz. Beim Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger sind Deutschland und die Schweiz zum Teil deutlich strenger oder es ist gar nicht möglich manche Systeme, wie z.B. nur Gas ohne Kombination mit anderen Effizienzmaßnahmen, einzusetzen. Hier liegt ein Spielraum: Bessere Hülle oder erneuerbare Energie. Da wird den Bauherren ein Spielraum belassen, innerhalb dessen sie selber wirtschaftlich optimieren können. (Wer keine erneuerbaren Energien will, muss mehr dämmen...)

Wie in der Richtlinie 2010/31/EU [1] beschrieben ist, sollten sich die zukünftigen Effizienzanforderungen der Gebäude am Kostenoptimum orientieren. Das bedeutet, dass diejenigen Effizienzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, welche gesamtheitlich, also über die Errichtung und den Betrieb wirtschaftlich sind. Die momentanen Mindestanforderungen in allen Ländern sind für das in Vorarlberg untersuchte Mehrfamilienhaus „KliNaWo“ weniger streng als das Kostenoptimum für dieses Projekt in Vorarlberg, wobei die gebauten Qualitäten in den Ländern meist besser sind als die Mindestanforderungen und auch das Kostenoptimum von Land zu Land variiert.

Tendenziell werden die Anforderungen an die Hülle im Jahr 2020 mit den getroffenen Annahmen in allen Ländern strenger. Die einzige Ausnahme hier ist Liechtenstein und auch nur für den Fall, dass erneuerbare Energieträger eingesetzt werden. In diesem Fall kann die Hülle 2020 ein klein wenig ineffizienter gebaut werden als 2017. In Liechtenstein wird 2020 im Vergleich zu 2017 die Haustechnik mitbewertet, dadurch erhöhen sich vor allem für fossile Systeme die Anforderungen.

Damit eine wirkliche Vergleichbarkeit gegeben ist, wäre es wünschenswert eine einheitliche Berechnungsmethode in allen Ländern zu haben. So würde eine Vergleichbarkeit am ehesten gewährleistet. Die Grenzwerte und Randbedingungen könnten weiterhin national an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

Der Vergleich der Gebäudeenergievorschriften in den IBK Ländern und Bundesländern/Kantone zeigt, dass es doch einige Unterschiede in den Bewertungsmethoden und Anforderungen gibt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen, ergeben sich noch interessante Fragestellungen, bzw. offene Punkte für zukünftige Untersuchungen:

- Zusätzliche Länder mit aufnehmen, eventuell ein EU-weiter Vergleich.
- Ähnlich wie bei den Mindestanforderungen könnte man auch die unterschiedlichen Fördersysteme in den IBK Ländern miteinander vergleichen und die Auswirkung auf die energetische Qualität beurteilen.
- In vorliegender Studie wurden die Mindestanforderungen untersucht. Interessant wären aber auch die tatsächlich gebauten Qualitäten.
- Herausarbeiten der Unterschiede in der Heizlastberechnung und somit in der Auslegung der Wärmeerzeuger in den verschiedenen IBK Ländern.¹³

¹³ In vorliegender Studie wurde nach jeweiligen nationalen Defaultwerten gerechnet. Diese ergeben für die Länder aufgrund der verschiedenen Auslegungsnormen unterschiedlich groß dimensionierte Wärmeerzeuger.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2017) abhängig vom Energieträger.....	4
Abbildung 2: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Vorarlberg.....	7
Abbildung 3: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in der Schweiz 2017.....	10
Abbildung 4: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Liechtenstein.	13
Abbildung 5: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in Deutschland.....	15
Abbildung 6: Ablaufschema des Nachweises der Anforderungen in der Schweiz und Liechtenstein mit der MuKE n 2014 im Jahr 2020.....	19
Abbildung 7: Geschichtliche Entwicklung der Energiestandards in Deutschland. Quelle [15].	20
Abbildung 8: Vergleich der Heizgradtage für verschiedene Standorte.....	21
Abbildung 9: Primärenergie und nationale Gewichtungsfaktoren für A, D, CH.	23
Abbildung 10: Vergleich unterschiedlicher Bezugsflächen für das EFH klein in den einzelnen Ländern.	24
Abbildung 11: Vergleich unterschiedlicher Bezugsflächen für das MFH mittel in den einzelnen Ländern.....	24
Abbildung 12: Einfamilienhaus klein (EFH klein).....	25
Abbildung 13: Einfamilienhaus typisch (EFH typisch).	26
Abbildung 14: Mehrfamilienhaus mittel (MFH mittel).....	26
Abbildung 15: Bürogebäude klein (Büro klein).	26
Abbildung 16: Schematischer Ablauf der Berechnungen.....	27
Abbildung 17: Darstellung der wesentlichen Flächen eines Baukörpers (Quelle: [17]).....	28
Abbildung 18: Punktwolke- HWB _{RK} aller Wohnungsneubauten 2015 über A/V-Verhältnis (Quelle: [18]).....	30
Abbildung 19: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2017) abhängig vom Energieträger.....	31
Abbildung 20: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH klein (2017).	32
Abbildung 21: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH typisch (2017).....	35
Abbildung 22: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – MFH mittel (2017).....	36
Abbildung 23: Mittlerer opaker U-Wert des MFH mittel in den verschiedenen Ländern im Vergleich zu den kostenoptimalen Anforderungen aus dem Vorarlberger Projekt KliNaWo..	38
Abbildung 24: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte des Bürogebäudes je Land abhängig vom Energieträger.	39

