

# Strukturwandel in Heizkellern

## Status Quo und Strategien zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors in der Bodenseeregion (IBK-Raum)

Endbericht 28.12.2020 - Langversion

**Bearbeitet durch:**

Energieinstitut Vorarlberg  
Bereich Energieeffizientes Bauen  
Stadtstraße 33 / Campus V  
A - 6850 Dornbirn  
info@energieinstitut.at  
www.energieinstitut.at

**Hauptautoren**

Dipl.-Ing. Arch Martin Ploß Energieinstitut Vorarlberg  
Thomas Roßkopf MSc, Energieinstitut Vorarlberg  
Christof Drexel, drexel reduziert, Bregenz

Im Auftrag von und gefördert durch: Internationale Bodensee-Konferenz  
(IBK) - Plattform Klimaschutz und Energie der IBK-Kommission Umwelt



**Projektpartner:**

Kanton St. Gallen:

Marcel Sturzenegger Dr. Phil. II

Kanton St. Gallen – Baudepartement – Amt für Wasser und Energie, Abteilung Energie

Fürstentum Liechtenstein:

Jürg Senn. Dipl.-Ing. HTL/HLK

Amt für Volkswirtschaft – Energiefachstelle

Bayern:

Dr. Thorsten Böhm

Energie- und Umweltzentrum Allgäu gemeinnützige GmbH

Baden-Württemberg:

Dr. Ing. Martin Pehnt, Veit Ulrich, Dr. Sara Ortner

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Vorarlberg:

Dipl.-Arch. FH Peter Jamer

Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten,  
Fachbereich Energie und Klimaschutz

Die Daten für die quantitative Status-Quo-Analyse (Kapitel 5.1) wurden von den Projektpartnern für die jeweilige Region zur Verfügung gestellt und vom Energieinstitut Vorarlberg ausgewertet. Der Kanton St. Gallen übernahm dabei die Datenzusammenstellung für die beteiligten Kantone.

Die Antworten auf die Fragen zu bisherigen Strategien und Instrumenten (Kapitel 5.2) wurden von den Partnern beantwortet.

Darüber hinaus verfassten die Partner für die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein die Kapitel zur Darstellung der jeweiligen Klimaschutzziele (2.1.3 bis 2.1.5) und alle Partner stellten Ergänzungen/Korrekturen zum Gesamttext zur Verfügung.



## Inhalt

1	Zusammenfassung / Kurzbericht .....	9
2	Ausgangslage / Problemstellung / Projektziel.....	23
2.1	Internationale, Europäische und Nationale Klimaschutzziele .....	24
2.2	Ableitung von Klimaschutzzielen für den Gebäudesektor .....	40
3	Potentiale und technische Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen des Gebäudesektors.....	45
3.1	Status Quo Endenergieverbrauch Heizung + Warmwasser .....	45
3.2	Raumplanerische Maßnahmen.....	56
3.3	Suffizienzmaßnahmen .....	58
3.4	Reduktion des Nutzwärmebedarfs.....	60
3.5	Reduktion des Endenergiebedarfs .....	61
3.6	Hohe Effizienz der Wärmeversorgungssysteme.....	66
3.7	Ersatz fossiler Wärmeerzeuger .....	69
3.8	Effiziente Haushaltsgeräte / Elektrogeräte in Nicht-Wohngebäuden .....	85
3.9	Dekarbonisierung des Stromversorgungssystems .....	85
4	Wirtschaftlichkeit der Reduktion des Energiebedarfs und der THG- Emissionen auf Ebene von Einzelgebäuden .....	92
4.1	Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus im Neubau .....	92
4.2	Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus in der Sanierung .....	97
4.3	Warum wird nicht mehr saniert, obwohl die energetische Sanierung wirtschaftlich ist?.....	102
5	Status Quo-Analyse und Vergleich der Regionen .....	105
5.1	Quantitative Analyse - Statistische Daten zu Endenergiebedarf, Treibhausgasemissionen, Energieträgermix bei der Wärmeversorgung von Gebäuden sowie zur Stromerzeugung .....	105
5.2	Bisherige Strategien und Instrumente zur Reduktion des Endenergiebedarfs und des Anteils der fossilen Energieträger sowie zur Steigerung des Anteils gebäudeintegrierter Solarsysteme .....	146

6	Hemmnisse.....	174
6.1	Festlegung von Zielen für die Sanierungs- und Kesselaustauschrage ohne Definition und ohne Monitoring.....	174
6.2	Imageprobleme.....	178
6.3	Mangelndes Problembewusstsein der Hausbesitzer.....	182
6.4	Fehlende Sanierungsrücklagen.....	182
6.5	Organisatorische Probleme.....	182
6.6	Rechtliche Hemmnisse.....	183
6.7	Finanzielle Hemmnisse.....	183
6.8	Mangelnde Kapazitäten der Bauwirtschaft / Mangelnde Attraktivität des Sanierungsmarktes für die Bauwirtschaft.....	192
6.9	Widerstand einzelner Branchen gegen die Dekarbonisierung des Gebäudesektors.....	195
6.10	Energiearmut.....	195
6.11	Altersstruktur der Bewohner sanierungsbedürftiger Gebäude.....	195
7	Vorteile von energetischen Sanierungen.....	196
7.1	Höhere thermische Behaglichkeit und verbesserte Robustheit.....	196
7.2	Vermeidung von Bauschäden.....	197
7.3	Volkswirtschaftliche Vorteile.....	198
8	Grundsätze zur Ausarbeitung von Langfrist-Strategien und zu neuen / veränderten Instrumenten.....	201
8.1	Festlegung verbindlicher Zielwerte in Langfrist-Strategien für den Gebäudesektor.....	201
8.2	Festlegung von Indikatoren für ein Erfolgsmonitoring der Dekarbonisierung des Gebäudesektors.....	202
8.3	Verortung gebäudebezogener, energierelevanter Daten und übergeordneter Infrastrukturen in GIS-Systemen.....	204
8.4	Vergleich und Optimierung von Fördersystemen.....	205
8.5	Modellvorhaben zum Praxisvergleich der energetischen Qualität und Wirtschaftlichkeit verschiedener Sanierungskonzepte.....	205

8.6	Efficiency first – hohe Priorität für Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs .....	206
8.7	Differenzierter Umbau der Wärmeversorgung.....	207
8.8	Rechtzeitig angekündigter Stufenplan zum Verbot fossiler Wärmeerzeuger ....	209
9	Quellen .....	211



## 1 Zusammenfassung / Kurzbericht

Zur Umsetzung internationaler, nationaler und regionaler Klimaschutzziele muss das Tempo der Reduktion der Treibhausgase deutlich erhöht werden. Zahlreiche Staaten und Staatenbünde wie die EU sind daher dabei, ihre Kurz- und Langfristziele ambitionierter zu fassen oder haben dies bereits getan. Staaten wie Dänemark und Großbritannien haben für 2030 Reduktionsziele von 70 bzw. 68% beschlossen, die EU wird ihr Ziel auf 55% festlegen. Auch die Bodensee-Anrainerstaaten haben Ziele von etwa 50 bis 55%, in Österreich steht die Anpassung des Zielwertes für 2030 noch bevor. Als Langfristziel ist jedoch die Klimaneutralität Österreichs im Jahr 2040 im Regierungsprogramm verankert.

Für den Gebäudesektor bedeutet dies eine vollständige Dekarbonisierung innerhalb von etwa 20 bis 30 Jahren. Der erforderliche Transformationsprozess erfordert eine langfristige Strategie zur Reduktion des Endenergiebedarfs, zum Umstieg auf erneuerbare Energieträger, zur verstärkten Implementierung gebäudeintegrierter Solarsysteme und – wegen der steigenden Bedeutung wärmepumpenbasierter Systeme – zum Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung zur ganzjährig sicheren, rein regenerativen Stromversorgung.

Während die übergeordnete Zielsetzung in den IBK-Regionen aufgrund der Vorgaben des Paris-Abkommens gleich ist, ist der Status Quo im Gebäudesektor bezüglich Effizienz, Energieträgermix und Nutzung von Solarsystemen ebenso unterschiedlich wie die konkreten Zielsetzungen und die rechtliche Verbindlichkeit der energiepolitischen Vorgaben. Auch die bisherigen Strategien und Umsetzungsmaßnahmen im Gebäudesektor sind unterschiedlich. Im gegenständlichen Projekt wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede analysiert, technische und wirtschaftliche Potentiale aufgezeigt sowie soziale sowie volkswirtschaftliche Aspekte der Dekarbonisierung untersucht. Darauf aufbauend wurden Grundsätze zur Gestaltung von Langfriststrategien zu Sanierung und Dekarbonisierung des Gebäudebestandes erarbeitet.

Die **Status Quo Analyse** zeigt, dass

- keine Region bislang auf Paris-Zielpfad ist;
- der absolute Endenergieverbrauch der Wohngebäudeparks seit 1990 um 3 bis 5% reduziert wurde (CH, Vlb, Ba-Wü) bzw. um 21% stieg (Bayern<sup>1</sup>) (Abb. 1)
- der mittlere Endenergieverbrauch für Heizen, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom der Wohngebäudeparks der Regionen reduziert werden konnte und aktuell bei Werten von 140 bis 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFa</sub> liegt;
- die meisten Regionen im Begriff sind, ihre Klimaschutzziele ambitionierter zu fassen, um sie konform zu den Vorgaben des Paris-Ziels zu gestalten;

<sup>1</sup> Wert für Bayern bezieht sich auf die Gesamtfläche der Wohn- und Nichtwohngebäude, da keine differenzierten Werte verfügbar

- Bevölkerungs- und Wohnflächenentwicklung Treiber des Energieverbrauchs waren und bleiben werden;
- die Wohnflächen weiterhin stärker wachsen werden, als die Bevölkerung (Abb. 2);
- die Altersstruktur des Gebäudebestandes sehr unterschiedlich ist (Abb. 3);
- die Sanierungs- und Kesselaustauschrate in allen Regionen deutlich zu niedrig sind;
- die Datenlage zu Sanierungs- und Kesselaustauschrate ebenso wie zur Abrissrate und anderen wichtigen Einflussfaktoren in vielen Regionen unzureichend ist;
- die Datenlage zu Nicht-Wohngebäuden in allen Regionen deutlich schlechter ist, als für Wohngebäude;
- der Anteil fossiler Energieträger im Bestand zwischen 46 und 85% liegt (Abb. 4);
- PV-Systeme in allen Regionen deutlich an Bedeutung gewinnen während der Zubau von Solarthermie deutlich zurückgeht;

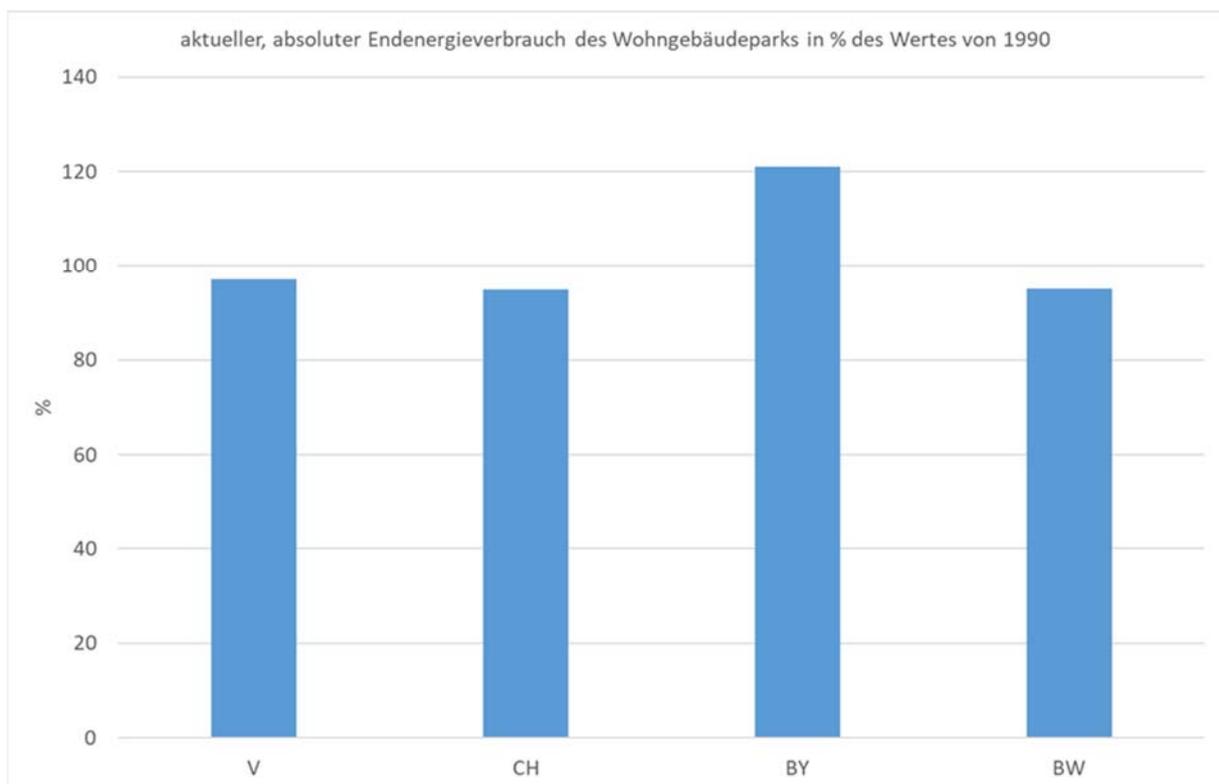


Abbildung 1: aktueller, absoluter Endenergieverbrauch des Wohngebäudeparks in % des Wertes von 1990

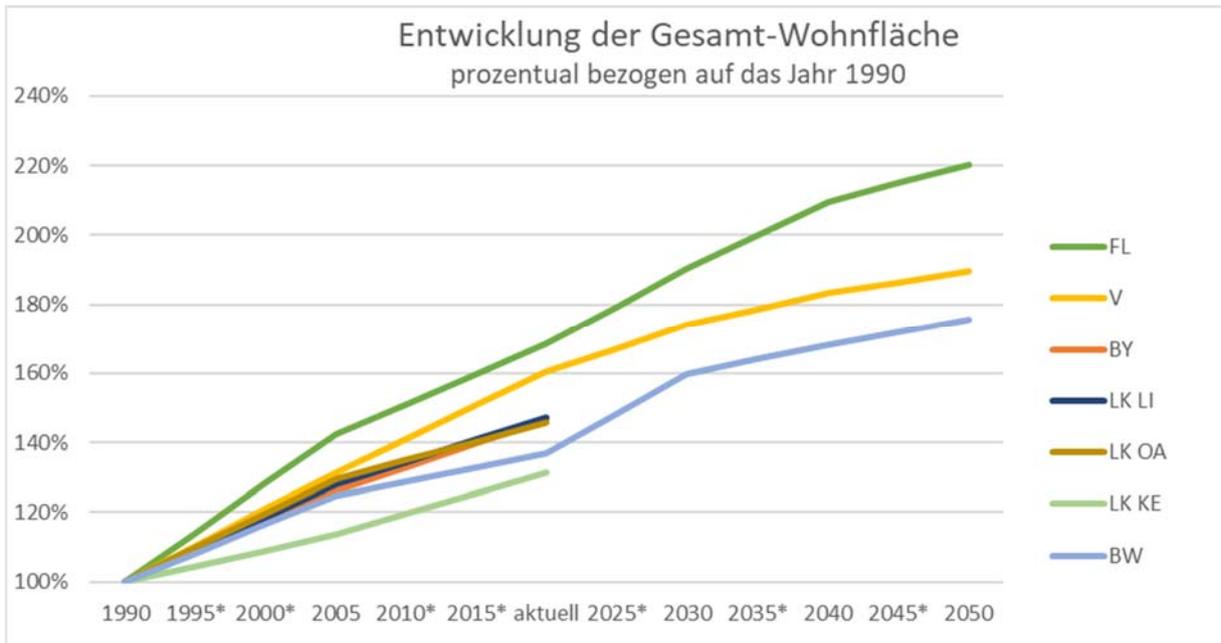


Abbildung 2: prozentuale Entwicklung der Gesamt-Wohnfläche (Werte mit \* sind interpoliert)

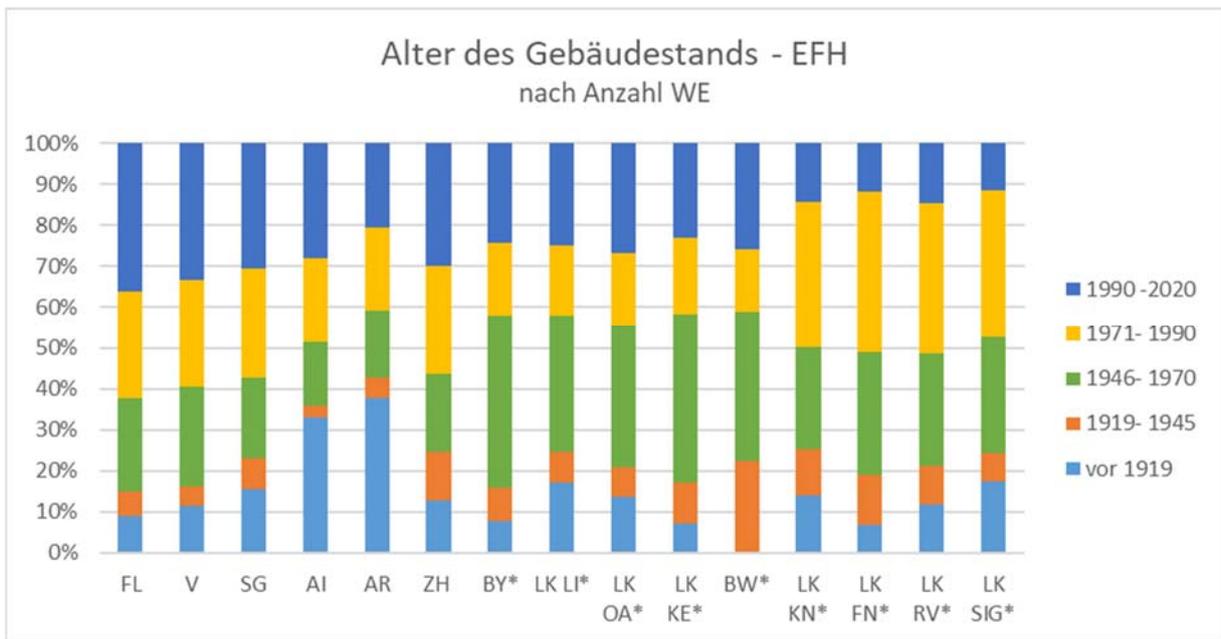


Abbildung 3: Altersstruktur des Wohngebäudebestandes – Mehrfamilienhäuser

Anmerkung: für Baden-Württemberg sind die Altersklassen vor 1919 und 1919 – 1945 zusammengefasst.

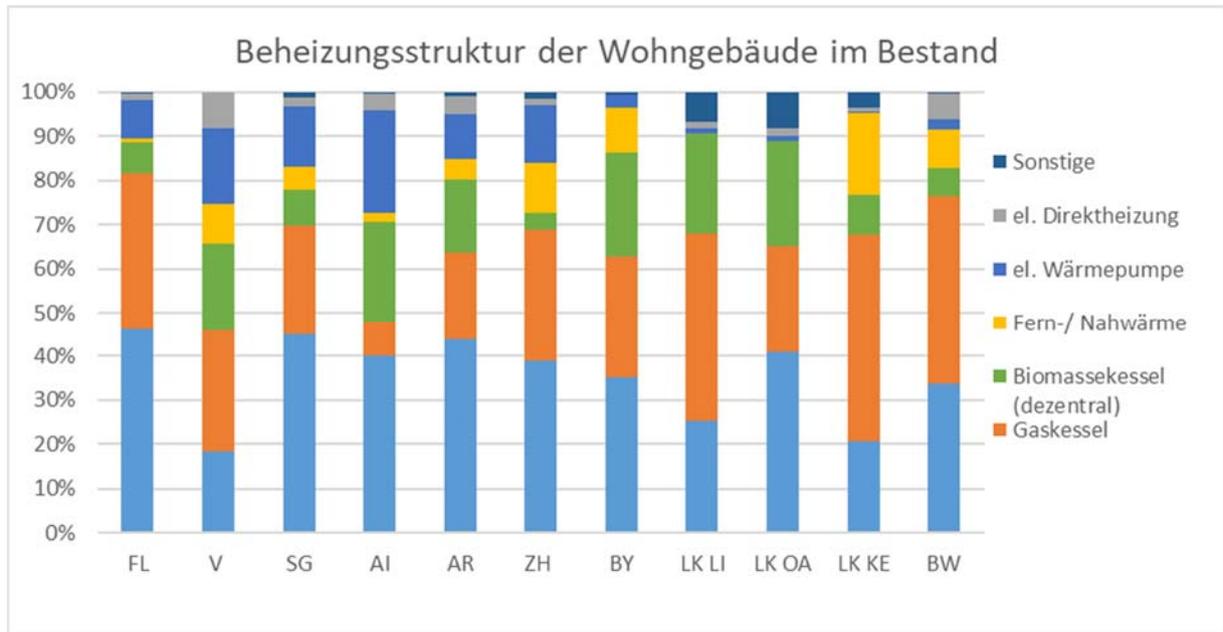


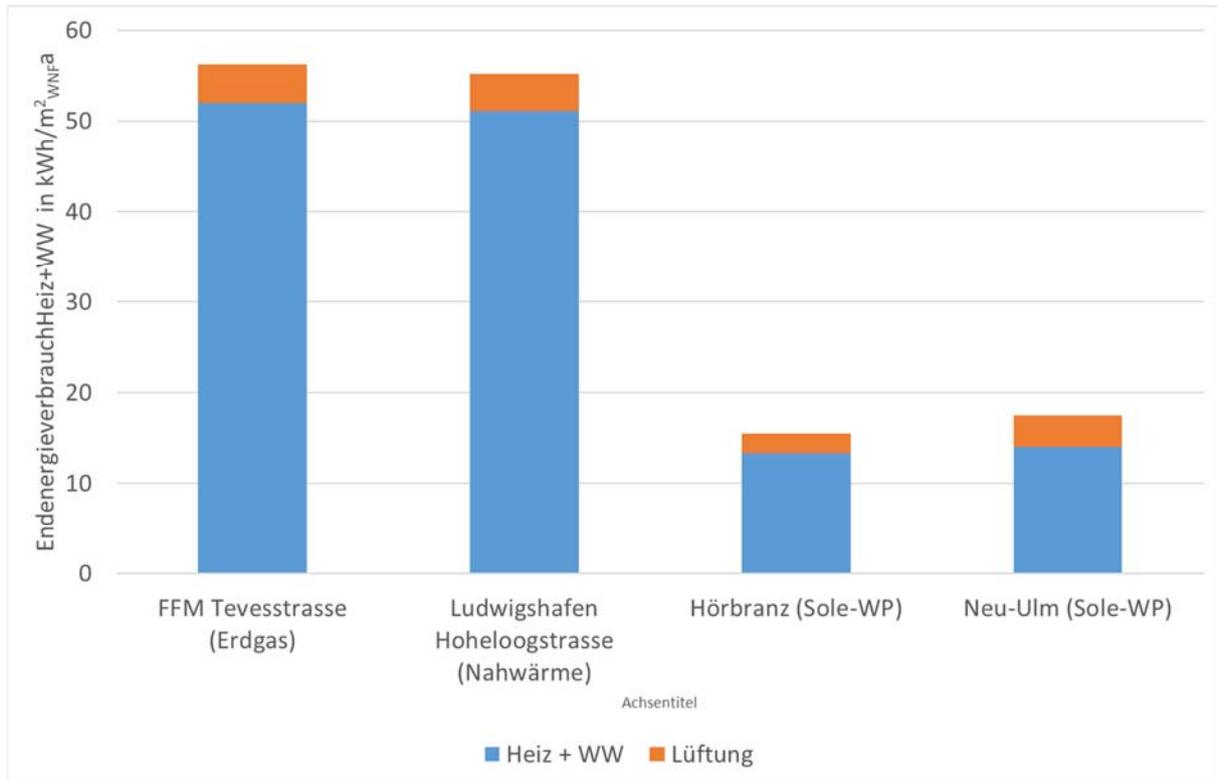
Abbildung 4: aktuelle Beheizungsstruktur des Wohngebäudeparks<sup>2</sup>

Die Untersuchungen zu **Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit der Sanierung von Einzelgebäuden** zeigen, dass

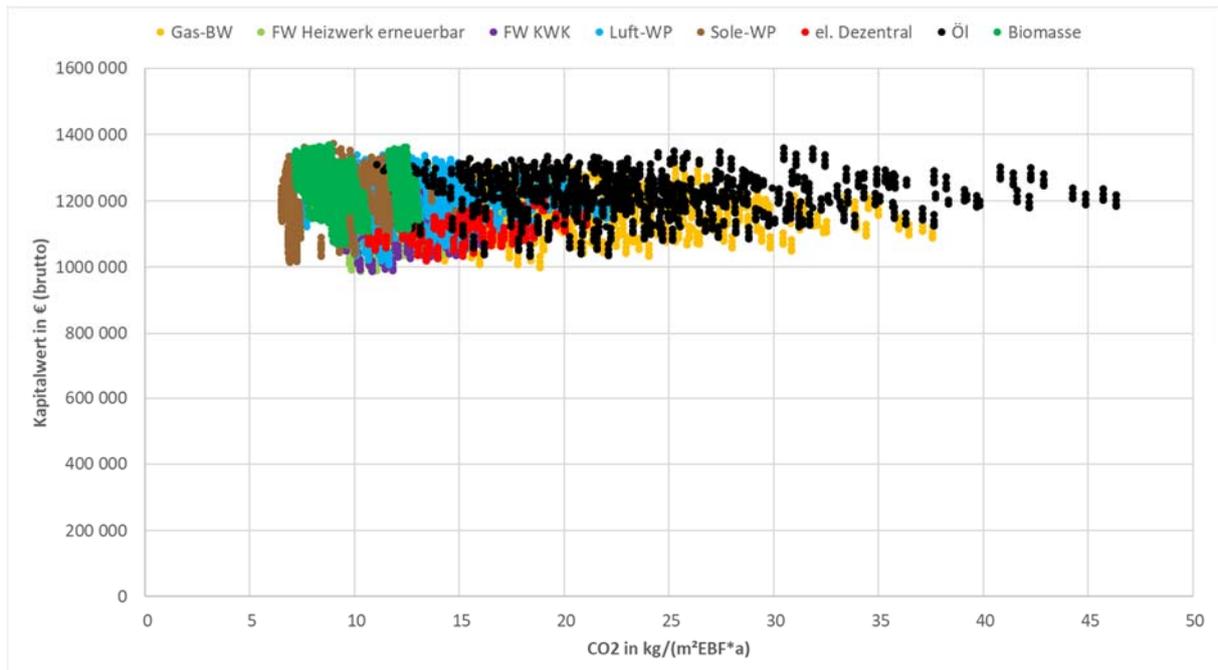
- für die relevanteste Baualtersklasse (50er bis 80er Jahre) reale Endenergieverbräuche<sub>Heiz+WW</sub> von etwa 50 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> (Fernwärme oder Feuerungen) nachgewiesen wurden, was Einsparungen von 60 – 80% entspricht
- Sanierungen mit Wärmepumpen Stromverbräuche von 13 bis 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> für Heizung und Warmwasser erreichen (Abbildung 5)
- derartige Einsparungen mit bewährten Konzepten und Komponenten möglich sind
- Sanierungen auf dieses Energieniveau im Lebenszyklus wirtschaftlich sind (Abb. 6)
- jahresbilanzielle Nullenergiegebäude (inkl. Haushaltsstrom) mit bis zu 6 Geschossen auch in der Sanierung bereits verwirklicht wurden

<sup>2</sup> Angabe für FL bezieht sich auf alle Gebäude, nicht nur Wohngebäude und ist deshalb nur bedingt vergleichbar.

Werte in Abbildung 3 nur sehr bedingt vergleichbar, da Anteile z.T. auf Anzahl der Wohneinheiten oder Gebäude, z.T. auf Anteil an der Fläche, z.T. auf Anteile am Energieverbrauch bezogen (siehe Abbildung 89)



**Abbildung 5: gemessener Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> hocheffizienter Sanierungen von Mehrfamilienhäusern mit unterschiedlichen Wärmeversorgungssystemen [1], [2], [3], [4]**



**Abbildung 6: Lebenszykluskosten über  $CO_{2eq}$ -Emissionen für das mittlere Mehrfamilienhaus; Verbrauchsprognoseberechnung PHPP mit Konversionsfaktoren gem. OIB RL 6 (2019)<sup>3</sup>**

Wie die Abbildung verdeutlicht, sind die Lebenszykluskosten für ein energetisch saniertes Mehrfamilienhaus, die sowohl die energiebedingten Investitionen für die Sanierung, als auch

<sup>3</sup> die Werte wurden nicht nach der Österreichischen Rechenmethode OIB RL 6 (2019) berechnet und können nicht mit den Ergebnissen aus Energieausweisberechnungen verglichen werden [5]

die Wartungs-, Betriebs- und Energiekosten enthalten, weitgehend unabhängig vom CO<sub>2</sub>-Ausstoß nach der Sanierung.

Die niedrigsten Lebenszykluskosten haben Sanierungsvarianten mit sehr niedrigen Emissionen.

Die Untersuchungen zu den **Einsparpotenzialen auf Ebene des gesamten Gebäudeparks** zeigen, dass

- Energieeinsparungen im Gebäudesektor betriebs- und volkswirtschaftliche Vorteile bringen und die Importabhängigkeit im Energiebereich verringern
- eine Verringerung des absoluten Heizwärmeverbrauchs des Gebäudesektors um etwa 35 bis 50% bis 2050 im Vergleich zum Ausgangswert von 1990 trotz steigender Wohn- und Nutzflächen technisch möglich, betriebswirtschaftlich sinnvoll und als Grundlage für die Dekarbonisierung des Gebäudeparks dringend erforderlich ist (Abbildung 7)
- die genannte Reduktion und die vollständige Dekarbonisierung im Rahmen der im Gebäudesektor üblichen, relativ langen Investitionszyklen bis 2050 möglich sind
- dies mittlere jährliche Sanierungsraten der Gebäudehülle von etwa 1,5 bis 1,8% des Gesamtbestandes und Kesselaustauschraten von etwa 4 bis 5% erfordert, d.h. deutliche Steigerungen der derzeitigen Raten<sup>4</sup>;
- zukünftig kein Gebäude ohne Verbesserung der Effizienz saniert werden sollte - jede ohnehin notwendige Sanierungsmaßnahme sollte mit energetischen Maßnahmen kombiniert werden;
- die mittlere Sanierungsqualität auf kostenoptimale Qualitäten gesteigert werden muss. Dies bedeutet für große Teile der Gebäudesanierungen einen Wärmeschutz in der Qualität von Sanierungen der Standards enerphit oder Minergie P;
- jede anstehende Sanierung im bestmöglichen, betriebswirtschaftlich sinnvollen (kostenoptimalen) Energieniveau durchgeführt werden sollte;
- gut justierte Förderungen des Staates auch volkswirtschaftlich sinnvoll sind, da sie eine hohe Hebelwirkung haben, das BIP nachhaltig steigern und Arbeitsplätze schaffen bzw. sichern;

---

<sup>4</sup> Zur Definition des Begriffs Sanierungsrate: siehe Kapitel 6.1.1

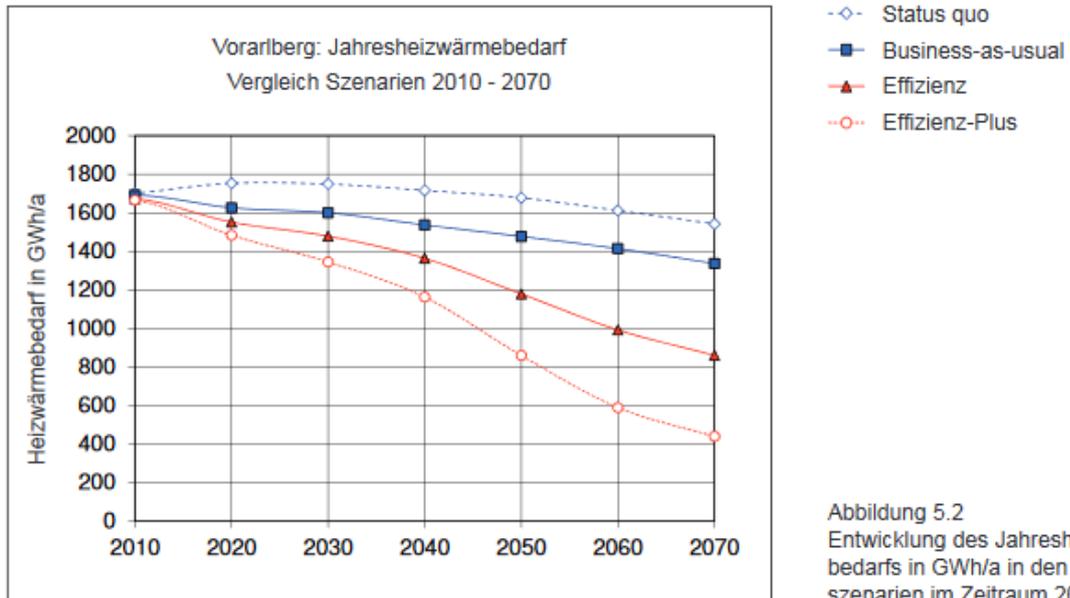
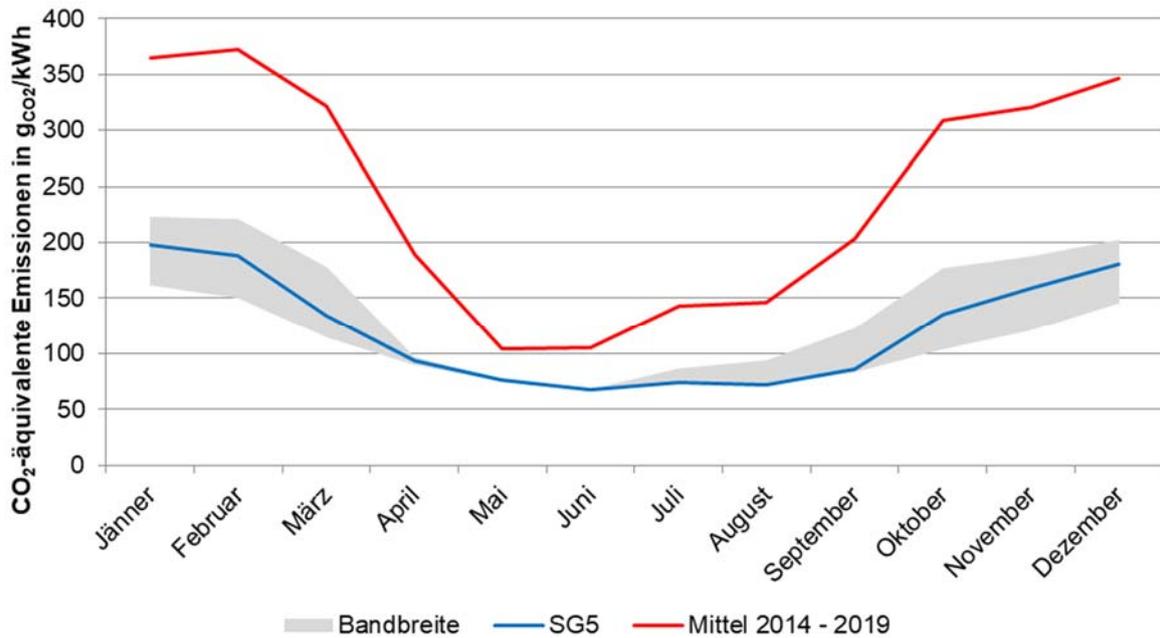


Abbildung 5.2  
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs in GWh/a in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.

**Abbildung 7: Entwicklung des Heizwärmeverbrauchs des Wohngebäudeparks Vorarlberg von 1990 bis 2070 [6]**

Die Untersuchung der **technischen Möglichkeiten zur regenerativen Wärmeversorgung** zeigen, dass

- das Ziel einer vollständigen Dekarbonisierung des Gebäudesektors bis 2040, spätestens 2050 erreichbar ist;
- Neubauten in 3 bis 5 Jahren nur noch mit Systemen mit erneuerbaren Energieträgern (inkl. Strom in Wärmepumpenheizungen) errichtet werden sollten;
- der gesamte Gebäudesektor ab 2040, spätestens 2050 nur noch mit erneuerbaren Energien (inkl. dem bis dahin weitestgehend fossilfreien Strom) beheizt werden sollte;
- das nachhaltig für die Gebäudebeheizung verfügbare Biomassepotenzial beschränkt ist, so dass Biomasse und nur in sehr begrenztem Umfang und prioritär in KWK genutzt werden sollte. Eine rein thermische Nutzung sollte auf klar umrissene Ausnahmefälle (etwa Denkmal- und ensemblesgeschützte Gebäude mit hohem Energiebedarf) begrenzt werden
- multimodale Fern- und Nahwärmenetze mit hohen Anteilen erneuerbarer Energieträger sowie Anergienetze eine zunehmende Rolle in stärker verdichteten Gebieten spielen werden
- Wärmepumpen ihren Marktanteil auch bei der Sanierung von Gebäuden sehr stark steigern werden;
- die Emissionen von Wärmepumpen mit zunehmendem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung auch im Winter merklich sinken werden, dass aber hohe Effizienz auch und gerade in wärmepumpenbeheizten Gebäuden wichtig bleibt, um Energieverbrauch und Maximallast im Winter zu beschränken (Abb. 8)
- die Wärmeversorgung stärker nach Lagetyp, Wärmedichte, (Fern/Nahwärme ja/nein), Gebäudetyp und Heizwärmeverbrauch differenziert werden sollte (Abb. 9)



**Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen Verbraucherstrommix Österreich 2030 – Bandbreite, realistische Szenariengruppe 5 und Mittel 2014 – 2019 [7]**

Hinweis zur Abbildung: Der ausgeprägte Jahresgang der CO<sub>2eq</sub>-Emissionen von Strom bezieht sich auf die Situation in Österreich. Diese ist geprägt von hohen Anteilen alpiner Wasserkraft an der Stromerzeugung (Erzeugungsspeak im Sommer) sowie schon eute vergleichsweise hohen Anteilen an Wärmepumpen (Verbrauchsspeak im Sommer). Die Situation in Deutschland ist anders, da die Anteile erneuerbarer Energien insgesamt geringer sind und da innerhalb der Erneuerbaren die Windenergie mit leichtem Erzeugungsspeak im Winter eine stärkere Rolle spielt als in Österreich. Die Situation in der Schweiz ähnelt bezüglich der alpinen Wasserkraft und des hohen Wärmepumpenanteils der Situation in Österreich; großer Unterschied ist jedoch auf absehbare Zeit der hohe Anteil an Atomstrom, der auch im Winter niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionen ermöglicht.

			Realer Heizwärmeverbrauch in kWh/m <sup>2</sup> WNF.a					
			NEUBAU	BESTAND				
Gebäudeart	Bereits FW-Gebiet?	Wärmedichte derzeit	<25	<45	45-75	75-125	>125	Denkmalschutz
EFH	Nein	<20-30 GWh/km <sup>2</sup>	WP (L)		WP (L/E)	WP (E_t)	SAN+WP (L)	Biomasse
MFH, Nicht-Wohnbau			WP (L/E)		WP (E)		SAN+WP (L/E)	
Alles	Ja	>20-30 GWh/km <sup>2</sup>	FW				SAN+FW	FW
		Egal	FW				SAN+FW	FW

- WP (L) Luft-Wärmepumpe
- WP (L/E) Luft- oder Erd-Wärmepumpe (Flachkollektor oder Erdsonde) - kostengünstigste Variante
- WP (E) Erd-Wärmepumpe (Flachkollektor oder Erdsonde) - kostengünstigste Variante
- WP (E\_t) Erd-Wärmepumpe (Erdsonde)
- FW Fernwärme
- SAN Sanierung

**Abbildung 9: Matrix der präferierten Wärmeversorgungssysteme in Abhängigkeit von Gebäudeart, Wärmedichte und Verfügbarkeit von Wärmenetzen sowie vom Energieniveau**

## **Grundsätze zur Ausarbeitung von Langfrist-Strategien zur Dekarbonisierung und von Umsetzungsinstrumenten**

Ziel dieser Studie ist es nicht, Langfrist-Strategien für energetische Sanierung in den beteiligten Regionen zu entwickeln. Die Studie kann jedoch als Grundlage zur Ausarbeitung derartiger Strategien verwendet werden. Erste Grundsätze und Überlegungen zur Strukturierung der Langfriststrategien werden nachfolgend dargestellt.

Die **Grundsätze zur Ausarbeitung von Langfrist-Strategien zur Dekarbonisierung** und von Umsetzungsinstrumenten können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Zielbestimmung auf Basis der globalen Klimaschutzziele des Paris-Abkommens** und aus den verbleibenden CO<sub>2</sub>-Globalbudgets gemäß IPCC
- **Rechtsverbindliche Festlegung sektoraler Langfrist- (2050) und Zwischenziele (2030 und 2040)**
- Verwendung der **Indikatoren THG-Emissionen und Gesamt-Endenergiebedarf** aller Anwendungen zur Zielbeschreibung im Gebäudesektor
- **Bilanzierung der THG-Emissionen nach Verursacherprinzip** zur Bestimmung der sektoralen Ziele für den Gebäudebereich (zusätzlich zur international üblichen Bilanzierung nach Quellen)
- **Jahreszeitlich/monatlich differenzierte Bilanzierung der Emissionen von Strom**  
Bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor ist zu beachten, dass auch zukünftig der winterliche Wärmebedarf dominieren wird. Da Wärmepumpen eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung des Gebäudesektors haben werden, ist zu überlegen, wie der Aspekt des gegenläufigen Jahresverlaufs von Wärmebedarf und regenerativer Stromerzeugung im Alpenraum (Fokus auf alpine Wasserkraft mit Erzeugungsspeak im Sommer sowie auf PV, geringe Windkraftpotentiale) berücksichtigt werden kann. Die Potenziale für die grundlastfähige Erzeugung aus Wasserkraft und Biogas sind begrenzt. Ebenso die Errichtung von Pumpspeicherkraftwerken. Der im Winter nicht mit regionalen, regenerativen Quellen erzeugbare Strom muss entweder aus sommerlichem Überschuss-Strom jahreszeitlich gespeichert werden oder aus anderen Regionen importiert werden wie dies in Vorarlberg schon heute der Fall ist. Derzeit ist nicht erkennbar, welche Regionen derartige winterliche Überschüsse an regenerativem Strom erzeugen können, dass sie große Bundesländer wie Bayern und Baden-Württemberg bei steigendem Stromverbrauch mit versorgen können: Der Windkraftausbau in Deutschland ist zurückgegangen und stößt in vielen Regionen auf Bedenken, auch in anderen Staaten Mitteleuropas geht der Windausbau bislang relativ langsam vonstatten. Die Speicherung von Überschuss-Strom aus den Sommermonaten für die Winterzeit in Form von Wasserstoff oder synthetischem Erdgas und/oder

Kraftstoffen ist mit schlechten Wirkungsgraden verbunden und bedarf einer bilanziell deutlichen Überschuss-Produktion durch erneuerbare Energieträger.

- **Efficiency first – hohe Priorität für Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs**

In Zukunft sollte ein stärkerer Fokus auf die Reduktion des Endenergiebedarfs gesetzt werden, zumal die Begrenzung des winterlichen Wärmebedarfs nur mit hochwertigen Hüllqualitäten erreicht werden kann. Bei der Festlegung von Mindestanforderungen für Einzelbauteilsanierungen, bei der Justierung von Förderungen und in der Kommunikation, sollte dies berücksichtigt werden. Fördermittel für die Sanierung der Gebäudehülle sollten in der nächsten Dekade prioritär für Gebäude eingesetzt werden, die einen aktuellen Heizwärmeverbrauch  $> 125 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  haben oder für Gebäude, deren Sanierung aus sozialen Gesichtspunkten nur schwierig umzusetzen ist. Dabei sollten sowohl Voll- als auch Teilsanierungen (Sanierungen in mehreren Schritten) gefördert werden, letztere jedoch nur, wenn der langfristig wirtschaftliche Standard (U-Werte opak bspw.  $< 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) erreicht wird. Gebäudesanierungen sollten grundsätzlich so ausgeführt werden, dass sie „Niedertemperatur-ready“ sind.

Die Ausgestaltung der Priorisierung der Fördermittel kann in den Staaten unterschiedlich erfolgen. Stehen in einer Region ausreichende Fördermittel auch bei den notwendigen Erhöhungen der Sanierungsrate zur Verfügung und sind genügend Arbeitskräfte vorhanden, so können Fördermittel auch zur Sanierung von Gebäuden mit niedrigeren Heizwärmeverbräuchen eingesetzt werden.

- **Differenzierung der präferierten Lösungen zur Wärmeversorgung** in Abhängigkeit von Gebäudeart, Wärmedichte, der Verfügbarkeit von Wärmenetzen und des energetischen Standards (siehe Abbildung 9)
- **Rechtzeitige Ankündigung eines Stufenplans zum Ersatz fossiler Wärmerzeuger**  
Einbauverbote für Ölheizungen sind teilweise bereits in Kraft bzw. die Zeitpunkte sind festgelegt. Auch Erdgas als stark emittierender fossiler Brennstoff muss bis 2040, spätestens 2050 ersetzt werden. Die sukzessive Stilllegung von Gasanschlüssen im Gebäudebereich und der stufenweise Verzicht auf den Einsatz fossilen Erdgases ist daher zu terminieren und frühzeitig anzukündigen. Alternativ zu Verboten für fossile Energieträger kann eine ähnliche Wirkung durch die Festlegung zeitlich degressiver CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für Gebäude erfolgen.
- **Vollständige Umstellung der Stromerzeugung auch nicht-fossile Quellen**  
Da die Beheizung großer Teile des zukünftigen Gebäudeparks mit Wärmepumpen erfolgen wird, ist eine vollständige Umstellung der Stromerzeugung auf nicht-fossile Quellen eine Voraussetzung für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Ange-

sichts der prognostizierten Zuwächse des Gesamtstromverbrauchs (E-Mobilität, stärkere Nutzung in der Industrie...) und angesichts der begrenzten Potenziale der Erneuerbaren (Wasserkraft, Windkraft, auch PV) ist eine hohe Effizienz der Gebäude unabdingbar.

- **Starker Ausbau der gebäudeintegrierten PV-Systeme**

Um den Flächenbedarf von Freiflächen-PV zu minimieren, sollten die Potenziale zur PV-Nutzung an Gebäuden auch bei der Gebäudesanierung möglichst vollständig genutzt werden. Angesichts stark gesunkener Kosten sind auch größere PV-Anlagen schon heute wirtschaftlich.

- **Erarbeitung und Kommunikation von Maßnahmen zur Begrenzung der Energiearmut**

In der öffentlichen und veröffentlichten Wahrnehmung spielen steigende Energiekosten – etwa in Folge von CO<sub>2</sub>-Steuern eine große Rolle. Um zu verhindern, dass diese Wahrnehmung weiterhin ein Hemmnis für die Dekarbonisierung bleibt, sollte der Aspekte der Energiearmut statistisch aufbereitet werden. Vorhandene und ggf. zusätzliche Maßnahmen sollten vor Inkrafttreten von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz, zur Dekarbonisierung oder zur (höheren) Besteuerung von CO<sub>2</sub> kommuniziert werden.

### **Intensivierung der Zusammenarbeit im IBK-Gebiet**

Wie die gegenständliche Studie zeigt, sind in allen beteiligten Regionen des Bodenseeraumes positive Ansätze zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors vorhanden.

Die Region eignet sich aufgrund ihres Know-Hows auf dem Gebiet des energieeffizienten Bauens und Sanierens sowie wegen der unterschiedlichen, sich ergänzenden technischen und energiepolitischen Ansätze als europäische Musterregion. Das Nebeneinander verschiedener im europäischen Vergleich fortschrittlicher Strategien und technischer Konzepte auf engstem Raum bietet bei einem verstärkten Wissensaustausch starke Synergieeffekte für alle beteiligten Regionen. Dieser verstärkte Wissensaustausch könnte darüber hinaus vorbildhaft für ganz Europa wirken und damit eine schnellere Umsetzung der Klimaschutzpläne im größeren Maßstab fördern.

Als Grundlage für einen verstärkten Wissensaustausch und für ein voneinander-Lernen müssen jedoch die Erfahrungen, Erfolge (und Misserfolge) der einzelnen Regionen vergleichbar gemacht werden. Wie das gegenständliche Projekt zeigt, sind quantitative Vergleiche zwischen den Regionen derzeit nur sehr bedingt möglich, da viele wichtige Begriffe wie die Sanierungsrate unterschiedlich definiert sind, andere Daten wie die Abrissrate nicht systematisch erfasst und weitere zentrale Größen wie etwa der Anteil der einzelnen Energieträger unterschiedlich erfasst werden.

Als nächster Schritt zur **Intensivierung der Zusammenarbeit im IBK-Gebiet** wäre es daher vorteilhaft, die Grundlagen für einen intensiveren Erfahrungsaustausch zum Transformationsprozesses im Gebäudesektor durch Abstimmungen in den drei folgenden Arbeitsfeldern zu legen:

- **Festlegung geeigneter Indikatoren für das Erfolgsmonitoring**  
Zur Steuerung des Transformationsprozesses zur Dekarbonisierung sollten Indikatoren für ein Erfolgsmonitoring vorab festgelegt, systematisch erfasst und ex post in standardisierten Verfahren ausgewertet werden. Dazu ist eine deutliche Verbesserung der Datenzugänglichkeit besonders für Nicht-Wohngebäude und eine Qualitätssicherung für die Daten erforderlich. Im Sinne einer Zusammenarbeit rund um den Bodensee sollten die Indikatoren von den beteiligten Regionen gemeinsam festgelegt und definiert werden.
- **Verortung relevanter Daten in GIS-Systemen als Grundlage für die Raumplanung**  
Gebäudebezogene, energierelevante Daten und übergeordnete Infrastrukturen wie Erzeugungsanlagen, Abwärmequellen sowie Wärmenetze und Potenziale der wichtigsten erneuerbaren Energieträger sollten als Grundlage für die Energieraumplanung erfasst und in GIS-Systemen und verortet werden. Auch hierfür wäre eine gemeinsame Methodik sehr sinnvoll.

- **Vergleich und Optimierung von Fördersystemen**

Als Grundlage für die Optimierung könnte ein Vergleich der bisherigen Fördersysteme in den IBK-Regionen angestellt werden. Dabei sollten u.a. die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- Förderkriterien
- Ambitionsniveau
- Dotierung der Förderung
- Art der Förderung (verlorener Zuschuss, zinsgünstiger Kredit...)
- Nachweisführung
- Qualitätssicherung und Monitoring

Letztlich könnte der Vergleich dazu dienen, festzustellen mit welcher Art der Förderung pro Euro oder Franken der größte nachweisbare Reduktionseffekt bei geringstem bürokratischem Aufwand entsteht.

Auf der Ebene der technischen Konzepte und der Analyse der Kosten und Wirtschaftlichkeit verschiedener Konzepte für hochwertige Sanierungen wäre eine Zusammenarbeit ebenfalls vorteilhaft. Diese könnte beispielsweise in Form gemeinsamer Modellvorhaben erfolgen:

- **Modellvorhaben Praxisvergleich realer Verbrauch / Invest-/ Lebenszykluskosten**  
schon für den Neubau sollten auch für Gebäudesanierungen Praxisvergleiche zur energetischen Qualität sowie zu Kosten und Wirtschaftlichkeit verschiedener Konzepte durchgeführt werden. Die zielgruppengerechte Aufbereitung der realen Verbräuche, der Investitions- und der Lebenszykluskosten kann die oft sehr emotional geführte Diskussion um die Sinnhaftigkeit energetischer Sanierungen versachlichen. Derartige Modellvorhaben sollten für die Sanierung der relevantesten Gebäudetypen durchgeführt werden. Dabei sollten für jeden Typ unterschiedliche Konzepte untersucht werden. Dies sollte einerseits durch Planung und Ausschreibung mehrerer Varianten pro Projekt erfolgen (unterschiedliche Dämmstoffdicken, Wärmeversorgungssysteme, Lüftungsstrategien und Solarsysteme...), andererseits auch durch den Quervergleich mehrerer Projekte eines Typs. In einigen Projekten sollte auch die Kombination von Sanierung mit Aufstockung und Erweiterung untersucht werden. Diese Kombination kann die Finanzierbarkeit hochwertiger energetischer Sanierungen deutlich verbessern und reduziert weitere Bodenversiegelung. In weiteren Projekten sollten Konzepte zu Einsparcontracting, flatrate-Mieten etc. untersucht werden (Beispiel stroomversnelling, Niederlande). Gerade für die Durchführung derartiger Modellvorhaben könnte die Zusammenarbeit der Partner aus dem IBK-Gebiet großen Mehrwert stiften, da in allen vier Staaten ein sehr hohes Know-how vorhanden ist, das durch (Bau)projektweise Zusammenarbeit gegenseitig nutzbar gemacht werden könnte.

## 2 Ausgangslage / Problemstellung / Projektziel

Zur Erreichung der internationalen, europäischen, nationalen und regionalen Klimaschutzziele muss das Tempo der Reduktion der Treibhausgase deutlich erhöht werden. Für den Gebäudesektor als einem der maßgeblichen Emittenten bedeutet dies eine vollständige Dekarbonisierung innerhalb sehr kurzer Zeit, was die Abkehr von der Nutzung fossiler Energieträger bei gleichzeitiger starker Reduktion des Endenergiebedarfs bedeutet. Der erforderliche Transformationsprozess von einer derzeit noch stark fossil geprägten Energieversorgung von Gebäuden zu einer rein regenerativen Versorgung erfordert eine langfristige Strategie zur Reduktion des Endenergiebedarfs, zum Umstieg auf erneuerbare Energieträger, zur verstärkten Implementierung gebäudeintegrierter Solarsysteme und – wegen der steigenden Bedeutung wärmepumpenbasierter Systeme – zum Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und zu einer ganzjährig sicheren, rein regenerativen Stromversorgung. Im Leitbild der Internationalen Bodenseekonferenz (kurz IBK), strategischer Schwerpunkt „Einmaliger Natur- und Landschaftsraum“ ist unter Punkt 6 festgehalten, dass die IBK ihr Strategie Klimaschutz und Energie im Sinne des 2015 beschlossenen Pariser Klimaschutzabkommens mit den zentralen Zielen der Treibhausgasminde rung und Klimaanpassung weiterentwickelt.

Während die übergeordnete Zielsetzung in den IBK-Regionen rund um den Bodensee aufgrund der Vorgaben des von allen Anrainerstaaten unterzeichneten Paris-Abkommens gleich ist, ist der Status Quo im Gebäudesektor bezüglich Energieträgermix, Gebäude-Energieeffizienz und Nutzung von Solarsystemen ebenso unterschiedlich wie die verbindliche Zielsetzungen und die rechtliche Verbindlichkeit der energiepolitischen Vorgaben. Auch die bisherigen im Gebäudesektor verfolgten Strategien und Umsetzungsmaßnahmen sind unterschiedlich.

Eine vergleichende Analyse der verbindlichen Ziele für den Gebäudesektor, des Status Quo in Bezug auf wichtige Einflussfaktoren für die Dekarbonisierung, des aktuellen Standes des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen sowie der bisherigen Instrumente und Maßnahmen ist bisher nicht vorhanden.

Ziel dieses Projekts ist es, diese vergleichende Analyse durchzuführen, technische und wirtschaftliche Potentiale aufzuzeigen und soziale sowie volkswirtschaftliche Fragen im Zusammenhang mit dem Transformationsprozess zu untersuchen. Im Projekt sollen auch erste Überlegungen zur Gestaltung von Langfriststrategien zu Sanierung und Dekarbonisierung des Gebäudebestandes angestellt werden.

## 2.1 Internationale, Europäische und Nationale Klimaschutzziele

Spätestens seit Inkrafttreten des Klimaübereinkommens von Paris ist das Thema des Klimaschutzes ein weltweit relevantes politisches Thema.

Sowohl Einzelstaaten als auch Staatenbünde wie die EU haben ihre mittel- und langfristigen Klimaschutzziele in den vergangenen Jahren bereits an die Ziele des Pariser Abkommens angepasst oder sind dabei, dies zu tun. Der aktuelle Stand der Zielsetzungen auf internationaler Ebene, auf der Ebene der EU sowie auf der Ebene der Staaten mit IBK-Mitgliedsregionen ist nachfolgend zusammengefasst. Dabei werden zunächst die Emissionsminderungsziele in Summe aller Sektoren betrachtet. Wegen der hohen Bedeutung des Gebäudesektors werden danach – soweit vorhanden - die Ziele für den Gebäudesektor dargestellt.

### 2.1.1 Klimaziele International

Ziel des 2016 ratifizierten Paris-Abkommen ist es, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf deutlich unter 2 K im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, den Temperaturanstieg auf 1,5 K zu beschränken.

Aus diesem funktionalen Ziel kann ein weltweites Treibhausgasbudget abgeleitet werden, d.h. eine maximale Menge an Treibhausgasen, die ab sofort noch freigesetzt werden dürfen, um das Zwei-Grad-Ziel bzw. das 1,5° Ziel mit gewissen Wahrscheinlichkeiten (z.B. 67%) zu erreichen.

Die folgende Abbildung zeigt das verbleibende CO<sub>2</sub>-Globalbudget sowie den bei Gleichverteilung (gleiche pro-Kopf-Emissionen weltweit) abgeleiteten Anteil Deutschlands aufgrund seines Anteils an der Weltbevölkerung. Das Globalbudget sowie der Anteil Deutschlands werden in Abhängigkeit vom Klimaschutzziel und von der Wahrscheinlichkeit, mit der dieses Ziel erreicht werden kann, angegeben.

Klimaschutz-Ziel Kelvin	Wahrscheinlichkeit Zielerreichung %	CO <sub>2</sub> -Globalbudget Gt		CO <sub>2</sub> -Budget D Gt		CO <sub>2</sub> -Budget A Gt		CO <sub>2</sub> -Budget CH Gt		CO <sub>2</sub> -Budget FL Gt	
		ab 2018	ab 2020	ab 2018	ab 2020	ab 2018	ab 2020	ab 2018	ab 2020	ab 2018	ab 2020
1,5	67	420	340	4,5	3,7	0,5	0,4	0,5	0,4	0,0021	0,0017
1,5	50	580	500	6,3	5,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,0029	0,0025
1,75	67	800	720	8,6	7,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,0040	0,0036
1,75	50	1 040	960	11,2	10,4	1,2	1,1	1,2	1,1	0,0052	0,0048
2	67	1 170	990	12,6	10,7	1,4	1,1	1,3	1,1	0,0059	0,0050
2	50	1 500	1 420	16,2	15,3	1,7	1,6	1,7	1,6	0,0075	0,0071

**Abbildung 10: Herleitung des CO<sub>2</sub>-Globalbudgets aus Klimaschutzziel und Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung; Globalbudgets nach [8], Darstellung in Anlehnung an [9], aktualisiert und erweitert auf A, CH und Li durch Energieinstitut Vorarlberg**

Wie die Abbildung zeigt, hängt das verbleibende CO<sub>2</sub>-Globalbudget stark vom Klimaschutzziel sowie von der Wahrscheinlichkeit ab, mit der dieses Ziel erreicht werden kann.

Soll der globale Temperaturanstieg mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% auf 1,5K gegenüber dem vorindustriellen Wert beschränkt werden, so betrug das verbleibende Globalbudget im

Jahr 2018 etwa 420 Gt. Durch die Emissionen der vergangenen beiden Jahre verringert sich das Globalbudget mit Stand 2020 auf etwa 340 Gt.

Soll der globale Temperaturanstieg mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% auf 2K beschränkt werden, so betrug das Globalbudget mit Stand 2018 etwa 1.170 Gt, bei Wahl des Referenzjahres 2020 nur noch 990 Gt.

Aus dem Globalbudget kann unter Annahme eines Gleichverteilungsansatzes (Aufteilung des verbleibenden Globalbudgets auf ein weltweit gleiches pro-Kopf-Budget), ein verbleibendes Budget jedes Staates oder jeder Region bestimmt werden.

So beträgt etwa das verbleibende Budget Deutschlands (Anteil an Weltbevölkerung ca. 1,08%) mit Stand 2020 bei einem Klimaschutzziel von 1,5K und einer Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung von 67% ca. 3,7 Gt. Die verbleibenden Budgets für Österreich und die Schweiz betragen entsprechend der Anteile an der Weltbevölkerung etwa 1/10 des Wertes von Deutschland. Die Werte des Fürstentums Liechtenstein liegen entsprechend des Bevölkerungsanteils bei etwa 1/20 des Wertes der Schweiz.

Um die Größenordnung dieses Global-Budgets einschätzen zu können, sind in der folgenden Abbildung die historischen energiebedingten Emissionen bis 2018 dargestellt (rote Linie).

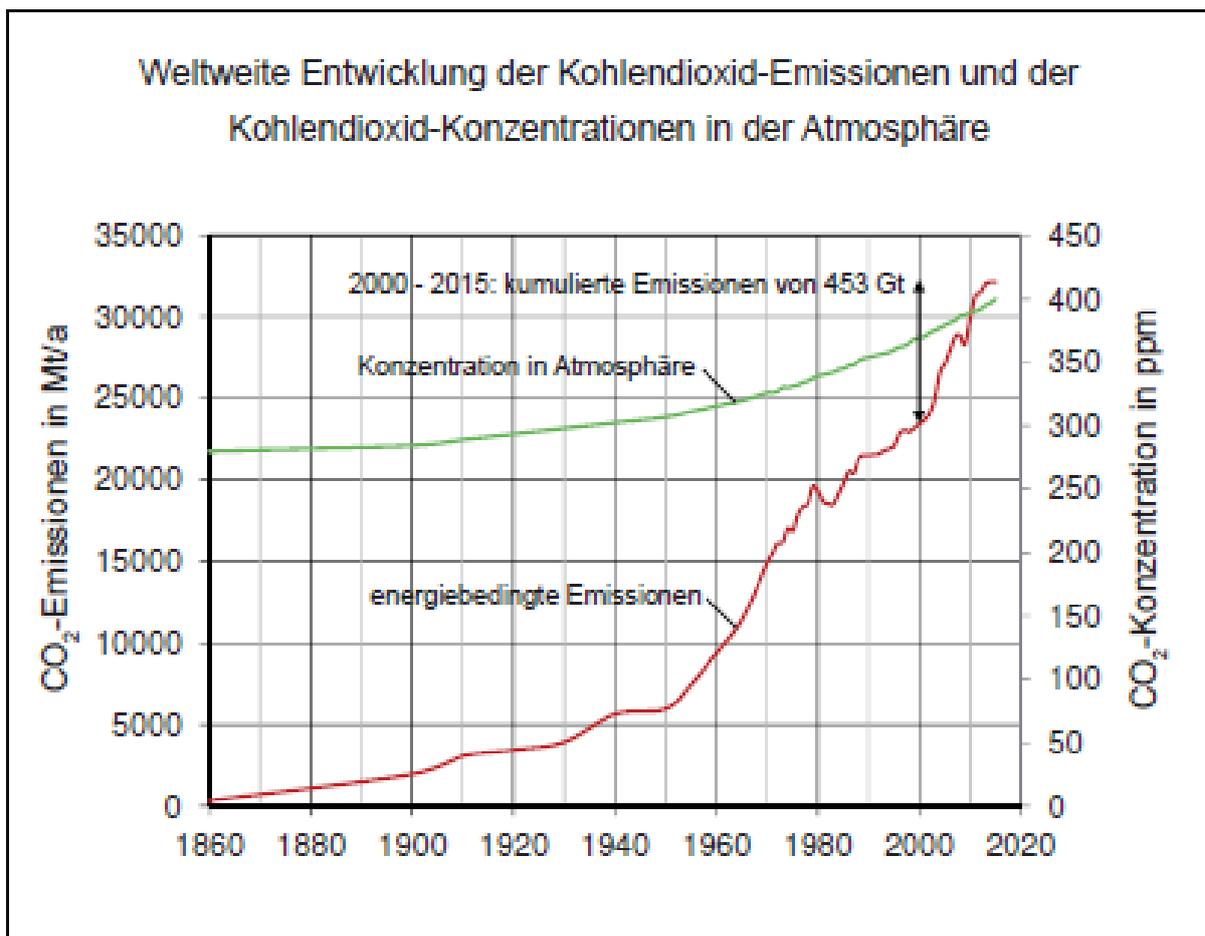


Abbildung 11: Weltweite Entwicklung der Kohlendioxid-Emissionen und der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre [9]

Wie zu erkennen lagen die kumulierten Emissionen der Jahre 2000 bis 2015 mit 453 Gt in etwa dem verbleibenden Globalbudget bei 1,5K Klimaschutzziel und 67% Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung. Das verbleibende Globalbudget für die Begrenzung des mittleren Temperaturanstiegs um 1,5K mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% entspricht also den Emissionen der vergangenen 15 Jahre.

Dieser Vergleich verdeutlicht, wie drastisch und schnell die Emissionen weltweit reduziert werden müssen.

Das verbleibende pro-Kopf- CO<sub>2</sub>-Budget zur Erreichung des 2K Ziels mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% entspricht etwa 130 to/Person.

### **2.1.2 Klimaziele EU**

Die EU hat – wie alle ihre Mitgliedsstaaten – das Paris-Abkommen im November 2016 ratifiziert.

Da das globale verbleibende Treibhausgasbudget wie im vorigen Kapitel dargestellt sehr gering ist, sind die EU und ihre Mitgliedsstaaten dabei, ihre derzeitigen Klimaschutzziele und die zur Erreichung notwendigen Maßnahmen ambitionierter zu fassen. Diese Bemühungen werden im „European green deal“ beschrieben. Als Grundlage für die Gestaltung konkreter Umsetzungsmaßnahmen wird derzeit über eine Neudefinition des EU-Treibhausgas-Reduktionsziels für 2030 von bislang 40% auf 50 bis 55% verhandelt [10]. Der aktuelle Vorschlag der EU-Kommission vom September 2020 sieht vor, das Ziel für 2030 auf eine Reduktion um 55% festzulegen. Der Europäische Rat hat den Vorschlag der Kommission in seiner Sitzung vom 11.12.2020 gebilligt und die gesetzgebenden Organe der EU aufgerufen, das verbindliche Ziel der EU „die Treibhausgasemissionen bis 2030 intern netto um mindestens 55 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren“ in den Vorschlag für das Europäische Klimagesetz aufzunehmen und das Gesetz rasch zu erlassen.

<https://www.consilium.europa.eu/media/47346/1011-12-20-euco-conclusions-de.pdf>

Um das aktuelle, verbindliche Ziel einer Reduktion von 40% zu erreichen, sollen die unter das EU-Emissionshandelssystem fallenden Wirtschaftszweige ihre Emissionen um 43% gegenüber dem Stand von 2005 reduzieren. Das aktuelle EU-weite Reduktionsziel für die nicht unter das Emissionshandelssystem fallenden Sektoren (inkl. dem Gebäudesektor) beträgt - 30%. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden verbindliche Reduktionsziele von 0 bis -40% für alle Mitgliedsstaaten (2030 zu 2005) festgelegt [11]. Diese verbindlichen Zielwerte für die Einzelstaaten werden in einem nächsten Schritt an das neue Ziel einer Reduktion um 55 statt um 40% angepasst werden.

Für den Zeithorizont 2050 hat sich die Europäische Union das Ziel gesetzt, ein nachhaltiges, wettbewerbsfähiges, sicheres und dekarbonisiertes Energiesystem zu erreichen. In ihrer europäischen strategischen, langfristigen Vision beschreibt die Kommission einen Weg, auf dem

es kostenwirksam gelingen kann, durch einen sozial gerechten Übergang bis zum Jahr 2050 Netto-Treibhausgasemissionen von null zu erreichen [12].

Angesichts des etwa 36%-Anteils des Gebäudesektors an den Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen der Union [13] spielt dieser eine wichtige Rolle bei der Umsetzung des Gesamtziels. Als Grundlage zur Festlegung von Maßnahmen benötigen sowohl Mitgliedsstaaten als auch Investoren klare Visionen mit nationalen, sektoralen Zielen und Meilensteinen, an denen die kurzfristigen (2030), mittelfristigen (2040) und langfristigen (2050) Effekte vorab quantifiziert und ex post überprüft werden können. Die Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 (EPBD) sieht daher in Artikel 2a vor:

*„Jeder Mitgliedstaat legt eine langfristige Renovierungsstrategie fest zur Unterstützung der Renovierung des nationalen Bestands sowohl an öffentlichen als auch privaten Wohn- und Nichtwohngebäuden in einem in hohem Maße energieeffizienten und dekarbonisierten Gebäudebestand bis 2050, mit welcher der kosteneffiziente Umbau bestehender Gebäude in Niedrigstenergiegebäude erleichtert wird.“ [13]*

Der Begriff des dekarbonisierten Gebäudebestandes wird in der EPBD [13] nicht definiert, wird aber in der Mitteilung der Kommission vom 20. Juni 2019 wie folgt präzisiert:

*„Der Begriff des „dekarbonisierten“ Gebäudebestands ist in den EU-Rechtsvorschriften nicht definiert, kann jedoch als ein Gebäudebestand betrachtet werden, dessen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null reduziert wurden, indem der Energiebedarf reduziert wurde und sichergestellt wurde, dass der verbleibende Bedarf durch CO<sub>2</sub>-freie Energiequellen gedeckt wird“ [14].*

### **Resumé zu den übergeordneten Zielen auf EU-Ebene:**

- Die EU hat das Paris-Abkommen ratifiziert, in dem eine Begrenzung des Temperaturanstiegs bis 2050 auf 1,5, max. 2K angestrebt wird
- Zur Umsetzung der Paris-Ziele ist die EU dabei, ihre verbindlichen Kurz- und Langfristziele zum Klimaschutz ambitionierter zu fassen
- Im „European green deal“ wird u.a. die Neujustierung des EU-Ziels für die Reduktion der THG-Emissionen bis 2030 von derzeit 40 auf 50 bis 55% gefordert, die EU-Kommission hat im September 2020 einen Wert von 50-55% vorgeschlagen, der Rat am 11.12.2020 den Wert von 55% bestätigt. Zur Umsetzung dieses neuen Zielwerts werden die verbindlichen Zielwerte für die Mitgliedsstaaten in einem nächsten Schritt angepasst werden.
- Angesichts des hohen Anteils des Gebäudesektors an den Treibhausgas-Emissionen der EU von etwa 36% hat die EU in der EPBD und ergänzenden Dokumenten klargestellt, dass das Ziel für das Jahr 2050 für den Gebäudesektor ein dekarbonisierter Gebäudebestand ist, d.h. ein Gebäudebestand mit sehr geringem Energiebedarf, der ohne Treibhausgasemissionen auskommt.

### 2.1.3 Schweiz

#### a) Klimaziel 2050 – Netto-Null Emissionen

Die Schweiz hat sich im Rahmen des Pariser Klimaübereinkommens verpflichtet, bis 2030 ihren Treibhausgasausstoß gegenüber dem Stand von 1990 zu halbieren. Aufgrund der neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse des Weltklimarates hat der Bundesrat am 28. August 2019 entschieden, dieses Ziel zu verschärfen: Ab dem Jahr 2050 soll die Schweiz unter dem Strich keine Treibhausgasemissionen mehr ausstoßen. Damit entspricht die Schweiz dem international vereinbarten Ziel, die globale Klimaerwärmung auf maximal 1,5°C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen. Die Schweiz reiht sich damit in eine Vielzahl von Ländern ein, die Netto-Null-Ziele für 2050 anstreben. Die Schweiz ist vom Klimawandel besonders betroffen, da die Temperaturen hierzulande doppelt so stark steigen wie im weltweiten Durchschnitt. In der Schweiz können die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Bereichen Verkehr, Gebäude und Industrie mit heute bekannten Technologien und dem Einsatz erneuerbarer Energien bis 2050 um bis zu 95 Prozent gesenkt werden. Auch Treibhausgase wie insbesondere durch die Landwirtschaft verursachtes Methan und Lachgas haben Verminderungspotential. Zudem wird auch die Reduktion der Emissionen im Ausland Teil der Strategie sein.

Zum Ausgleich der verbleibenden Emissionen sollen künftig neben den natürlichen CO<sub>2</sub>-Speichern (wie Wälder und Böden) auch Technologien zum Einsatz kommen, die der Atmosphäre Treibhausgase dauerhaft entziehen und diese speichern. Die Schweizer Industrie und Forschung spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung solcher Emissionstechnologien.

#### b) Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes

Mit der Ratifizierung des Klimaübereinkommens von Paris verpflichtete sich die Schweiz, bis zum Jahr 2030 ihre Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 zu halbieren. Das revidierte CO<sub>2</sub>-Gesetz legt die Maßnahmen fest, mit denen die Schweiz ihre eingegangenen Verpflichtungen erfüllen will. National- und Ständerat haben die Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes am 25. September 2020 zu Ende beraten <https://www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2018/247.pdf>. Eckpunkte des CO<sub>2</sub>-Gesetzes sind:

- Inlandanteil: Die Schweiz soll bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 halbieren. Dazu sollen mindestens 75 Prozent der Maßnahmen im Inland erfolgen.
- Gebäude: Für Altbauten soll ab 2023 ein CO<sub>2</sub>-Grenzwert gelten, wenn die Heizung ersetzt werden muss. Hausbesitzer können damit nur noch dann eine neue Ölheizung einbauen, wenn das Haus gut isoliert ist. Der Grenzwert von maximal 20 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr soll in Fünfjahresschritten um jeweils fünf Kilogramm reduziert werden. Kantone, welche ihre Energiegesetzrevisionen beim Inkrafttreten des CO<sub>2</sub>-Gesetzes bereits umgesetzt haben, können die neuen Grenzwerte bis 2026 aufschieben.
- Neuwagen: CO<sub>2</sub>-Zielwerte für den Durchschnitt neuer Fahrzeuge sollen weiter verschärft werden, im Einklang mit der EU. Neu sollen außerdem nicht nur für Autos, Lieferwagen und leichte Sattelschlepper Vorgaben erlassen werden, sondern auch für

schwere Lastwagen. Importeure müssen zahlen, wenn ihre Neuwagenflotte über den Zielvorgaben liegt.

- **Benzinpreis:** Die Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe sollen einen größeren Teil des CO<sub>2</sub>-Ausstosses kompensieren müssen - und mehr davon im Inland. Das schlägt sich auf den Benzin- und Dieselpreis nieder. Das Parlament will den Aufschlag aber begrenzen: Bis 2024 soll die Kompensation den Liter Treibstoff um höchstens 10 Rappen verteuern dürfen, ab 2025 um bis zu 12 Rappen.
- **Brennstoffe:** Der maximale Satz der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffen soll von heute 120 auf bis zu 210 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub> steigen, wenn die Emissionen aus Brennstoffen nicht genügend zurückgehen.
- **Öffentlicher Verkehr:** Um die ökologische Umstellung des konzessionierten Verkehrs voranzutreiben, entfällt die Rückerstattung der Mineralölsteuer ab 2026 für Fahrzeuge im Ortsverkehr und ab 2030 für alle im konzessionierten Verkehr eingesetzten Fahrzeuge. Eine Ausnahme gilt, wenn aus topografischen Gründen keine Busse mit Alternativantrieb fahren können.
- **Flugticketabgabe:** Auf Flugtickets soll eine Abgabe von mindestens 30 und höchstens 120 Franken erhoben werden, je nach Klasse und Reisedistanz. Belohnt werden jene, die wenig oder gar nicht fliegen: Gut die Hälfte der Einnahmen soll an die Bevölkerung zurückerstattet werden, die andere Hälfte fließt in den neuen Klimafonds. Auch auf Flügen mit Privatjets soll eine Abgabe erhoben werden. Dies gilt für Flugzeuge ab einer höchstzulässigen Startmasse von 5.700 Kilogramm. Die Spanne bewegt sich zwischen 500 und 3000 Franken.
- **Unternehmen:** Die CO<sub>2</sub>-Abgabe soll schrittweise erhöht werden. Es sollen sich aber alle Unternehmen davon befreien können.
- **Industrie:** Wenn Betreiber von Industrieanlagen diese neu errichten oder wesentlich ändern wollen, müssen sie dafür sorgen, dass die verursachten Treibhausgasemissionen so weit begrenzt werden, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Ausgenommen sind größere Anlagen, deren Betreiber am Emissionshandelssystem teilnehmen.
- **Klimafonds:** In den Fonds, der bisherige Gefäße ersetzt, sollen ein Drittel des Ertrags aus der CO<sub>2</sub>-Abgabe und knapp die Hälfte aus der Flugticketabgabe fließen.
- **Strafbestimmungen:** Wer vorsätzlich oder aus Fahrlässigkeit die CO<sub>2</sub>-Abgabe hinterzieht, wird mit Buße bis zum Dreifachen des unrechtmäßigen Vorteils bestraft.

In der Schlussabstimmung vom 25. September haben National und Ständerat das revidierte CO<sub>2</sub>-Gesetz gutgeheißen, der Nationalrat mit 129 zu 59 Stimmen bei 8 Enthaltungen und der Ständerat mit 33 zu 5 Stimmen bei 6 Enthaltungen.

Das revidierte CO<sub>2</sub>-Gesetz unterliegt dem fakultativen Referendum. Wenn bis am 14. Januar 2021 mehr als 50'000 Stimmbürgerinnen und Stimmbürger es verlangen, wird das Schweizervolk im Verlauf des Jahres 2021 über die Vorlage abstimmen.

#### **2.1.4 Kantone**

Die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) sind energetische Bauvorschriften und arbeiten grundsätzlich mit Zielvorgaben. Sie sind Empfehlungen zur konkreten Umsetzung im kantonalen Bau- und Energierecht durch die kantonalen Parlamente. Die Mu-

KEEn werden regelmäßig dem Stand der Technik angepasst. Damit wurde erreicht, dass Häuser heute rund 80 Prozent weniger Energie als in den 1970er-Jahren verbrauchen. Die größtmögliche Harmonisierung der kantonalen Energiegesetze vermindert die Bürokratie. Davon profitieren alle: Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer, das Gewerbe und der Kanton.

Ausgehend von der Ausgabe 2008 wurden die MuKEEn weiterentwickelt. Am 9. Januar 2015 hat die Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK) die überarbeiteten Mustervorschriften der Kantone für den Energiebereich (MuKEEn 2014) verabschiedet.

Mit der Ausgabe 2014 der MuKEEn wird angestrebt, dass Neubauten kosteneffizient dem Stand der Technik entsprechend geplant und erstellt werden – und nicht in einigen Jahren aufwändig während der Betriebsphase nachgerüstet werden müssen. Konkret wurden die Anforderungen an die Gebäudehülle weiterentwickelt, so dass im Vergleich zu den MuKEEn 2008 eine zusätzliche Dämmwirkung von rund 15 Prozent erreicht wird. Zudem sollen der Anteil erneuerbarer Energien erhöht und Gebäude zur Stromproduktion beitragen.

Die geforderte Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die umfassende Nutzung der vorhandenen Effizienzpotenziale kann nur erreicht werden, wenn nach und nach auch bestehende Gebäude mit einer fossilen Heizung ihren Beitrag leisten. Konkret erscheint der Ersatz einer defekten Öl- oder Gasheizung ein geeigneter und angemessener Auslöser für Maßnahmen, die entweder die Energieeffizienz oder den Anteil Wärme aus erneuerbaren Quellen erhöhen. Zudem sollen gemäß MuKEEn 2014 zentrale Elektroheizungen und zentrale Elektro-Wassererwärmer (umgangssprachlich Elektroboiler genannt) innerhalb einer Frist von 15 Jahren ersetzt werden.

Mit der Schaffung der MuKEEn 2014 und deren Überführung in kantonales Recht nehmen die Kantone ihre Verantwortung für den Gebäudebereich wahr und belegen ihre Fähigkeit, harmonisierte Vorschriften zu erarbeiten und umzusetzen.

Die Kantone Appenzell Innerrhoden und St.Gallen haben die Überführung der MuKEEn in ihr kantonales Recht abgeschlossen, Appenzell Innerrhoden vollzieht das revidierte Gesetz seit 2020, im Kanton St.Gallen ist der Vollzugsbeginn für 1. Juli 2021 geplant. In den Kantonen Appenzell Ausserrhoden und Zürich befinden sich die Entwürfe der Regierung in der parlamentarischen Beratung.

### **2.1.5 Fürstentum Liechtenstein**

Der Landtag des Fürstentums Liechtenstein hat am 6. November 2020 die von der Regierung im Oktober 2020 verabschiedete Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 mit den 41 Maßnahmen zur Kenntnis genommen und für verbindlich erklärt [15].

In der Einleitung des BuA118/2020 ist folgender informativer Überblick gegeben, weshalb dieser hier wiedergegeben wird:

*Mit der Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 stellt die Regierung ihre kurz-, mittel- und langfristige Planung für die Energieversorgung und -verwendung in Liechtenstein vor. Diese Strategie ist ein wichtiger Baustein für die Umsetzung der Massnahmen im Energiebereich und steht im Einklang mit den Zielen der Klimapolitik der Regierung. Darin ist die Erreichung von Netto-Null-Emissionen im Inland bis ins Jahr 2050 vorgesehen. Die Energiestrategie ist neben dem Mobilitätskonzept 2030 und dem Raumkonzept Liechtenstein 2020 eine der zentralen Entscheidungsgrundlagen für eine nachhaltige und gleichzeitig prosperierende Entwicklung Liechtensteins. Ökonomie und Ökologie sollen Hand in Hand gehen. Dabei wurde für den Zeitraum bis 2030 auf realistische und praktisch umsetzbare Ziele geachtet, welche sich auf dem Zielpfad zur Energievision 2050 und einer Klimavision 2050 mit hohen Anforderungen befinden.*

*Die Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 bauen auf den Erfahrungen der im Jahre 2012 verabschiedeten Energiestrategie 2020 auf. Mit dem Auslaufen der Energiestrategie 2020 steht die Planung der Ziele und Massnahmen für die nächste Dekade bis 2030 an. Der Übergang wird auch für einen weiter reichenden Ausblick genutzt und die Stossrichtung bis 2050 festgelegt. Dies erfolgt in Form der im Dokument integrierten Energievision 2050, die in Abstimmung mit der Klimavision 2050 erarbeitet wurde.*

*Die Energiestrategie 2030 zeigt auf, welche konkreten Ziele bis im Jahr 2030 erreicht werden sollen und wie damit ein wichtiger Zwischenschritt in Richtung Energievision 2050 erreicht wird. Sie setzt den Rahmen für das politische und gesellschaftliche Handeln in Bezug auf Energie, Effizienz und Teilaspekte des Klimawandels der kommenden Jahre und Jahrzehnte.*

*Mit dem vorliegenden Bericht und Antrag wird dem Landtag die Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 zur Kenntnis gebracht. Darüber hinaus wird der Landtag eingeladen, die wesentlichen Stossrichtungen zu bestätigen. Dies unter der Prämisse des dafür erforderlichen politischen Willens zur Orientierung an europäischen (Grüner Deal<sup>5</sup>) oder globalen Zielsetzungen (Nachhaltigkeitsziele der UNO<sup>6</sup> und Klimaübereinkommen von Paris<sup>7</sup>), an welchen sich die Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 sowie die Klimavision 2050 orientieren.*

*Die in der Energiestrategie 2030 definierten Massnahmen wurden den drei Massnahmenbündeln „Gebäude“, „Mobilität/Verkehr“ und „Energieerzeugung und Beschaffung“ zugeordnet.*

---

<sup>5</sup> [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de).

<sup>6</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

<sup>7</sup> Unter dem Klimaübereinkommen von Paris haben erstmals alle Staaten Reduktionsziele formuliert. Gemäss Art. 6 des Abkommens können Emissionsreduktionen zwischen Staaten gehandelt und an die Reduktionsziele angerechnet werden. Die Regeln dazu werden zurzeit international verhandelt. Siehe hierzu BuA-Nr. 2017/29 (Klimaübereinkommen von Paris) : <https://bua.regierung.li/BuA/default.aspx?nr=29&year=2017&erweitert=true>. Oder auch LGBl-Nr. 2017.286 [https://www.gesetze.li/konso/2017286000?search\\_text=Klima%C3%BCbereinkommen%20von%20Paris&search\\_loc=text&lnr=&lgblid\\_von=&observe\\_date=01.10.2020](https://www.gesetze.li/konso/2017286000?search_text=Klima%C3%BCbereinkommen%20von%20Paris&search_loc=text&lnr=&lgblid_von=&observe_date=01.10.2020)

Die Inhalte dieser Massnahmenbündel sind teilweise interdisziplinär sowie Ministerien übergreifend. Für eine erfolgreiche Umsetzung wird eine entsprechende koordinative Abstimmung zwischen den Ministerien und Amtsstellen vorgesehen.

Die Umsetzung der in der Energiestrategie 2030 vorgeschlagenen Massnahmen sollen bis 2030 im Bereich der energiepolitischen Massnahmen die Schwerpunkte bilden. Verschiedene Massnahmen werden bei der Umsetzung entsprechende finanzielle Mittel oder gesetzliche Anpassungen erfordern, weshalb die Regierung dem Landtag mit diesem Bericht und Antrag nicht nur die Möglichkeit gibt, die Energiestrategie 2030 zur Kenntnis zu nehmen, sondern sich auch konkret zur anstehenden Umsetzung zu äussern.

Am 6. November 2020 hat der Landtag weitere wichtige Umsetzungsschritte beschlossen. Diese betreffen die Umsetzung der drei Massnahmenbündel „Gebäude“, „Mobilität/Verkehr“ und „Energieerzeugung und Beschaffung. Nachfolgend zur Übersicht die Ziele der Energievision 2050 & Energiestrategie 2030, einmal ausformuliert und einmal als Grafik mit Zeitachse:

#### Energievision 2050 für Liechtenstein

40 % Reduktion des Energiebedarfs

gegenüber 2008, Fokus auf die Reduktion bei Verschwendung und Verlusten

100 % erneuerbare Energie

davon möglichst viel im Inland produziert

100 % CO<sub>2</sub>-Reduktion

Minus 100 % CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiebereich (internationales 1.5 °C-Ziel)

Abbildung 1 Die drei Teilziele der Energievision 2050

#### Energiestrategie 2030 für Liechtenstein

20 % Reduktion des Energiebedarfs

gegenüber 2008<sup>6</sup>

30 % erneuerbare Energie

17 % im Inland produziert

40 % CO<sub>2</sub>-Reduktion

Minus 30 % CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland gegenüber 1990

Abbildung 2 Die drei Teilziele der Energiestrategie 2030

**Abbildung 12: Die drei Teilziele der Energiestrategie 2030 und der Energievision 2050 [15]**

**Entwicklung und Zielpfad des Anteils erneuerbarer Energien inkl. Fernwärme ab KVA Buchs in MWh gemäss Energiestatistik**

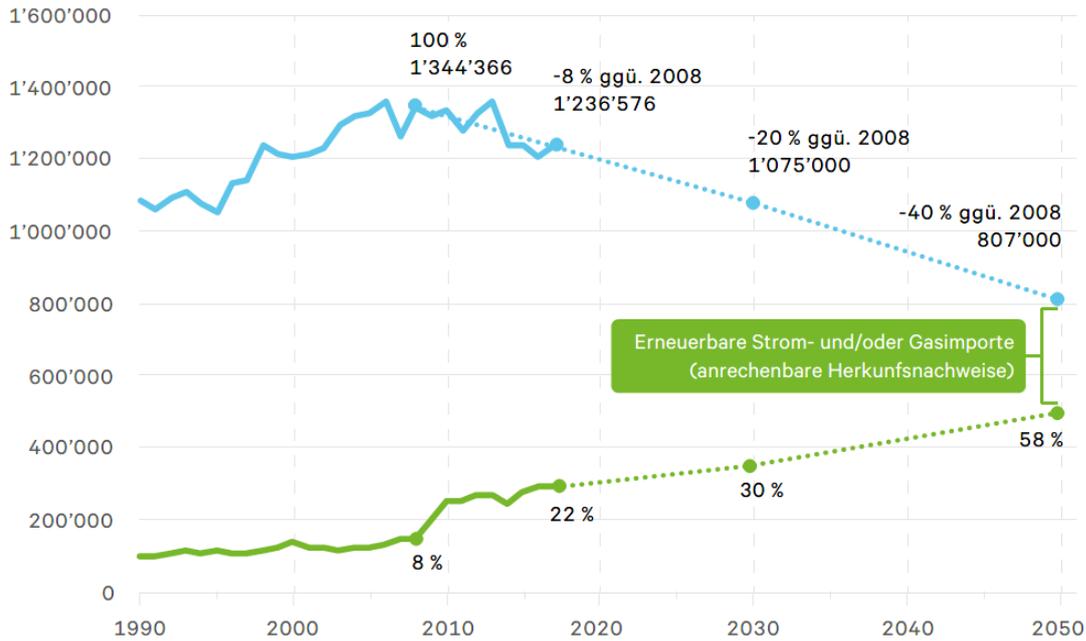


Abbildung 13: Entwicklung des Zielpfades der erneuerbaren Energien [15]

**Entwicklung und Zielpfad der Treibhausgasemissionen in Kilotonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten**

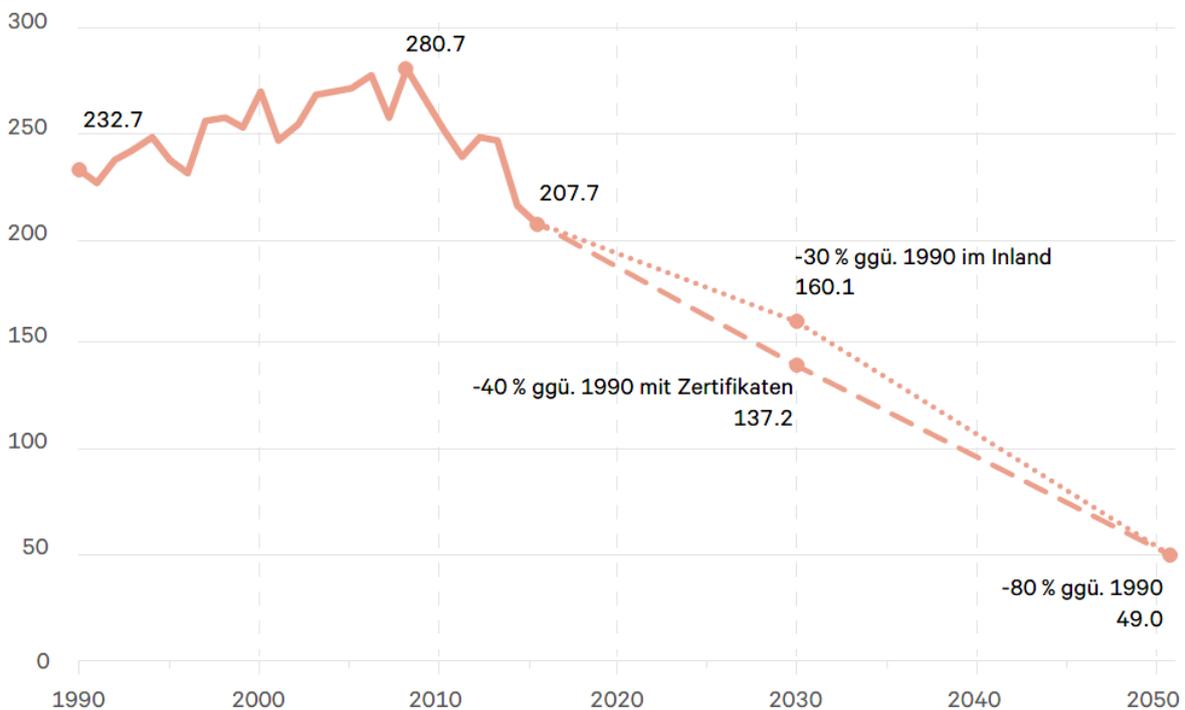


Abbildung 14: Entwicklung und Zielpfad der Treibhausgasemissionen [15]

### 2.1.6 Österreich

Die Ziele der aktuellen Bundesregierung sind im Regierungsprogramm 2020 beschrieben [16]. Die gesetzliche Umsetzung der Ziele und die Anpassung an die ambitionierteren EU-Zielvorgaben – etwa im Klimaschutzgesetz - ist derzeit in Ausarbeitung und soll in großen Teilen im Jahr 2021 erfolgen.

Wichtige Dokumente, die in Umsetzung von EU-Anforderungen verfasst und nach Brüssel gemeldet wurden, sind der Nationale Energie- und Klimaplan NEKP vom Dezember 2019 [17] sowie die Langfristige Renovierungsstrategie LTRS vom April 2020 [18].