Abbildung 25: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – Bürogebäude.....	40
Abbildung 26: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Mustergebäude und Land (2020).....	42
Abbildung 27: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH klein (2020).	43
Abbildung 28: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – EFH typisch (2020).....	45
Abbildung 29: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Werte je Haustechniksystem und Land – MFH mittel (2020).....	47
Abbildung 30: Baurechtlich zulässige, mittlere opake U-Wert je Mustergebäude und Land – Vergleich 2017 und 2020.	49

Literatur

- [1] Europäische Union, „Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, *Amtsbl. Eur. Union Vom*, Bd. 18, Nr. 2010, S. 13–35, 2010.
- [2] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OiB-Richtlinie 6 2015 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*. 2015.
- [3] Vorarlberger Landesregierung, „Energieausweis-Zentrale Vorarlberg“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eawz.at/?id=4b76f9e191bff96359bf528ba9a3aa61&p=H;RG&dmy=8>. [Zugegriffen: 11-Apr-2017].
- [4] Vorarlberger Landesregierung, *93. Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung – BTV) 2017*. 2016, S. 17.
- [5] SIA 380/1:2009, Hrsg., „Thermische Energie im Hochbau“. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2009.
- [6] Merkblatt SIA 2028:2008, Hrsg., „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik“. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2008.
- [7] SIA 380/4:2006, Hrsg., „Elektrische Energie im Hochbau“. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2006.
- [8] Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, Hrsg., „Energieverordnung (EnV) Fassung vom 01.10.2009 Liechtensteinisches Landesgesetzblatt Nr. 222“. 2009.
- [9] EnEV 2014, Hrsg., „EnEV 2014; Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung EnEV vom 18. November 2013“. Bundesanzeiger Verlag in Köln, 21-Nov-2013.
- [10] DIN 4108, „Wärmeschutz im Hochbau“. Deutsches Institut für Normung, 2004.
- [11] DIN V 4701-10:, „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen: Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“. Deutsches Institut für Normung, 2003.
- [12] Österreichisches Institut für Bautechnik, „OiB Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem ‚Nationalen Plan‘ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU“. Österreichisches Institut für Bautechnik, 28-März-2014.
- [13] Konferenz Kantonalen Energiedirektoren, Hrsg., „MuKE n 2014: Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich Ausgabe 2014“. 2015.

- [14] Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft, Energie und des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz, und Bau und Reaktorsicherheit, *Referentenentwurf des Gebäudeenergiegesetzes - GEG: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden*. 2017.
- [15] Werner Friedl, „Neues Gesetz - Alter Inhalt; GEG 2018 soll EnEG, EnEV und EEWärmeG ablösen“, *Passiv. Kompend.*, Bd. 13. Jahrgang, Nr. 2018, S. 28–29, 2017.
- [16] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OiB - Richtlinie 6 2011 Energieeinsparung und Wärmeschutz*. 2011.
- [17] Martin Ploss, Tobias Hatt, Rainer Vallentin, und Michaela Kern, „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070; Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks - ‚Dampferstudie‘“, Energieinstitut Vorarlberg/Vallentin+Reichmann Architekten, Dornbirn/München, Nov. 2017.
- [18] Martin Brunn, „Energieausweis Zentrale Vorarlberg Jahresbericht 2015“, Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung VIa Fachbereich Energie und Klimaschutz, Bregenz, Juni 2016.
- [19] Martin Ploss, Tobias Hatt, Christina Schneider, Thomas Rosskopf, und Michael Braun, „Modellvorhaben ‚KliNaWo‘ Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau; Zwischenbericht“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Zwischenbericht, Jan. 2017.