#### Ziele und Maßnahmen Regierungsprogramm 2020

- Klimaneutralität Österreichs bis 2040
- Erfüllung der Effort-Sharing-Ziele im Non-ETS-Bereich sichern (derzeit minus 36 %), mit Blick auf die zu erwartende Erhöhung der EU-Ziele
- Klimaschutzgesetz mit verbindlichen Reduktionspfaden bis 2040 und verbindlichen Zwischenzielen bis 2030
- Verbindliche Gesamt- und Sektorziele für alle Sektoren, Pfade, Ressourcen und Maßnahmen-Verantwortlichkeiten
- Weiterentwicklung der Standards in den Bauvorschriften in Zusammenarbeit mit den Bundesländern mit folgenden Zielen
  - Vorbereitung bzw. Planung der nächsten Anpassung der OIB-Richtlinie 6
  - Nullemissionsgebäude Schritt für Schritt zum Standard machen
  - Ausrichtung der Baustandards in den Bauordnungen in Neubau und Sanierung gemäß kostenoptimalem Niveau der Niedrigstenergiestandards
  - Anschluss- bzw. Lademöglichkeiten für batterieelektrische Fahrzeuge sind bei allen Neubauten vorzusehen. In Bestandsgebäuden sind die rechtlichen Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass entsprechende Nachrüstungen leicht erfolgen können.
- Öffentliche Gebäude
  - Neubau im Niedrigstenergiehaus-Standard, PV-Anlage verpflichtend, wo technisch und wirtschaftlich möglich
  - Paradigmenwechsel vom Billigstbieter zum Bestbieter sowie Total Cost of Ownership (TCO)
  - Erarbeitung einer Strategie mit einem konkreten Zeitplan für eine klimaneutrale Verwaltung bis 2040; Kompensation von zunächst überschießenden (über Zielpfad) bzw. verbleibenden Emissionen aufgrund eines Kriterienkatalogs
- Um die Erreichung der Klimaschutzziele Österreichs bis 2040 zu gewährleisten, muss auf die Verbrennung von Heizöl, Kohle und fossilem Gas für die Bereitstellung von Wärme und Kälte weitestgehend verzichtet werden.
  - Forcierung der Nah- und Fernwärme. Fernwärme wird in Räumen mit ausreichender Wärmedichte in der Wärmeversorgung der Zukunft an Bedeutung gewinnen. Sie leistet einen großen Beitrag zur Erreichung des österreichischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziels im Non-ETS-Sektor.
  - Zur Priorisierung der Anwendungsbereiche im Sinne eines größtmöglichen Klimaschutznutzens wird eine Mobilisierungsstrategie Grünes Gas erarbeitet. Klare Rahmenbedingungen und Zeitpläne schaffen Planungssicherheit und vermeiden Lock-in-Effekte. Grünes Gas ist ein hochwertiger Energieträger, der

- quantitativ begrenzt ist und soll daher bevorzugt in Anwendungen eingesetzt werden, in denen die Hochwertigkeit notwendig ist.
- Phase-out für Öl und Kohle in der Raumwärme: Ein Bundesgesetz regelt in einem Stufenplan das Phase-out von Öl und Kohle im Gebäudesektor. Zur Vermeidung sozialer Härtefälle werden alle Maßnahmen durch eine langfristig angelegte, degressiv gestaltete und sozial gestaffelte Förderung flankiert:
    - für den Neubau (ab 2020)
    - bei Heizungswechsel (ab 2021)
    - verpflichtender Austausch von Kesseln älter als 25 Jahre (ab 2025)
    - Austausch von allen Kesseln spätestens im Jahr 2035
  - Analog zum Stufenplan Öl und Kohle in der Raumwärme werden die gesetzlichen Grundlagen zum Ersatz von Gasheizsystemen geschaffen
    - Neubau: ab 2025 keine Gaskessel/Neuanschlüsse mehr zulässig.
    - Kein weiterer Ausbau von Gasnetzen
  - Klare Zieldefinition für die Steigerung des Anteils von erneuerbaren Energien am nationalen Gesamtverbrauch: 100 % (national bilanziell) Strom aus erneuerbaren Energiequellen bis 2030
  - 100 % Strom aus Erneuerbaren bedeutet einen Zubau von rund 27 TWh. Zielsetzung ist, bis 2030 eine Photovoltaik-Erzeugungskapazität von 11 TWh zuzubauen, bei Wind beträgt das Ausbauziel 10 TWh, bei Wasserkraft 5 TWh (wobei eine am ökologischen Potential orientierte Aufteilung zwischen Kleinwasserkraft und Großwasserkraft vorzunehmen ist) und bei Biomasse 1 TWh.
  - Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (speziell im Wohnbau)

### **Ziele und Maßnahmen NEKP 2019**

Der integrierte nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) ist ein neues Planungs- und Monitoringinstrument der EU und ihrer Mitgliedsstaaten. Er soll zu einer verbesserten Koordination der EU-Energie- und Klimapolitik beitragen und ist das zentrale Instrument, um die EU-2030-Ziele für Klimaschutz, erneuerbare Energien und Energieeffizienz umzusetzen.

Grundlage für Einführung des NEKP ist die Verordnung (EU) 2018/1999 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz [19]. Sie sieht vor, dass jeder EU-Mitgliedsstaat für den Zeitraum 2021 bis 2030 einen integrierten nationalen Energie- und Klimaplan erstellen muss.

Der Inhalt der Verordnung wird in Art. 1 wie folgt beschrieben:

*„Mit dieser Verordnung wird ein Governance-Mechanismus eingerichtet a) zur Umsetzung von Politiken und Maßnahmen, um die Ziele und Vorgaben der Energieunion und — im ersten Zehnjahreszeitraum 2021–2030 — insbesondere die energie- und klimapolitischen Vorgaben der Union für 2030 zu erreichen und die langfristigen Verpflichtungen der Union im Bereich Treibhausgasemissionen im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris zu erfüllen“*

Der erste NEKP bezieht sich auf den Zeitraum von 2021 bis 2030 und war gemäß Verordnung (EU) 2018/1999 bis Jahresende 2019 an die EU zu übermitteln, Österreich reichte seinen NEKP fristgerecht ein.

Die Inhalte des NEKP sind in der Verordnung detailliert beschrieben, u.a. ist gemäß Art. 4 (a)

„das verbindliche nationale Ziel des Mitgliedstaats für die Treibhausgasemissionen und die verbindlich festgelegten jährlichen nationalen Obergrenzen gemäß der Verordnung (EU) 2018/842“

darzustellen, ebenso ist zu beschreiben, wie der Mitgliedsstaat zur Erreichung des verbindlichen EU Ziels einer Erhöhung der Anteile der Energie aus erneuerbaren Quellen auf 32% beitragen wird. Zu beschreiben ist auch der indikative Energieeffizienzbeitrag zur Erreichung des EU-Effizienzziels von 32,5% bis 2030.

Der NEKP ist damit das zentrale Instrument zur Umsetzung der verbindlichen EU-Ziele im Bereich des Klimaschutzes.

Im Österreichischen NEKP vom Dezember 2019 werden für das Jahr 2030 u.a. die folgenden Ziele mit Relevanz für den Gebäudesektor definiert:

- Reduktion der THG-Emissionen (non-ETS) um 36% gegenüber 2005
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch auf 46 bis 50% (Vergleichswert 2016: 33,5%)
- Deckung des Stromverbrauchs zu 100% aus Erneuerbaren (National/bilanziell)
- Verbesserung der Primärenergieintensität um 25-30% gegenüber 2015
- Reduktion der THG-Emissionen des Gebäudesektors um 3 Mio. to CO<sub>2eq</sub>

*Tabelle 5: Treibhausgas-Emissionen 2005 sowie 2010–2017 in der Einteilung der KSG-Sektoren für die Periode 2013–2020 ohne EH und Zielwerte für 2017 und 2020 nach KSG (in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent; Werte gerundet) (Quellen: UMWELTBUNDESAMT 2019a, KSG 2015).*

Sektor	Inventur										Zielwert	
	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017	2020	
Energie und Industrie (Nicht-EH)	6,32	6,59	6,46	6,62	6,52	6,07	6,01	5,96	6,40	6,7	6,5	
Verkehr (ohne CO <sub>2</sub> Luftverkehr)*	24,56	22,09	21,33	21,27	22,30	21,70	22,09	22,97	23,64	22,0	21,7	
Gebäude	12,48	10,09	8,77	8,45	8,62	7,51	8,08	8,20	8,35	8,8	7,9	
Landwirtschaft	8,16	8,07	8,18	8,04	8,03	8,24	8,17	8,36	8,24	7,9	7,9	
Abfallwirtschaft	3,39	3,25	3,24	3,23	3,09	3,03	3,01	2,98	2,86	2,9	2,7	
Fluorierte Gase (ohne NF <sub>3</sub> )*	1,81	1,90	1,79	1,85	1,87	1,95	1,97	2,08	2,17	2,1	2,1	
<b>Gesamt ohne EH*gemäß KSG</b>	<b>56,72</b>	<b>52,00</b>	<b>49,78</b>	<b>49,45</b>	<b>50,43</b>	<b>48,51</b>	<b>49,34</b>	<b>50,54</b>	<b>51,65</b>	<b>50,4</b>	<b>48,8</b>	
<b>Zielwert gem. Beschluss Nr. 2017/1471/EU</b>											<b>47,8</b>	
<b>nationale Gesamtmenge</b>	<b>92,57</b>	<b>84,75</b>	<b>82,46</b>	<b>79,81</b>	<b>80,35</b>	<b>76,68</b>	<b>78,90</b>	<b>79,60</b>	<b>82,26</b>			

\* Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des nationalen Luftverkehrs und die NF<sub>3</sub>-Emissionen sind unter ESD bzw. KSG nicht umfasst. Deshalb werden sie in den Zielvergleichen vom Sektor Verkehr bzw. dem Sektor F-Gase abgezogen. In den Kapiteln 3.2 bzw. 3.6 werden jedoch zwecks Vollständigkeit alle Quellen dargestellt (entsprechend Berichtswesen unter UNFCCC KP). Deshalb kann es zu geringfügigen Abweichungen der Summen kommen.

**Abbildung 15: THG-Emissionen Österreichs 2005 sowie 2010 bis 2017 in der Einteilung der KSG-Sektoren, ohne Emissionshandel [20]**

Wie die Abbildung aus dem Klimaschutzbericht 2019 des UBA zeigt [20], war der Gebäudesektor bis zum Jahr 2014 auf einem guten Weg, das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel für 2020 zu erreichen: die jährlichen Emissionen konnten von 12,48 Mio. to. CO<sub>2eq</sub>/a auf 7,51 Mio. to. CO<sub>2eq</sub>/a im Jahr 2014 reduziert werden. Seitdem stiegen die Emissionen wieder an, lagen aber im Jahr 2017 mit 8,35 Mio. to. CO<sub>2eq</sub>/a noch unter dem Zielwert von 8,8 Mio. to. CO<sub>2eq</sub>/a für das Jahr 2017. Das im NEKP genannte Reduktionsziel für das Jahr 2030 entspricht einer Emission des Gebäudesektors von ca. 5,3 Mio. to. CO<sub>2eq</sub>/a. Im Vergleich zum Ausgangswert von 2005 bedeutet dies eine Reduktion der Emissionen um etwa 60%.

Sollte die EU - wie es sich derzeit abzeichnet, Ihre TG-Reduktionsziele bis 2030 verschärfen, so müsste der NEKP überarbeitet werden, um die auch für Österreich zu erwartenden ambitionierteren Zielwerten erreichen zu können.

### **Ziele und Maßnahmen Langfristige Renovierungsstrategie LTRS**

Die langfristige Renovierungsstrategie LTRS [18] ist ein Dokument, das jeder Mitgliedsstaat gemäß Europäischer Gebäuderichtlinie EPBD von 2018 [13] erstmals 2020, danach alle drei Jahre zu erstellen hat.

Ziel und Inhalt der LTRS werden in Verordnung (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 (EPBD) unter Artikel 2a wie folgt beschrieben:

*„Jeder Mitgliedstaat legt eine langfristige Renovierungsstrategie fest zur Unterstützung der Renovierung des nationalen Bestands sowohl an öffentlichen als auch privaten Wohn- und Nichtwohngebäuden in einem in hohem Maße energieeffizienten und dekarbonisierten Gebäudebestand bis 2050, mit welcher der kosteneffiziente Umbau bestehender Gebäude in Niedrigstenergiegebäude erleichtert wird.“ [13]*

Der Begriff des dekarbonisierten Gebäudebestandes wird in der EPBD [13] nicht definiert, wird aber in der Empfehlung der Kommission 2019/786 vom 20. Juni 2019 [14] wie folgt präzisiert:

*„Der Begriff des „dekarbonisierten“ Gebäudebestands ist in den EU-Rechtsvorschriften nicht definiert, kann jedoch als ein Gebäudebestand betrachtet werden, dessen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null reduziert wurden, indem der Energiebedarf reduziert wurde und sichergestellt wurde, dass der verbleibende Bedarf durch CO<sub>2</sub>-freie Energiequellen gedeckt wird“ [14].*

Die Präzisierung des Begriffs des dekarbonisierten Gebäudebestandes in der Empfehlung der Kommission [14] wurde bei der Erstellung der Langfristigen Renovierungsstrategie Österreichs vom April 2020 nicht berücksichtigt, obwohl die Empfehlung im Juni 2019 veröffentlicht wurde. Statt Szenarien für eine vollständige Dekarbonisierung des Gebäudesektors bis 2050 werden in der LTRS 5 Szenarien untersucht, in denen eine Reduktion von 80% angestrebt wird. Tatsächlich erreicht werden in den 5 Szenarien noch niedrigere Reduktionen von etwa 65 bis 80% bis 2050.

Die Zielsetzung der Österreichischen LTRS beruht möglicherweise auf einem Missverständnis der Beschreibung der Zielsetzung für die langfristigen Renovierungsstrategien in der EPBD, Art. 2a, Punkt 2 [13]. Dieser lautet:

*„In seiner langfristigen Renovierungsstrategie erstellt jeder Mitgliedstaat einen Fahrplan mit Maßnahmen und innerstaatlich festgelegten messbaren Fortschrittsindikatoren im Hinblick darauf, das langfristige Ziel einer Verringerung der Treibhausgasemissionen in der Union bis 2050 um 80-95 % im Vergleich zu 1990 zu erreichen, für einen in hohem Maße energieeffizienten und dekarbonisierten nationalen Gebäudebestand zu sorgen und den kosteneffizienten Umbau bestehender Gebäude in Niedrigstenergiegebäude zu erleichtern. Der Fahrplan enthält indikative Meilensteine für 2030, 2040 und 2050 sowie eine Beschreibung, wie diese zum Erreichen der Energieeffizienzziele der Union gemäß der Richtlinie 2012/27/EU beitragen.“*

Die Autoren der Österreichischen LTRS interpretieren diesen Passus möglicherweise so, dass gefordert wird, einen Fahrplan mit Maßnahmen und Fortschrittsindikatoren aufzustellen, der auf die Verringerung der THG-Emissionen des Gebäudesektors um 80% bis 2050 abzielt. Tatsächlich wird im o.g. Passus ein Bereich von 80-95% Reduktion genannt.

Außerdem bezieht sich dieses Ziel – die Reduktion der THG-Emissionen in der Union um 80-95% - auf die Gesamtemissionen der EU und nicht auf den Gebäudesektor.

Für diesen wird der im oben aufgeführten Zitat geforderte dekarbonisierte Gebäudebestand als Gebäudebestand beschrieben, dessen THG-Emissionen im Jahr 2050 bei Null liegen [14]. Wegen dieser Missinterpretation der Vorgaben der EPBD für die Langfristige Renovierungsstrategie wird auf eine weitergehende Analyse verzichtet, zumal das Dokument zur LTRS detailliertere Studien zur Entwicklung der THG-Emissionen Österreichs – etwa der TU Wien oder des Umweltbundesamtes nicht berücksichtigt. Eine Bewertung der Österreichischen Langfristige Renovierungsstrategie findet sich in einem Vergleichsstudie der Strategien von 14 EU-Staaten [21].

### **Resumé zu den übergeordneten Zielen auf Ebene Österreich**

Die wichtigsten im NEKP von 2019 sowie im Regierungsprogramm von 2020 verankerten Ziele für den Gebäudesektor auf Ebene Österreich sind:

- Klimaneutralität Österreichs bis 2040
- Erfüllung der Effort-Sharing-Ziele im Non-ETS-Bereich sichern (Vorgabe für Österreich derzeit minus 36 %), mit Blick auf die zu erwartende Erhöhung der EU-Ziele ist ein deutlich ambitionierter Wert für Österreich zu erwarten.
- Weiterentwicklung der Standards in den Bauvorschriften in Zusammenarbeit mit den Bundesländern, u.a. zur schrittweisen Einführung eines Standards Nullemissionsgebäude und zur Verpflichtung zu Anschluss- und Lademöglichkeiten für batterieelektrische Fahrzeuge zumindest in allen Neubauten.
- Phase-out für Öl- und später für Gasheizungen
- 100 % (national bilanziell) Strom aus erneuerbaren Energiequellen bis 2030 mit klaren Zielwerten für den Ausbau der einzelnen erneuerbaren Energieträger
- Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (speziell im Wohnbau)
- Verbesserung der Primärenergieintensität um 25-30% gegenüber 2015
- Reduktion der THG-Emissionen des Gebäudesektors um 3 Mio. to CO<sub>2eq</sub>/a. Dies ist gleichbedeutend mit einer Reduktion der THG-Emissionen des Gebäudesektors um etwas mehr als 60% (2030 zu 2005)

### 2.1.7 Deutschland

Deutschlands Langfristziel ist laut Klimaschutzgesetz von 2019 die Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 [22]. Als Zwischenziel für 2030 sollen die Treibhausgasemissionen in Summe aller Sektoren nach §3 Klimaschutzgesetz um mindestens 55% gegenüber dem Referenzwert von 1990 reduziert werden.

Im Klimaschutzgesetz wird nicht nur dieses Gesamtziel festgeschrieben, darüberhinaus werden auch die zulässigen Jahresemissionen der Sektoren quantifiziert.

Zulässige Jahresemissionsmengen

Jahresemissionsmenge in Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> -Äquivalent	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energiewirtschaft	280		257								175
Industrie	186	182	177	172	168	163	158	154	149	145	140
Gebäude	118	113	108	103	99	94	89	84	80	75	70
Verkehr	150	145	139	134	128	123	117	112	106	101	95
Landwirtschaft	70	68	67	66	65	64	63	61	60	59	58
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	9	8	8	7	7	7	6	6	5	5

**Abbildung 16: Zulässige Jahresemissionsmengen der Sektoren von 2020 bis 2030 gemäß Anhang 2, Bundesklimaschutzgesetz [22]**

Für den Gebäudebereich ist eine Reduktion von 118 Mio Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent im Jahr 2020 auf 70 Mio to im Jahr 2030 als Ziel festgelegt. Dies entspricht einer Reduktion um 40,6% innerhalb von 10 Jahren. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass der Energiebedarf, der durch stromgeführte Systeme (Wärmepumpen) und Fernwärme gedeckt wird, nicht im Sektor Gebäude, sondern im Sektor Energiewirtschaft rubriziert wird. Für diesen Sektor ist eine Reduktion der Emissionen um 37,5% von 280 auf 175 Mio to CO<sub>2</sub>-Äquivalent festgelegt.

Als ein Instrument zur Reduktion der Emissionen des Gebäudesektors wird die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energieträgern für Wärme und Kälte beschrieben. Der Anteil am Endenergieverbrauch soll von 18% im Jahr 2020 auf 30% im Jahr 2030 gesteigert werden. Für den erneuerbaren Anteil im Wärmemarkt gibt es kein Ziel für 2030.

Als erstes Umsetzungsinstrument wurde im August 2020 das Kohleausstiegsgesetz verabschiedet, in dem der Pfad zur Reduktion und Beendigung der Stromerzeugung in Kohlekraftwerken bis spätestens 2038 festgelegt ist [23]. Als weitere Umsetzungsmaßnahme wurde im Brennstoffemissionshandelsgesetz die Einführung einer progressiven CO<sub>2</sub>-Bepreisung ab 2021 festgelegt, die in den ersten Jahren einen festgelegten Mindestpreis aufweist [24]. Zum Ausgleich der aufgrund des CO<sub>2</sub>-Preises steigenden Energiekosten wurde eine Erhöhung des Wohngeldes und eine Absenkung der EEG-Umlage beschlossen [25]. Betroffen sind etwa 665.000 Haushalte, es wird mit Kompensationskosten von 120 Mio EUR/a gerechnet.

Während Ziele und einige seit 2019 beschlossene Umsetzungsmaßnahmen dem von der EU für 2030 avisierten Ziel einer Reduktion von mindestens 55% (aktueller Vorschlag der

Kommission sowie des Rates vom 11.12.2020) grob angepasst wurden, werden weitergehende Ziele etwa des Europaparlaments derzeit regierungsseitig abgelehnt. Deutschland ist damit weniger ambitioniert als Staaten wie Dänemark und Großbritannien, die Reduktionsziele von 70 bzw. 68% bis 2030 gesetzlich festgelegt haben.

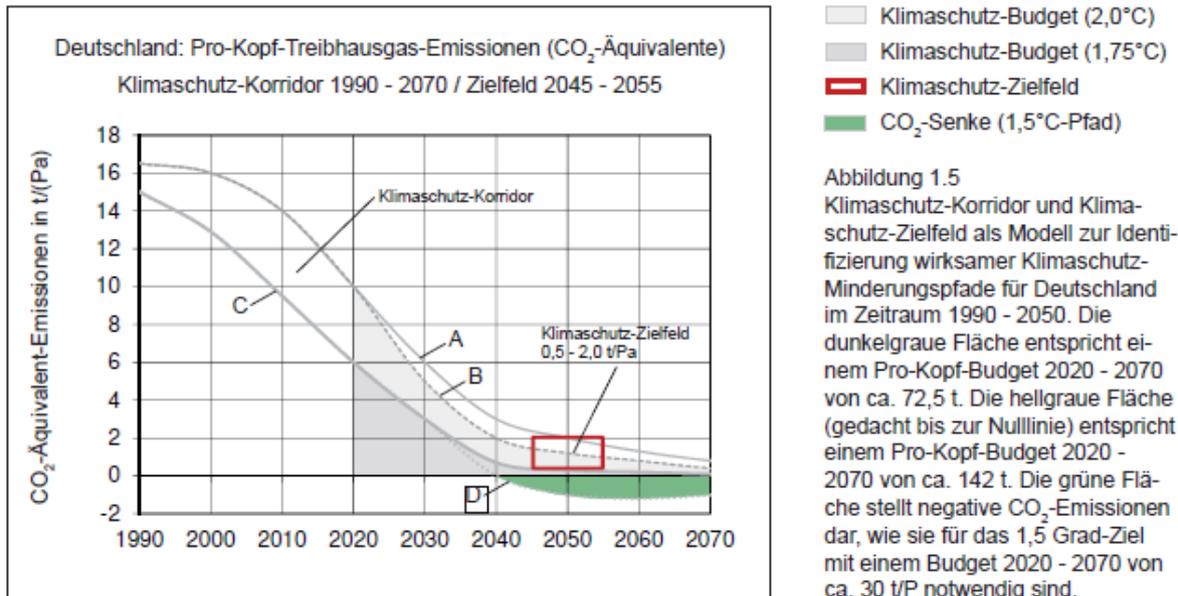
Als nationales **Effizienzziel** ist in der Effizienzstrategie 2050 eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 30% (2030 im Vergleich zu 2008) festgelegt [26]. Dies bedeutet eine erhebliche Beschleunigung des Reduktionstempos von etwa 0,6% p.a. (2017 zu 2008) auf 2,0% p.a. von 2030 zu 2017.

Eine ordnungspolitische Umsetzung der Zielsetzung für den Gebäudebereich ist in Deutschland derzeit nicht erkennbar, das Ambitionsniveau des Gebäude-Energiegesetzes [27] bleibt weit hinter den Erfordernissen der im Klimaschutzgesetz genannten Ziele zurück. Die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes wurden – wie im aktuellen Regierungsprogramm beschrieben – gegenüber dem Niveau der Vorgängerrregelungen (z.B. EnEV) nicht verschärft, in manchen Fällen sogar leicht gesenkt. Die Diskussion um einen Ausstieg aus der Nutzung von Gas zur Gebäudebeheizung wird bislang kaum geführt. Statt ambitionierter ordnungspolitischer Mindestanforderungen setzt Deutschland auf relativ hohe Förderungen – etwa für effiziente Sanierungen oder den Umstieg auf erneuerbare Energieträger und informatorische Instrumente.

## **2.2 Ableitung von Klimaschutzzielen für den Gebäudesektor**

Wie in Kapitel 2.1.1 dargestellt, liegt das verbleibende pro-Kopf- CO<sub>2</sub>-Budget zur Erreichung des 2K Ziels mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% bei etwa 130 to/Person.

R. Vallentin leitet aus diesem Wert einen Klimaschutzkorridor und ein Klimaschutz-Zielfeld zur Identifikation wirksamer Klimaschutz-Minderungspfade am Beispiel Deutschlands ab [9]. In der Abbildung wird der zeitliche Verlauf der Absenkungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt, die für verschiedene Klimaschutzziele notwendig sind.

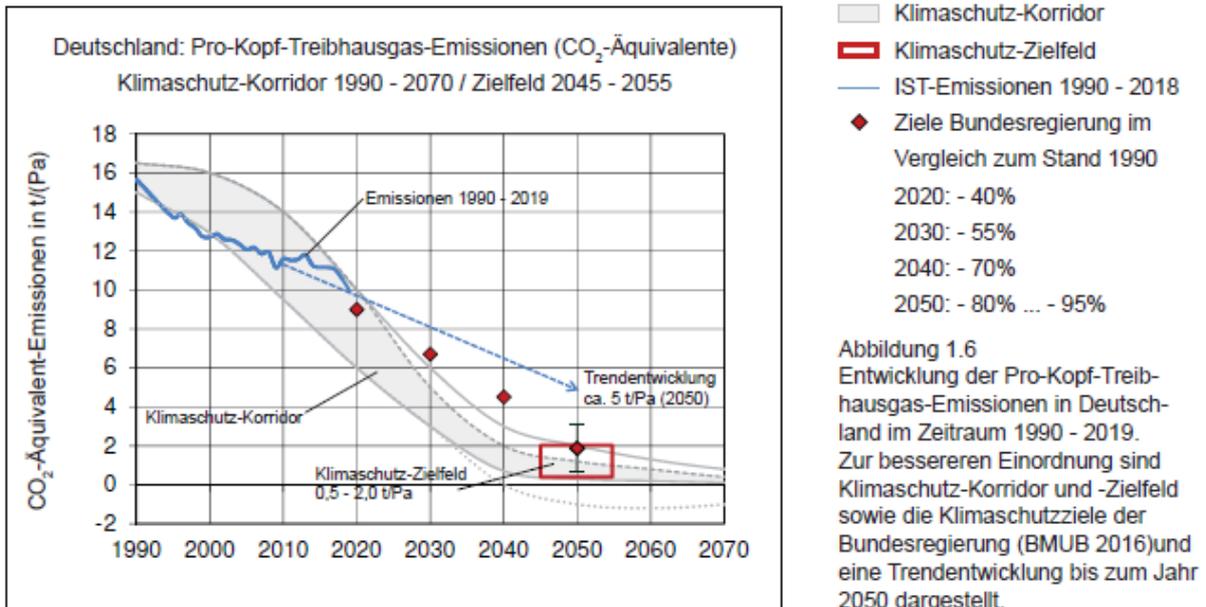


**Abbildung 17: Klimaschutz-Korridor und Klimaschutz-Zielfeld 2045 bis 2055 für Deutschland – Emissionen in Summe aller Sektoren [9]**

Die Linienzüge A, B und C beschreiben Absenkpfade, die die Einhaltung des 2°C-Ziels mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% (A), bzw. mit 67% Wahrscheinlichkeit (B) sowie die Erreichung des 1,75°C-Ziels mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% beschreiben. Linienzug D beschreibt einen Pfad, der zur Erreichung des 1,5°C-Ziels zusätzlich ab 2040 Kohlenstoff-Senken berücksichtigt. Die dunkelgraue Fläche entspricht einem pro-Kopf-Budget von etwa 140 t/Person für die Jahre von 2020 bis 2070. Die hellgraue Fläche (inkl. dunkelgrauer Fläche) entspricht einer pro-Kopf-Emission, die zur Erreichung des 2°C-Ziels mit 67% Wahrscheinlichkeit führt. Die dunkelgraue Fläche entspricht einem etwa halb so hohen pro-Kopf-Wert, wie er zur Erreichung eines Ziels von 1,75°C mit 67% Wahrscheinlichkeit führt.

Das rot dargestellte Zielfeld beschreibt den Bereich der pro-Kopf-Emissionen von 0,5 bis max. 2 t/Person, die im Jahr 2045 bis 2055 erreicht werden müssen.

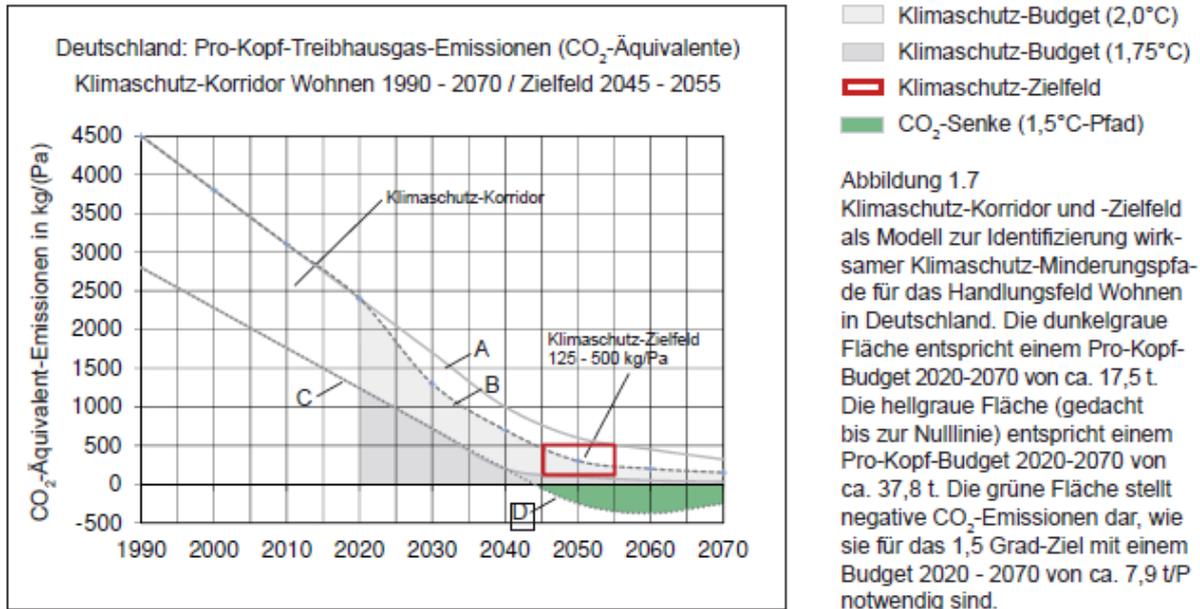
In der folgenden Abbildung ist in die gleiche Darstellung die Entwicklung der pro-Kopf-Emissionen Deutschlands dargestellt.



**Abbildung 18: Entwicklung der pro-Kopf Treibhausgas-Emissionen [9]**

Wie zu erkennen, konnten die pro-Kopf-Emissionen – auch wegen des Sondereffekts der Stilllegung energieintensiver Industriebetriebe in Ostdeutschland nach der Wiedervereinigung - seit 1990 deutlich reduziert werden, das Reduktionstempo ist jedoch besonders während der letzten 15 Jahre deutlich zu gering. Der Klimaschutzkorridor wird nicht mehr eingehalten, bei einer Fortsetzung der Entwicklung lägen die pro-Kopf-Emissionen im Jahr 2050 noch immer bei 5 t/Person und damit um ein Mehrfaches über dem Klimaschutz-Zielfeld. Wie die Abbildung ebenfalls zeigt, liegen auch die Zielvorgaben der dt. Bundesregierung (rote Rauten) für die Jahre 2030 und 2040 deutlich über dem Zielkorridor und im Jahr 2050 am obersten Rand des Korridors bzw. des Zielfeldes. Nur eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 90% im Vergleich zum Ausgangswert von 1990 stünde in Übereinstimmung mit dem (unteren) Ziel des Paris-Abkommens. Die Abbildung verdeutlicht damit, dass selbst die gerade aktualisierten Klimaschutzziele Deutschlands den Paris-Zielpfad nicht ganz erreichen.

Analog zu den Pfaden zur Absenkung der Emissionen in Summe aller Sektoren beschreibt R. Vallentin auch Absenkpfade für die Emissionen des Sektors der Haushalte (in Summe aller Energieanwendungen, d.h. inkl. Haushaltsstrom). Zur Bestimmung dieser Pfade geht er davon aus, dass der Anteil des Sektors der Haushalte wie aktuell etwa ¼ der Gesamtemissionen beträgt. Abbildung 19 zeigt die so bestimmten Absenkpfade sowie das Zielfeld für den Sektor der Haushalte.

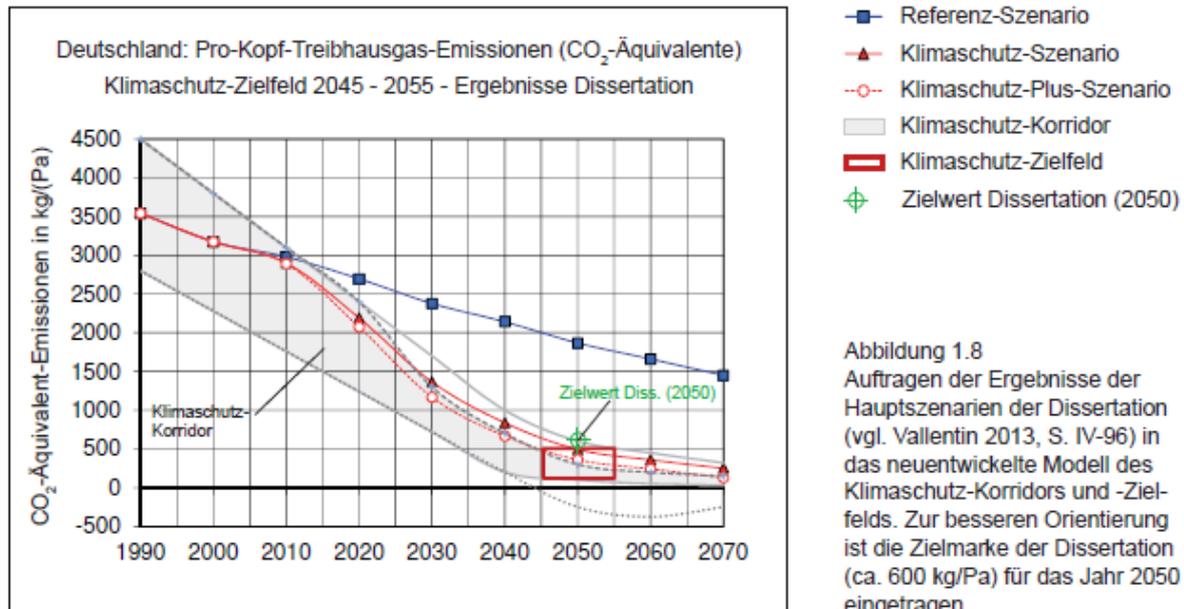


**Abbildung 19: Klimaschutz-Korridor und Klimaschutz-Zielfeld 2045 bis 2055 für Deutschland – Emissionen des Sektors Haushalte [9]**

Wie zu erkennen, müssen die derzeitigen pro-Kopf-Emissionen der Haushalte stark reduziert werden, um im Klimakorridor das Klimaschutz-Zielfeld für die Jahre 2045 bis 2055 zu erreichen. In diesen Jahren müssen die pro-Kopf-Emissionen der Haushalte auf etwa 125 bis 500 kg/Pa verringert werden.

Die Emissionen des Sektors Haushalte sind in den Berechnungen nicht wie in den internationalen Bilanzierungsverfahren nach Quellen, sondern nach Verbrauchern, d.h. verursachergerecht bilanziert. Der in Gebäuden verbrauchte Strom und die Fern/Nahwärme werden bei der Ermittlung der Emissionen des Sektors Haushalte mitbilanziert und nicht wie bei der Bilanzierung nach Quellen im Sektor der Energieerzeugung rubriziert (siehe Kapitel 5.1.11).

In der folgenden Abbildung sind zusätzlich verschiedene Szenarien dargestellt, die unterschiedliche energiepolitische Ambitionsniveaus für den Sektor der Haushalte beschreiben.



**Abbildung 20: Klimaschutz-Korridor und Klimaschutz-Zielfeld 2045 bis 2055 für Deutschland – Emissionen des Sektors Haushalte sowie Szenarien zur Beschreibung unterschiedlicher energiepolitischer Ambitionsniveaus [9]**

Die dargestellten Szenarien beziehen sich auf eine ältere Studie des Autors [28]. Das Szenario Referenz beschreibt ein wenig ambitioniertes energiepolitisches Ambitionsniveau, das in etwa die das bisherige Tempo der Emissionsreduktion des Sektors der Haushalte beschreibt. Auf diesem Pfad wird das Klimaschutz-Zielfeld drastisch verfehlt.

Das Klimaschutzszenario beschreibt die schnelle Umsetzung hoher energetischer Qualitäten (nahe Passivhaus bzw. Sanierung mit Passivhausvarianten) für jenen Teil des Gebäudeparks, der ohne Einschränkungen sanierbar ist. Die Sanierungsrate wird nach den technischen Lebensdauern der Bauteile der Gebäudehülle bestimmt, das Tempo der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und des Stromversorgungssystems gegenüber dem bisherigen Tempo deutlich erhöht.

Auch in diesem Szenario wird das Zielfeld, wenn auch deutlich knapper verfehlt.

Erst im Szenario Klimaschutz-Plus, in dem zunächst die gleichen Maßnahmen und Qualitäten angenommen werden, später jedoch weitere Effizienzverbesserungen entsprechend dem zu erwartenden technischen Fortschritt, wird das Klimaschutz-Zielfeld erreicht.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch gemeinsame Studien des Energieinstitut Vorarlberg mit R. Vallentin für den Wohngebäudepark Vorarlberg [6] und Luxemburg [29]. In einer weiteren Studie des Energieinstitut Vorarlberg konnte aufgezeigt werden, dass ähnliche Ergebnisse auch bei Betrachtung des Gesamt-Gebäudeparks (inkl. der Nicht-Wohngebäude) auftreten [30]

## **Resumé**

Das Klimaschutzziel für den Sektor der Haushalte (Sektor Wohnen, analog auch für den gesamten Gebäudesektor inkl. Nicht-Wohngebäuden) kann und sollte aus dem zur Erreichung der Paris-Zielwerte verbleibenden CO<sub>2</sub>-Globalbudget bestimmt werden.

Für den Gebäudesektor ergeben sich dabei drastisch ambitioniertere Ziele als bei einer Fortführung der bisherigen Trends der sektoralen Emissionen.

Wie in den Studien für Deutschland, Vorarlberg und Luxemburg gezeigt, können die notwendigen Emissionen jedoch mit vorhandenen Technologien und Konzepten und größtenteils kostenoptimal (=betriebswirtschaftlich sinnvoll in Betrachtungszeiträumen von etwa 30 Jahren) erreicht werden. Die notwendigen energetischen Qualitäten entsprechen in etwa dem Niveau Passivhaus/Minergie P bzw. angepassten Standards für Sanierungen (z.B. Standard enerphit). Die Sanierungsraten müssen zur Erreichung der Klimaschutzziele so angepasst werden, dass sie sich an den technischen Lebensdauern der Elemente der Gebäudehülle orientieren. Dies entspricht mittleren Sanierungsraten für die Gebäudehülle von etwa 1,6 bis 2% p.a.

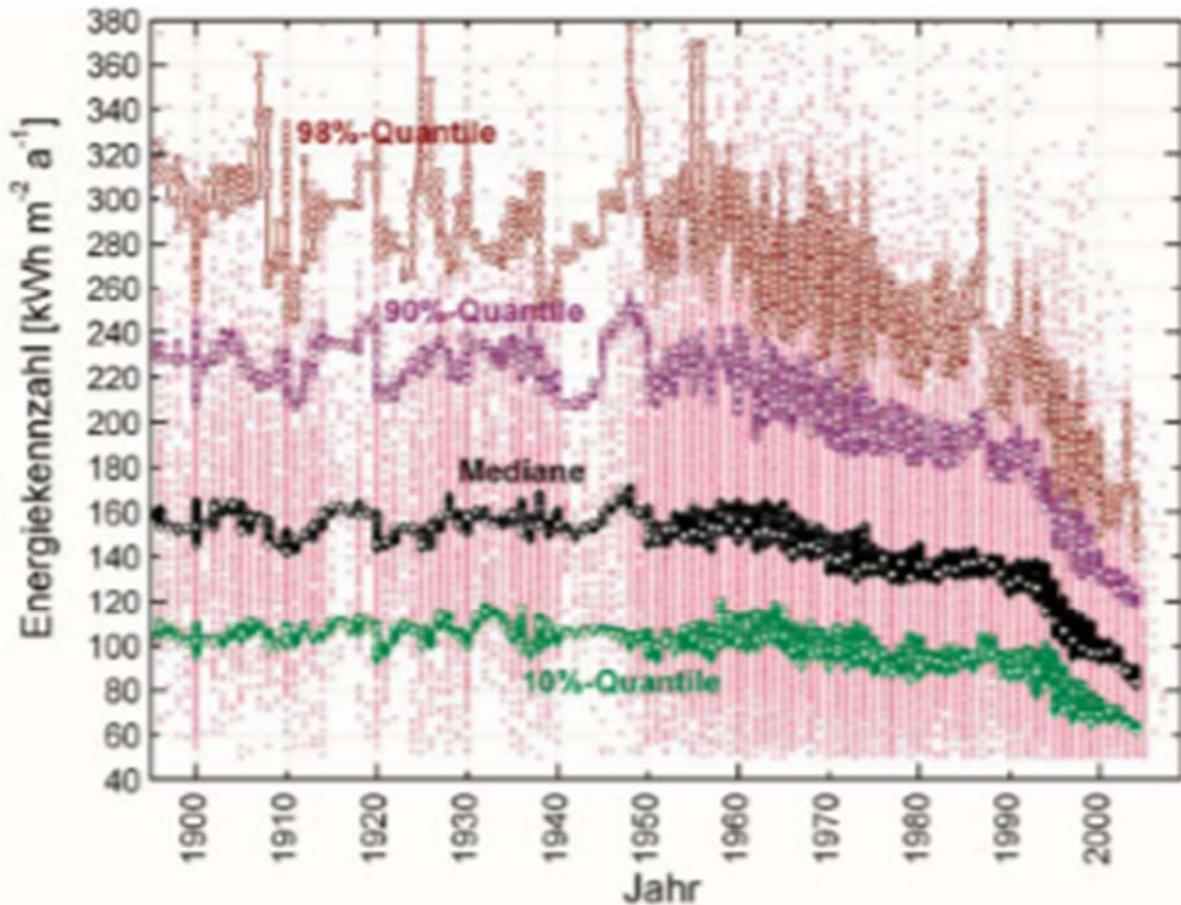
Die Kesselaustauschrate muss deutlich auf Werte zwischen 4 und 5% gesteigert werden, dabei sind fossile Kessel schnellstmöglich nur noch durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen.

## **3 Potentiale und technische Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen des Gebäudesektors**

In diesem Kapitel werden die Potentiale und technischen Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors beschrieben. Dabei werden sowohl die Potentiale und technischen Möglichkeiten auf Ebene von Einzelgebäuden, als auch die Potentiale für den gesamten Gebäudepark betrachtet. Neben den technischen Möglichkeiten werden auch Suffizienz- und raumplanerische Maßnahmen dargestellt.

### **3.1 Status Quo Endenergieverbrauch Heizung + Warmwasser**

Als Grundlage für die Analyse der Potentiale und technischen Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen des Gebäudesektors wird nachfolgend der Status Quo des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen am Beispiel von Mehrfamilienhäusern dargestellt. Dazu wird auf Verbrauchsdatenauswertungen für möglichst große Gebäudebestände zurückgegriffen. Als Grundlage für die Herleitung von Sanierungsstrategien sind Verbrauchsdaten besser geeignet als berechnete Werte, etwa aus Energieausweisen. Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und berechnetem Bedarf ist in Kapitel 3.1.1 dargestellt.



**Abbildung 21: Endenergieverbräuche<sub>Heiz+WW</sub> von 110.000 Mehrfamilienhäusern in Deutschland nach dem Gebäudebaujahr (rote Punkte), schwarz: Mediane; grün: 10% Quantile; blau: 90% Quantile; braun: 98% Quantile [31]**

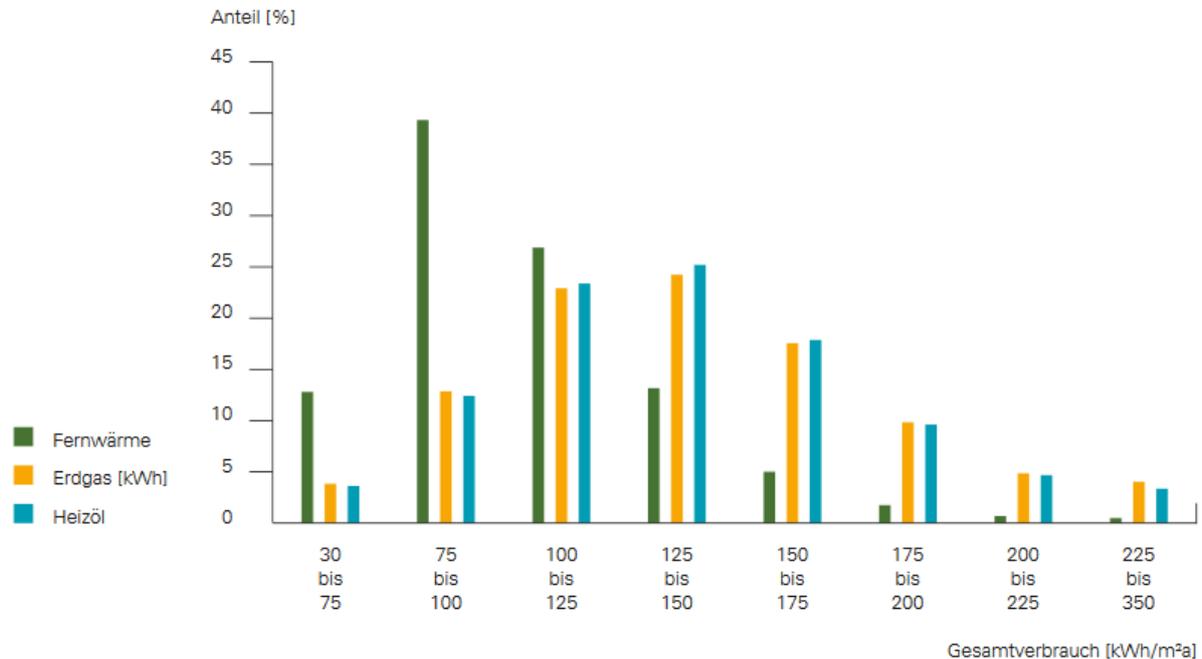
Dargestellt ist der von einem Energie-Abrechnungsunternehmen ausgewertete, spezifische Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> von 110.000 öl- und gasbeheizten Mehrfamilienhäusern in Deutschland über ihrem Baujahr.

Wie zu erkennen liegt der Median der gemessenen Energieverbräuche der Gebäude der Baujahre 1900 bis 1964 bei etwa  $155 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ . Die Werte der Baujahre 1965 bis 1976 sinken geringfügig auf etwa  $145 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ , der Medianwert für Mehrfamilienhäuser des Baujahrs 1990 beträgt etwa  $136 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ .

Die stärksten Rückgänge sind etwa 1996 und 2003 zu verzeichnen und damit kurz nach der Verschärfung der energetischen Mindestanforderungen in der Wärmeschutzverordnung 1995 und der EnEV 2002. Die Darstellung belegt damit die Wirksamkeit ordnungspolitischer Instrumente wie der sukzessiven Verschärfung der Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität. Der Median der 2004 bis 2006 errichteten Gebäude liegt bei  $85 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ , seitdem sind die Mindestanforderungen in Deutschland nur noch geringfügig verschärft worden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Median der Verbräuche von MFH-Neubauten der Baujahre der vergangenen Jahre in Deutschland nicht wesentlich unter 85

$\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  liegt. Diese Einschätzung wird durch die in den folgenden Abbildungen dargestellten Messwerte gestützt.

Abbildung 22 zeigt die Häufigkeitsverteilung des spezifischen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern in ganz Deutschland mit knapp 1.036.000 Wohneinheiten. Ausgewertet wurden Gebäude mit den Energieversorgungssystemen Heizöl, Erdgas und Fernwärme, die über eine gekoppelte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser verfügen [32].



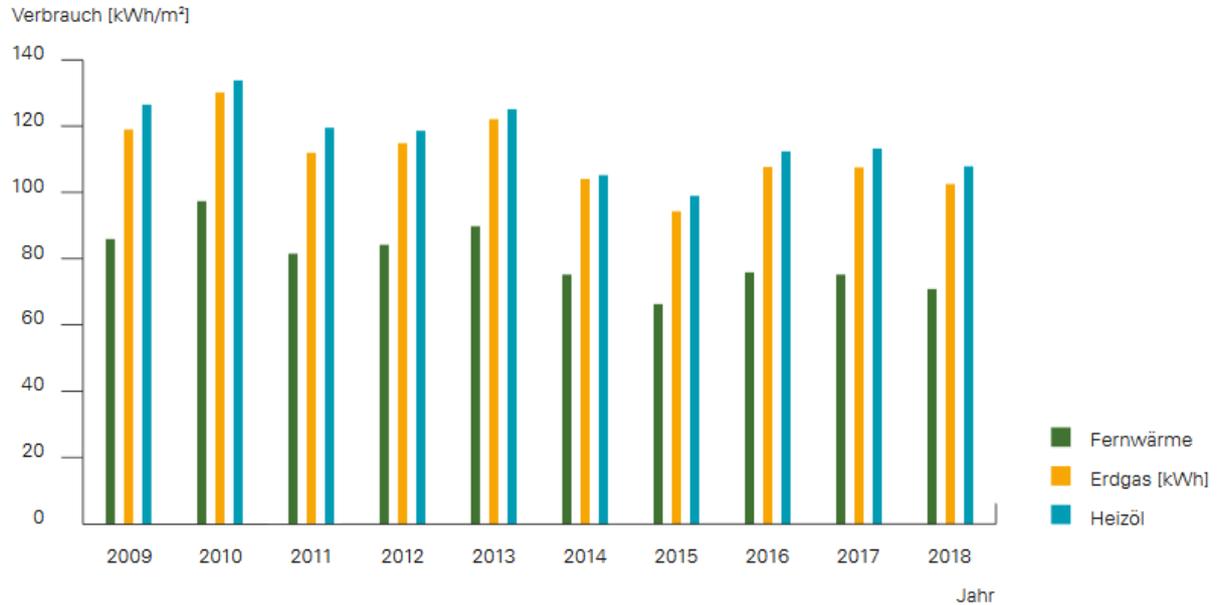
**Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs<sub>Heiz+WW</sub> von 1.036.000 Wohnungen in Mehrfamilienhäusern in Deutschland [32]**

Wie zu erkennen hat ein großer Teil der Mehrfamilienhäuser spezifische Endenergieverbräuche<sub>Heizung+WW</sub> zwischen 100 und 175  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ . Nur ein kleiner Anteil hat Verbräuche von weniger als 75  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ : bei Gas und Öl sind es etwa 3%, bei Fernwärme etwa 13%. Etwa 10% der gas- oder ölbeheizten Gebäude verbrauchen mehr als 200  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ , bei Fernwärme ist der Anteil mit derartig hohen Verbräuchen deutlich kleiner, da im Gegensatz zu Öl und Gas die ins Gebäude übergebene Wärme abgerechnet wird, so dass Erzeugerverluste sowie Verteilverluste außerhalb des Gebäudes nicht enthalten sind. Ein weiterer Grund für den niedrigeren mittleren Verbrauch der fernwärmebeheizten Gebäude ist, dass sie im Durchschnitt des untersuchten Bestandes größer und neueren Baujahrs sind.

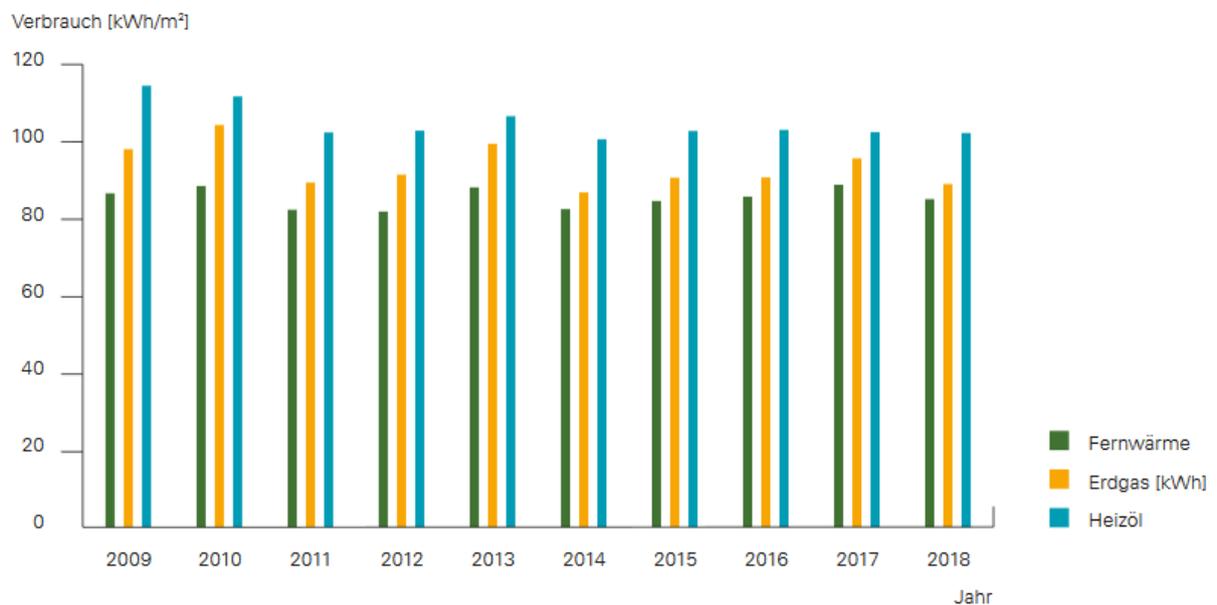
Im Mittel der analysierten Gebäude betrug der Energieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub>

- 137  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  für ölbeheizte Gebäude
- 134  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  für gasbeheizte Gebäude
- 100  $\text{kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  für fernwärmeversorgte Gebäude

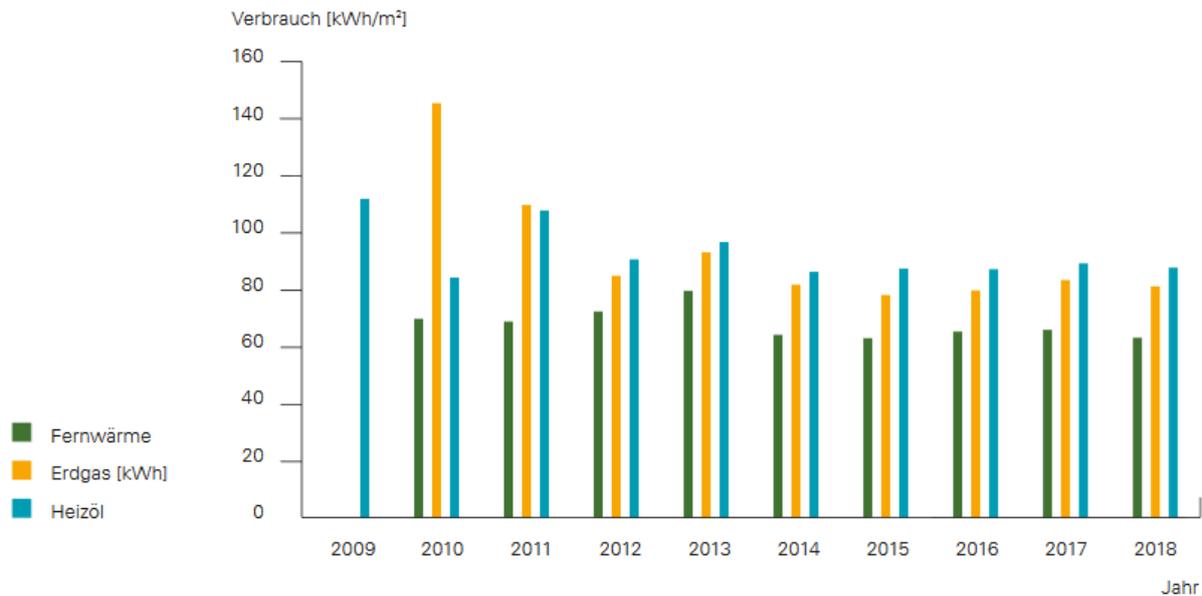
In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des mittleren Endenergieverbrauchs für Raumheizung (ohne Warmwasserbereitung) im Vergleich für Deutschland, Österreich und die Schweiz dargestellt. Der in den Abbildungen nicht enthaltene mittlere Endenergieverbrauch für Warmwasser wird in der Studie (für Deutschland) mit knapp 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben.



**Abbildung 23: Entwicklung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs<sub>Heizung</sub> von Mehrfamilienhäusern in Deutschland [32]**



**Abbildung 24: Entwicklung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs<sub>Heizung</sub> von Mehrfamilienhäusern in Österreich [32]**



**Abbildung 25: Entwicklung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs<sub>Heizung</sub> von Mehrfamilienhäusern in der Schweiz [32]**

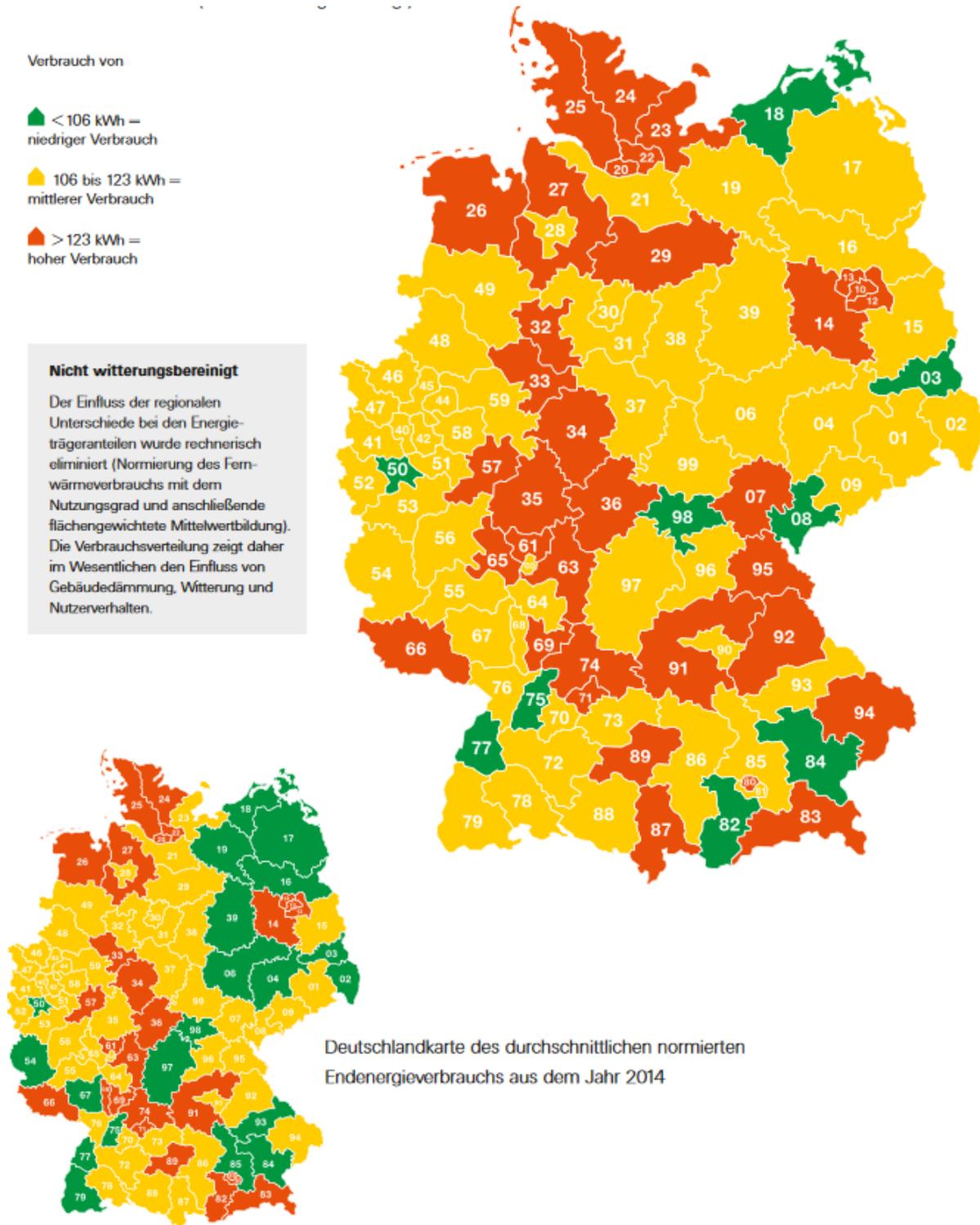
In allen drei Ländern liegt der mittlere Verbrauch von Ölheizungen höher als der Mittelwert gasbeheizter Gebäude, der mittlere Verbrauch fernwärmever sorgter Gebäude unter den Verbräuchen öl- und gasbeheizter Gebäude. Dies liegt zum einen daran, dass die Erzeugerverluste der Fernwärme nicht im abgerechneten Endenergieverbrauch enthalten sind, zum anderen daran, dass die fernwärmever sorgten Gebäude im Mittel größer und neueren Baujahrs sind (dies ist in der ausgewerteten Quelle nur für Deutschland dargestellt, aber vermutlich auf Österreich und die Schweiz übertragbar).

Der mittlere Verbrauch fernwärmever sorgten Gebäude 2018 lag im Jahr 2018 indem in der Studie berücksichtigten sample in der Schweiz mit 63 kWh/(m<sup>2</sup>a) am niedrigsten, in Deutschland mit 71 kWh/m<sup>2</sup>a etwas höher, in Österreich mit 85 kWh/m<sup>2</sup>a am höchsten.

In kesselversorgten Gebäuden lag der mittlere Verbrauch im Jahr 2018 ebenfalls in der Schweiz mit 81 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Gas und 88 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Öl am niedrigsten. In Österreich lagen die Mittelwerte bei 89 bzw. 102 kWh/(m<sup>2</sup>a) etwas höher, in Deutschland mit 103 bzw. 108 kWh/(m<sup>2</sup>a) am höchsten.

Auf eine tieferegehende Analyse etwa der Unterschiede zwischen den drei Ländern wird verzichtet, da die dargestellten Werte des Endenergieverbrauchs<sub>Heizung</sub> aus dem Gesamtverbrauch für Heizung und Warmwasser errechnet wurden und dabei gemäß Quelle unterschiedliche Methoden angewandt wurden.

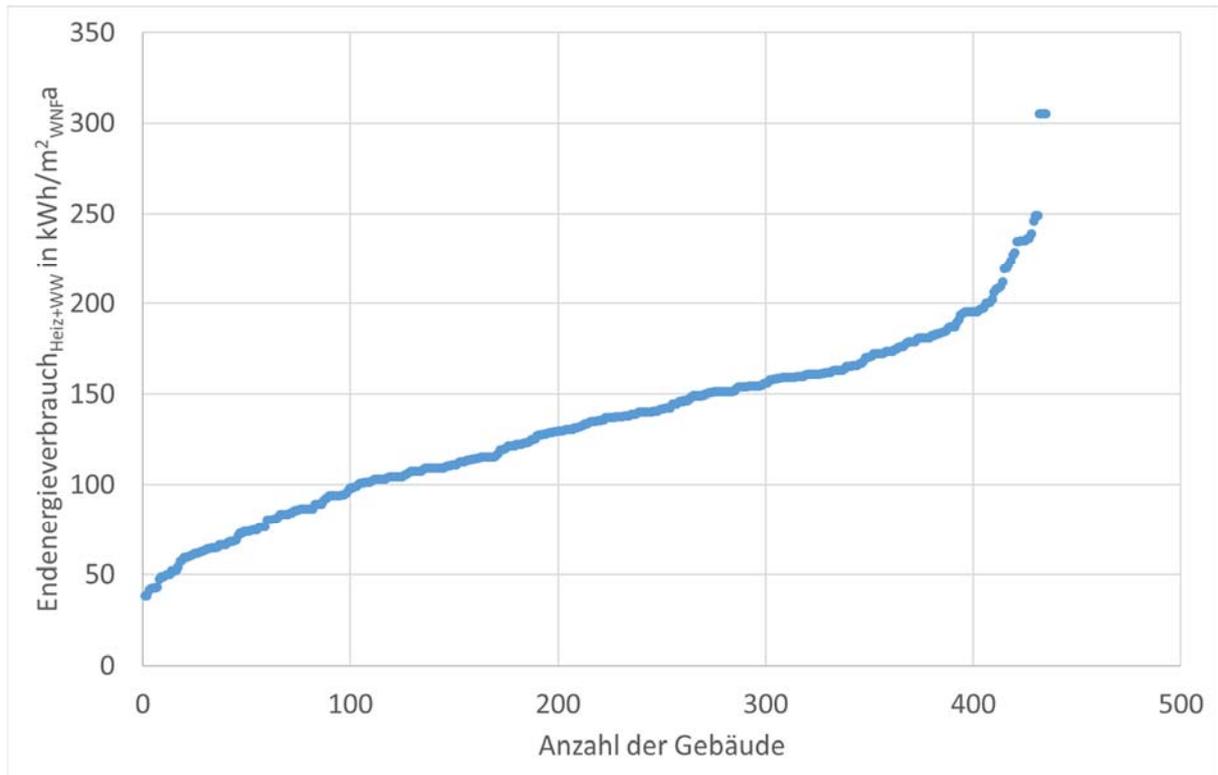
In der folgenden Abbildung sind am Beispiel Deutschlands regionalisierte Werte des Endenergieverbrauchs<sub>Heizung</sub> dargestellt. Aus der Karte sind auch die Werte der Landkreise am Bodensee ablesbar.



**Abbildung 26: Deutschlandkarte des durchschnittlichen normierten Endenergieverbrauchs für 2018 und 2014 (klein) [32]**

Wie zu erkennen haben die Mehrfamilienhäuser in den baden-württembergischen Landkreise sowie der Landkreis Lindau mittlere Verbräuche, während der Verbrauch im Landkreis Oberallgäu aufgrund der klimatischen Randbedingungen höher liegen.

Für Vorarlberg wird der mittlere Endenergieverbrauch $_{\text{Heizung+WW}}$  am Beispiel von 434 Wohnanlagen der größten Vorarlberger gemeinnützigen Wohnbauvereinigung VOGEWOSI dargestellt, in denen Heizung und Warmwasserbereitung über ein gemeinsames System (Öl, Gas, Fernwärme, Pellets) erfolgen. Dargestellt sind die Verbrauchs-Mittelwerte der Jahre 2012 bis 2014. Die Wohnanlagen mit insgesamt 6.000 Wohneinheiten wurden in den Jahren 1950 bis 2011 errichtet, der überwiegende Teil der älteren Gebäude ist zumindest teilsaniert.



**Abbildung 27: Endenergieverbrauch $_{\text{Heiz+WW}}$  von 434 Wohnanlagen der VOGEWOSI (Baujahre 1950 bis 2011) [33]**

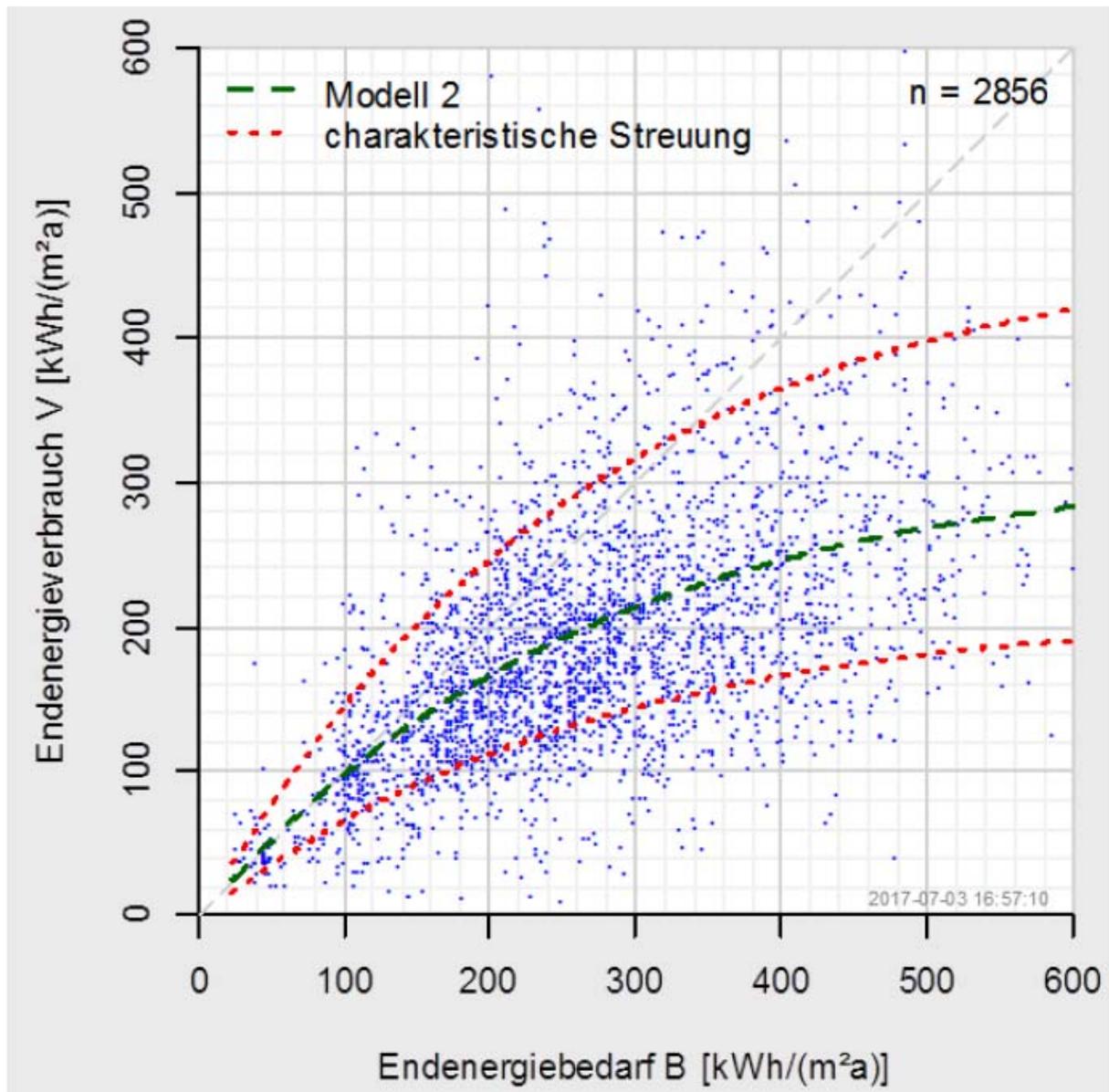
Wie zu erkennen schwankt der spezifische Endenergieverbrauch $_{\text{Heiz+WW}}$  zwischen etwa 40 und über 300 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>. Etwa ein Viertel der Wohnanlagen hat Verbräuche von weniger als 100 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>, die Hälfte liegt im Bereich zwischen 100 und 170, das schlechteste Viertel liegt darüber. Der flächengewichtete Mittelwert des Verbrauchs der Jahre 2012 bis 2014 liegt bei 135 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>, der Median bei 136 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>.

Die Werte zeigen, dass der mittlere Verbrauch in Vorarlberg in der gleichen Größenordnung liegt, wie in Deutschland und Gesamt-Österreich.

### 3.1.1 Zusammenhang Verbrauch zu Bedarf

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen normiert berechnetem Energiebedarf und realem Verbrauch auf der Basis von Daten aus sechs Studien mit Bedarfswerten und gemessenen Verbräuchen von 2.856 Wohngebäuden in Deutschland [34].

Jeder Punkt in der folgenden Abbildung kennzeichnet den berechneten Endenergiebedarf (x-Achse) und den realen Verbrauch (y-Achse) eines Gebäudes für Heizung und Warmwasser.



**Abbildung 28: Zusammenhang zwischen berechnetem Endenergiebedarf<sub>Heiz+WW</sub> und realem Verbrauch sowie Schätzwert und charakteristische Streuung des Verbrauchs [34]**

Die Untersuchung zeigt, dass der Verbrauch unsanierter Gebäude mit schlechter Gebäudehülle oft unter deren berechnetem Energiebedarf liegt. Hauptgründe für diese Abweichung sind die in energetisch schlechten Gebäuden oft deutlich unter 20°C liegende mittlere Raumlufttemperatur (siehe übernächste Abbildung) sowie die in der Heizperiode oft niedrigen Luftwechselraten.

Die grün gestrichelte Linie bezeichnet den statistisch aus Verbrauchsdaten ermittelten Schätzwert des zu erwartenden Verbrauchs. Für ein Gebäude, für das ein rechnerischer Endener-

giebedarf von  $200 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  errechnet wurde, beträgt der Schätzwert des realen Verbrauchs etwa  $165 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ . Würden 100 identische Gebäude dieses Typs verglichen, so läge der zu erwartende Mittelwert des realen Verbrauchs bei etwa  $165 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ .

Die rot strichlierten Linien bezeichnen die charakteristische Streuung, d.h. die Unsicherheit der Schätzung für ein einzelnes Gebäude. Der Bereich zwischen den rot strichlierten Linien beschreibt damit den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den realen Verbrauch eines Einzelgebäudes. Für ein Gebäude mit einem berechneten Endenergiebedarf von  $200 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  können Verbräuche zwischen etwa  $115$  und  $240 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  erwartet werden.

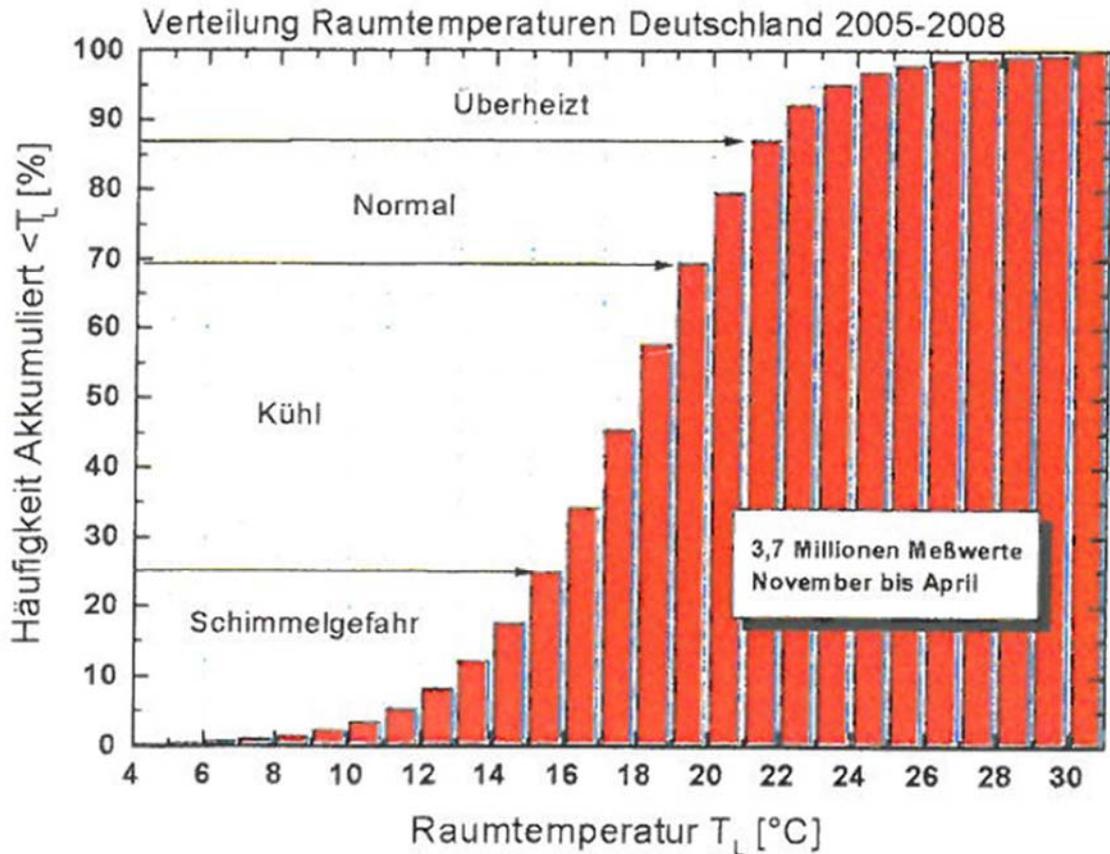
In der folgenden Abbildung ist die Bedeutung verschiedener Einflussgrößen auf den realen Verbrauch im Sinne von „Daumenregeln“ zusammengefasst [34].

Einflussgröße	Aktivität	Änderung des Parameters um	Altbau unsaniert	Altbau modernisiert / Niedrigenergiehaus**	Passivhaus
			Änderung des Endenergiebedarfs (Annahme: Zentralheizung mit Kombikessel)		
Raumtemperatur	Thermostat einstellen	+ 1 K	+ 29 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Luftwechsel	über Fensterlüftung	+ 0,1 1/h	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Anlagenluftwechsel einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	+ 0,1 1/h	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Fensteröffnung	Balkontür kippen	+ 1 h/d	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür ganz öffnen	+ 1 h/d	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Balkontür kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 23 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	(kleines) Fenster kippen	8 h/d, z.B. nachts	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)*	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Teilbeheizung	Nachtabsenkung gesamte Wohnung	- 3 K	- 30 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 12 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Teilbeheizung	30 % der Wohnfläche	- 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Wärmequellen	Personenbelegung	+ 1 Bewohner			- 1,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Verschattung/ Verschmutzung	Abminderungsfaktor: - 0,1	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- 1,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Innere Wärmequellen	- 1 W/m <sup>2</sup>	+ 7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	+ 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Warmwasser	Personenbelegung EFH	+ 1 Bewohner	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a	+ 898 kWh/a
	Personenbelegung MFH	+ 1 Bewohner	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a	+ 793 kWh/a

**Abbildung 29: Aus den Parameterstudien abgeleitete und vereinfachte Aussagen zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch von Gebäuden („Daumenregeln“) [34]**

Wie zu erkennen hängt die Bedeutung einzelner Einflussgrößen auf den Endenergiebedarf vom energetischen Gebäudeniveau ab: Während die Erhöhung der Raumtemperatur um 1K im unsanierten Altbau zu einer Erhöhung des Endenergiebedarfs um etwa  $29 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  führt, bewirkt die gleiche Temperaturerhöhung in einem Gebäude im Passivhausniveau nur eine Erhöhung um  $2 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ . Die Bedeutung anderer Einflussgrößen ist unabhängig von der energetischen Gebäudequalität: so steigt der Endenergieverbrauch für Warmwasser pro zusätzlichem Bewohner um knapp  $900 \text{ kWh/a}$ .

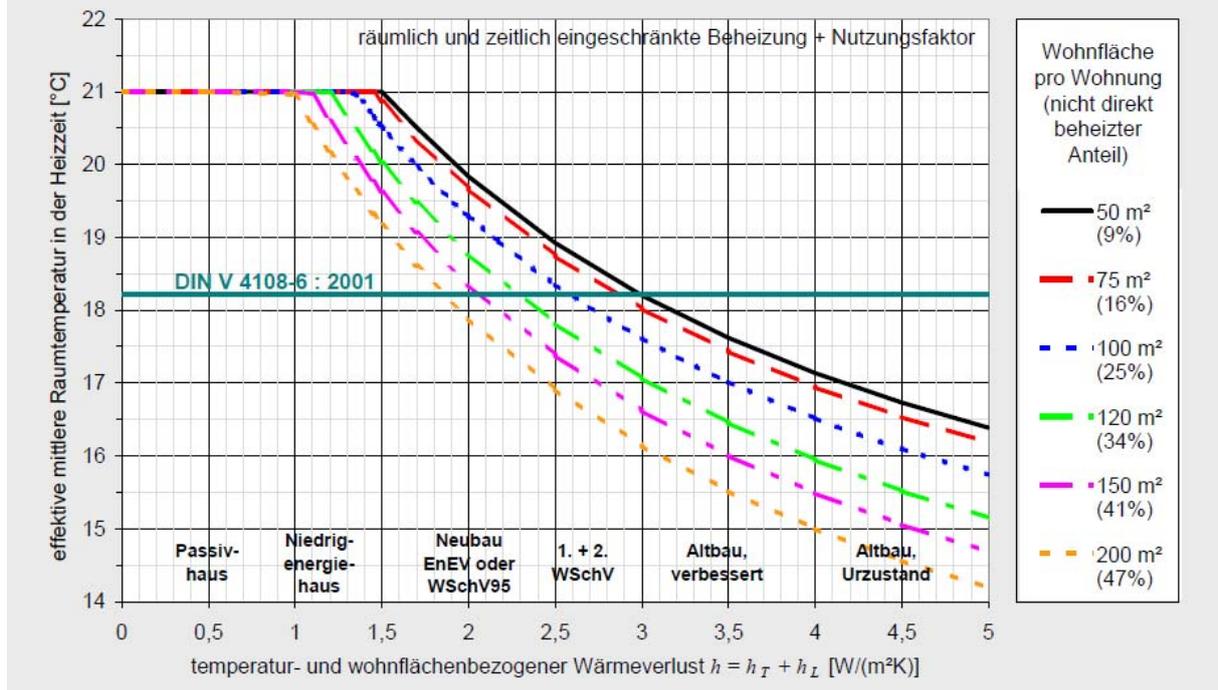
Die folgende Abbildung zeigt die realen Raumlufttemperaturen als eine der wichtigsten Einflussgrößen auf den Endenergiebedarf<sub>Heizung</sub>. Die Werte repräsentieren die von einem großen Energieabrechnungsunternehmen zwischen November und April gemessenen Raumlufttemperaturen in 1,3 Mio. Messstellen (Wohnungen) 3,7 Mio. Messwerten (Räumen).



**Abbildung 30: reale Raumlufttemperaturen in Mehrfamilienhäusern in Deutschland [35]**

Wie zu erkennen liegen die Raumlufttemperaturen in 70% der Räume unter 20°C, in 26% der Räume unter 16°C und in 8% der Räume unter 12,6°C. Da die Temperaturmessungen als Momentanwerte tagsüber durchgeführt wurden, liegen die 24h-Mittelwerte noch tiefer (Nachtabsenkung, tiefere nächtliche Außentemperaturen).

Die folgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss der Hüllqualität und der zeitlichen und räumlichen Teilbeheizung auf die mittlere Raumlufttemperatur.

**Bild 4: Effektive mittlere Raumtemperatur – Auswirkung der Nachtabsenkung, der räumlichen Teilbeheizung und des Nutzungsfaktors**

**Abbildung 31: effektive mittlere Raumlufttemperatur in Gebäuden in Abhängigkeit von ihren Wärmeverlusten und vom Anteil nicht direkt beheizter Räume [36]**

Wie zu erkennen, hängt die effektive mittlere Raumlufttemperatur vor Allem von den Wärmeverlusten des Gebäudes (Hülle + Lüftung) sowie vom Anteil der nicht direkt beheizten Flächenanteile/Räume ab. Dieser Anteil hängt von der Größe der Wohneinheit ab, statistisch gesehen werden in größeren Wohneinheiten höhere Flächenanteile nicht direkt beheizt.

Wie zu erkennen wird die in der Grafik unterstellte Wunsch-Raumlufttemperatur von 21°C tags und nachts eingehalten, da das Gebäude nur minimal auskühlt, selbst wenn eine Nachtabsenkung eingestellt wäre. In sehr schlechten, größeren Wohneinheiten (z.B. Einfamilienhaus, 200m² Wohnfläche Altbau im Urzustand werden im Durchschnitt große Teile nicht direkt beheizt, so dass sich ein flächen- und zeitgewichteter Mittelwert der Raumlufttemperatur von 15 – 16°C einstellt.

Diese mittlere, reale Raumlufttemperatur weicht sehr stark von der Rechenannahme in Energieausweisberechnungen ab (Österreich/Vorarlberg: derzeit 20°, ab 2021: 22°C, EnEV Deutschland: 19°C), so dass der reale Endenergieverbrauch<sub>Heizung</sub> für viele Gebäude niedriger liegt, als im Energieausweis ausgewiesen. Wie in Abbildung 29 dargestellt, wirkt sich eine Veränderung der mittleren Raumlufttemperatur mit einer Veränderung des Heizwärmebedarfs/verbrauchs von etwa 2 kWh/(m²<sub>WNFA</sub>) im Passivhaus/Minergie P-Gebäude bis knapp 30 kWh/m²<sub>WNFA</sub>) im unsanierten Altbau aus.

### **Resumé zum Thema Bedarf/Verbrauch**

Als Grundlage zur Strategieentwicklung im Gebäudebereich sollten realistische Werte für den aktuellen Energieverbrauch von Gebäuden verwendet werden. Würden stattdessen unkorrigierte Ergebnisse von Energieausweisberechnungen verwendet, so würde der mittlere Verbrauch schlechter, unsanierter Gebäude überschätzt während der mittlere Verbrauch hochwertig sanierter Gebäude tendenziell unterschätzt würde. Die so bestimmten Einsparungen würden sich in der Praxis nicht einstellen, die Einsparziele für den Gebäudesektor überschätzt. Da die Zusammenhänge zwischen standardisiert berechnetem Bedarf und realem Verbrauch inzwischen bekannt sind, können realitätsnahe Werte in sogenannten Verbrauchsprognoseberechnungen durch Änderung einiger weniger Annahmen (mittlere Raumlufthtemperatur, Luftwechselrate...) vorab ermittelt werden.

Dies ist sowohl auf der Ebene von Einzelgebäuden, als auch auf der Ebene des Gesamtgebäudebestandes unerlässlich.

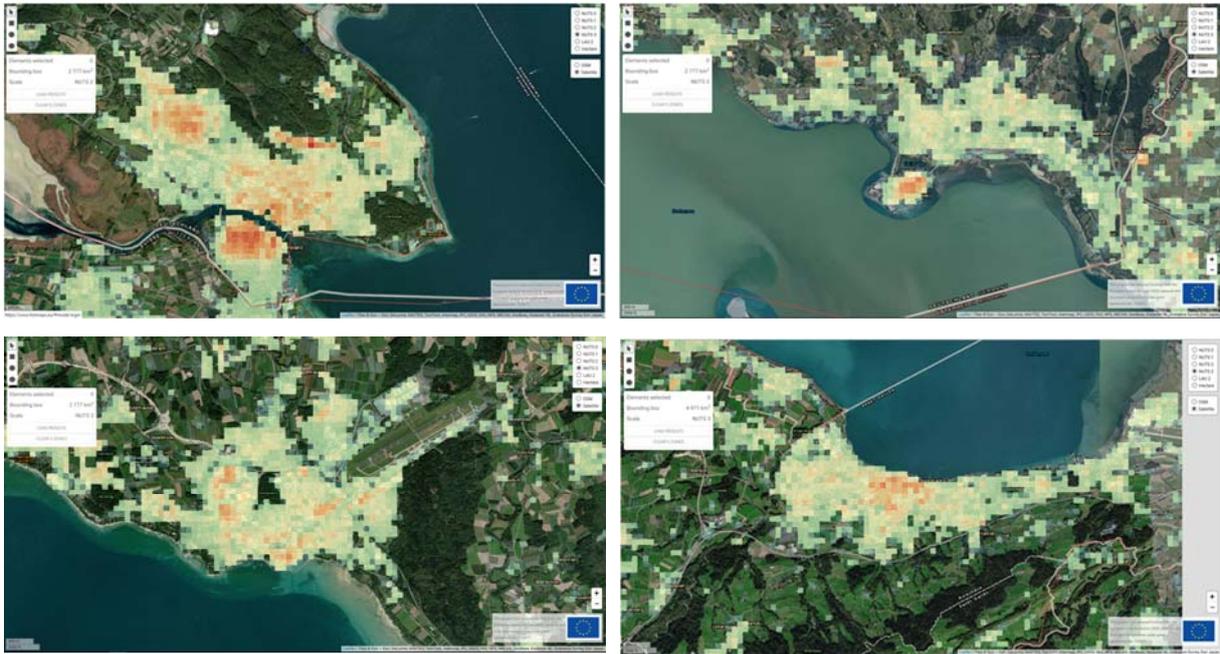
## **3.2 Raumplanerische Maßnahmen**

### **3.2.1 Energieraumplanung**

Eine wichtige Rolle bei der wirtschaftlichen Gestaltung der Energiewende / der Dekarbonisierung des Gebäudesektors wird die Energieraumplanung einnehmen. Diese verbindet Aspekte der Stadt- und der Energieplanung, um eine energieeffiziente und ökologische, sichere und wirtschaftliche Energieversorgung von Bestands- und Neubaugebieten zu ermöglichen.

In der Energieraumplanung wird untersucht, mit welchen Energieversorgungsoptionen Energiebedarf, -gewinnung und Verteilung am vorteilhaftesten kombiniert werden können.

Ein wichtiges Instrument sind möglichst hochauflösende Kartierungen möglicher Wärmequellen (Abwärme, solare Potenziale, Wind, ...), Verteilnetze (vorhandene und geplante Wärmenetze...) sowie Wärmesenken, z.B. in Form von Wärmedichtekarten, siehe folgende Abbildung).



**Abbildung 32: Wärmedichtekarte für Konstanz, Lindau, Friedrichshafen und Rorschach**

<https://www.hotmaps-project.eu/>

Wärmedichtekarten wie die dargestellten Karten aus dem EU-Projekt hotmaps oder des vom ifeu gemeinsam mit GEF und geomer betriebenen Wärmeatlas 2.0 (<https://www.ifeu.de/methoden/modelle/waermeatlas/>) sind ein ideales Instrument zur Analyse von Gebieten, in denen Fern- oder Nahwärmenetze heute und/oder in Zukunft wirtschaftlich betrieben werden können.

### 3.2.2 Nachverdichtung

Wie im Kapitel 3.3.1 dargestellt, ist ein großer Teil des Bestandes an Einfamilienhäusern mindergenutzt. Als Teil der Energieraumplanung können Projekte durchgeführt werden, in denen Hausbesitzer über Möglichkeiten informiert werden können, ihre mindergenutzten Gebäude besser nutzbar zu machen, etwa, indem große Einfamilienhäuser in mehrere Wohneinheiten geteilt, aufgestockt oder erweitert werden.

In Vorarlberg laufen zum genannten Thema seit einigen Jahren erfolgreich, wenn auch auf wenige Projekte beschränkt, Beratungsprogramme wie das Projekt „Sanierungslotse“ und Projekte wie „Bonus“, in denen zusätzlich der Aspekt der wohnortinduzierten Mobilität untersucht wird. Das Projekt „Lebensräume“ des ifeu erarbeitet einen umfangreichen Maßnahmenkatalog für politische Maßnahmen zur Nutzungsanpassung von Wohngebäuden (<https://www.ifeu.de/projekt/lebensraeume-instrumente-zur-beduerfnisorientierten-wohnumnutzung-in-kommunen/>).

### **3.2.3 Vorgabe von Effizienzstandards für Baugebiete durch die Kommunen**

Für Neubaugebiete können Kommunen (z.B. in Deutschland) im Rahmen von privatrechtlichen Kaufverträgen den Bauherren Gebäude-Effizienzstandards (z. B. Passivhaus, KfW-Effizienzhaus 40 plus, etc.) vorschreiben, welche über den gesetzlichen Mindeststandards liegen. Voraussetzung ist, dass die Kommune Besitzer des Baugrunds ist. In Deutschland ist die Förderungssituation augenblicklich derartig gut ausgestattet, dass oftmals die Realisierung eines Effizienzstandards über den Mindestanforderungen für den Bauherren in der Endabrechnung (abzüglich der Förderungen) günstiger ist. Als großes Hemmnis werden hier die Kenntnisstände und wirtschaftliche Interessen von Planern/Architekten und den Bauausführenden gesehen.

## **3.3 Suffizienzmaßnahmen**

Der Energiebedarf von Gebäuden ist nicht nur von technischen Aspekten wie Hüllqualität und Effizienz des Wärmeversorgungssystems abgänglich, sondern auch von Aspekten wie der pro-Kopf-Wohnfläche, der mittleren Raumlufttemperatur, dem pro-Kopf-Warmwasser- und Stromverbrauch.

Diese nutzerbedingten Einflussfaktoren waren in den vergangenen Jahrzehnten Treiber des Energieverbrauchs des Gebäudesektors.

### **3.3.1 pro-Kopf-Wohnfläche**

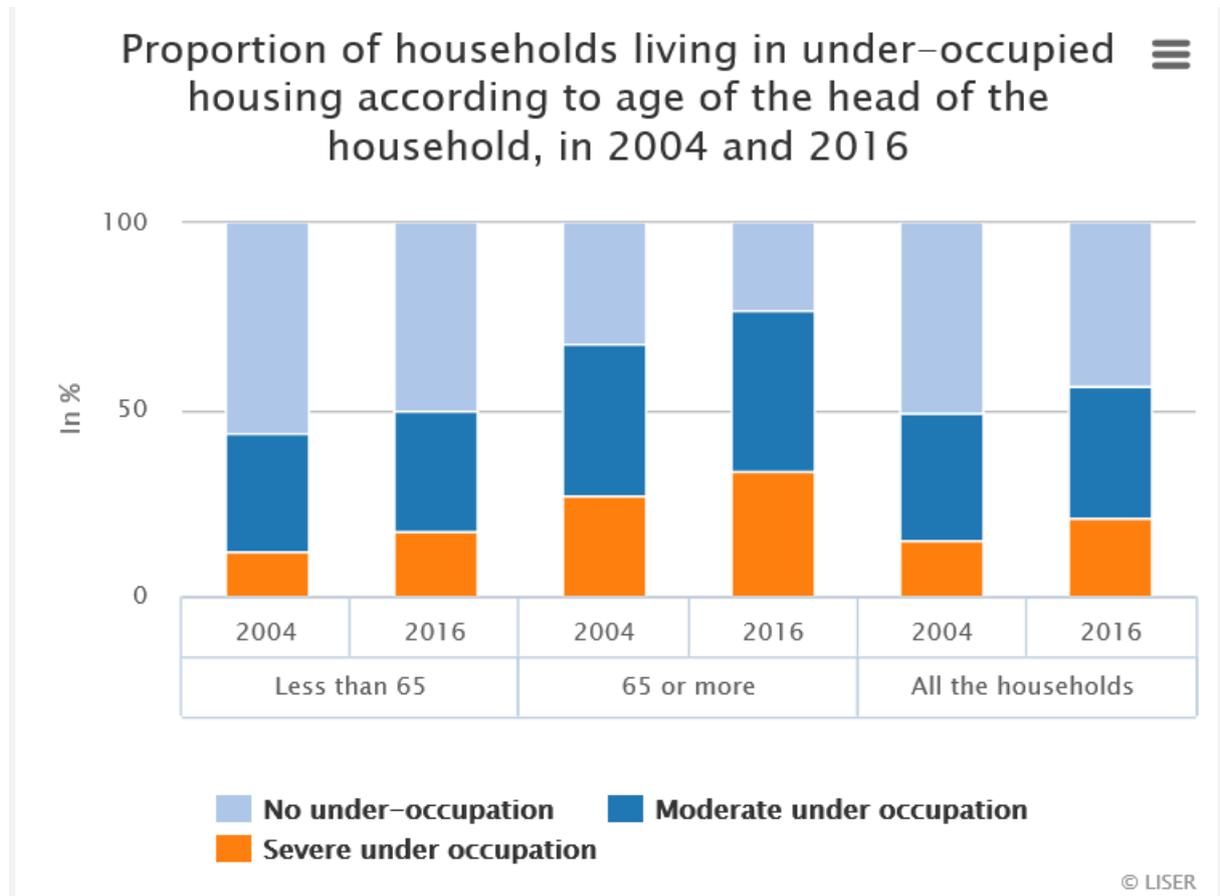
Die pro-Kopf-Wohnfläche stieg in der Vergangenheit in allen vier Bodensee-Anrainerstaaten stark an. Ein Grund ist der Trend zu immer mehr 1- und 2-Personenhaushalten in Neubauten, ein weiterer die Tatsache, dass immer größere Anteile aller Wohneinheiten mindergenutzt werden: Als geringfügig mindergenutzt gelten Häuser oder Wohnungen, die über zwei oder drei Räume mehr verfügen, als aufgrund der Bewohnerzahl notwendig wären, als stark mindergenutzt gelten solche, die mindestens über vier Räume mehr verfügen, als notwendig.

Die Definition des notwendigen Wohnbedarfs beruht auf einer Definition der EU aus dem Jahr 2009, in der die Zahl der Räume mit der Zahl der Bewohner nach den folgenden Gesichtspunkten beschrieben wird:

- ein Raum für den Haushalt
- ein Raum per Paar in einem Haushalt
- ein Raum für jede Person über 18 Jahre
- ein Raum für 2 Personen gleichen Geschlechts zwischen 12 und 17 Jahren
- ein Raum für jede Person zwischen 12 und 17 Jahre, die nicht in der vorgenannten Kategorie enthalten ist
- ein Raum je zwei Kinder unter 12 Jahren

Die folgende Abbildung zeigt die Anteile der Personen, die in mindergenutzten Häusern oder Wohnungen leben differenziert nach dem Alter der Bewohner am Beispiel Luxemburgs [37],

zitiert nach [38]. Zahlen für die Bodenseeregion liegen nicht vor. Aufgrund vergleichbarer struktureller Daten (hohe Wirtschaftskraft, Bevölkerungswachstum, demographische Entwicklung...) kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ähnliche Werte auch rund um den Bodensee anzutreffen sind.



**Abbildung 33: Anteil der leicht bzw. stark mindergenutzten Haushalte [37]**

Wie zu erkennen lebten 2016 etwa 35% der Haushalte Luxemburgs in geringfügig mindergenutzten Häusern oder Wohnungen, zusätzlich etwa 21% in stark mindergenutzten Einheiten. Unter den über 65-jährigen Bewohnern ist der Anteil der mindergenutzten Einheiten noch weit höher und betrug 2016 schon über 75%. Ein großer Anteil der Bewohner untergenutzter Wohneinheiten lebt in Eigenheimen, die nach Auszug der Kinder ungenutzte Zimmer enthalten. Der Anteil der mindergenutzten Wohneinheiten stieg jedoch von 2004 bis 2016 in allen Altersklassen. Durch Mindernutzung und Teilbeheizung liegt zwar der flächenspezifische Energieverbrauch dieser Gebäude niedriger als bei „normaler“ Personenbelegung, der personenspezifische Verbrauch jedoch höher.

Aufgrund der demografischen Entwicklung mit einem steigenden Anteil älterer Menschen ist zu erwarten, dass der Anteil mindergenutzter Einheiten weiter steigt, wenn nicht gezielt Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

### **3.3.2 Mittlere Raumlufftemperaturen in der Heizperiode**

Wie Auswertungen von Messprojekten im gesamten deutschsprachigen Raum zeigen, liegen die mittleren Raumlufftemperaturen während der Heizperiode in effizienten Neubauten und energetisch hochwertig sanierten Gebäuden inzwischen im Mittel im Bereich von 22 bis 24°C, während sie im unsanierten Gebäudebestand meist bei 17 bis 19° liegen (Kapitel 3.1.1).

### **3.3.3 Warmwasser- und Haushaltsstrombedarf**

Wie die Auswertungen von Energieverbrauchs-Ableseunternehmen zeigen, liegt der Endenergiebedarf für die Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern bei knapp 30 kWh/m<sup>2</sup>a.

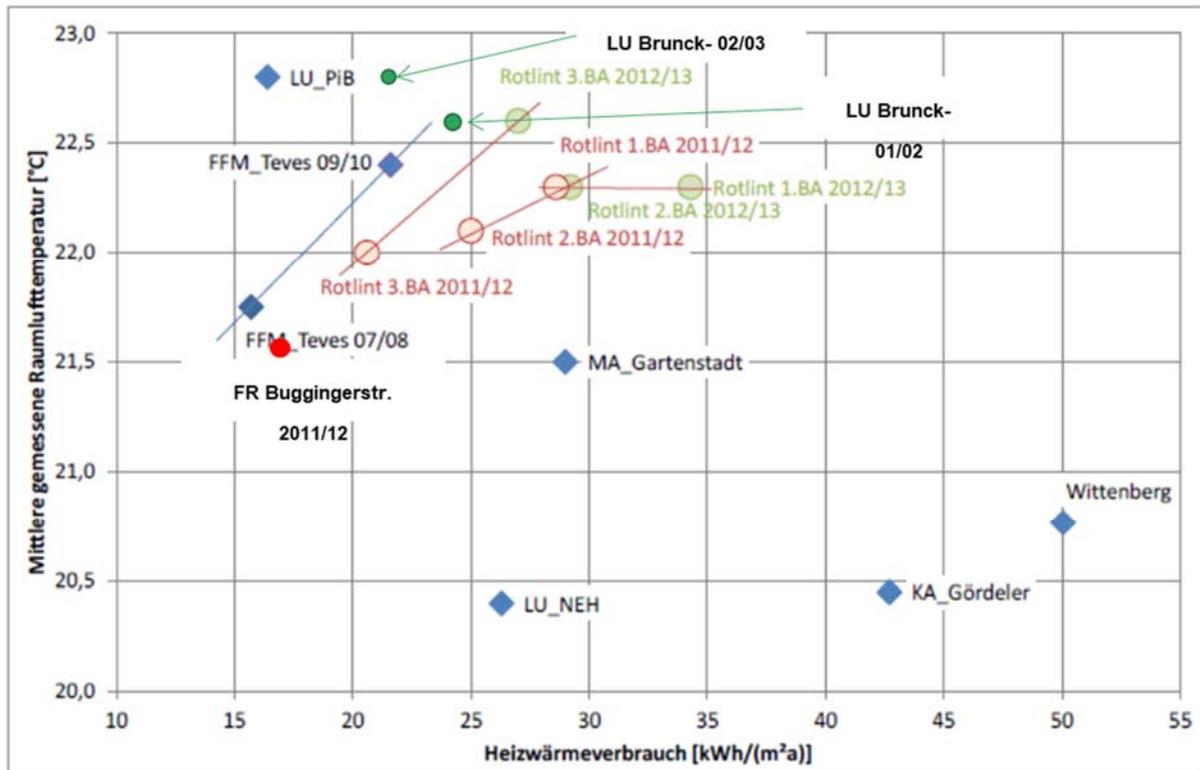
Die Analyse der Verbräuche einzelner Wohnungen in Mehrfamilienhäusern zeigt sehr große individuelle Unterschiede auch bei vergleichbaren Bewohnerstrukturen. Auch der Warmwasserbedarf ist damit eine Kenngröße, die von den Nutzern beeinflusst werden kann.

Auch wenn der Einfluss der Nutzer auf den Energiebedarf schwieriger zu beeinflussen ist, als technische Einflussgrößen, sollten Suffizienzmaßnahmen Teil einer Strategie zur Reduktion des Energiebedarfs des Gebäudesektors sein. Beispiele sind flächensparende, flexible Grundrisse, etwa mit gemeinschaftlichen Gästezimmern in Mehrfamilienhäusern oder Quartieren oder Konzepte zur Umnutzung mindergenutzter Gebäude durch Teilung etc. (vgl. Projekt „Suffizienzpraktiken in Stadtquartieren“ <https://www.ifeu.de/projekt/suprastadt/>).

## **3.4 Reduktion des Nutzwärmebedarfs**

Wie zahlreiche Beispiele zeigen, kann der reale Energieverbrauch hochwertiger Mehrfamilienhaus-Sanierungen mit geeigneten Rechenwerkzeugen bei Verwendung realistischer Randbedingungen mit hoher Genauigkeit vorausberechnet werden. Die Gebäude erreichen im realen Betrieb Verbräuche, die nur geringfügig von den vorausgerechneten Bedarfswerten abweichen. Grund hierfür ist, dass sich in Mehrfamilienhäusern das mittlere Nutzerverhalten recht gut „vorhersagen“ lässt. Ähnliches gilt für Einfamilienhäuser: zwar kann das individuelle Nutzerverhalten für einzelne Gebäude nur bedingt vorausgesagt werden, in der Summe vieler Einfamilienhäuser stellt sich jedoch ein statistisch abgesichertes mittleres Nutzerverhalten ein. Zur Abschätzung des Potentials zur Energieeinsparung für den gesamten Gebäudebestand interessieren nur die Potentiale im Mittel vieler gleichartiger Gebäude.

In der folgenden Abbildung sind zunächst die gemessenen Heizwärmeverbräuche einiger hocheffizienter Sanierungen von Mehrfamilienhäusern sowie die dazugehörigen mittleren Raumlufftemperaturen während einer oder mehrerer Heizperioden dargestellt.



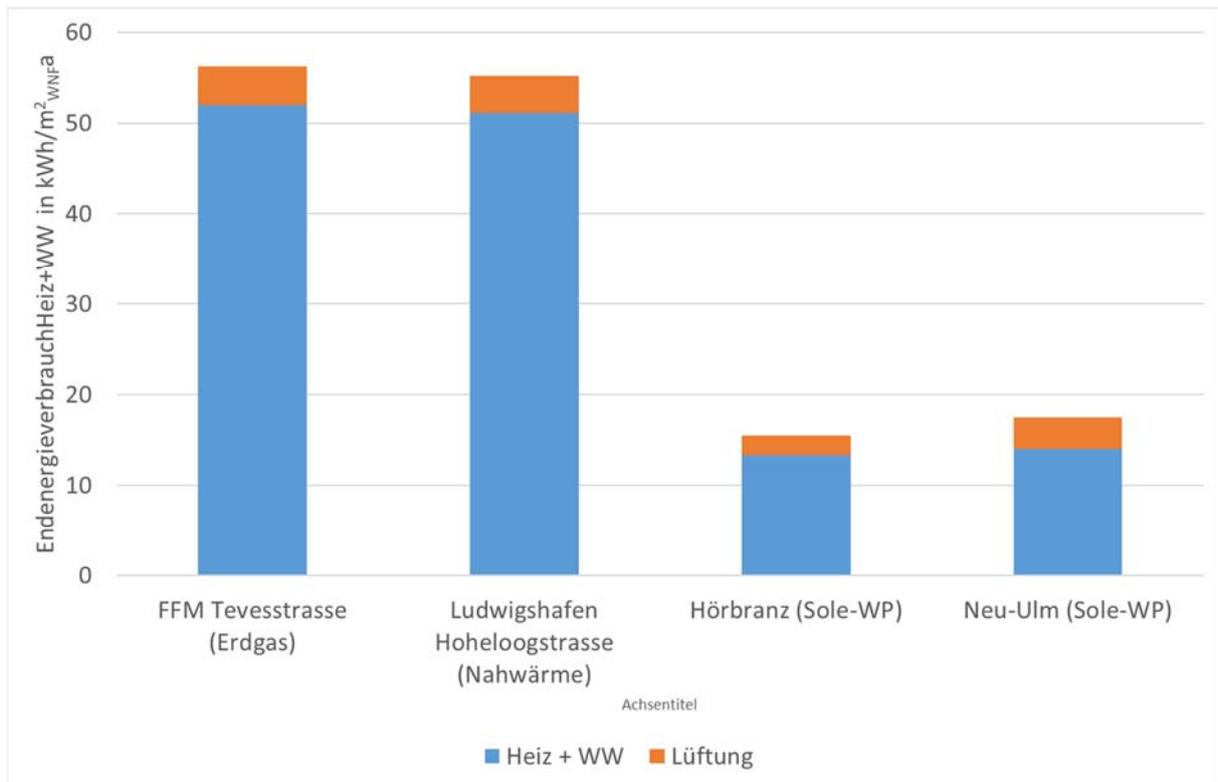
**Abbildung 34: gemessener spezifischer Heizwärmeverbrauch hocheffizienter Sanierungen von Mehrfamilienhäusern und zugehörige mittlere Raumlufttemperatur in der Heizperiode [2], [1], [39], [40]**

Wie die Abbildung zeigt, liegen die gemessenen Heizwärmeverbräuche der besten Projekte im Bereich von 15 bis 17 kWh/m<sup>2</sup><sub>PHPPa</sub>. Einige weitere Projekte erreichen gemessene Heizwärmeverbräuche von 20 bis 30 kWh/m<sup>2</sup><sub>PHPPa</sub>. Diese Verbräuche entsprechen den vorausgerechneten Werten im Bereich von Passivhäusern/Minergie P-Gebäuden bzw. im Standardenerphit (Standard für Sanierungen mit Passivhauskomponenten mit maximalem rechnerischem Heizwärmebedarf von 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>PHPPa</sub> bei 20° Raumlufttemperatur).

Die mittlere Raumtemperatur in der Heizperiode liegt in den meisten Projekten im Bereich von 21 bis 23°C und damit im gleichen Bereich wie in hocheffizienten Neubauten.

### 3.5 Reduktion des Endenergiebedarfs

In der folgenden Abbildung sind die Endenergieverbräuche<sub>Heiz+WW</sub> hocheffizienter Sanierungen von Mehrfamilienhäusern mit unterschiedlichen Wärmeversorgungssystemen dargestellt.



**Abbildung 35: gemessener spezifischer Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> hocheffizienter Sanierungen von Mehrfamilienhäusern mit unterschiedlichen Wärmeversorgungssystemen [1], [2], [3], [4]**

Beim Projekt **Frankfurt Tevesstrasse** handelt es sich um die Sanierung zweier Mehrfamilienhäuser des Baujahrs 1951 mit 20 + 33 Wohnungen und Energiebezugsflächen PHPP von 1.350 und 2.244m<sup>2</sup> [2]. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,45, die Gebäude werden mit Erdgas versorgt. Beide Gebäude wurden im Passivhausniveau saniert, d.h. mit passivhaustypischer Hüllqualität und Komfortlüftungen mit WRG. Im Rahmen der Sanierung wurden zusätzlich kleine thermische Solaranlagen installiert, deren Kollektorfläche etwa 1,2m<sup>2</sup> pro Wohneinheit entspricht.

Das detaillierte Monitoring zeigt, dass nach Sanierung eine sehr hohe thermische Qualität erreicht wurde, so betrug die mittlere Raumlufttemperatur im Winter 21,8°C. Auch die Luftqualität ist sehr hoch.

Der Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> lag im Messjahr 2007/08 bei knapp 52 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> Erdgas (umgerechnet aus den im Forschungsbericht angegebenen Wert von 48,1 kWh/m<sup>2</sup><sub>PHPPA</sub>). Der Endenergieverbrauch für die Komfortlüftung lag mit knapp über 4 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> vergleichsweise hoch. Die maximale tagesmittlere Heizleistung lag bei 7,4 W/m<sup>2</sup><sub>PHPPA</sub>.

Würde das Gebäude im Zuge der Dekarbonisierung beim nächsten Austausch des Wärmezeugers statt mit Erdgas mit einer Wärmepumpe beheizt, so können bei angenommenen Jahresarbeitszahlen von 3 bis 3,5 Endenergieverbräuche von etwa 13 bis 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> erreicht werden. Dass derartige Jahresarbeitszahlen möglich sind, zeigt eine Studie des Fraunhofer

ISE, in der die Effizienz von Wärmepumpen in sanierten und in unsanierten Bestandsgebäuden untersucht wurden. Die mittlere Jahresarbeitszahl der Luftwärmepumpen lag bei 3,1 bei Solewärmepumpen bei 4,1 [41].

Das Projekt **Ludwigshafen Hoheloogstrasse** wurde ebenfalls nach dem Passivhauskonzept mit sehr guter Wärmedämmung und Komfortlüftung mit WRG saniert [1]. Das Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten und einer Energiebezugsfläche PHPP von 750m<sup>2</sup> wurde im Jahr 1965 errichtet. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,35. Das Gebäude wird über Nahwärme versorgt und hat keine thermische Solaranlage, sondern eine PV-Anlage zur Netzeinspeisung.

Das detaillierte Monitoring zeigt, dass nach Sanierung eine sehr hohe thermische Qualität erreicht wurde, so betrug die mittlere Raumlufttemperatur im Winter 22,7°C. Auch die Luftqualität ist sehr hoch.

Der Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> lag im Messjahr 2007/08 bei 51 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> Nahwärme (umgerechnet aus den im Forschungsbericht angegebenen Wert von 47,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>PHPPa</sub>). Der Endenergieverbrauch für die Komfortlüftung lag bei 4 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>, die maximale tagesmittlere Heizleistung betrug 9,7 W/m<sup>2</sup><sub>PHPPa</sub>.

Würde das Gebäude im Zuge der Dekarbonisierung beim nächsten Austausch des Wärmeerzeugers statt mit Erdgas mit einer Wärmepumpe beheizt, so können bei angenommenen Jahresarbeitszahlen von 3 bis 3,5 Endenergieverbräuche von etwa 13 bis 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> erreicht werden.

Beim Projekt **Hörbranz** handelt es sich um ein Sanierungs- und Erweiterungsprojekt mit 5 Wohneinheiten [3]. Das Projekt wurde mit vorgefertigten Holz-Elementen in Passivhausqualität saniert, verfügt über wohnungsweise Komfortlüftungen mit WRG und wird über eine Erdreich-Wärmepumpe sowie eine thermische Solaranlage mit Wärme versorgt. Bei den aufgeführten Energieverbräuchen handelt es sich um die Mittelwerte der Verbrauchsabrechnungen der ersten 5 Betriebsjahre. Das Gebäude erreichte als erstes Sanierungsprojekt österreichweit die klimaaktiv Deklarationsstufe Gold<sup>+</sup>, in der die energetische Qualität nicht nach Berechnungsergebnissen, sondern nach dem realen Verbrauch bewertet wird. Die mittlere Raumlufttemperatur im Winter lag bei 21,7°C, der Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> im Mittel der ersten fünf Betriebsjahre bei 13,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> Wärmepumpenstrom. Der Endenergieverbrauch für die Komfortlüftung lag mit 2,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> sehr niedrig.

Beim Projekt **Neu-Ulm** handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus, das im Rahmen des Modellvorhabens Effizienzhaus Plus im Altbau errichtet wurde [4]. Das Gebäude wurde mit passivhaustypischen U-Werten saniert, hat eine zentrale Komfortlüftung mit WRG und wird über eine Sole-Wärmepumpe beheizt. Es verfügt über eine große PV-Anlage. Die mittleren Raumlufttemperaturen im Winter lagen bei etwa 21°C.

Der Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> lag im Messjahr 2016/17 bei 14,0 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> Wärmepumpenstrom, der Verbrauch der Komfortlüftung bei 3,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>.

Ähnliche Verbräuche wie in Abbildung 35 dargestellten die gas- oder nahwärmeversorgten Projekte in Frankfurt und Ludwigshafen erreichen auch zahlreiche andere hochwertige Sanierungen, etwa die beiden Vorarlberger Projekte, deren Endenergieverbrauch vor und nach Sanierung in den folgenden Abbildungen dargestellt sind.



Abbildung 36: MFH Rankweil; Bauherr: VOGEWOSI, Arch. A. Sonderegger, Foto: Energieinstitut Vorarlberg

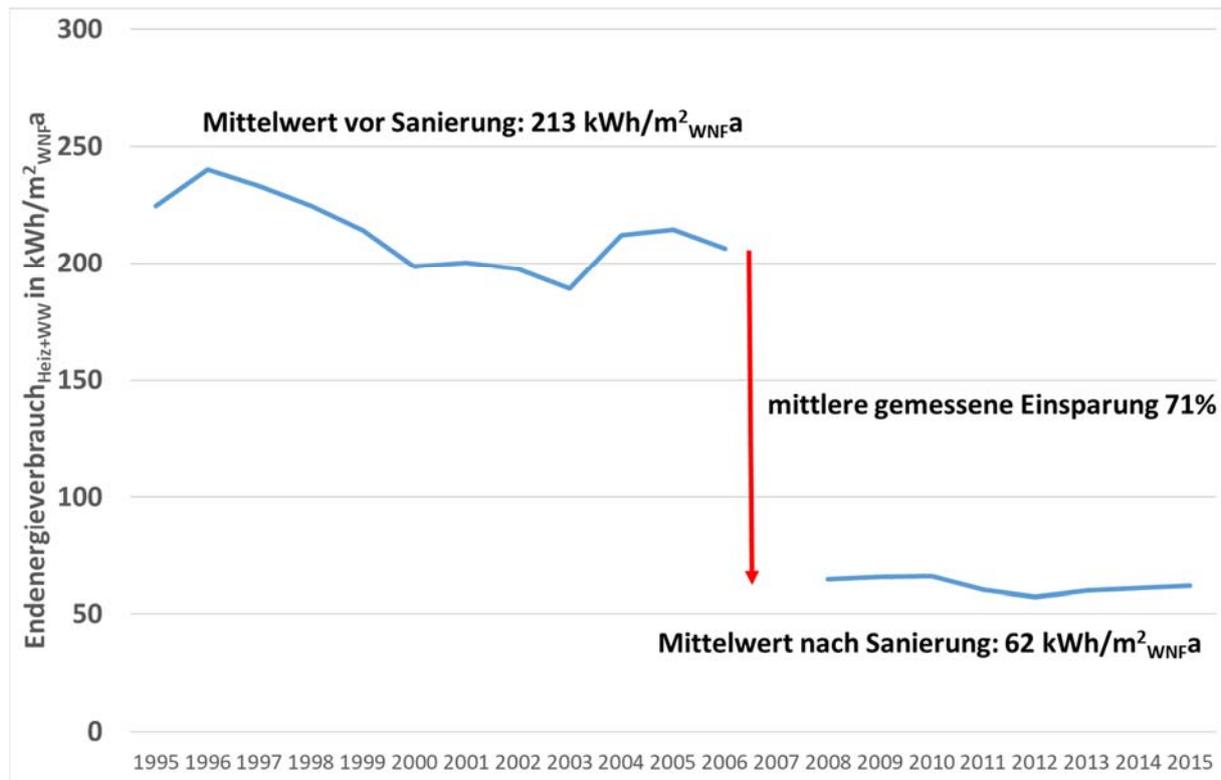
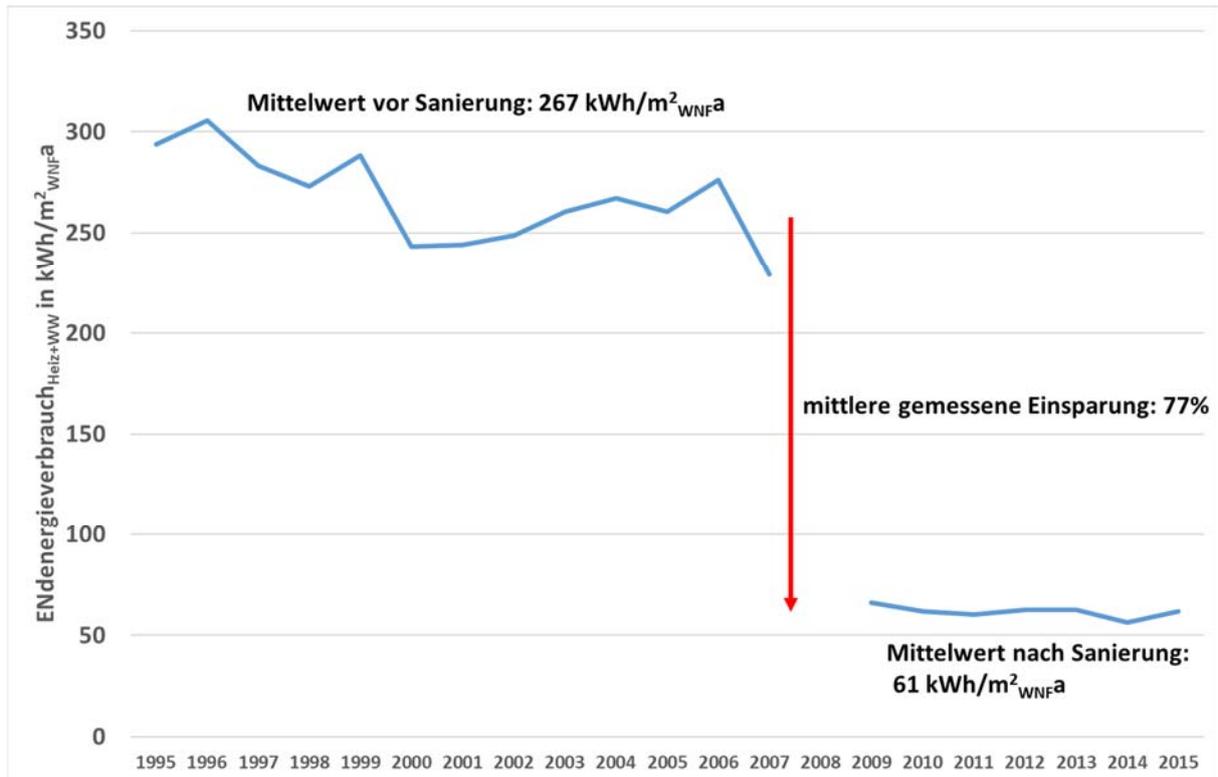


Abbildung 37: gemessener spezifischer Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> des MFH Rankweil Schleipfweg Bauherr: VOGEWOSI, Architektin A. Sonderegger; [33]

Lag der Endenergieverbrauch des Gebäudes für Heizung und Warmwasser vor Sanierung im Mittel bei  $213 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ , so sank er durch die Sanierung um 71% auf einen mehrjährigen Mittelwert von  $62 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ . Würde das Gebäude im Zuge der Dekarbonisierung beim nächsten Austausch des Wärmeerzeugers statt mit Erdgas mit einer Wärmepumpe beheizt, so können bei angenommenen Jahresarbeitszahlen von 3 bis 3,5 Endenergieverbräuche von etwa 18 bis 21  $\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{WNFA}}$  erreicht werden.



**Abbildung 38: gemessener Endenergieverbrauch<sub>Heiz+WW</sub> des MFH Dornbirn Fussenau  
Bauherr: VOGEWOSI, Architekt W. Kuess; [33]**

Der Endenergieverbrauch des Projekts in Dornbirn konnte um 77% von  $267 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$  auf einen mehrjährigen Mittelwert von  $61 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$  reduziert werden, bei Umstellung auf Wärmepumpe könnten Werte von etwa 17,5 bis  $20 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{WNFA}}$  erreicht werden.

Während die dargestellten Projekte die Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs durch die Kombination aus sehr guter Gebäudehülle und effizienter Wärmeversorgung zeigen, werden diese beiden Elemente im nachfolgend dargestellten Projekt in Zürich um eine sehr groß dimensionierte PV-Anlage (Dach und Fassade) ergänzt.



**Abbildung 39: MFH-Sanierung Zürich Hofwiesen/Rothstrasse; Arch. K. Viriden; Foto aus Publikation [42]**

Das Bestandsgebäude in Zürich wurde von 4 auf 6 Geschosse aufgestockt und hat nach der Sanierung eine Wohnfläche von 2.870 m<sup>2</sup>. Das Energiekonzept setzt auf die Kombination eines drastisch reduzierten Heizwärmebedarfs (U-Werte opak zwischen 0,09 und 0,16 W/(m<sup>2</sup>K, hochwertige Fenster) mit einer hocheffizienten Wärmeversorgung (Wärmepumpe), effizienten Haushaltsgeräten und einer sehr großen, Dach- und fassadenintegrierten PV-Anlage. Der berechnete Endenergiebedarf beträgt 13,3 kWh/m<sup>2</sup>a. Der gesamte Endenergiebedarf des sechsgeschossigen Gebäudes für Heizung und Warmwasser sowie für Hilfs- und Haushaltsstrom kann gemäß der Berechnungen jahresbilanziell über die Erträge der mit 190 kWp (= 66 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>) sehr großen PV-Anlage gedeckt werden [42]. Das Projekt ist damit eines der effizientesten Sanierungsprojekte in Mitteleuropa.

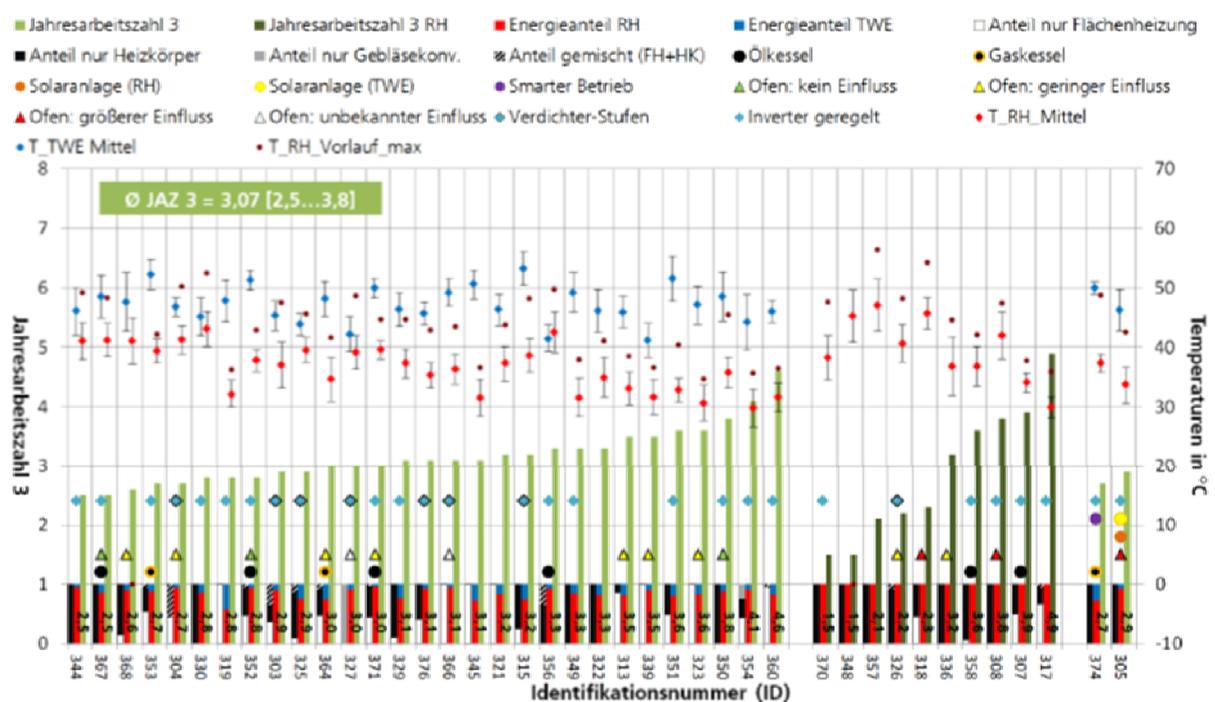
### **3.6 Hohe Effizienz der Wärmeversorgungssysteme**

Neben der Reduktion des Nutzwärmebedarfs (v.a. des Heizwärmebedarf) ist eine hohe Effizienz des Wärmeversorgungssystems die zweite Voraussetzung zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen. Dies gilt gleichermaßen für Neubauten und Sanierungen.

Da Wärmepumpen in einem dekarbonisierten Gebäudebestand eine wichtigere Rolle spielen werden, werden die in der Praxis erreichbaren Effizienzen nachfolgend kurz dargestellt. Dabei wird auf Messergebnisse aus einem Feldtest des Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE in Freiburg zurückgegriffen, in dem die Effizienz verschiedener Wärmepumpensysteme an insgesamt 56 Bestandsgebäuden messtechnisch ermittelt wurde [41].

Die Gebäude weisen je nach Sanierungszustand (von unsaniert bis umfassend saniert) witterungsberichtigte Heizwärmeverbräuche von 50 bis 250 kWh/m<sup>2</sup>a auf. Der Medianwert liegt bei 110 kWh/m<sup>2</sup>a.

Bei den Gebäuden handelt es sich großteils um Einfamilienhäuser und wenige Gebäude mit bis zu 4 Wohneinheiten. Die Ergebnisse sind daher nicht ohne Interpretation auf Mehrfamilienhäuser übertragbar: während in der Studie des ISE ein mittlerer Warmwasser-Wärmebedarf von 8 kWh/m<sup>2</sup>a gemessen wurde, liegen typische Werte in Mehrfamilienhäusern aufgrund der im Mittel deutlich dichteren Personenbelegung bei etwa 16 bis 20 kWh/m<sup>2</sup>a (Nutzwärme). Damit liegt der Anteil der Warmwasserbereitung in MFH über dem in Einfamilienhäusern, so dass größere Anteile der Wärme in einem höheren Temperaturniveau benötigt werden. Diese führt zu tendenziell niedrigeren Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Gebäude mit Luft-Wärmepumpen.



**Abbildung 40: Messergebnisse und Eigenschaften der Luftwärmepumpen in der Auswertungsperiode Juli 2018 bis Juni 2019 [41]**

Wie die Abbildung zeigt, lag die Jahresarbeitszahl 3 (inkl. Stromverbrauch des elektrischen Heizstabs) der Luft-Wärmepumpen bei Werten zwischen 2,5 und 3,8, im Mittel bei 3,1.

Zu beachten ist, dass in den untersuchten, zum Teil nicht oder nur teilsanierten Gebäuden der Anteil der Heizung mit durchschnittlich 85% deutlich höher liegt, als bei hochwertigen Gebäudesanierungen. Liegt der Anteil des Warmwassers am gesamten Wärmebedarf wie in hochwertigen Sanierungen bei etwa 35 bis 40%, so muss die Wärmepumpe einen höheren Anteil der Wärme auf höherem Temperaturniveau liefern, was zu niedrigeren Jahresarbeitszahlen führt.

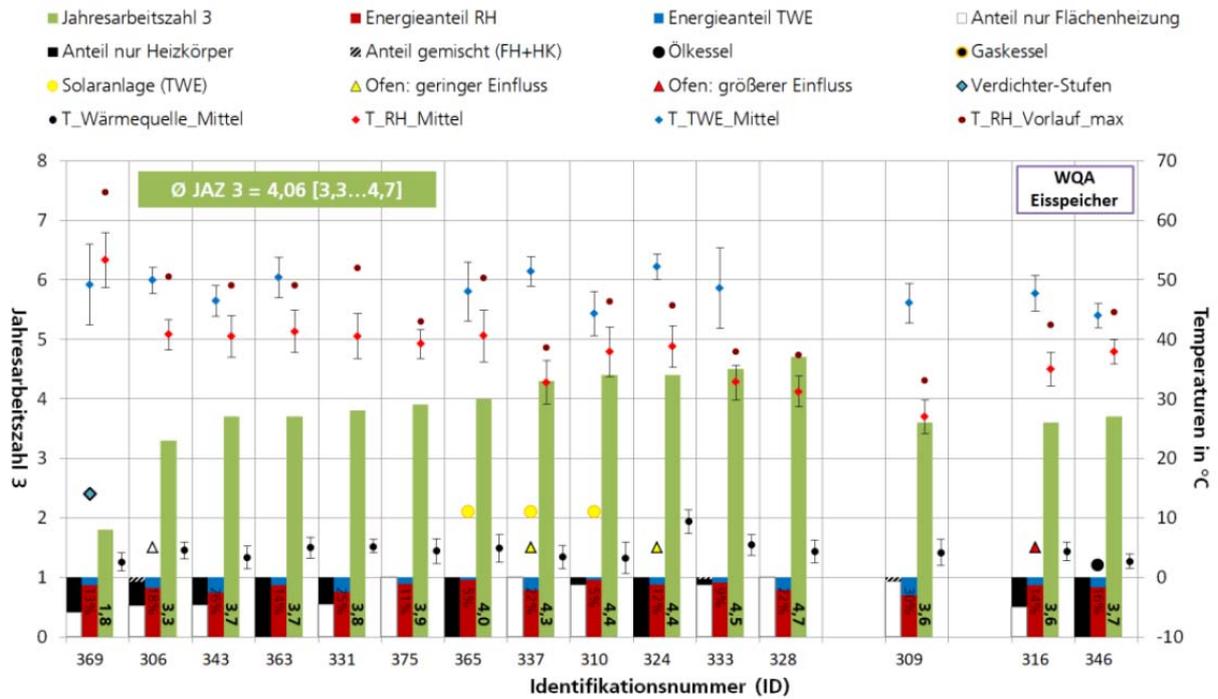


Abbildung 41: Messergebnisse und Eigenschaften der 13 gemessenen Erdreich-Wärmepumpen und 2 Wärmepumpen mit Eisspeicher in der Auswertungsperiode Juli 2018 bis Juni 2019 [41]

Wie die Abbildung zeigt, lag die Jahresarbeitszahl 3 (inkl. Stromverbrauch des elektrischen Heizstabs) der Sole-Wärmepumpen bei Werten zwischen 3,3 und 4,7, im Mittel bei 4,06.

Abbildung 42 zeigt den Zusammenhang zwischen dem spezifischen Heizwärmeverbrauch und der mittleren Temperatur der WP zur Raumheizung (links) sowie den Zusammenhang zwischen mittlerer Temperatur der WP zur Raumheizung und der Jahresarbeitszahl 3 zur Raumheizung.

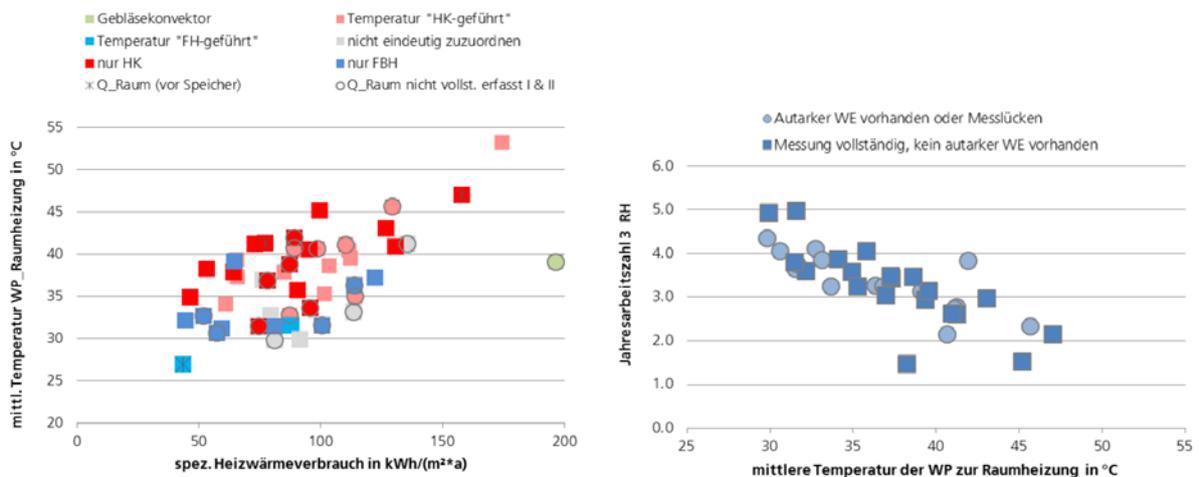


Abbildung 42: Zusammenhang zwischen spezifischen Heizwärmeverbrauch und mittlerer Temperatur der WP zur Raumheizung (links) sowie zwischen mittlerer Temperatur der WP zur Raumheizung und der Jahresarbeitszahl 3 zur Raumheizung (rechts) [41]

Die Abbildung verdeutlicht die Abhängigkeit der mittleren Temperatur der Wärmepumpe zur Raumheizung vom gemessenen Heizwärmeverbrauch: je niedriger der Heizwärmeverbrauch

(bzw. die zu deckende Heizlast), desto niedriger die mittlere Temperatur der Wärmepumpe. Je niedriger wiederum die mittlere Temperatur der Wärmepumpe zur Raumheizung, desto höher die Jahresarbeitszahl. Die Messergebnisse bestätigen damit die in Kapitel 3.7.2 dargestellten Zusammenhänge zwischen Temperaturhub und Effizienz des Wärmepumpensystems.

### 3.7 Ersatz fossiler Wärmeerzeuger

Die Energieversorgung für Raumwärme und Warmwasser ist von fossilen Quellen dominiert. Zu einem großen Teil kommen Öl und Gas direkt im Gebäude zur Anwendung, aber auch in vielen Wärmenetzen steckt ein mehr oder weniger großer fossiler Anteil. Des Weiteren ist elektrischer Strom für Wärmepumpen und elektrische Direktheizungen noch lange nicht vollständig dekarbonisiert.

Die Zielsetzungen, Strategien und Maßnahmen können überregional sehr ähnlich formuliert werden, die Ausgangslage ist regional aber recht unterschiedlich, wie der exemplarische Vergleich von Vorarlberg und Baden-Württemberg zeigt. Während der Wohngebäudebestand Vorarlbergs flächengewichtet nur noch zu 46% mit Öl und Gas versorgt wird [30], sind es in Baden-Württemberg noch etwa 76% und im Fürstentum Liechtenstein etwa 85%. In Baden-Württemberg und im Fürstentum Liechtenstein bezieht sich der Anteil auf die Anzahl der Wohneinheiten [43]. Der Beitrag von Wärmepumpen ist in Vorarlberg mit 17% schon recht hoch [30], in Baden-Württemberg liegt er mit 2,3% noch deutlich niedriger. Gleichzeitig belastet der hohe Anteil von direktelektrischer Wärme (8%, gegenüber knapp 6% in BW) aber die Kohlenstoff-Bilanz von Vorarlberg. Beide Umstände sind zumindest teilweise auf das unterschiedliche Preisniveau der elektrischen Energie in den beiden Ländern zurückzuführen.

Der Anteil des Waldes an der gesamten Landesfläche ist mit 37,4 bzw. 37,8% zwar nahezu gleich groß, auf die Bevölkerung bezogen steht den Einwohnern von Vorarlberg mit etwa  $2.250\text{m}^2_{\text{Waldfäche}}$  pro Person aber fast die doppelte Fläche wie den Bewohnern von Baden-Württemberg mit  $1.217\text{m}^2_{\text{Waldfäche}}$  pro Person zur Verfügung. Hierin und in der ländlicheren Struktur dürften die Gründe für den wesentlich höheren Anteil an Biomasse in der Raumwärmeerzeugung liegen: 20% der Gebäudewärme werden in Vorarlberg mit Hilfe von Stückholz-, Hackschnitzel- und Pelletheizungen dezentral eingebracht; in BW liegt dieser Anteil bei 6,2% der Wohneinheiten. Hinzu kommt in Vorarlberg noch ein hoher Anteil an Biomasse-Nahwärmenetzen.

Die Dekarbonisierung der Gebäudewärme findet auf drei Ebenen statt:

- Substitution von dezentralen Wärmeerzeugern auf fossiler Basis
- Substitution von fossiler Energie in Wärmenetzen
- Umbau der elektrischen Energieversorgung zu einer 100% erneuerbaren

Letzteres steht in allen Ländern auf der politischen Agenda und wird in diesem Rahmen nur untergeordnet behandelt (vgl. Kapitel 3.9.). Von Bedeutung ist jedoch gerade auch hier die bereits beschriebene Rolle der Effizienz: Je besser es gelingt, den Raumwärmebedarf mit Hilfe von hohen Energiestandards zu reduzieren, umso leichter und umso wirtschaftlicher wird es möglich sein, den Bedarf an elektrischer Energie erneuerbar bereitzustellen (vgl. Kapitel 3.3. bis 3.6.). Dies betrifft im Raumwärmesektor insbesondere den Winterstrom, für den Sonnenenergie und Wasserkraft nur kleine Beiträge leisten können.

Welche Technologien stehen nun für die erforderlichen Substitutionen zur Verfügung? Die naheliegende Biomasse wird langfristig nur eine untergeordnete Rolle in der Raumwärme spielen, weil sie wertvolle Eigenschaften für andere Zwecke mit sich bringt (Vgl. Kapitel 3.7.4).

„Grünes Gas“ sollte bei der Beheizung von Gebäuden in Zukunft ebenfalls keine Rolle spielen: „Grüne“, brennbare Gase können zum einen synthetisch, mit Hilfe von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden, zum anderen wird „Biomethan“ aus Abfällen der Landwirtschaft und aus der Lebensmittelproduktion gewonnen. Auch eigens hierfür angebaute Energiepflanzen stellen eine Möglichkeit dar, wobei hierfür große, wertvolle Flächen benötigt werden, wenn relevante Mengen produziert werden sollen. Diese Flächen würden dann dem Anbau von Lebensmitteln nicht mehr zur Verfügung stehen, was im großen Stil Konflikte – auch in ethischer Hinsicht – mit sich bringt.

Für die Produktion von synthetischem grünem Gas ist zusätzliche Energie aus Erneuerbaren erforderlich (wäre sie nicht zusätzlich vorhanden, würde der EE-Strom einem anderen Verbraucher „weggenommen“). Aus diesen zusätzlichen, regenerativ erzeugten Strommengen würde mittels Elektrolyse Wasserstoff erzeugt, der unter Zugabe von CO<sub>2</sub> methanisiert werden könnte. Allerdings gibt es sehr großen Bedarf an grünem Wasserstoff seitens der Industrie. Nicht nur, aber insbesondere die Stahlproduktion muss auf diese Art und Weise dekarbonisiert werden. Alleine die hierfür benötigten Mengen sprengen auch mittelfristig das prognostizierte Angebot an „Überschussstrom“, sodass dieses synthetische Gas für die Beheizung von Gebäuden viel zu wertvoll ist. Die Nutzung einer Kilowattstunde Strom in Wärmepumpen für Gebäudewärme ist im Durchschnitt um einen Faktor 6 effizienter als die Produktion von synthetischem Gas und dessen Nutzung in einem Brennwertkessel.

Das Potenzial für Biomethan aus Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion wird hingegen nur auf rund 10% des derzeitigen Gasverbrauchs geschätzt; auf das Konto der Industrie geht aber rund ein Drittel des Verbrauchs [44]. Während im Gebäude nur Temperaturen um 20° (Raumwärme) bzw. 60°C (Warmwasser) benötigt werden, sind für industrielle Prozesse deutlich höhere Temperaturen (von mehreren Hundert bis 1.500°C) erforderlich. Das verfügbare Gas aus erneuerbaren Quellen muss deshalb unbedingt für diese Anwendungen reserviert

werden. Auch Biomethan ist somit für die Beheizung von Gebäuden viel zu wertvoll – im Gegenteil, auch ein wesentlicher Teil der nachhaltig nutzbaren Biomasse aus unseren Wäldern wird zukünftig für die Produktion von Gas aus Erneuerbaren eingesetzt werden müssen.

Für den Großteil der Gebäudewärme stehen deshalb im Wesentlichen zwei Technologien zur Verfügung: Dezentrale Wärmepumpen und Wärmenetze. Letztere werden wiederum von Groß-Wärmepumpen, Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärme aus Müllverbrennung und Industrie sowie – je nach regionalen Rahmenbedingungen - Solar- und Geothermie gespeist. Dabei werden pro Wärmenetz vermehrt mehrere Wärmeerzeuger implementiert, weil diese „multimodalen“ Wärmenetze einen wesentlichen Beitrag zu Flexibilisierung und Lastmanagement in der Stromversorgung leisten können.

Abbildung 43 zeigt den Status quo der Wärmelieferanten in Vorarlberg und in Baden-Württemberg [45], [46], sowie drei verschiedene Prognosen für die Zusammensetzung im Jahr 2050: gemäß einer Studie des Fraunhofer ISE, „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem“ [47], einer Studie der Agora Energiewende „Klimaneutrales Deutschland“ [48] und der „Szenarienbetrachtung 2030“ im Rahmen der Energieautonomie Vorarlberg [30]. Daraus abgeleitet wurde ein Zielszenario für dieses Projekt.

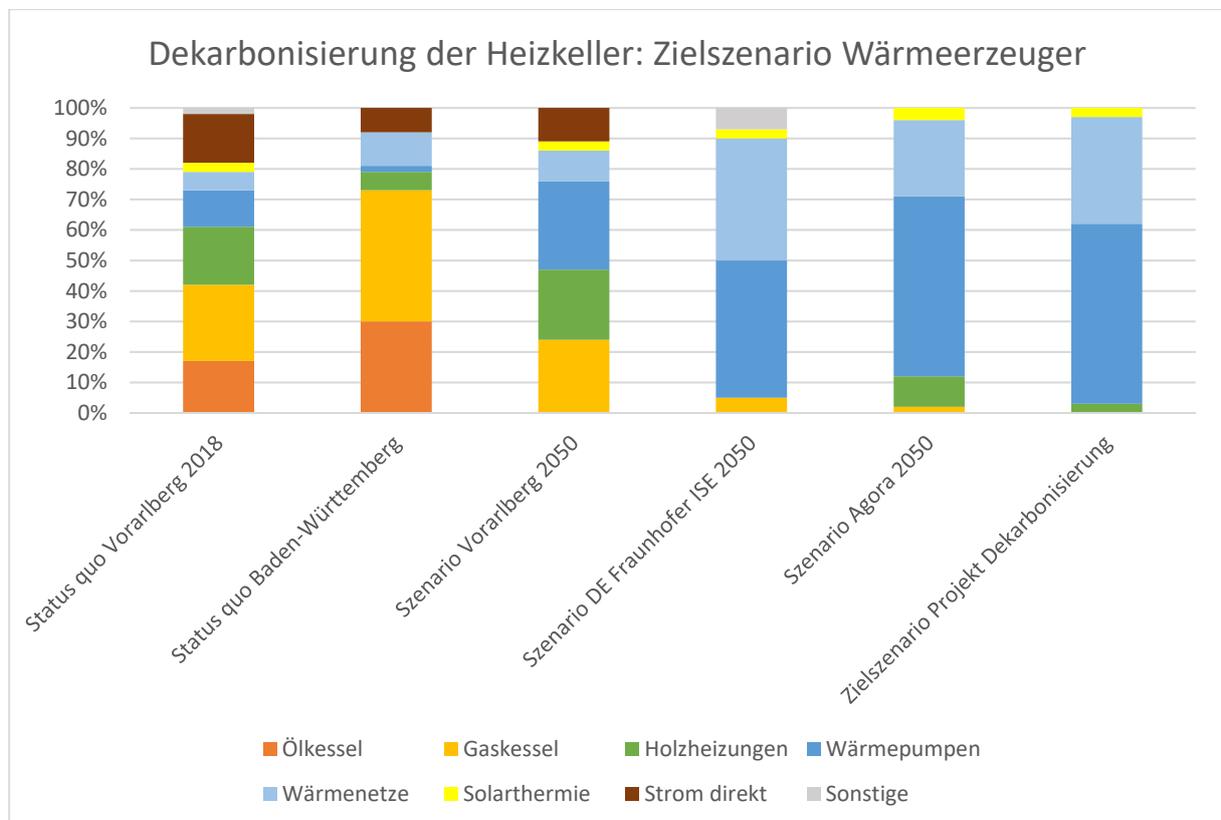


Abbildung 43: Anteile der Wärmeerzeuger an der gelieferten Gebäudewärme [47], [48], [30]

In der Studie des Fraunhofer ISE wurden vier unterschiedliche Szenarien entwickelt, die hier abgebildeten Zahlen stellen Mittelwerte dar. In der Agora-Studie wurde nur ein Szenario skizziert; der Bestand vor 2000 wurde hier zwar weitgehend saniert, allerdings auf ein etwas weniger ambitioniertes Niveau, wodurch das gegebene Fernwärmepotenzial einen kleineren Anteil beisteuert. Beim „Szenario Vorarlberg 2050“ handelt es sich nicht um ein Zielszenario, sondern um ein Szenario, in dem untersucht wird, welche Entwicklung eintritt, wenn der Ausstieg aus dem Energieträger Öl politisch forciert wird, Maßnahmen zum Ersatz des Energieträgers Gas aber weiterhin auf freiwilliger Basis verbleiben. Für die Gebäudeeffizienz wird in diesem Szenario eine Verdoppelung der Sanierungsrate innerhalb von 10 Jahren angenommen, für Neubauten und Sanierungen ein Energieniveau, das dem heutigen Kostenoptimum gemäß Studien und begleiteten Praxisprojekten des Energieinstitut Vorarlberg entspricht (KliNaWo). Technische Fortschritte in Bezug auf die Effizienz von Gebäudehülle und Wärmeversorgungssysteme sowie eine Verschiebung des Kostenoptimums in Richtung nochmals verbesserter energetischer Qualitäten sind nicht berücksichtigt, sie wurden in einer weiteren Studie – allerdings beschränkt auf den Wohnbau – untersucht [6].

Das Zielszenario für dieses Projekt orientiert sich an der Prognose der ISE-Studie, der geringe verbleibende Gasanteil wird jedoch durch Biomasse ersetzt. Außerdem werden die „Sonstigen Wärmeerzeuger“ auf Wärmepumpen und Wärmenetze aufgeteilt.

### **3.7.1 Fern- und Nahwärme**

Rund ein Drittel der gesamten Gebäudewärme soll also zukünftig über (grüne) Wärmenetze geliefert werden. Bei diesem massiven Umbau müssen viele Aspekte zusammengedacht werden: Der flächenspezifische Bedarf an Gebäudewärme muss und wird sinken – eine signifikante Effizienzverbesserung ist Voraussetzung für eine erneuerbare Vollversorgung. Der Zuwachs an Wärmebedarf durch den Neubau ist aufgrund steigender Energiestandards geringer als die Reduktion durch Sanierung des Bestands mit sehr schlechtem Niveau; bei noch größer werdenden Anstrengungen in Bezug auf Energiestandards und Sanierungsrate – und „dank“ geringerer Heizgradetage infolge der globalen Erwärmung – sind absolute Reduktionsraten von 2-3%/a möglich und anzustreben (derzeit ca. 1%/a in Vorarlberg) [45]. Die Reduktionsrate des Verbrauchs kann die Sanierungsrate übersteigen, weil prioritär jener Bestandteil mit den höchsten Verbräuchen saniert wird – dadurch sinkt der Verbrauch um mehr als den spezifischen Mittelwert (Vgl. Kapitel 3.3. bis 3.6.).

Der gesamthaft sinkende Wärmebedarf bringt einen wesentlichen Vorteil und eine wesentliche Herausforderung mit sich: Einerseits kann die Vorlauftemperatur der Wärmenetze reduziert werden – liegen die Betriebstemperaturen derzeit meist deutlich über 90°C, kann dieser Wert zukünftig unterschritten werden. Je niedriger die Vorlauftemperatur, umso geringer die Verluste der Wärmenetze und umso leichter bzw. effizienter können erneuerbare Energiequellen

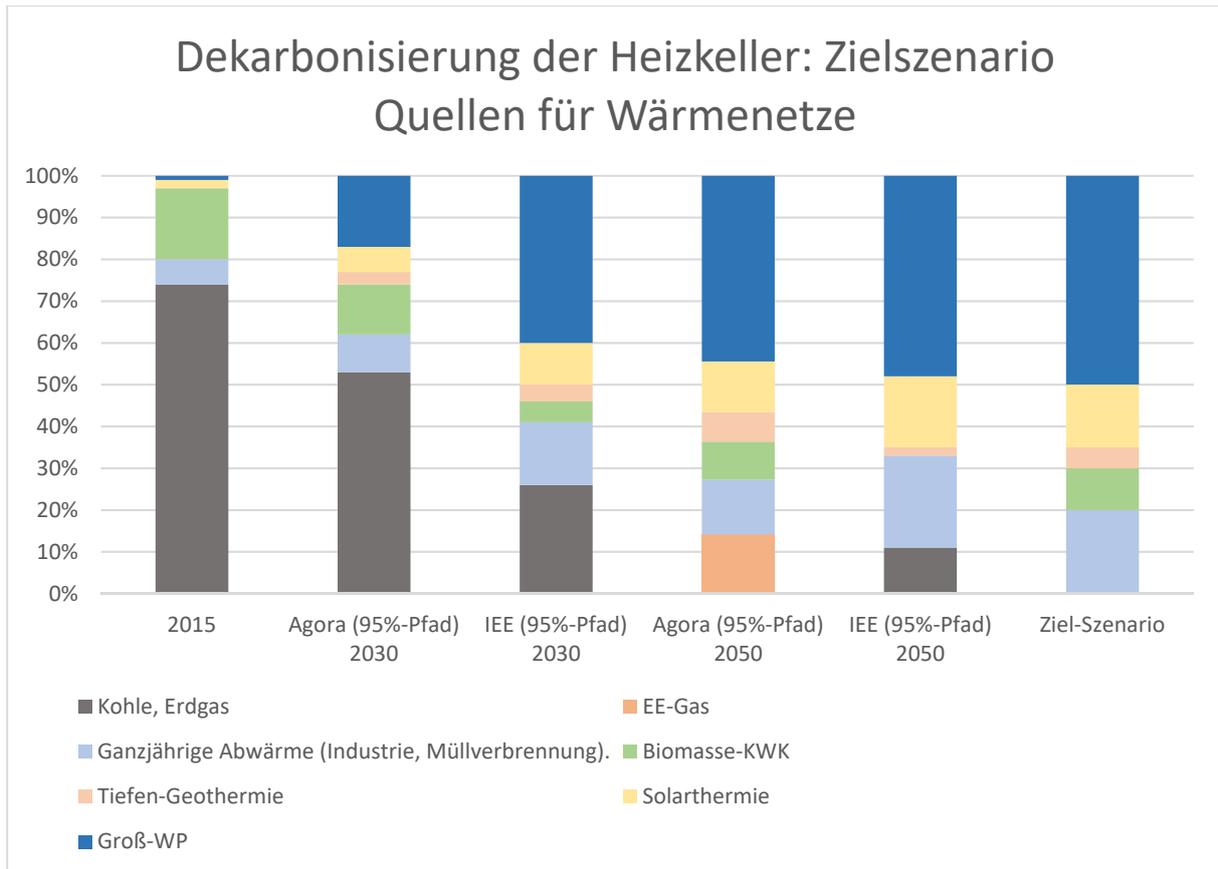
zum Einsatz kommen. Das gilt speziell für Solarthermie, aber auch für Geothermie, Groß-Wärmepumpen und teilweise auch Abwärme. Andererseits stellt der sinkende Wärmebedarf eine wirtschaftliche Herausforderung dar: Reduzierter Wärmeabsatz führt zu höheren Wärmepreisen oder defizitärem Betrieb der Wärmenetze. Dem kann begegnet werden, indem die Anschlussdichte innerhalb der bereits erschlossenen Gebiete erhöht wird; die räumliche Erweiterung der Netze entschärft die Situation ebenso. Darüber hinaus werden grüne Wärmenetze zukünftig auch einen essentiellen Beitrag zur zuverlässigen Stromversorgung – vor allem im Winter – leisten, was von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist und dementsprechend honoriert werden muss. Welche Gebiete sich zukünftig grundsätzlich für Wärmenetze eignen, ist im Kapitel 8.6 beschrieben.

Wärmenetze werden in Zukunft vielfach „multimodal“ betrieben – mehrere Systeme können Wärme einspeisen, je nach Angebot und Nachfrage seitens der elektrischen Energieversorgung: Während die ganzjährig verfügbare Abwärme aus Müllverbrennung und Industrie die Grundlast darstellt, wird Solarthermie nach Verfügbarkeit eingespeist, Biomasse-KWK bei Unterangebot an elektrischer Energie, Groß-Wärmepumpen hingegen bei EE-Überschuss. Tiefen-Geothermie kann unabhängig davon zum Einsatz kommen. Ergänzend können EE-Überschüsse in Form von Wasserstoff saisonal gespeichert und mit Hilfe von Brennstoffzellen rückverstromt werden. Auch die Abwärme dieser Prozesse steht zur Nutzung bereit. Je nach System-Konfiguration, insbesondere beim Einsatz von stromgeführten Biomasse-KWK und Groß-Wärmepumpen, können Groß-Wärmespeicher netzdienlich integriert werden [49].

Die Sektorkopplung, in diesem Fall die Kopplung von Wärmenetzen an die elektrische Energieversorgung stellt in dieser Dimension einen neuen, substanziellen Aspekt für Wärmenetzbetreiber dar. Die Konzeption der multimodalen Systeme und der sukzessive Umbau des Netzes verlangt nach einem Netztransformationsplan. Eine umfassende kommunale Wärmeplanung liefert die essentiellen Parameter der Temperaturabsenkung, Verdichtung und Erweiterung.

Welche Potenziale die einzelnen möglichen Energiequellen in Deutschland bieten und wie schnell sie erschlossen werden können, wurde sowohl von der Agora Energiewende [49] als auch von der Fraunhofer IEE [50] behandelt.

Abbildung 44 zeigt die Prognosen für 2030 und 2050 sowie das daraus abgeleitete Zielszenario für den Bodenseeraum. Dieses lehnt sich an die IEE-Studie an, wobei der fossile Anteil wieder eliminiert und durch Biomasse ersetzt wird. Die Größenordnung dieses Anteils stimmt wiederum mit dem Agora-Szenario überein.



**Abbildung 44: Anteile der Wärmequellen an der gelieferten Energie für Wärmenetze [49], [50]**

Den größten Beitrag werden mit 50% demnach **Groß-Wärmepumpen** (Thermische Leistungen ab 100 kW, in Wärmenetzen meist mehrere MW) liefern. Wärmepumpen zeichnen sich dadurch aus, dass sie Energie aus einem Medium niedriger Temperatur mit Hilfe von elektrischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau bringen. Man benötigt also einen Teil elektrischer Energie und eine Quelle, der Wärme auf niedrigem Niveau entzogen werden kann. Für alle folgenden Wärmequellen gilt, dass die bevorstehende Reduktion der Vorlauftemperaturen zu höherer Effizienz der Wärmepumpen führt: Jedes Grad Reduktion hat überschlägig eine Erhöhung des COP (Coefficient of Performance) um 1% zur Folge. Die Absenkung um 20 Kelvin – beispielsweise von 110 auf 90°C – würde also 20% mehr Energie liefern; bei 70°C kommen gar 40% mehr an. Die Reduktion des mittleren Heizwärmebedarfs der versorgten Gebiete ist essentielle Voraussetzung für den Einsatz von Groß-Wärmepumpen, wie die nachfolgend angegebenen COPs der derzeitigen Anlagen zeigen.

#### **Wärmequelle Flusswasser**

Ein verhältnismäßig großer Anteil der Bevölkerung befindet sich in einer Nähe zu größeren Flüssen, die eine Einbindung in lokale Wärmenetze erlaubt, weshalb das technische Potenzial recht groß ist. Allerdings bringen Flüsse gegenüber Seen insbesondere im Winter den Nachteil niedrigerer Temperaturen mit sich, was eher geringe Effizienz zur Folge hat. Der Studie [50] zufolge arbeiten Fluss-Wärmepumpen (bei Wärmenetz-Temperaturen von 90°) mit mittleren COPs von 2,2 – aus einem Teil elektrischer Energie werden 2,2 Teile Wärme produziert. Da

sich Fluss-Wärmepumpen für sehr große Leistungen (auch >10 MW<sub>el</sub>) eignen, sind die Investitionskosten relativ niedrig, wodurch sich ein wirtschaftlicher Betrieb abbilden lässt.

#### **Wärmequelle Seewasser**

Das Potenzial ist gegenüber jenem von Flusswasser deutschlandweit etwas geringer; die urbanen Bereiche an den Ufern von Bodensee und Zürichsee bieten jedoch gute Voraussetzungen für die Nutzung. Die Effizienz ist in der Regel – bei ähnlichen Investitionskosten – etwas höher als bei Fluss-Wärmepumpen (derzeit 2,6); außerdem bietet die Entnahme in tiefen Schichten im Sommer die vorteilhafte Möglichkeit der Kühlung. Interessant ist der Einsatz deshalb insbesondere dort, wo Kühlbedarf gegeben ist und mit Hilfe des Sees effizient genutzt werden kann. Die Einbindung in ein Wärmenetz lohnt sich dementsprechend schneller. Auch aus gewässer-ökologischer Sicht empfiehlt es sich, den See nicht nur für Kühlzwecke zu erwärmen, da dies durch den Klimawandel ohnehin schon erfolgt. Die Nutzung für Heizzwecke (also die Abkühlung des Sees) verlangsamt diese Erwärmung.

#### **Wärmequelle Klärwerk**

Auch kommunale Kläranlagen bieten ein gewisses Potenzial; mit dem Vorteil, dass die Nähe zum bebauten Gebiet immer gegeben ist. Wenn das Wärmenetz nicht weit ist, sollte die Einbindung einer Groß-Wärmepumpe geprüft werden.

#### **Wärmequelle Abwasserkanal**

Dezentrale Abwasserkanäle führen ebenfalls kontinuierlich Wärmeströme, die genutzt werden können. Innerhalb der Groß-Wärmepumpen geht es hier aber um eher kleine Leistungen unterhalb von 1 MW<sub>el</sub>. Die Effizienz ist im Mittel – entsprechend dem Temperaturniveau des häuslichen Abwassers – mit 2,9 schon relativ hoch.

#### **Wärmequelle Zentrale Erdsonden**

Letztlich kann die Wärmequelle für Groß-Wärmepumpen auch noch neu erschlossen werden. Mit Hilfe von Erdsonden – Bohrungen von wenigen hundert Meter Tiefe – wird die gleichmäßige Temperatur im Erdreich genutzt. Obwohl es sich um eine eher teure Erschließung und bei eher kleinen Leistungen auch um hohe Investitionskosten handelt, werden Erdsondenfelder eine relevante Rolle spielen: Die Umsetzung ist an vielen Orten möglich, unabhängig von natürlichen Gewässern und Abwasser-Quellen.

**Abwärme** aus der Industrie und der Müllverbrennung (Kehrrichtverbrennung) können zukünftig etwa 20% des Bedarfs von Wärmenetzen beisteuern. Während die Potenziale der Müllverbrennung schon zu einem großen Teil erschlossen sind, kann die Nutzung der industriellen Abwärme noch ausgebaut werden, insbesondere beim Bau neuer Netze. Die Abwärme stellt eine sehr kostengünstige Quelle dar, deren Potenzial möglichst vollständig zu heben ist. Weil die Bereitstellung nicht geregelt werden kann, steht diese Energie als Grundlast zur Verfügung.

**Solarthermische** Großanlagen können in viele Wärmenetze eingebunden werden und könnten einen Anteil von 15% einnehmen; vor allem dort, wo keine oder nur wenig Abwärme als Grundlast für die Sommermonate zur Verfügung steht. Im deutschen Bodenseeraum wurde schon eine beträchtliche Anzahl von Wärmenetzen mit solarem Anteil umgesetzt [51]. Aus ökonomischer Sicht stellen Groß-Wärmepumpen in Kombination mit der immer billiger werdenden PV eine Konkurrenz dar, Solarthermie wird aber zumindest dort interessant bleiben, wo Wärmequellen für Groß-Wärmepumpen nicht wirtschaftlich erschlossen werden können.

Über die zukünftige Nutzung von **Biomasse** wird noch viel und kontrovers diskutiert. Weitgehender Konsens herrscht darin, dass Biomasse für die alleinige Beheizung von Gebäuden zu wertvoll ist. Ob sie allerdings vorwiegend in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen verstromt, oder aber für Prozesswärme (direkt oder in Form von Biogas) reserviert werden soll, ist nicht geklärt. Hier wird deshalb ein kleiner Anteil von 10% angesetzt, der thermisch aus der KWK ausgekoppelt und in Wärmenetze eingespeist werden kann. Dies hat vor auch insofern eine Bedeutung, als eine Vielzahl von bestehenden Biomasse-Nahwärmenetzen zukünftig relativ leicht auf KWK umgerüstet werden können.

**Tiefen-Geothermie** erlaubt die Entnahme von heißem Wasser in Tiefen von mehreren Kilometern. Aquifere mit entsprechend hohen Temperaturen sind zwar in großen Teilen Deutschlands bekannt, die Nutzung kommt aufgrund der hohen Erschließungskosten vorwiegend in Großstädten mit großen Wärmenetzen in Frage. So spielt diese hydrothermale Energie in der Strategie der Stadtwerke München eine tragende Rolle [49]. Bei relativ hoch liegenden Aquiferen (1-2 km) können aber auch kleinere Anlagen wirtschaftlich betrieben werden ([www.erdwaermeriehen.ch](http://www.erdwaermeriehen.ch)). Gesamthaft kann diese Art der Wärmenutzung einen Anteil im Bereich von 5% der Energie in Wärmenetzen einnehmen.

### 3.7.2 Dezentrale Wärmepumpen

In Wohngebäuden stellen Wärmepumpen für Heizung und Trinkwarmwasser eine ausgereifte und bereits sehr verbreitete Technologie dar. In Vorarlberg, wo Wärmepumpen seit vielen Jahren die Wärmeversorgung dominieren, werden bereits über 10% des Bestands auf diese Art und Weise beheizt [52].

Die Technologie bietet den zentralen Vorteil, unter Verwendung von elektrischer Energie (im Idealfall aus erneuerbaren Quellen) kostenlose und emissionsfreie Umgebungswärme nutzbar zu machen. Mit der Energie einer Kilowattstunde Strom können je nach Art der Wärmepumpe 2,5 bis 6 Kilowattstunden Wärme zur Verfügung gestellt werden – bei diesem Verhältnis spricht man von der Leistungszahl, oder dem „Coefficient of Performance“ (COP) der Wärmepumpe. Diese Zahl gilt für einen bestimmten Betriebspunkt, in der Regel den Auslegungspunkt der

Wärmepumpe. Betrachtet man die Energiesummen über das ganze Jahr, erhält man die Jahresarbeitszahl (JAZ). Für diese JAZ gilt die Faustregel: Je einfacher die Erschließung der Wärmequelle, umso niedriger die JAZ – je aufwändiger, umso höher.

Aus technischer Sicht wird diese JAZ vom Temperaturhub bestimmt, womit die Temperaturdifferenz zwischen der genutzten Umgebung (Wärmequelle) und dem Wärmeabgabesystem (Wärmesenke) gemeint ist. Je geringer die Differenz zwischen den beiden Temperaturen, umso höher die Effizienz.

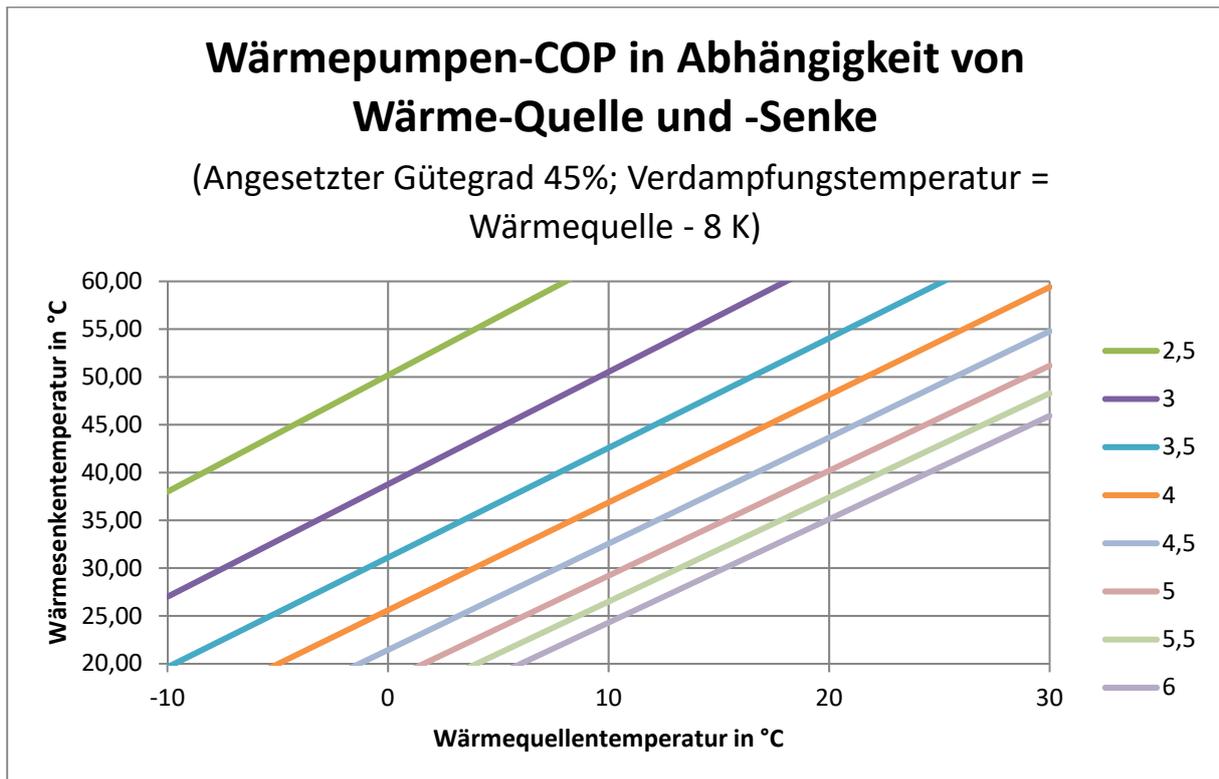


Abbildung 45: COP von Wärmepumpen

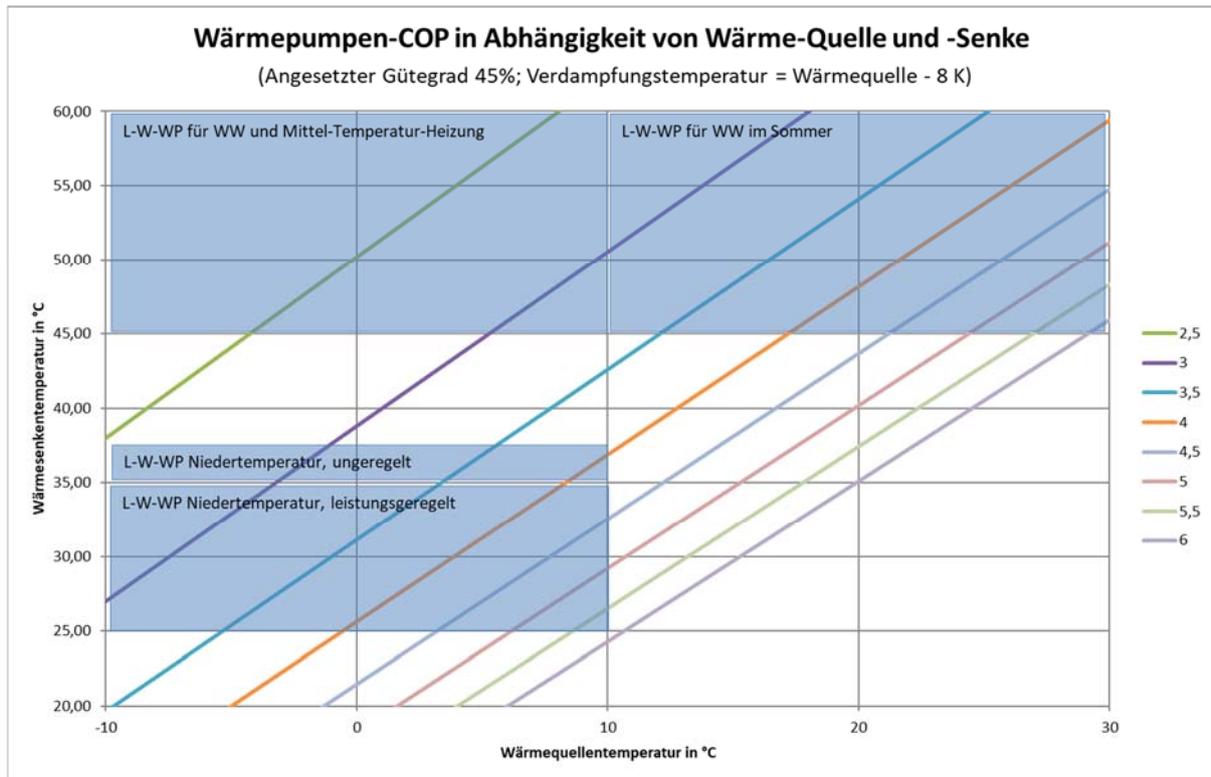
Die Umgebungsluft kann am einfachsten genutzt werden, liefert aber dann die schlechteste Effizienz, wenn sie am meisten benötigt wird – bei sehr kalten Temperaturen. Höhere und relativ konstante Temperaturen bietet demgegenüber das Erdreich.

Auf der Wärmeabgabeseite ist hohe Effizienz kaum mit Mehrkosten verbunden, zumindest im Neubau: Eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung kostet nur unwesentlich mehr als die Lösung mit Radiatoren. Der Bestand stellt diesbezüglich wiederum eine Herausforderung dar – der nachträgliche Einbau von Flächenheizungen ist mit viel Aufwand verbunden.

Welche Rolle spielen nun die verschiedenen Arten von Wärmepumpen und wo sollen sie eingesetzt werden?

Heute dominieren **Luft-Wasser-Wärmepumpen** (L-W-WP) den Markt. Fast 80% der verkauften Wärmepumpen gehörten 2019 in Österreich dieser Kategorie an. Nur in den Leistungssegmenten „20 bis 50 kW“ (58%) und „größer 50 kW“ (27%) ist die Bedeutung etwas geringer

[53]. Obwohl die Effizienz von L-W-WP in der Vergangenheit deutlich gesteigert werden konnte, ist die vorherrschende Dominanz auf die niedrigen Investitionskosten zurückzuführen. Die erreichbare Jahresarbeitszahl ist vergleichsweise niedrig.



**Abbildung 46: COP von Wärmepumpen, Betriebsfelder für Luft-Wasser-Wärmepumpen**

Wie der Abbildung 46 entnommen werden kann, ist die Effizienz von L-W-WP insbesondere für die höheren Temperaturen von Radiatorheizungen sehr niedrig – auch über die gesamte Heizperiode betrachtet bleiben die Arbeitszahlen in der Regel unter 2,5; bei sehr tiefen Außentemperaturen noch deutlich niedriger. Genau zu dieser Zeit steht aber am wenigsten Erneuerbare Energie in elektrischer Form zur Verfügung. Ein vorbehaltloser Austausch von Öl- oder Gaskesseln gegen L-W-WP – unabhängig vom Energiestandard und unter Beibehaltung der bestehenden Radiatorenheizung – stellt vor diesem Hintergrund eine Fehlentscheidung mit langfristigen Folgen dar.

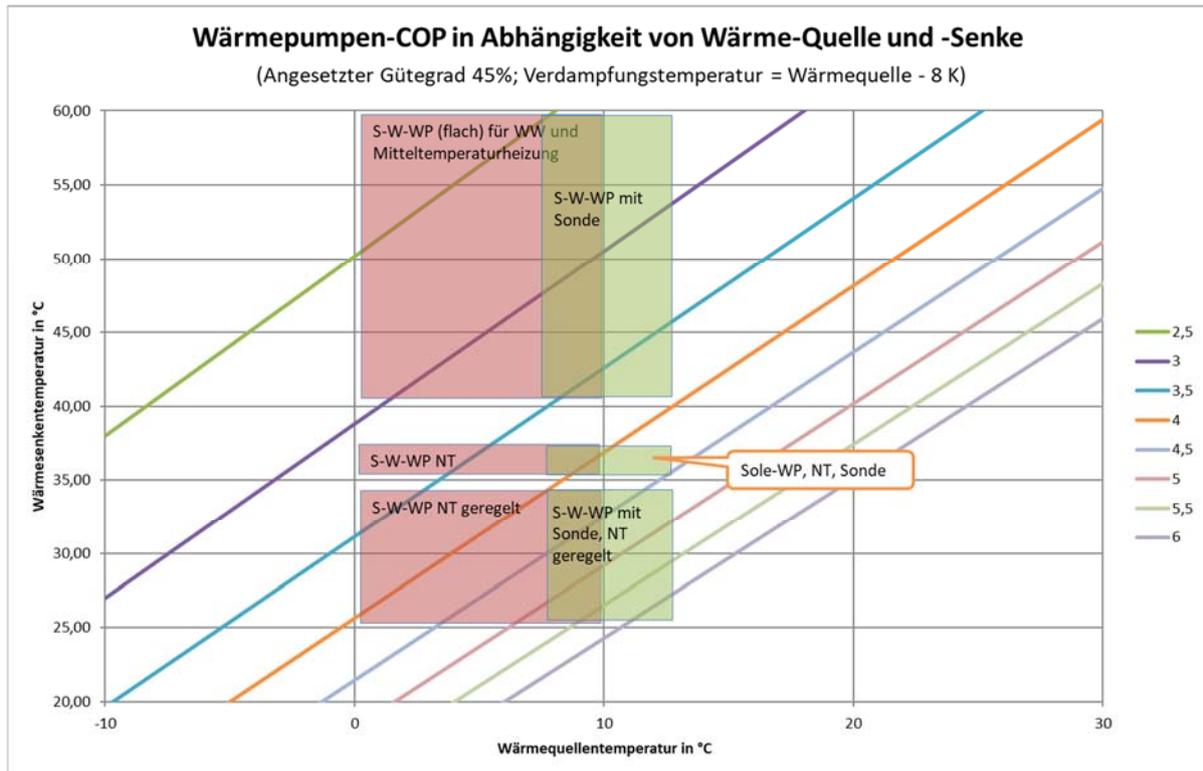
Auch die Art der Trinkwasser-Erwärmung beeinflusst die Effizienz: In Einfamilienhäusern oder bei dezentraler, wohnungsweiser Erwärmung in Mehrfamilienhäusern genügt ein Temperaturniveau um 45°C. Bei zentraler Trinkwasser-Erwärmung und -Speicherung sind aus hygienischen Gründen aber 60°C erforderlich, was sich stark negativ auf die Effizienz auswirkt. Die hinzukommenden Speicher- und Verteilverlusten der zentralen Erwärmung machen eine L-W-WP zur ungeeigneten Technologie für diese Anwendung.

Vertretbar ist die Effizienz hingegen beim Einsatz von Flächenheizungen; speziell leistungsgeregelte Anlagen (die Heizleistung wird über veränderliche Vorlauftemperaturen dem Bedarf angepasst) können ansprechende JAZ zwischen 3,5 und 4 liefern. Gemäß einer Studie des

Fraunhofer ISE [41] liegen die Jahresarbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen in der Praxis größtenteils zwischen 2,6 und 3,6, wobei die mittleren Vorlauftemperaturen der untersuchten Anlagen zwischen 30 und 43°C und die spezifischen Heizwärmeverbräuche zwischen 50 und 125 kWh/m<sup>2</sup>a lagen: Die guten Jahresarbeitszahlen sind nur bei niedrigen Verbräuchen möglich; Auslegungstemperaturen von mehr als 45°C führen in der Regel zu Jahresarbeitszahlen unter 3,0. In einem typischen Altbau mit einem Heizwärmeverbrauch von über 150 kWh/m<sup>2</sup>a ist (generell) kein sinnvoller Wärmepumpenbetrieb möglich.

Niedrige Vorlauf-Temperaturen sind dann möglich, wenn der spezifische Wärmebedarf unterdurchschnittlich niedrig ist. In unsanierten Gebäuden mit Heizwärmebedarfen von 75 kWh/m<sup>2</sup>a oder mehr liefern L-W-WP i.d.R. unzureichende Effizienz und eignen sich deshalb nicht. Dieser Umstand schränkt den sinnvollen Einsatz dieser einfachen und kostengünstigen Technologie ein: Auf die Sektoren Neubau und thermisch hochwertig sanierter Altbau; im Einfamilienhaus oder bei entsprechender Trinkwasser-Erwärmung auch im Mehrfamilienhaus, wobei hier die aufwendige Erschließung der Wärmequelle bei großen Leistungen Grenzen setzt.

Die zweite relevante Technologie nutzt Erdwärme: **Sole-Wasser-Wärmepumpen** haben ihre ehemalige Vormachtstellung zwar – zu Unrecht – längst verloren, sind aber in Österreich immer noch mit etwa 15% Marktanteil vertreten. Die Wärmequelle wird mit Hilfe eines flüssigen, frostsicheren Wärmeträgers (Sole) erschlossen, in Form von oberflächennahen Flachkollektoren, Spiral- oder Ringgrabenkollektoren, sowie in Form von Erdsonden (Tiefenbohrungen). Die oberflächennahe Verlegung ist recht kostengünstig, aber nur bei entsprechendem Flächenangebot möglich – oft auf das Einfamilienhaus beschränkt. Tiefenbohrungen punkten dafür mit noch höherem Temperaturniveau im Winter – je tiefer, umso konstanter die Temperatur des Erdreichs.



**Abbildung 47: COP von Wärmepumpen, Betriebsfelder für Sole-Wasser-Wärmepumpen**

Obwohl das deutlich wärmere Erdreich für bessere Verhältnisse sorgt, ist die Bereitstellung von Temperaturen um 60°C nicht mit ausreichender Effizienz möglich. Somit gilt auch hier die Einschränkung auf bestimmte Energiestandards – bei oberflächennaher Nutzung bis 75 kWh/m<sup>2</sup>a, in Verbindung mit Erdsonden bis 125 kWh/m<sup>2</sup>a. Je höher der Verbrauch, umso wichtiger ist die Effizienz. Der Grund für diese Kausalität liegt in der endlichen Verfügbarkeit von EE-Strom, insbesondere im Winter: Für Wind- und Wasserkraft gibt es Ökologie- und Akzeptanz-Grenzen, Biomasse ist nur beschränkt verfügbar und saisonal gespeicherter Sonnenstrom ist teuer. Mit Strom für die Beheizung ist deswegen besonders sparsam umzugehen. Bei kleinen Verbräuchen ist es mitunter kontraproduktiv, mit hohem Aufwand die Effizienz zu steigern, weil unverhältnismäßige Kosten damit verbunden sind, woran wiederum die Umsetzung scheitern könnte. Je höher der Verbrauch, umso mehr lohnt sich Effizienz auch monetär. Und der Effekt hoher Effizienz ist bei hohem Verbrauch ebenfalls größer.

Ein zunehmend bedeutender Nebenaspekt von Erdreich-gekoppelten Wärmepumpen ist die Möglichkeit der „passiven Kühlung“. Das ganzjährig relativ konstante Temperaturniveau erlaubt die sommerliche Nutzung als Wärmesenke – überschüssige Raumwärme kann in das Erdreich verfrachtet werden, was zu einer zusätzlichen, willkommenen Regeneration der im Winter abgekühlten Masse führt. Die Kühlung erfolgt dabei passiv, also ohne Aktivierung einer Kältemaschine. Lediglich die Umwälzpumpen kommen als Hilfsantriebe zum Einsatz.

Andere Erschließungen von Wärmequellen, wie **Grundwasser** oder **Direktverdampfung** im Erdreich sind mit Marktanteilen von wenigen Prozenten schon fast von der Bildfläche verschwunden. In Gebäuden im Passivhausstandard gelangt die Wärmequelle **Abluft** (bzw. Fortluft, womit die Abluft nach dem Passieren der Wärmerückgewinnung gemeint ist) in Zukunft vielleicht wieder eine gewisse Bedeutung. In Kompaktgeräten wird die Abluft der Wohnraumlüftung zunächst in der statischen Wärmerückgewinnung genutzt, die Restwärme in der Fortluft dient als Wärmequelle für eine Kleinstwärmepumpe, die wiederum Wärme für Raumheizung (via Zuluft) und Trinkwarmwasser liefert. Für den Betrieb bei tiefen Außentemperaturen ist die Vorwärmung der Außenluft erforderlich, was in der Regel über einen Erdreichwärmetauscher erfolgt. Die Technologie wurde bereits Ende der 90er-Jahre in den Markt eingeführt und konnte mit guten Effizienzwerten überzeugen. Nachteilig ist die Nutzung der Zuluft als Heizmedium, da Lüftungs- und Wärmebedarf nicht grundsätzlich korrelieren. Für Gebäude im Passivhausstandard könnten kleine direktelektrische Zusatzheizungen allerdings Abhilfe schaffen. Gelingt die erforderliche Skalierung der Technologie, sind sehr kostengünstige und effiziente Lösungen möglich.

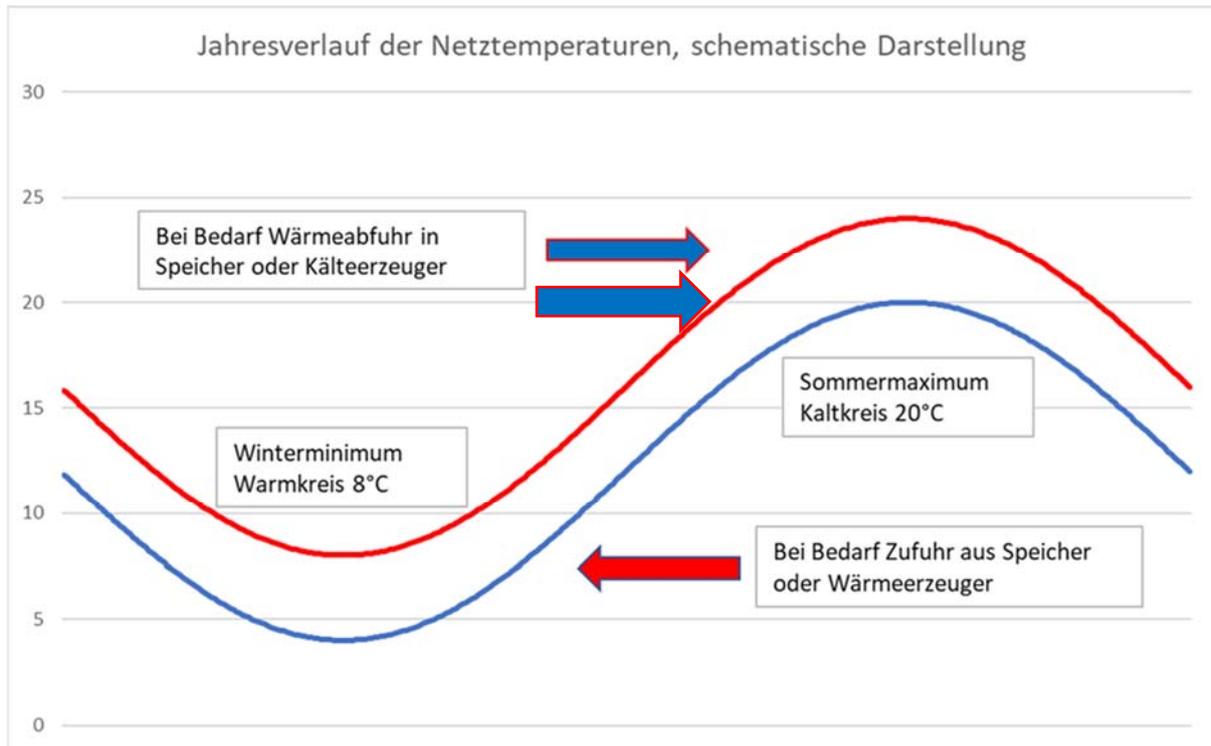
Der sinnvolle Einsatz von Wärmepumpen steht in engem Zusammenhang mit dem **Wärmeabgabesystem**. Während heute noch drei Viertel der Gebäude über Radiatoren verfügen, soll es im Jahr 2050 nur noch ein Drittel sein, der Rest wird über ein Niedertemperatur-Abgabesystem verfügen [47]. Wo immer also Wärmepumpen zum Einsatz kommen sollen, ist dieser Schritt besonders wichtig. Dabei ist die Flächenheizung erste Wahl; es sind aber auch Heizkörper erhältlich, die – mit oder ohne Gebläseunterstützung – für niedrigere Vorlauftemperaturen geeignet sind. Für jenen Teil des Gebäudebestands, der in den nächsten 20 Jahren (noch) nicht saniert wird, ist diese Maßnahme Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz von Wärmepumpen.

### 3.7.3 Dezentrale Wärmepumpen / Zentrale Wärmequellen: Anergienetze

Anergienetze stellen technisch gesehen eine Kombination der bereits beschriebenen Lösungen dar: Das Wärmenetz wird hier mit sehr niedrigen Temperaturen betrieben und liefert „nur“ die Wärmequelle für die dezentralen Wärmepumpen. Was aus Sicht der Wärmeversorgung mäßig attraktiv klingt, wird in Verbindung mit Kühllasten zunehmend interessant – für Quartiere mit relevanten Potenzialen an Niedertemperatur-Abwärme jedenfalls eine Option.

Anergienetze werden in der Regel mit Temperaturen zwischen 8°C (Winterminimum) und 20°C (Sommermaximum) betrieben (Abb. 48). Der große Reiz liegt darin, dass ein Wärmebedarf an einer Stelle vom Wärmeüberschuss (also Kühlbedarf) an einer anderen Stelle gedeckt wird. Ideal wäre ein zeitgleiches Auftreten in gleicher Höhe, am besten mit sehr hoher Energiedichte, damit sich die Investition auch schnell lohnt. Davon abweichend sind in der Praxis Heiz-

und Kühlbedarf zumindest zu einem relevanten Teil zeitlich versetzt, was die Speicherung einer bestimmten Energiemenge erforderlich macht. Beim gegebenen Temperaturniveau stehen allerdings einige recht einfache Möglichkeiten für die saisonale Speicherung zur Verfügung: Grundwasser, Erdreich (über Sondenfelder erschlossen), auch technische Speicher (großvolumige Wassertanks) kommen zum Einsatz. Im weitesten Sinn stellt auch ein Seewasserverbund eine Speicherung dar – im Winter wird Energie entzogen, im Sommer zugeführt.



**Abbildung 48: Schematische Darstellung der Temperaturen eines Energienetzes**

Typische Abwärmelieferanten sind (klimatisierte) Gebäude, Rechenzentren, Labore, industrielle Kälteanlagen, industrielle Prozesse mit niedrigem Temperaturniveau. Ist der jährliche Wärmebedarf deutlich größer als der Kühlbedarf, muss eine zusätzliche Wärmequelle (Geothermie, Solarthermie, aber auch kalte Medien wie Grund-, Fluss- und Seewasser) eingebunden werden. Umgekehrt kann es auch erforderlich sein, einen Kälteerzeuger einzubinden.

Das Wärmenetz kann verhältnismäßig kostengünstig umgesetzt werden, da es nicht gedämmt werden muss. Weiters entfällt die Erschließung der Wärmequellen für die dezentralen Wärmepumpen; der Betrieb ist dank hoher Wärmequellen-Temperatur effizient und ebenfalls kostengünstig: Gemäß einer von Energie Schweiz veröffentlichten Studie [54] sind bei günstigen Randbedingungen Jahresarbeitszahlen von über 6 möglich. Gegenüber zentralen Groß-Wärmepumpen für Wärmenetze liegt hier der Effizienz-Vorteil darin, dass jeder Anwender den für ihn notwendigen Temperaturhub vornehmen kann. 30 oder 35°C für NT-Heizungen, 50-60°C für das Warmwasser, erforderlichenfalls in Einzelfällen auch 70°C – in Summe ist die Effizienz immer höher als bei zentraler Bereitstellung von konstanten 70°C oder mehr.

In den bisher umgesetzten Projekten konnte teilweise hohe Wirtschaftlichkeit erreicht werden – die Gestehungskosten für Wärme und Kälte lagen im besten Fall bei 5,5 bis 7,5 cent/kWh (6-8 Rp./kWh); im schlechtesten Fall aber auch bei 21 cent/kWh (23 Rp./kWh).

Beste Voraussetzungen liefern Areale mit Mischnutzung, einem möglichst ausgeglichenen Verhältnis von Wärme- und Kältebedarf sowie einer relativ hohen Energiedichte. Die stattliche Investition verlangt meist nach einer Energiebezugsfläche von 100.000 m<sup>2</sup> oder mehr. Ein mögliches Hemmnis stellt der Umstand dar, dass – im Gegensatz zu „warmen“ Wärmenetzen – alle mit Wärme versorgten Gebäude eine dezentrale Wärmepumpe benötigen. Im Neubau immer unkritisch, bei der Versorgung von bestehenden Quartieren bedingt dies zumindest einen etappenweisen Ausbau mit sehr langfristigem Horizont.

Herausfordernd ist auch die Umsetzung: Die heterogene Anwender- und Verbraucherstruktur verursacht einen hohen Abstimmungs- und Administrationsaufwand und auch die Planung der technisch komplexen Anlagen erfordert in diesem noch jungen Metier viel Know-how in verschiedenen Teilgebieten. Simulationen sind erforderlich aber gleichzeitig eingeschränkt aussagekräftig durch rudimentär bekannte Randbedingungen. Letztlich muss auch bei der Steuer- und Regelungstechnik der individuell konzipierten Anlagen oft Neuland betreten werden. Mehrjähriges oder besser dauerhaftes Monitoring stellt ein Erfordernis dar.

#### **3.7.4 Dezentrale Biomasse-Anwendungen**

Biomasse – damit ist vorwiegend Energieholz gemeint – ist ein erneuerbarer Energieträger, dessen Potenzial im Gegensatz zu Wind- und Sonnenenergie schon zu einem großen Teil ausgeschöpft wird.

Eine verstärkte Nutzung ist hier und da möglich; meist liegen die Ausbaupotenziale aber im niedrigen zweistelligen Prozentbereich [30].

Eine Vervielfachung, die bei Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen bevorsteht, ist hier nicht möglich, was einen zielgerichteten Einsatz der vorhandenen Ressourcen erforderlich macht. Dabei wäre Energieholz für Raumheizungszwecke durchaus geeignet – die Eigenschaften dieses Energieträgers qualifizieren ihn jedoch auch für „höhere“ Aufgaben:

1. Für den Bereich der Hochtemperatur-Prozesswärme (700 bis 1500°C) in der Industrie wird zukünftig grünes Gas benötigt. Wie in Kapitel 3.7. beschrieben, reichen die bekannten Biogas-Potenziale hierfür nicht aus; die Potenziale an synthetischem Gas müssen hingegen für die direkte industrielle Nutzung von Wasserstoff reserviert werden. Deshalb wird Energieholz (mittels thermischer Vergasung) auch einen Anteil des benötigten Biomethans beisteuern müssen [47].

2. Für Prozesswärme mit Temperaturen unterhalb von 700°C kann Biomasse durch direkte Verbrennung genutzt werden.
3. Außerdem ist Biomasse für die Erzeugung von Winterstrom prädestiniert, weil sie als einziger erneuerbarer Energieträger bereits in gespeicherter Form vorliegt. Das wird im zukünftigen System der elektrischen Energieversorgung, die ansonsten weitgehend auf fluktuierende Energiequellen angewiesen ist, von Bedeutung sein.

Bei der Gebäudewärme sollte Biomasse dezentral deshalb nur noch dort zum Einsatz kommen, wo weder eine Anbindung an ein Wärmenetz möglich ist, noch eine thermische Sanierung, die den Einsatz von Wärmepumpen erlauben würde. Der Einsatzbereich von Biomasse-Heizanlagen ist damit im Wesentlichen auf denkmalgeschützte Gebäude außerhalb von Wärmenetzen beschränkt. (Was natürlich nicht gegen die direkte Nutzung in Einzelfällen spricht, wenn bspw. kleine Mengen von (Rest-)Holz energetisch nicht wirtschaftlich verwertet werden können.)

### **3.7.5 Nutzung von Solarenergie am Gebäude**

Aufgrund des rasanten Fortschritts bei Photovoltaikanlagen – sowohl technologisch als auch preislich – können solarthermische Anlagen im Bereich der dezentralen Gebäudewärme mittlerweile wirtschaftlich nicht mehr mithalten. Der flächenspezifische Energieertrag ist mit rund 350 kWh/m<sup>2</sup>a zwar höher als jener der PV (rund 150 kWh/m<sup>2</sup>a); die elektrische Energie ist aber in jeder Hinsicht wertvoller: In Kombination mit einer Wärmepumpe kann die drei- bis vierfache Menge an thermischer Energie erzeugt werden (450 bis 600 kWh/m<sup>2</sup>a) und auch der Preis der elektrischen Kilowattstunde liegt beim drei- bis vierfachen. Die PV ist damit sowohl energie-technisch als auch finanziell ertragreicher als die Solarthermie. Damit aber nicht genug, eine solarthermische Anlage kostet heute pro m<sup>2</sup> auch deutlich mehr als eine Photovoltaikanlage. Letztlich punktet die PV sogar bei Fehleranfälligkeit, Langlebigkeit sowie Reparatur- und Wartungsaufwand. Rational betrachtet hat die dezentrale Solarthermie für Raumwärme und Warmwasser ihre Berechtigung verloren.

Die erfreuliche technische Entwicklung der PV führt nun dazu, dass sich jegliche Nutzung von geeigneten Flächen wirtschaftlich geradezu aufdrängt: Selbst bei ausschließlicher Netzeinspeisung reicht eine Vergütung von 4 bis 5 cent/kWh oft schon aus, um die Anlage im Lauf der Lebensdauer zu amortisieren – und jede Kilowattstunde Eigenverbrauch erhöht die Wirtschaftlichkeit. Vor diesem Hintergrund ist es ein Gebot der Stunde, sämtliche Flächen zu nutzen. Südorientierte Dachflächen beliebiger Neigung liefern mindestens 900 kWh/kWp; Südfassaden kommen auf rund 850 und auch ost- und westorientierte Aufstellungen sind mit mehr als

700 kWh/kWp sowohl im Dach als auch in der Fassade mitunter noch wirtschaftlich zu betreiben (Vgl. Kapitel 3.5. MFH-Sanierung Zürich Hofwiesen/Rothstrasse).

An dieser Stelle kommen Null- und Plusenergiegebäude ins Spiel: Konnte der Energiebedarf für Raumwärme durch (wirtschaftliche) Maßnahmen entsprechend reduziert werden, ist es möglich, über das Jahr mehr Energie zu ernten als verbraucht wird. Sogar eine saisonale Speicherung der sommerlichen Erträge mittels Wasserstoff wurde schon realisiert, um das Gebäude weitgehend energieautark zu betreiben. Im Zuge der rasanten Entwicklung der Wasserstoff-Technologien ist eine wirtschaftliche Anwendung im Lauf der nächsten Dekade in Sichtweite – sofern der winterliche Energiebedarf auf ein Minimum reduziert wird [55].

### **3.8 Effiziente Haushaltsgeräte / Elektrogeräte in Nicht-Wohngebäuden**

Bei sinkendem Bedarf für die Anwendungen Heizung und Warmwasser steigt die relative Bedeutung des Haushaltsstrombedarfs und des Nutzerstrombedarfs in Nicht-Wohngebäuden. Da der Schwerpunkt dieser Studie auf der Senkung des Bedarfs für Heizung und Warmwasser liegt, wird der Aspekt der effizienten Haushaltsgeräte und Elektrogeräte in Nicht-Wohngebäuden nicht weiter untersucht.

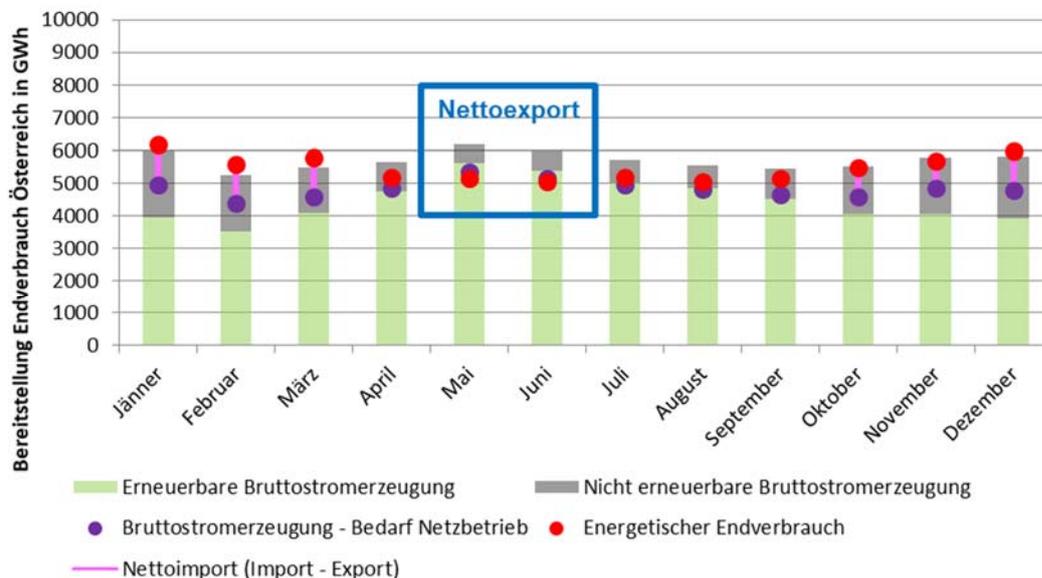
### **3.9 Dekarbonisierung des Stromversorgungssystems**

Die Dekarbonisierung des Stromversorgungssystems ist in A und CH schon vergleichsweise weit vorangetrieben (Wasserkraftnutzung). Bayern und Baden-Württemberg stehen vor sehr großen Herausforderungen durch den politisch beschlossenen Ausstieg aus der Kernkraft und den Ausstieg aus Kohle bis 2038. Dennoch ist das gesetzliche Ziel des deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetzes, bundesweit bis 2030 einen Anteil von 65 % am Bruttostromverbrauch aus erneuerbaren Energien bereitzustellen.

Angesichts hoher Anteile von Wärmepumpen in Österreich und der Schweiz ist die Bewertung der Stromerzeugung nicht nur durch jährliche Emissionsfaktoren, sondern mindestens monatlicher Faktoren, von hoher Bedeutung. In Regionen, in denen (wie in A und CH) schon heute hohe Anteile des Neubaus mit Wärmepumpen beheizt werden und in denen ein großer Teil des Stroms durch Wasserkraft (mit Erzeugungsspeak im Sommer) erzeugt wird, zeigt sich schon heute, wie wichtig die zeitlich differenzierte Betrachtung von Stromverbrauch und –Erzeugung ist.

Als Grundlage zur Bewertung strombasierter Wärmeversorgungssysteme wird daher in diesem Kapitel die Bedeutung des jahreszeitlichen Verlaufs von Bedarf und Erzeugung (am Beispiel Österreichs) dargestellt. Die Betrachtung dient auch dazu, die Notwendigkeit von saisonalen Speichern und von Technologien wie power-to-gas, Wasserstoffnutzung, „grünem Gas“ etc. zu beleuchten.

Die folgende Abbildung zeigt die Bruttostromerzeugung, den Strombedarf für die Aufrechterhaltung des Netzbetriebs, den energetischen Endverbrauch und die dazu notwendigen Nettostromimporte Österreichs als Mittelwerte der Jahre 2014 bis 2019. In den beiden hervorgehobenen Monate Mai und Juni ergibt sich ein Nettoexport.



**Abbildung 49: Bruttostromerzeugung Österreich, Bedarf Netzbetrieb Österreich, Energetischer Endverbrauch und Nettoimport (Mittelwert der Jahre 2014 bis 2019); Energieinstitut Vorarlberg auf Basis Österreichischer Statistiken sowie Statistiken von Entso-E**

Wie zu erkennen waren im Mittel der Jahre 2014 bis 2019 in großen Teilen des Jahres Stromimporte notwendig. Die höchsten Werte des Imports traten in den Wintermonaten auf, da die in Österreich dominante Stromerzeugung aus Wasserkraft ihren Erzeugungsspeak im Sommer hat und der Stromverbrauch den Peak im Winter. Der Großteil der Stromimporte stammt aus Deutschland und der Tschechischen Republik.

Im folgenden wird in mehreren Szenarien untersucht, wie der Verbraucherstrommix Österreichs (inkl. Import, wo notwendig) im Jahr 2030 aussehen wird.

Dazu werden für Österreich und für Deutschland je drei Szenarien der Entwicklung von Stromverbrauch und –erzeugung untersucht, für die Tschechische Republik ein Szenario.

### Entwicklung Österreich

Für die Bruttostromerzeugung in Österreich in 2030 sind nach dem Österreichische Regierungsprogramm 2020 [16] drei Szenarien definiert.

- Szenario 1 AT-BAU: Business as Usual, Ausbau der Erneuerbaren (2014 bis 2019) wird bis 2030 linear fortgesetzt
- Szenario 2 AT-RPÖ2/3: Ausbaupläne des Österreichischen Regierungsprogramms bis 2030 nur zu 2/3 umgesetzt
- Szenario 3 AT-RPÖ: Ausbaupläne des Österreichischen Regierungsprogramms bis 2030 vollständig umgesetzt

Die folgende Abbildung zeigt die Bruttostromerzeugung, den Bruttostromverbrauch und den Nettoimport Österreichs im Jahr 2030 für die drei verschiedenen Szenarien. Ein negativer Nettoimport entspricht einem Nettoexport. Für den Bruttostrombedarf wurde in allen drei Szenarien eine sehr ähnliche Steigerung auf etwa 108% des Ausgangswertes von 2019 angenommen.

Erzeugungsmengen in GWh	Basismenge 2019	2030		
	Lineare Trendlinie	Szenario 1 – AT-BAU	Szenario 2 – AT-RPÖ2/3	Szenario 3 – AT-RPÖ
Photovoltaik	915	1.948	8.248	11.915
Windkraft	6.889	12.737	13.556	16.889
Biomasse	4.808	5.019	5.474	5.808
Wasserkraft	43.255	44.294	46.589	48.255

**Abbildung 50: Entwicklung der Stromerzeugung Österreichs bis 2030 in den drei Szenarien im Vergleich zur Erzeugung im Jahr 2019**

### Entwicklung Deutschland

Die folgende Abbildung zeigt die Bruttostromerzeugung in Deutschland für 2030 in drei verschiedenen Szenarien. Die drei Szenarien entsprechen den folgenden Szenarien der Studie „Die Ökostromlücke, ihre Effekte und wie sie gestopft werden kann“ von Agora Energiewende [56].

- Szenario 1 – DE-TREND = aktuellen Trend der Agora-Studie.
- Szenario 2 – DE-MIN = Minimallösung mit Fokus Solar
- Szenario 3 – DE-KOP = Sektorkopplung mit Fokus Solar

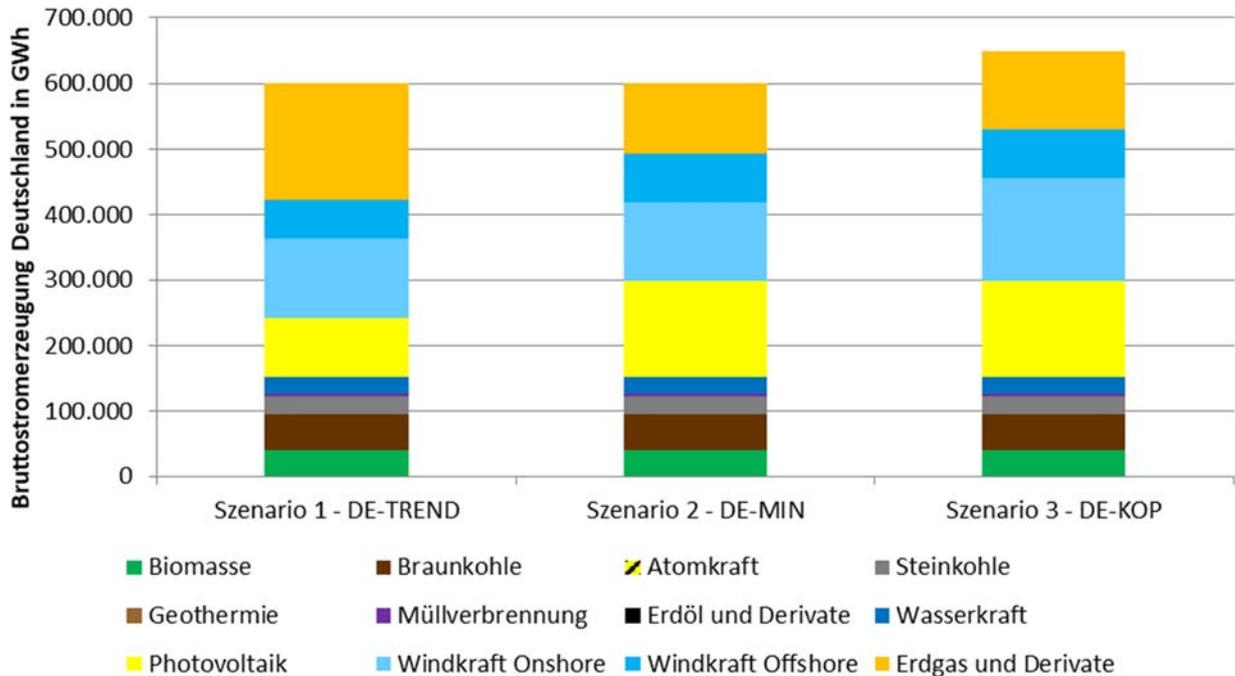


Abbildung 51: Bruttostromerzeugung Deutschland 2030 – Vergleich der Szenarien [56]

### Entwicklung Tschechische Republik

Die folgende Abbildung zeigt die monatliche Bruttostromerzeugung in der Tschechischen Republik in 2030, nach ihrem Nationalen Energie- und Klimaplan vom November 2019 [57].

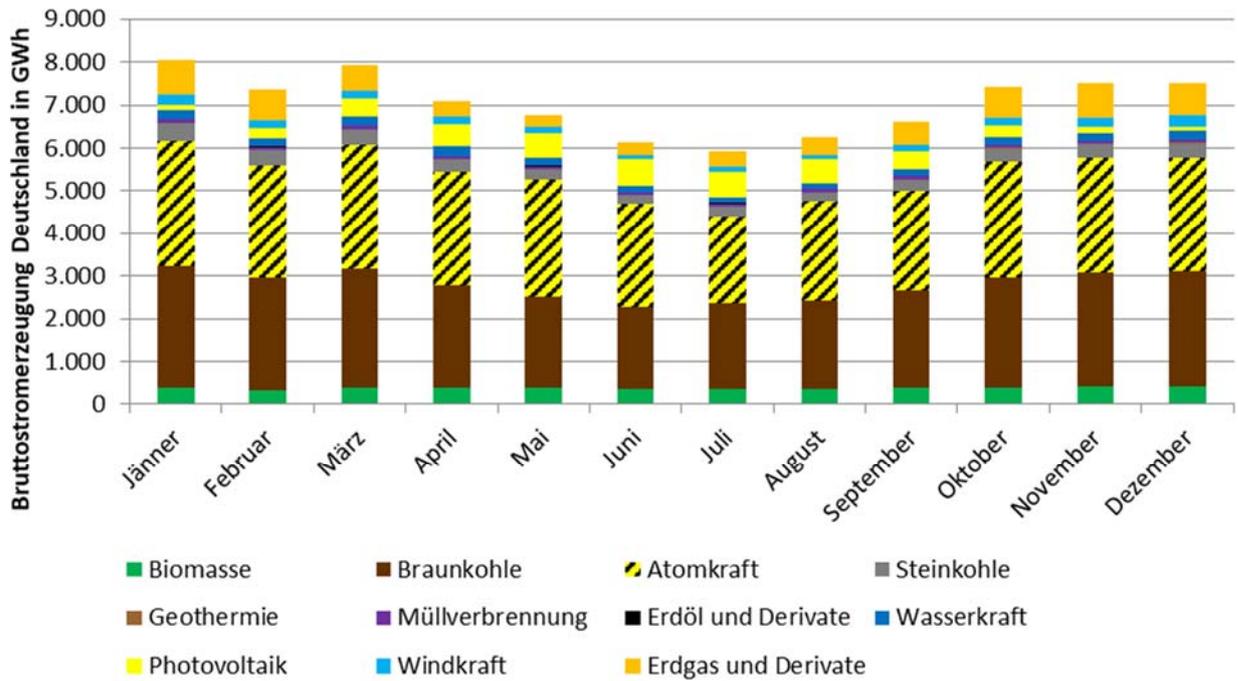
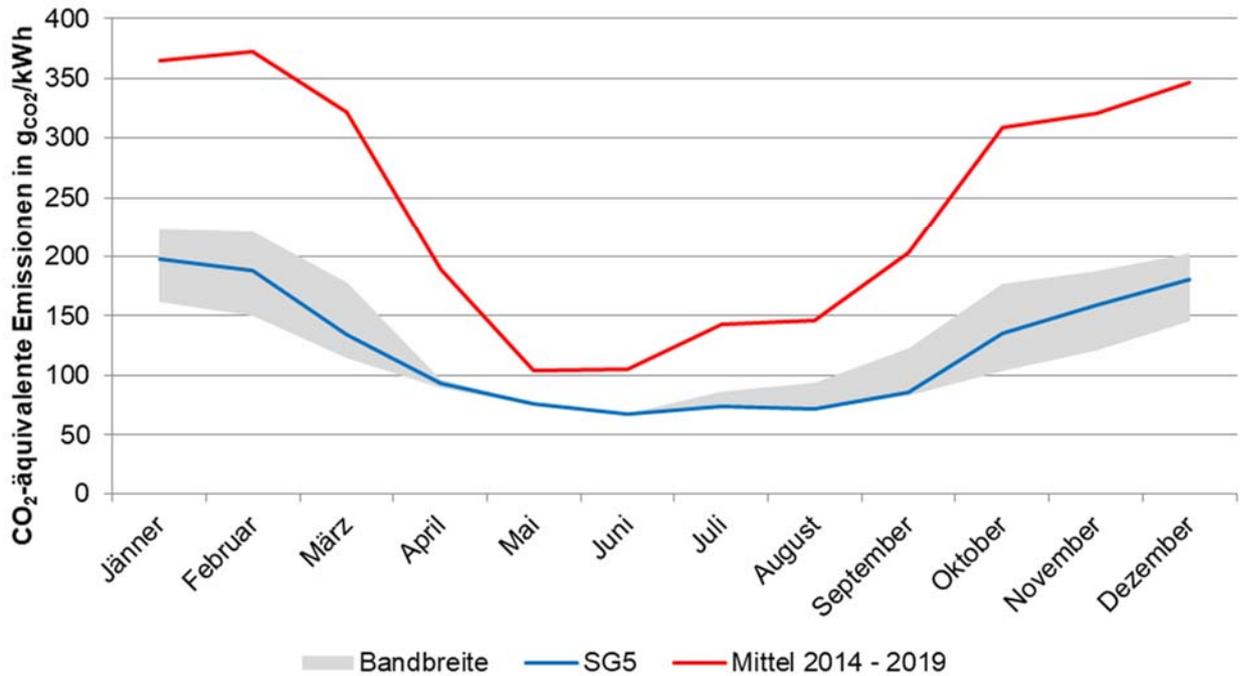


Abbildung 52: Bruttostromerzeugung Tschechische Republik 2030 [57]

Die nachfolgende Abbildung zeigt zum einen die Bandbreite der 9 verschiedenen Szenariengruppen, welche sich aus den drei verschiedenen Szenarien für Österreich, den drei verschiedenen Szenarien für Deutschland und dem Szenario für die Tschechische Republik ergeben. Zudem ist die Szenariengruppe 5 (mittlerer Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung in Österreich und Deutschland: AT-RPÖ2/3 und DE-MIN) im Vergleich zu den mittleren CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen von 2014 bis 2019 dargestellt.



**Abbildung 53: CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen Verbraucherstrommix Österreich 2030 – Bandbreite, realistische Szenariengruppe 5 und Mittel 2014 – 2019; Energieinstitut Vorarlberg, 2020**

Wie zu erkennen, zeigen die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen des Verbraucherstrommix Österreichs im Mittel der Jahre 2014 bis 2019 einen deutlichen Jahresswing: liegen die Emissionen von Mai bis August zwischen 100 und 150 g CO<sub>2eq</sub>/kWh<sub>End</sub>, so werden von Oktober bis März Werte von 300 bis etwa 370 g CO<sub>2eq</sub>/kWh<sub>End</sub> erreicht. Der Jahresmittelwert liegt bei 247 g CO<sub>2eq</sub>/kWh<sub>End</sub>.

Wie die Auswertung der 9 Szenarien zeigt, werden die Emissionen im Jahr 2030 ganzjährig merklich niedriger liegen, als in den vergangenen Jahren. Der Jahresmittelwert sinkt von derzeit 247 auf 125 g CO<sub>2eq</sub>/kWh<sub>End</sub> im mittleren Szenario SG5, die Werte von Oktober bis März liegen in diesem Szenario zwischen etwa 135 und 200 g CO<sub>2eq</sub>/kWh<sub>End</sub>.

Zum Vergleich sind in der folgenden Abbildung die Werte anderer Energieträger gemäß Stolz/Frischknecht aufgeführt [58].

	spezifische Emissionen in g CO <sub>2eq</sub> / kWh <sub>Endenergie</sub>
Heizöl EL	302
Erdgas	227
Pellets	29
Verbraucherstrommix CH, ca. 2015 (Jahreswert)	100
Entso-E-Mix (Jahreswert, ca. 2015)	526
Strom Atomkraftwerk	18

**Abbildung 54: Spezifische Treibhausgasemissionen verschiedener Energieträger [58]**

Wie die Abbildung zeigt, erreicht der Jahreswert des Verbraucherstrommix Österreich im mittleren Szenario SG5 mit  $125\text{g CO}_2\text{eq / kWh}_{\text{Endenergie}}$  in etwa den Jahreswert des derzeitigen Verbraucherstrommix der Schweiz mit hohen Anteilen an Atomenergie.

Insgesamt hängt die Abhängigkeit des  $\text{CO}_2$ -Faktors von saisonalen Effekten stark vom eingesetzten Kraftwerkspark ab. Bei Modellrechnungen für Deutschland mit einem vergleichsweise ausgewogenen Verhältnis von Wind- und Solarenergie sind beispielsweise die Unterschiede zwischen Sommer und Winter deutlich geringer [59]. Angesichts des Rückgangs der neuinstallierten Windkraftleistung in Deutschland und des zunehmenden Widerstands gegen Windkraft ist die Umsetzung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wind- und Solarenergie jedoch keine Selbstverständlichkeit.

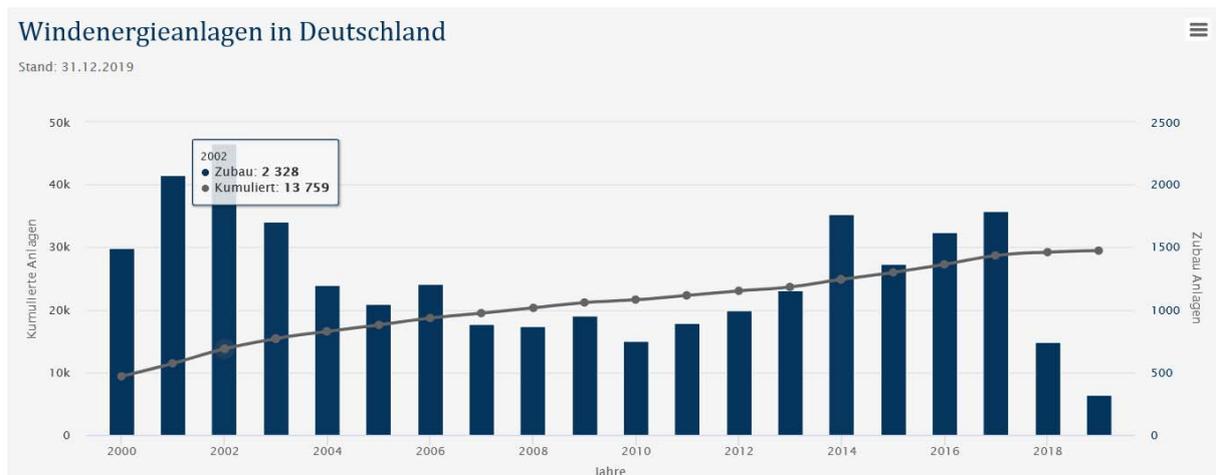


Abbildung 55: Entwicklung des Zubaus von Windenergieanlagen in Deutschland nach Anzahl pro Jahr; <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>

## **4 Wirtschaftlichkeit der Reduktion des Energiebedarfs und der THG-Emissionen auf Ebene von Einzelgebäuden**

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die aus Klimaschutzgründen notwendige starke Reduktion des Endenergiebedarfs des Gebäudesektors um etwa 50% sowie der nahezu vollständigen Dekarbonisierung ist Wirtschaftlichkeit (betriebs- und volkswirtschaftlich) der notwendigen Maßnahmen. Dies gilt gleichermaßen für den Neubau wie für Sanierungen.

Wie mehrere Studien des Energieinstitut Vorarlberg zeigen, können klimaschutzkompatible energetische Standards im Neubau schon ohne Förderung wirtschaftlich erreicht werden. Die genaueste Praxisstudie zu diesem Thema wurde im Modellvorhaben „KliNaWo“ im Neubau durchgeführt [60], [61]. Da die Ergebnisse dieser Studie im scharfen Gegensatz zur offiziellen Österreichischen Kostenoptimalitätsstudie des OIB steht [62], wird sie nachfolgend genauer erläutert, auch wenn der Fokus des Projekts Dekarbonisierung Heizkeller auf der Sanierung liegt.

Zweck der genauen Darstellung der Ergebnisse des Projekts KliNaWo ist es, nachvollziehbar aufzuzeigen, dass die vom Energieinstitut Vorarlberg entwickelten Methoden zur Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Praxisprojekten und die in diesen Praxisprojekten ermittelten Kostendaten sowie die zu Grunde gelegten Energiebedarfsberechnungen valide sind und auch in der Sanierung angewendet werden können.

### **4.1 Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus im Neubau**

Im Rahmen des erwähnten Modellvorhabens „KliNaWo“ wurde erstmals in Vorarlberg ein Mehrfamilienhaus errichtet, dessen Energieniveau auf der Basis von Lebenszykluskostenberechnungen festgelegt wurde. Dazu wurden 60.000 energetisch unterschiedliche Varianten eines für Vorarlberg typischen Mehrfamilienhauses mit knapp 20 Wohneinheiten im Hinblick auf ihren Energiebedarf sowie auf die Investitions- und Lebenszykluskosten verglichen. Das in einem ersten Schritt bezüglich des Entwurfs energetisch-wirtschaftliche Gebäude wurde u. a. in 4 verschiedenen Konstruktionsarten in je zwei Energieniveaus geplant und ausgeschrieben, ebenso wurden Wärmeversorgungssysteme mit vier verschiedenen Energieträgern, verschiedenen Wärmeverteils- und Abgabesystemen, verschieden dimensionierten thermischen Solaranlagen und PV-Anlagen sowie mit verschiedenen Lüftungssystemen geplant und modular ausgeschrieben. Abbildung 56 zeigt die Matrix der untersuchten Varianten.

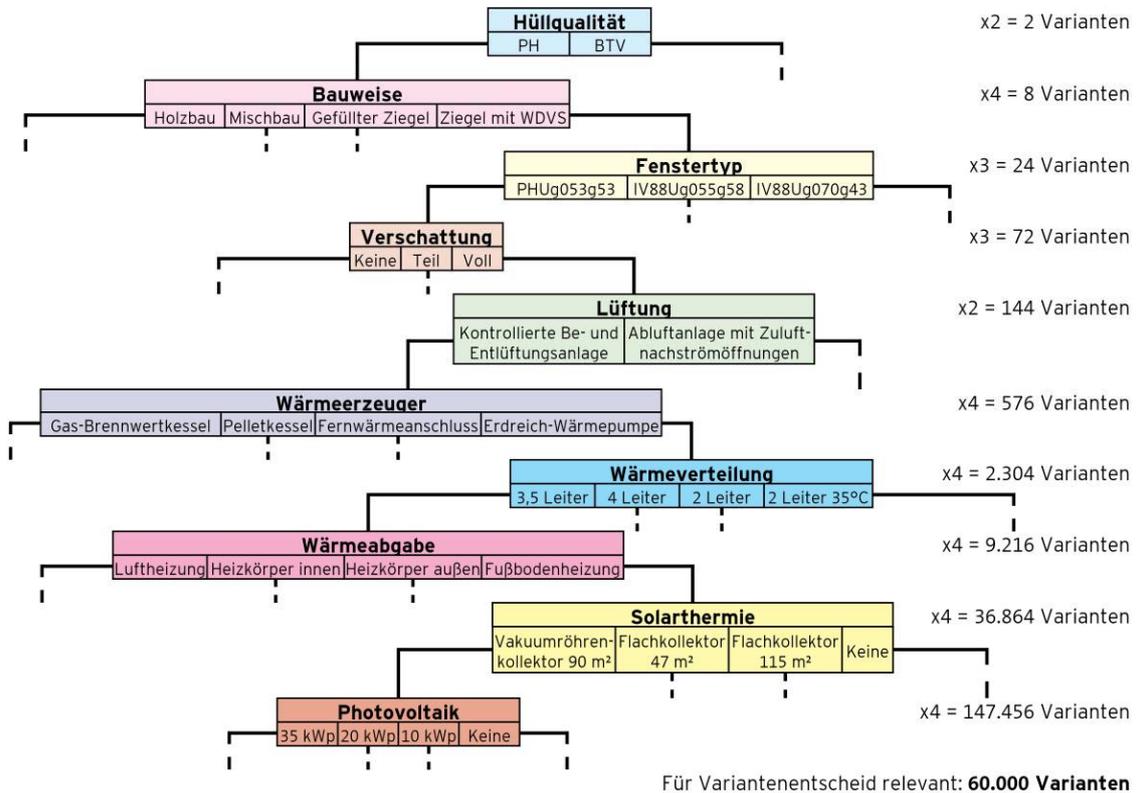


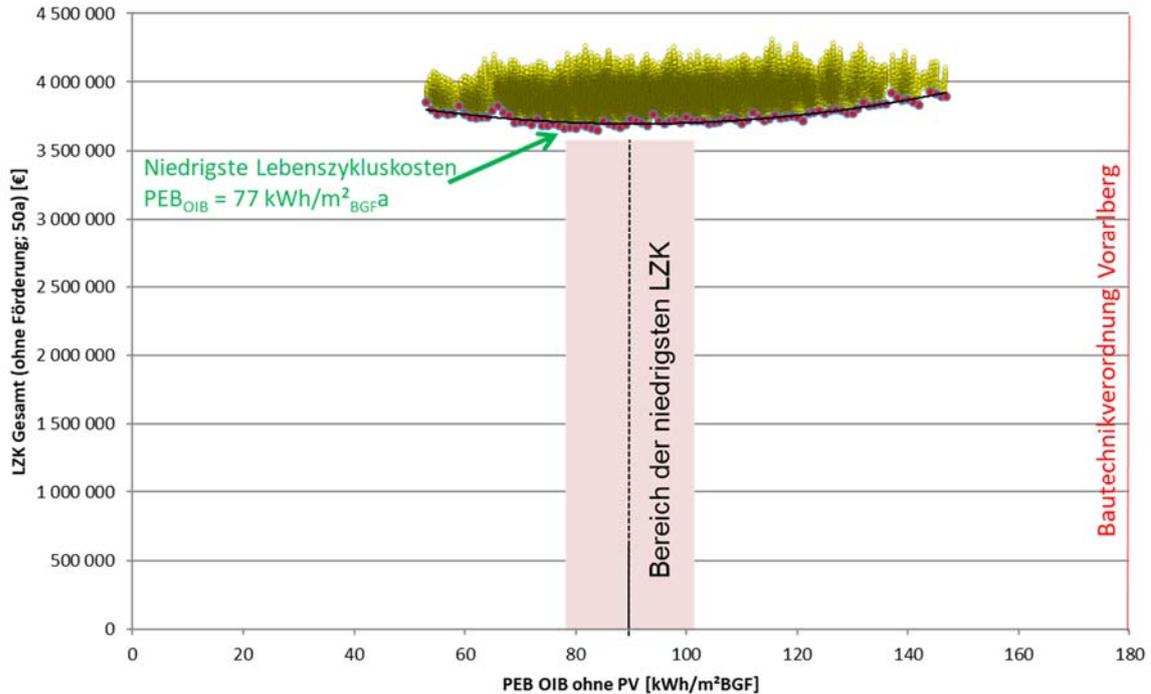
Abbildung 56: Matrix der untersuchten Ausführungsvarianten im Modellvorhaben KliNaWo [60]

In einem neu entwickelten makrobasierten Tool konnten die Energiebedarfsberechnungen für alle 60.000 Varianten automatisiert mit dem validierten Berechnungsprogramm PHPP durchgeführt werden. Als Grundlage für die Abschätzungen der Energiekosten wurden die Energiebedarfsberechnungen als Verbrauchsprognoseberechnungen durchgeführt, in denen die Raumlufttemperatur in der Heizperiode mit 22°C und der pro-Kopf-Warmwasserbedarf 30% höher als üblich angenommen wurde.

Realisiert wurde nicht die Variante mit den niedrigsten Investitionskosten, sondern die mit den niedrigsten Lebenszykluskosten.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden nach dem Verfahren der Europäischen Gebäude-richtlinie EPBD [13] nach der Kapitalwertmethode durchgeführt, Annahmen und Randbedingungen wurden in Absprache mit den Projektpartnern VOGEWOSI und Arbeiterkammer Vorarlberg bewusst konservativ angesetzt. Der Betrachtungszeitraum wurde mit 35 Jahren festgelegt, Restwerte und Ersatzinvestitionen wurden berücksichtigt. In den nachfolgend dargestellten Ergebnissen sind keinerlei Förderungen berücksichtigt.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.



**Abbildung 57: Abhängigkeit der Lebenszykluskosten (des Kapitalwerts für Investitionskosten, Kosten für Instandhaltung und Wartung sowie Energie) vom Primärenergiebedarf bei Berechnung nach OIB RL 6 (2011) [60]**

Anmerkung: Die Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf bei Berechnung nach OIB RL 6 (2011). Diese Berechnungen dienen nur dazu, den für das Kostenoptimum erreichten Wert mit den Mindestanforderungen der Bautechnikverordnungen zu vergleichen. Als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Energiebedarfswerte verwendet, da diese realitätsnäher sind.

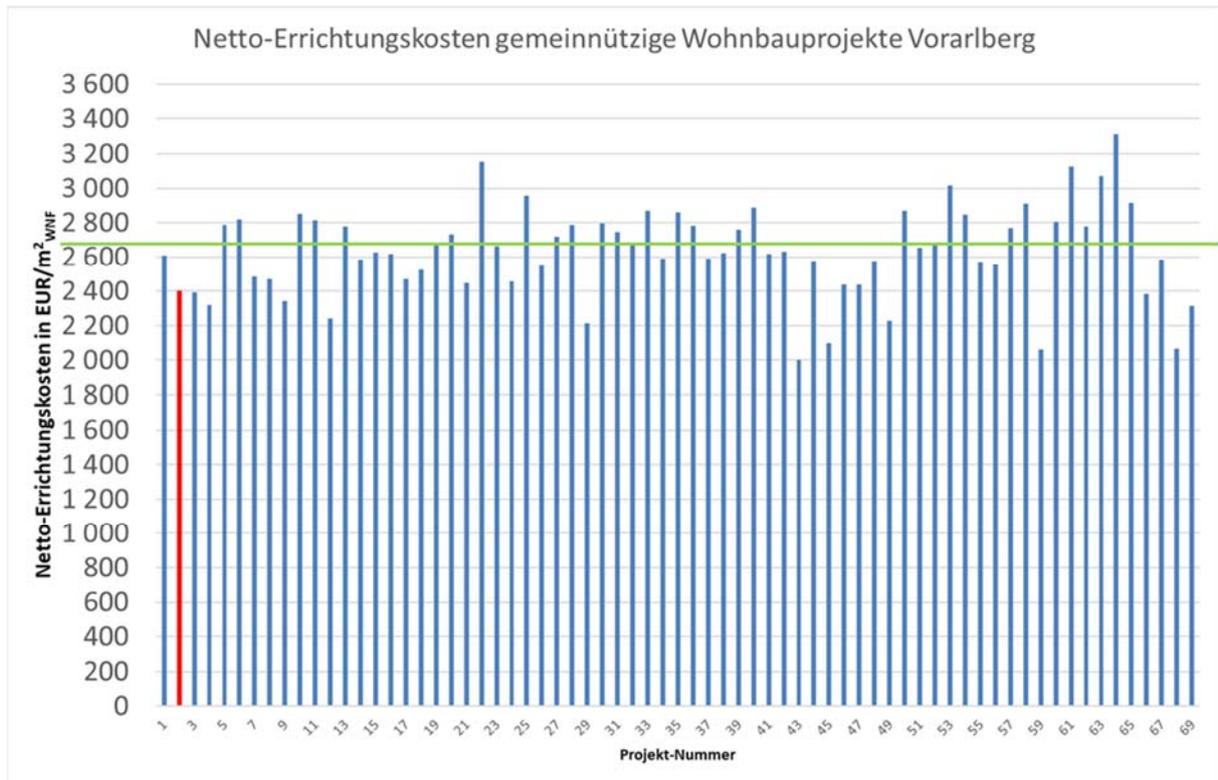
Wie die Abbildung zeigt, treten die niedrigsten Lebenszykluskosten bei einem Energieniveau auf, das im Vergleich zu den Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg etwa 2/3 niedrigere Primärenergiekennwerte (und analog dazu: CO<sub>2eq</sub>-Emissionen) aufweist.

Da das Kostenoptimum sehr flach ausgeprägt ist, können kostenoptimale Werte mit unterschiedlichen Konzepten erreicht werden, die eine sehr gute Gebäudehülle (etwa Passivhausniveau bzw. Niveau Minergie P) mit verschiedenen effizienten Wärmeversorgungssystemen (Wärmepumpe, Fernwärme...) sowie groß dimensionierten Solarsystemen kombinieren.

In Absprache mit den Projektbeteiligten wurde die Gebäudevariante mit Passivhaushülle, 2 Sole-Wärmepumpen (Hochtemperatur für Warmwasser, Niedertemperatur für Heizung), großer thermischer Solaranlage sowie mit Abluftanlage realisiert, da für diese Variante die niedrigsten Lebenszykluskosten ausgewiesen wurden. Eine Variante mit Komfortlüftung mit WRG hätte zu minimal höheren Lebenszykluskosten geführt und wurde daher nicht realisiert. In Kombination mit den ebenfalls kostenoptimalen Varianten mit Fernwärme- oder Biomasseheizung wäre eine Komfortlüftung auch wirtschaftlich vorteilhaft gewesen.

Nach Fertigstellung wurden die abgerechneten Kosten ausgewertet und die Energieverbräuche sowie die wichtigsten Behaglichkeitsfaktoren messtechnisch erfasst.

Abbildung 58 zeigt einen Vergleich der abgerechneten Kosten mit denen aller 69 zeitgleich geplanten und realisierten MFH der gemeinnützigen Wohnbauvereinigungen Vorarlbergs.

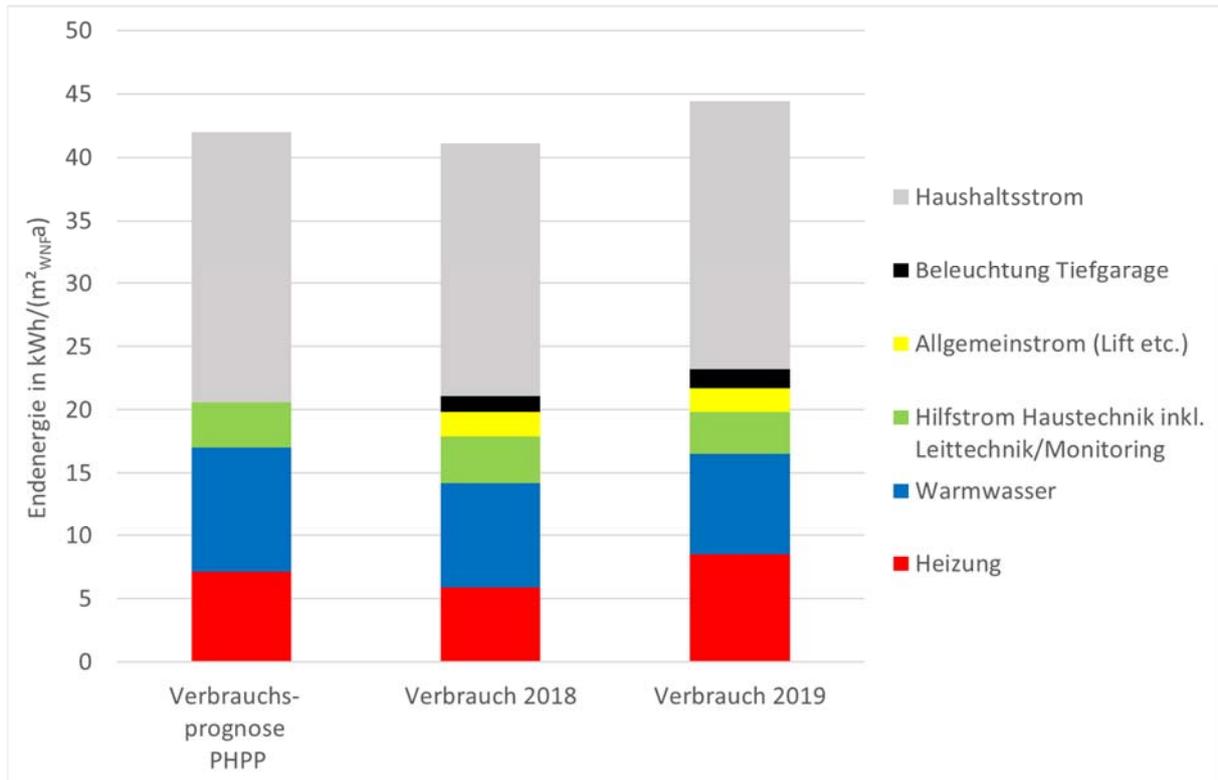


**Abbildung 58: Abgerechnete Netto-Errichtungskosten des Modellvorhabens KliNaWo (rote Säule) sowie der 69 gleichzeitig geplanten und errichteten MFH gemeinnütziger Wohnbauvereinigungen in Vorarlberg [61]**

Die Kostenauswertung zeigt, dass die abgerechneten Kosten des Projekts KliNaWo um etwa 130 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> unter den für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendeten Kosten zum Stand Vergabe lagen. Ein Grund für diese Kostenunterschreitung ist, dass die Nachträge auf Grund der sehr guten Planung deutlich niedriger lagen als zum Zeitpunkt Vergabe angenommen.

Die Auswertung zeigt darüber hinaus, dass die abgerechneten Kosten des Projekts KliNaWo trotz deutlich besserem Energieniveau um mehr als 200 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> unter dem Durchschnittswert aller zeitgleich errichteten Gebäude lagen.

Abbildung 59 zeigt einen Vergleich der realen Energieverbräuche der ersten zwei Betriebsjahre mit dem Ergebnis der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung.



**Abbildung 59: Vergleich des realen Energieverbrauchs in den zwei ersten Betriebsjahren mit dem Rechenresultat der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung; [61] (Wert für 2019: Auswertung Energieverbräuche Projekt KliNaWO, Energieinstitut Vorarlberg, unveröffentlicht)**

Das Energieverbrauchsmonitoring zeigt, dass der Endenergieverbrauch<sub>Heizung+Warmwasser</sub> in den ersten beiden Betriebsjahren mit 14 bzw. 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> knapp unter dem in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Wert von 17 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> liegt. Auch der Verbrauch für Hilfsstrom stimmt sehr gut mit dem Berechnungsergebnis zusammen.

### Resumé der Ergebnisse des Modellvorhabens

Die Praxisergebnisse zeigen, dass sowohl die in der Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendeten Kostendaten (Errichtungskosten), als auch die vorausgerechneten Energieverbräuche valide sind. Dies führte dazu, dass die Miete (Kaltmiete und Energiekostenabschlag) zweimal gesenkt werden konnte.

Da sich sowohl die Kostendaten, als auch die Energieverbräuche als realistisch erwiesen, sind auch die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen valide. Das im Projekt und in etwa 10 Nachfolgeprojekten ermittelte Kostenoptimum liegt bei sehr guten Energieniveaus, die etwa 2/3 bis 3/4 unter den Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung und der OIB Richtlinie 6 liegen.

Für Vorarlberger Randbedingungen können die folgenden Schlüsse für den Neubau gezogen werden:

- Gebäudehüllen im Niveau Passivhaus/Minergie P sind wirtschaftlich

- Wärmepumpen sind derzeit in vielen Fällen das wirtschaftliche Wärmeversorgungssystem, aber auch mit Fernwärme<sub>erneuerbar</sub> und Biomasse können sehr niedrige Lebenszykluskosten erreicht werden
- Mit Gas können die aus Klimaschutzgründen notwendigen Emissionswerte nicht oder nur zu sehr hohen investiven Mehrkosten erreicht werden. Da im Neubau für jede Bauaufgabe wirtschaftliche Lösungen ohne Gas möglich sind, gibt es keinen Grund mehr, Neubauten mit Gasheizung zu errichten.
- Komfortlüftungen mit WRG sind in Gebäuden mit Biomasse und Fernwärmeheizung knapp wirtschaftlich, in Kombination mit effizienten Wärmepumpen führen sie im Vergleich zu reinen Abluftanlagen zu minimal höheren Warmmietkosten im Bereich weniger ct/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> Monat
- Wurde das Kostenoptimum im Projekt KliNaWo (Planung und Ausschreibung 2015) noch mit einer relativ großen thermischen Solaranlage erreicht, so stellten sich in Nachfolgeprojekten PV-Anlagen als wirtschaftlich vorteilhafter heraus. Grund ist die starke Kostendegression bei PV sowie die Verbesserungen der gesetzlichen Regelungen zur Eigennutzung von PV-Strom auch in Mehrfamilienhäusern.

Die Methodik zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung und zur Bestimmung des Kostenoptimums sowie die eingesetzten Methoden und tools haben den Praxistest bestanden.

## **4.2 Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus in der Sanierung**

In Österreich wie in anderen EU-Staaten wird gemäß Europäischer Gebäuderichtlinie zwischen umfassenden (oder größeren) Sanierungen und Sanierungen von Einzelbauteilen unterschieden. Während für umfassende Sanierungen wie im Neubau Anforderungen an Indikatoren wie Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf und CO<sub>2eq</sub>-Emissionen definiert werden, gelten für Sanierungen von Einzelbauteilen U-Wert-Anforderungen.

Im Folgenden werden Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen für beide Fälle dargestellt.

### **4.2.1 Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus in umfassenden Sanierungen**

Die im Rahmen des Projekts KliNaWo entwickelten Methoden und Tools wurden inzwischen auch zur Bestimmung kostenoptimaler Energieniveaus für umfassende Sanierungen eingesetzt. So wurde etwa die Neujustierung der Energieanforderung des Österreichischen Deklarationssystems klimaaktiv auf der Basis von Wirtschaftlichkeitsberechnungen des Energieinstitut Vorarlberg für drei Wohngebäude unterschiedlicher Größe (EFH, mittleres und großes MFH) durchgeführt.

Die folgende Abbildung zeigt die Matrix der untersuchten Varianten, die übernächste Grafik veranschaulicht die zu Grunde gelegten U-Werte und Dämmstoffdicken der unterschiedlichen energetischen Qualitäten der Gebäudehülle.

MFH <sub>typ</sub> Sanierung	Qualität 1	Qualität 2	Qualität 3	Qualität 4	Qualität 5	Qualität 6	Qualität 7	Qualität 8
Hüllqualität	21er Linie $n_{50} = 1,5h^{-1}$	16er Linie $n_{50} = 1,5h^{-1}$	13er Linie $n_{50} = 1,0h^{-1}$	10er Linie $n_{50} = 0,8h^{-1}$				
Fenster	$U_f 1,00;$ $U_i 0,55;$ $g 53\%; \psi 0,04$	$U_f 0,75;$ $U_i 0,55;$ $g 53\%; \psi 0,03$						
Lüftung	Fenster	WRG						
Verschattung	Default OIB19							
Wärmeerzeuger	Gas-BW	FW Heizwerk erneuerbar	FW KWK	FW Wien	el. dezentral	Biomasse	Öl	Luft-WP
Haustechnik	Bestand	Bestand opti	neu default	neu opti				
Verteilsystem	4-Leiter	2-Leiter	2-Leiter + E- Boiler	2-Leiter + WP- Boiler				
Wärmeabgabe	Heizkörper	FBH						
Solare Systeme	ohne	Thermie 25m <sup>2</sup> (WW)	Thermie 60m <sup>2</sup> (Hzg + WW)	PV 10 kWp	PV 20 kWp	PV 20kWp + Batterie 20kWh	Thermie 25 m <sup>2</sup> + PV 10kWp	
Standort	Bregenz	Innsbruck	Alber- schwende					

Abbildung 60: Matrix der untersuchten Sanierungsvarianten des mittleren Mehrfamilienhauses (Energieinstitut Vorarlberg)

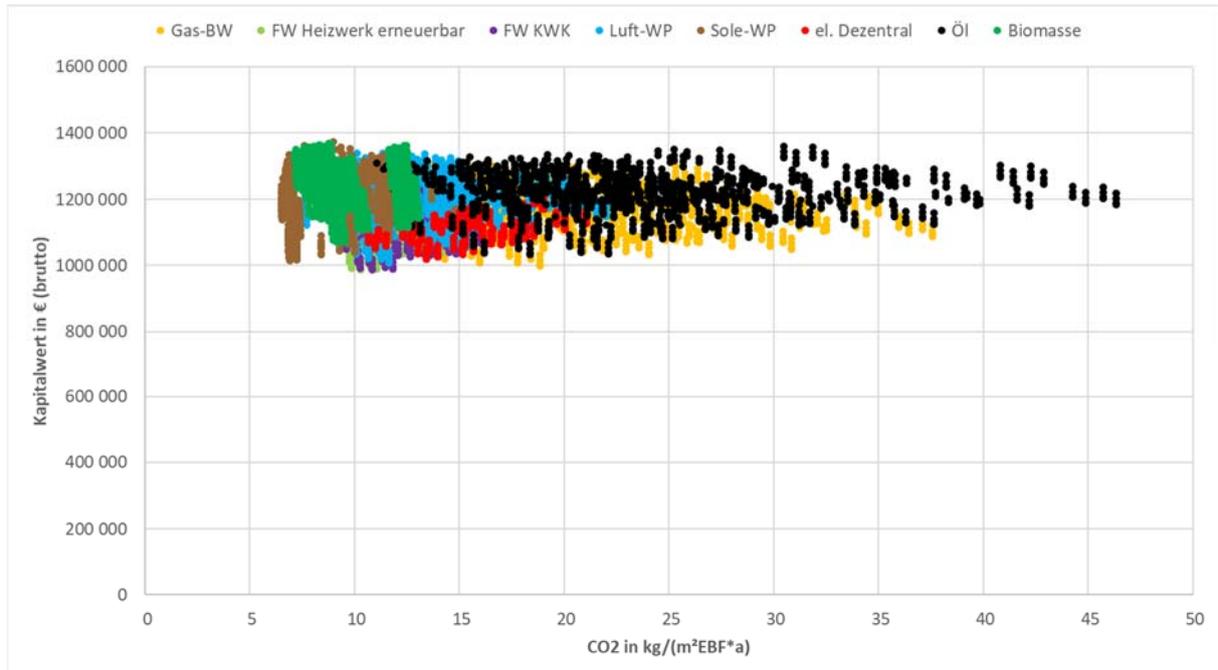
Insgesamt wurden gemäß Matrix mehr als 28.000 Ausführungsvarianten je Standort untersucht. Im Vergleich zum Neubau wurden 4 verschiedene Ausprägungen der Haustechnik untersucht, in denen entweder nur die Teile des Wärmeversorgungssystems im Heizkeller ausgetauscht wurden (Bestand: in mittlerer Qualität, Bestand opti: in optimierter Qualität, d.h. besserer Erzeugerwirkungsgrad, bessere Pumpen, bessere Speicherdämmung...) oder auch Wärmeverteiler und Abgabesystem erneuert wurden (neu default und neu opti). In den vier Qualitäten wurden auch die Systemtemperaturen variiert.

Linien (nach OIB 2019)			21er	16er	13er	10er
EFH klein	Außenwand	U-Wert Dicke	0,201 12 cm EPS <sup>1</sup>	0,178 14 cm EPS	0,132 20 cm EPS	0,105 26 cm EPS
	Steildach	U-Wert Dicke	0,211 16 cm MiFa <sup>2</sup>	0,211 16 cm MiFa	0,211 16 cm EPS <sup>1</sup>	0,123 16 cm MiFa + 14 cm Holzweichfaser <sup>3</sup>
	Kellerdecke	U-Wert Dicke	0,988 (Bestand)	0,433 4 cm EPS	0,339 6 cm EPS	0,236 10 cm EPS
MFH mittel	Außenwand	U-Wert Dicke	0,247 10 cm EPS	0,247 10 cm EPS	0,167 16 cm EPS	0,117 24 cm EPS
	Flachdach	U-Wert Dicke	0,244 12 cm EPS <sup>1</sup>	0,244 12 cm EPS <sup>1</sup>	0,136 22 cm EPS <sup>1</sup>	0,116 26 cm EPS <sup>1</sup>
	Kellerdecke	U-Wert Dicke	0,988 (Bestand)	0,433 4 cm EPS <sup>2</sup>	0,433 4 cm EPS <sup>2</sup>	0,236 10 cm EPS <sup>2</sup>
MFH groß	Außenwand	U-Wert Dicke	0,213 12 cm	0,213 12 cm	0,167 16 cm	0,109 26 cm
	Flachdach	U-Wert Dicke	0,166 18 cm EPS <sup>1</sup>	0,166 18 cm EPS <sup>1</sup>	0,125 24 cm EPS <sup>1</sup>	0,101 30 cm EPS <sup>1</sup>
	Kellerdecke	U-Wert Dicke	0,988 (Bestand)	0,433 4 cm EPS <sup>2</sup>	0,339 6 cm EPS <sup>2</sup>	0,205 12 cm EPS <sup>2</sup>

Abbildung 61: Darstellung der U-Wert-Ensembles und Dämmstoffdicken in den unterschiedlichen energetischen Niveaus der Gebäudehülle (Energieinstitut Vorarlberg)

U-Werte und Dämmstoffdicken der untersuchten Varianten des mittleren Mehrfamilienhauses sind durch die rote Umrandung hervorgehoben.

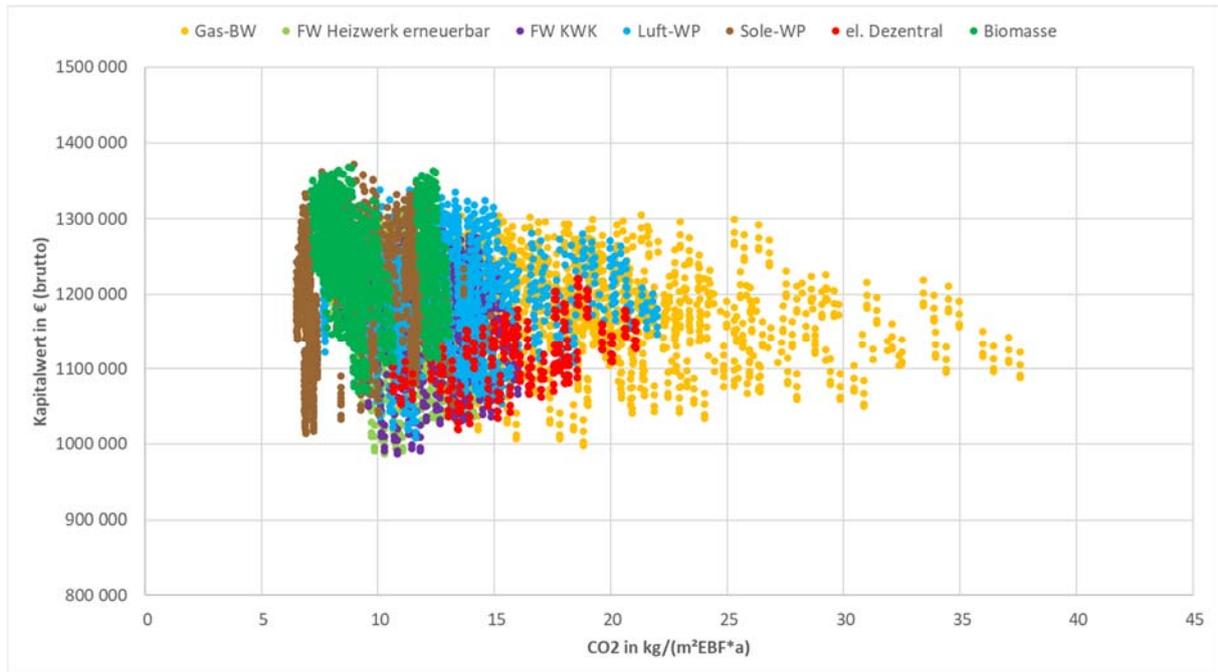
Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Sanierung des mittleren Mehrfamilienhauses auf Basis von PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen.



**Abbildung 62: Lebenszykluskosten über  $CO_{2eq}$ -Emissionen für das mittlere Mehrfamilienhaus; Verbrauchsprognoseberechnung PHPP mit Österreichischen Konversionsfaktoren gem. OIB RI 6 (2019); (Energieinstitut Vorarlberg); Hinweis: die Werte wurden nicht nach Österreichischer Rechenmethode OIB RL 6 (2019) berechnet und können nicht mit den Ergebnissen aus Energieausweisberechnungen verglichen werden**

Wie die Abbildung zeigt, liegen die Emissionen an  $CO_{2eq}$  zwischen etwa 6,5 und 46  $kg/m^2_{WNFA}$ . Wie zu erkennen, hat die energetische Qualität bzw. der eingesetzte Energieträger nur einen geringen Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Das Kostenoptimum ist sehr flach. Die niedrigsten Emissionen treten bei relativ niedrigen Werten von 10 bis 12  $kg/m^2_{WNFA}$  auf.

Die nächste Grafik zeigt zur besseren Ablesbarkeit eine „gezoomte“ Darstellung mit unterdrückter Nulllinie und ohne den Energieträger Öl.



**Abbildung 63: Lebenszykluskosten über  $CO_{2eq}$ -Emissionen für das mittlere Mehrfamilienhaus – gleiche Abbildung wie Abbildung vorher, jedoch „gezoomte“ Darstellung und ohne Energieträger Öl; Verbrauchsprognoseberechnung PHPP mit Österreichischen Konversionsfaktoren gem. OIB RI 6 (2019); (Energieinstitut Vorarlberg); Hinweis: die Werte wurden nicht nach Österreichischer Rechenmethode OIB RL 6 (2019) berechnet und können nicht mit den Ergebnissen aus Energieausweisberechnungen verglichen werden**

Wie zu erkennen können die kostenoptimalen  $CO_{2eq}$ -Emissionen von etwa 10 bis 12  $kg/m^2_{EBF}a$  mit Varianten mit den Energieträgern Fernwärmerneuerbar, Fernwärme<sub>KWK</sub> sowie Luft-Wärmepumpe erreicht werden. Die wirtschaftlichsten Varianten mit dem Energieträger Gas haben weit höhere Emissionen an  $CO_{2eq}$  und sind nicht kompatibel zu den langfristigen Klimaschutzzielen. Die niedrigsten Emissionen werden von Varianten mit Sole-Wärmepumpe erreicht, die Lebenszykluskosten liegen jedoch geringfügig höher.

#### 4.2.2 Wirtschaftlichkeit verschiedener Energieniveaus bei Sanierungen von Einzelbauteilen

Die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle wird seit langer Zeit immer wieder untersucht. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die nachträgliche Dämmung der Außenwand eines Bestandsgebäudes.

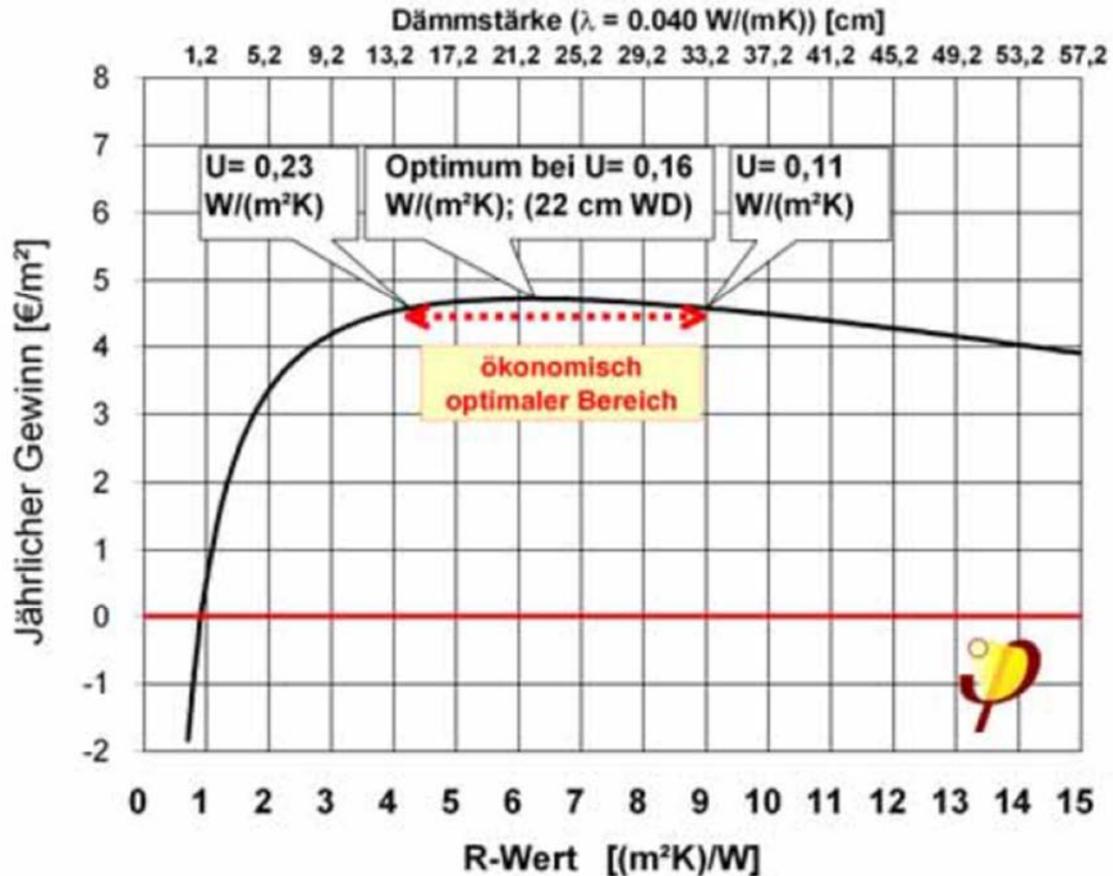


Abbildung 64: Jährlicher Gewinn durch nachträgliche Dämmung der Außenwand [63]

Die Abbildung zeigt den jährlichen Gewinn durch nachträgliche Dämmung einer Außenwand in verschiedenen Dämmstoffdicken. Die Kosten, die bei Beibehaltung der Bestandswand ohne Dämmung entstehen sind als rote Nulllinie dargestellt. Zu erkennen ist, dass der jährliche Gewinn mit zunehmender Dämmstoffdicke steigt und ein flach ausgeprägtes Optimum bei U-Werten zwischen 0,23 und 0,11 W/(m<sup>2</sup>K) ausbildet. Der absolut höchste Gewinn entsteht bei einer Dämmung mit dem U-Wert 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Die Dämmstoffdicken im kostenoptimalen Bereich liegen bei etwa 14 bis 32 cm der WLK 040. Mit den inzwischen üblichen Dämmstoffen können die angegebenen U-Werte mit geringeren Dämmstoffdicken erreicht werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit der Außendämmung mit einem Wärmedämm-Verbundsystem vom Ursprungs-U-Wert der unsanierten Wand. Dargestellt ist die Wirtschaftlichkeit der Außenwanddämmung auf einen U-Wert von 0,16 W/m<sup>2</sup>K.

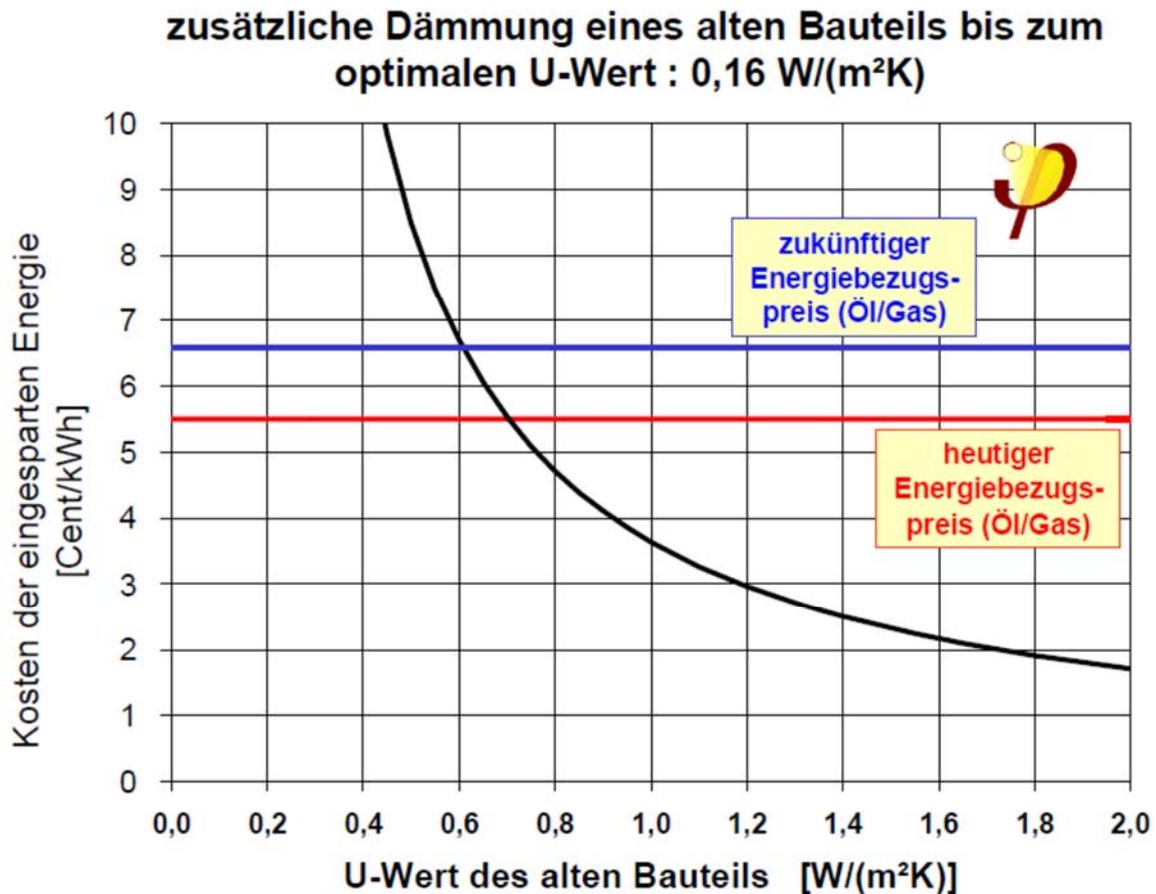


Abbildung 65: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit eines nachträglich angebrachten Wärmedämm-Verbandsystems vom Ausgangs-U-Wert der unsanierten Wand [63]

Wie die Abbildung zeigt, ist die nachträgliche Dämmung einer Außenwand auf einen U-Wert von 0,16 W/m<sup>2</sup>K bei heutigen Energiepreisen bis zu einem U-Wert der Ursprungswand von 0,7 W/m<sup>2</sup>K wirtschaftlich.

Bei dem für die Studie unterstellten mittleren Energiebezugspreis im Betrachtungszeitraum ist die Dämmung bis zu U-Werten von 0,6 W/m<sup>2</sup>K wirtschaftlich.

### 4.3 Warum wird nicht mehr saniert, obwohl die energetische Sanierung wirtschaftlich ist?

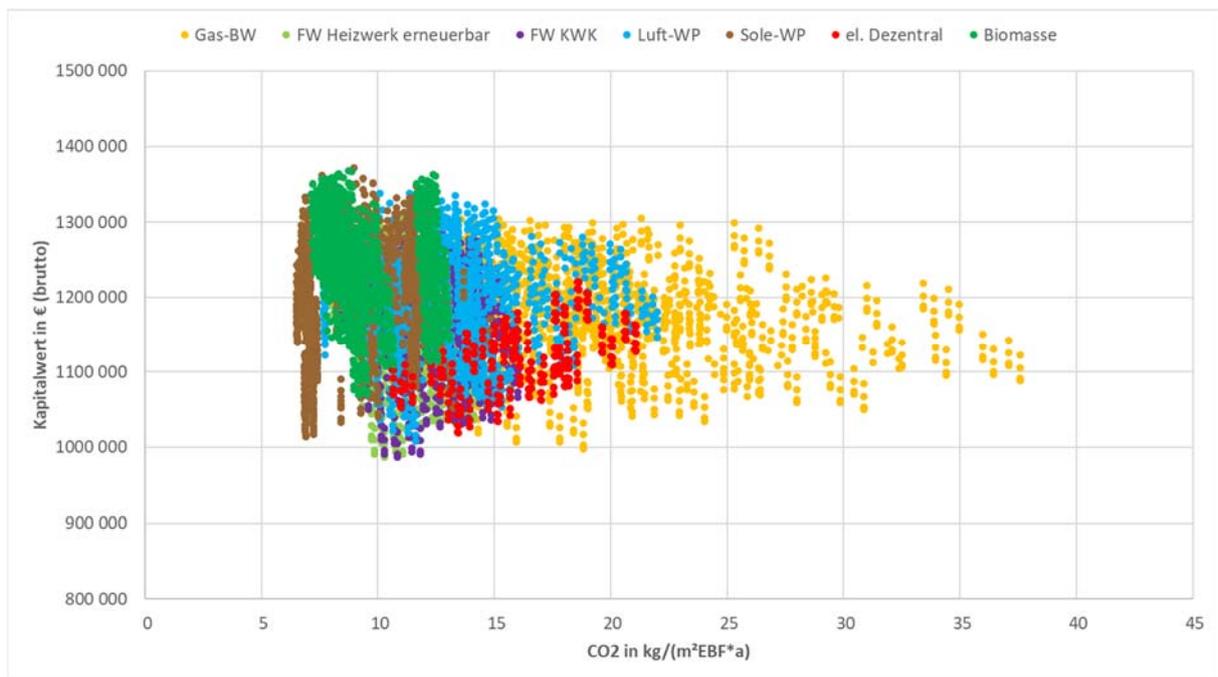
Während Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit höherer Effizienzstandards im Neubau wie in Kapitel 4.1 dargestellt inzwischen detailliert untersucht und aufbereitet wurden, so dass sich die Diskussion versachlicht hat, werden die Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit energetisch hochwertiger Sanierungen mangels gut aufbereiteter Daten weiterhin kontrovers diskutiert.

Hauptgrund für die zum Teil unsachliche Diskussion ist die mangelnde Unterscheidung zwischen so genannten „Ohnehin-Kosten“ von Sanierungen und den tatsächlichen Mehrkosten effizienter Sanierungen.



die Sanierung im Niveau KfW 55 (etwa Niveau enerphit, d.h. Passivhausniveau für Sanierungen, also etwa 10er Linie nach OIB + WRG-Anlage) liegen die Werte zwischen 420 und 464 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> für Mehrfamilienhäuser und zwischen 540 und 590 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> für Einfamilienhäuser. Die Mehrkosten der energetisch hochwertigeren Ausführung liegen damit bei 110 bis 154 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>. Bei der Dateninterpretation ist zu beachten, dass sich die Kostangaben auf ältere Sanierungsprojekte beziehen und daher nur Größenordnungen beschreiben können.

Wie die Ausführungen in Kapitel 4.2 zeigen, sind auch höhere Energieniveaus wirtschaftlich, Haupthindernis zur Umsetzung derartiger Maßnahmen sind die hohen Kosten für die „ohnehin-Maßnahmen“.



**Abbildung 67: Lebenszykluskosten über CO<sub>2eq</sub>-Emissionen für das mittlere Mehrfamilienhaus; Verbrauchsprognoseberechnung PHPP mit Österreichischen Konversionsfaktoren gem. OIB RI 6 (2019); (Energieinstitut Vorarlberg); Hinweis: die Werte wurden nicht nach Österreichischer Rechenmethode OIB RL 6 (2019) berechnet und können nicht mit den Ergebnissen aus Energieausweisberechnungen verglichen werden**

## 5 Status Quo-Analyse und Vergleich der Regionen

Als Grundlage für die Herleitung zukünftiger Strategien und Umsetzungsmaßnahmen wird nachfolgend der Status Quo in den Regionen untersucht. Während in Kapitel 5.1 eine quantitative Analyse auf der Basis von Datenrecherchen der Projektpartner erfolgt, werden in Kapitel 5.2. bisherige Strategien und Umsetzungsinstrumente verglichen.

### 5.1 Quantitative Analyse - Statistische Daten zu Endenergiebedarf, Treibhausgasemissionen, Energieträgermix bei der Wärmeversorgung von Gebäuden sowie zur Stromerzeugung

In diesem Kapitel wird die Wirkung der bisherigen Strategien und Instrumente zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen sowie zur Steigerung der Sanierungsrate und zum Ausstieg aus fossilen Energieträgern quantitativ bewertet. Dabei werden auch Randbedingungen wie die Entwicklung der Bevölkerung sowie die Entwicklung der Wohn- und Nutzfläche betrachtet.

Auf Basis der statistischen Zahlen kann abgeschätzt werden, ob eine Region auf Zielpfad zur Umsetzung der Klimaschutzziele ist.

Die Daten wurden von den Projektpartnern für Ihre jeweilige Region auf der Basis amtlicher bzw. anderer öffentlich verfügbarer Statistiken erhoben. Zum Teil wurden auch statistische Daten verwendet, die nicht öffentlich verfügbar sind. Zur Datensammlung wurde ein vom Energieinstitut Vorarlberg erarbeitetes, mit den Partnern abgesprochenes excel-Template verwendet, in das auch die jeweilige Datenquelle einzufügen war. Die Daten aller Regionen wurden in einem nächsten Schritt in eine Übersichtsdatei übernommen.

Die von den Partnern erhobenen Daten und in die excel-Übersichtsdatei übernommenen Daten wurden vom Energieinstitut einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Dabei wurde überprüft und gekennzeichnet

- ob von den Partnern eine Quelle genannt wurde
- ob diese Quelle beigelegt oder aufgrund der Quellenangabe verfügbar war
- ob die Daten in den excel-Dateien der Partner den Daten in der genannten Quelle entspricht und ob ggf. unterschiedliche Einheiten richtig umgerechnet wurden
- ob Werte (nach zusätzlichen Recherchen des Energieinstitut Vorarlberg) ergänzt werden konnten
- welche Werte aus Eingabewerten berechnet wurden

Abbildung 68 veranschaulicht die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung an einem Ausschnitt aus der Ergebnistabelle.

	1990		2005		aktuell		2030		2040		2050	
	EW	%										
Liechtenstein	29 032	100%	34 734	120%	38 747	133%	41 423	143%	43 313	149%	44 027	152%
Vorarlberg	342 368	100%	383 161	112%	432 718	126%	458 925	134%	473 387	138%	482 998	141%
Schweiz	6 757 188	100%	7 415 102	110%	8 544 527	126%	9 430 800	140%	10 015 400	148%	10 440 600	155%
Thurgau												
St. Gallen	421 176	100%	458 821	109%	507 697	121%	562 000	133%	605 200	144%	647 400	154%
Schaffhausen												
Appenzell Innerrhoden	14 108	100%	15 029	107%	16 145	114%	17 400	123%	18 500	131%	19 700	140%
Appenzell Ausserrhoden	51 553	100%	52 841	102%	55 234	107%	58 500	113%	60 900	118%	62 900	122%
Zürich	1 143 249	100%	1 261 810	110%	1 520 968	133%	1 729 100	151%	1 880 500	164%	2 002 800	175%
Bayern Gesamt	11 448 823	100%	12 468 726	109%	13 124 737	115%	13 473 000	118%				
LK Lindau	73 151	100%	79 467	109%	81 981	112%	82 600	113%				
LK Oberallgäu	136 777	100%	150 507	110%	156 008	114%	159 800	117%				
Kempten	61 906	100%	61 360	99%	69 151	112%	70 500	114%				
BaWü Gesamt	9 822 027	100%	10 735 701	109%	11 100 394	113%	11 344 000	115%	11 336 000	115%	11 223 000	114%
LK Konstanz	246 059	100%	274 692	112%	286 305	116%	290 637	118%				
Bodenseekreis	183 774	100%	205 446	112%	217 470	118%	218 149	119%				
LK Ravensburg	247 674	100%	275 677	111%	285 424	115%	294 362	119%				
LK Sigmaringen	121 008	100%	133 385	110%	130 849	108%	133 636	110%				

Farb- legende	Erläuterung
	Quelle und Daten stimmen überein
	Quelle / Daten nicht auffindbar
	Quelle nicht angegeben
	ergänzter Wert
	berechnete Werte

Abbildung 68: Ausschnitt aus der zusammenführenden Datentabelle

Für einzelne Daten wurde zusätzlich analysiert, ob sie in den beteiligten Staaten und Regionen nach gleichen Methoden ermittelt werden. Die Ergebnisse der Datenabfrage bei den Partnern sind im Folgenden dargestellt.

### 5.1.1 Bisherige Entwicklung und Projektionen Bevölkerung und Wohnflächen

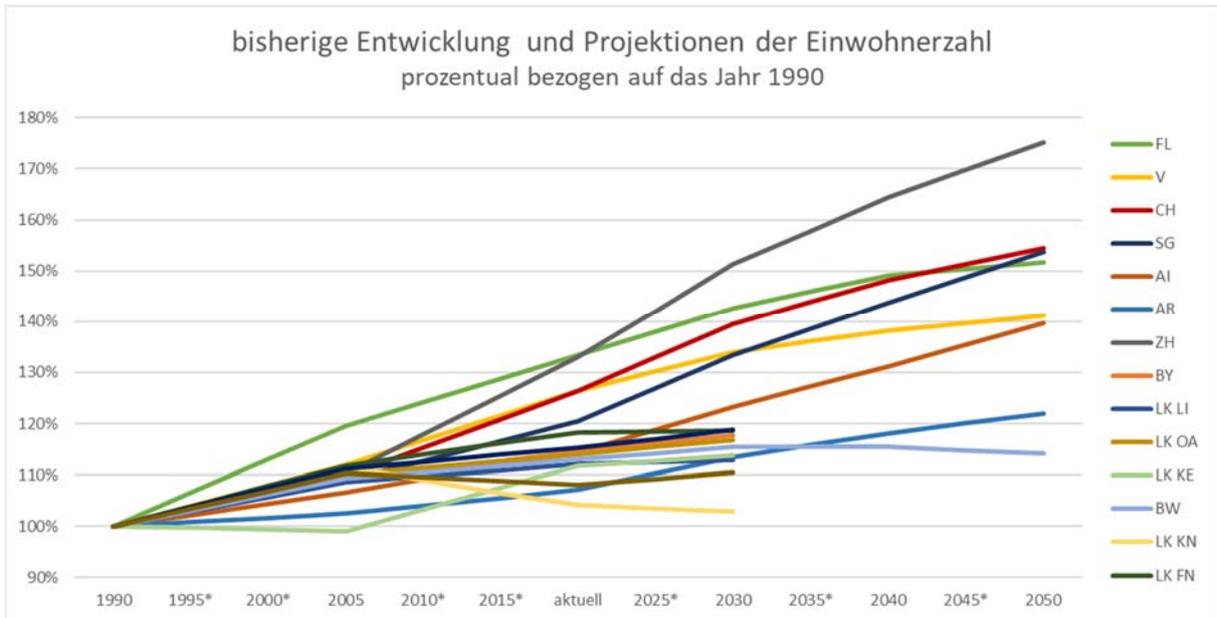


Abbildung 69: Bevölkerungsentwicklung und –projektionen von 1990 bis 2050; aktuell bedeutet: aktuellster verfügbarer Wert; dieser Wert kann je nach Aktualisierungsstand der Statistiken um 1 bis 3 Jahre differieren (Werte mit \* sind interpoliert)

Der Vergleich zeigt, dass die Bevölkerungsentwicklung in den letzten 30 Jahren in allen untersuchten Regionen ein Treiber des Energieverbrauchs war. Im Vergleich zu 1990 stieg die Bevölkerungszahl in allen Regionen. Das stärkste Wachstum verzeichneten der Kanton Zürich und das Fürstentum Liechtenstein gefolgt von der Gesamtschweiz, Vorarlberg und dem Kanton St. Gallen.

Die aktuellen Werte der einzelnen Regionen liegen zwischen 107 bzw. 108% (Appenzell-Außerrhoden bzw. Landkreis Sigmaringen) des Ausgangswertes von 1990 und 133% im Kanton Zürich sowie im Fürstentum Liechtenstein. In der Schweiz und Vorarlberg wuchs die Bevölkerungszahl auf 126% des Wertes von 1990.

Zahlen zur Bevölkerungsprognose wurden nur für einen Teil der Regionen zur Verfügung gestellt. In den Gebieten mit dem bislang höchsten Wachstum sowie in Appenzell-Innerrhoden wird auch bis 2050 das höchste Bevölkerungswachstum erwartet. Die für 2050 prognostizierten Werte liegen bei bis zu 175% (Kanton Zürich), in mehreren Gebieten bei 140 bis 150% des Ausgangswertes von 1990 (Fürstentum Liechtenstein, Schweiz, St. Gallen, Appenzell-Innerrhoden, Vorarlberg). Für Baden-Württemberg wird ein leichtes Wachstum bis etwa 2030 erwartet, danach eine in etwa stagnierende Entwicklung. Der Wert im Jahr 2050 liegt bei 114% des Ausgangswertes von 1990. Für Bayern wird ein weiteres Wachstum bis 2040 erwartet, danach stagnieren die Einwohnerzahl bei 120% des Ausgangswertes von 1990.

### 5.1.2 Bevölkerungsdichte

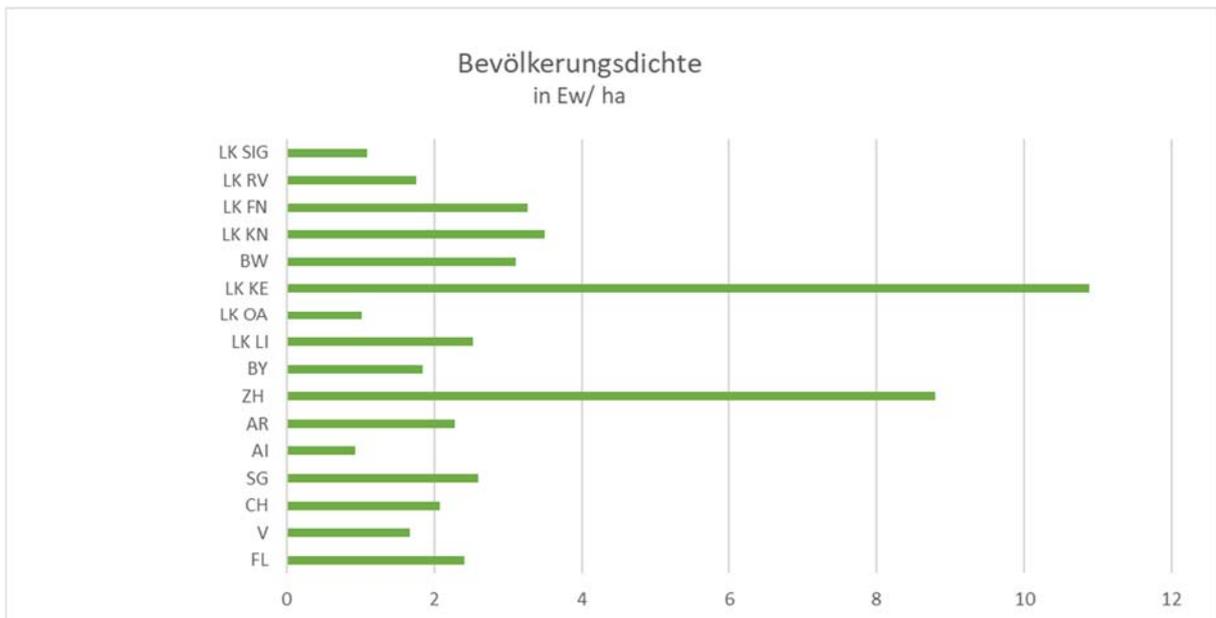


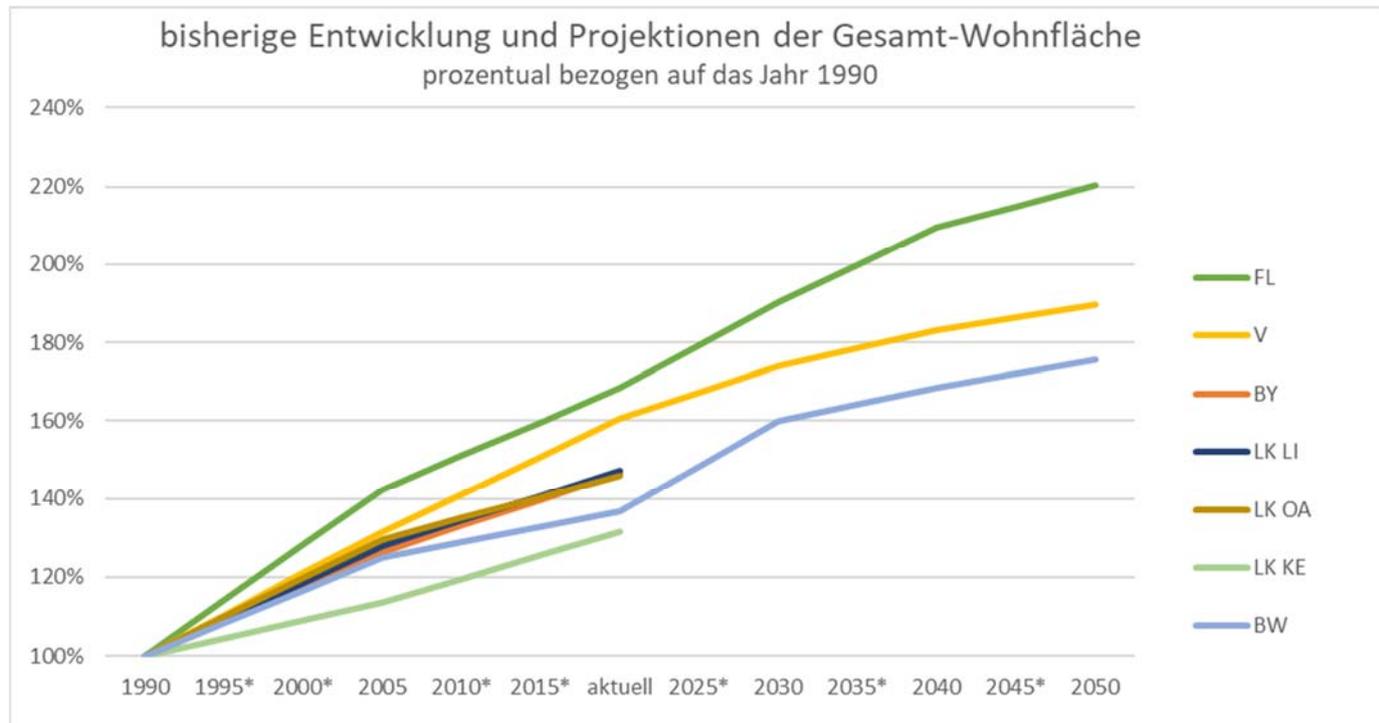
Abbildung 70: Vergleich der aktuellen Bevölkerungsdichte in EW/ha

Die Bevölkerungsdichte hat einen Einfluss auf den das Verhältnis von Energieverbrauch zur Fläche zur Nutzung erneuerbarer Energien – etwa Waldfläche oder Fläche für (Freiland)-PV-

Anlagen. Indirekt beeinflusst die Bevölkerungsdichte auch die Potentiale für den Windkraftausbau: in Regionen mit restriktiven Abstandsregelungen (Windkraftanlage zu Siedlung) wie Bayern schränkt eine hohe Bevölkerungsdichte das Windkraftpotential tendenziell ein.

Die niedrigsten Bevölkerungsdichten verzeichnen der Kanton Appenzell-Innerrhoden sowie die Landkreise Oberallgäu und Sigmaringen mit 0,94 bzw. 1,02 und 1,09 EW/ha. Die höchsten Dichten haben die Stadt Kempten sowie der Kanton Zürich mit 10,89 bzw. 8,8 EW/ha. Die Einwohnerdichten der Schweiz und Bayerns ähneln sich mit 2,07 und 1,85, die Bevölkerungsdichte in Baden-Württemberg liegt mit 3,1 EW/ha um etwa 50% höher.

### 5.1.3 Bisherige Entwicklung und Projektionen der Gesamt-Wohnfläche

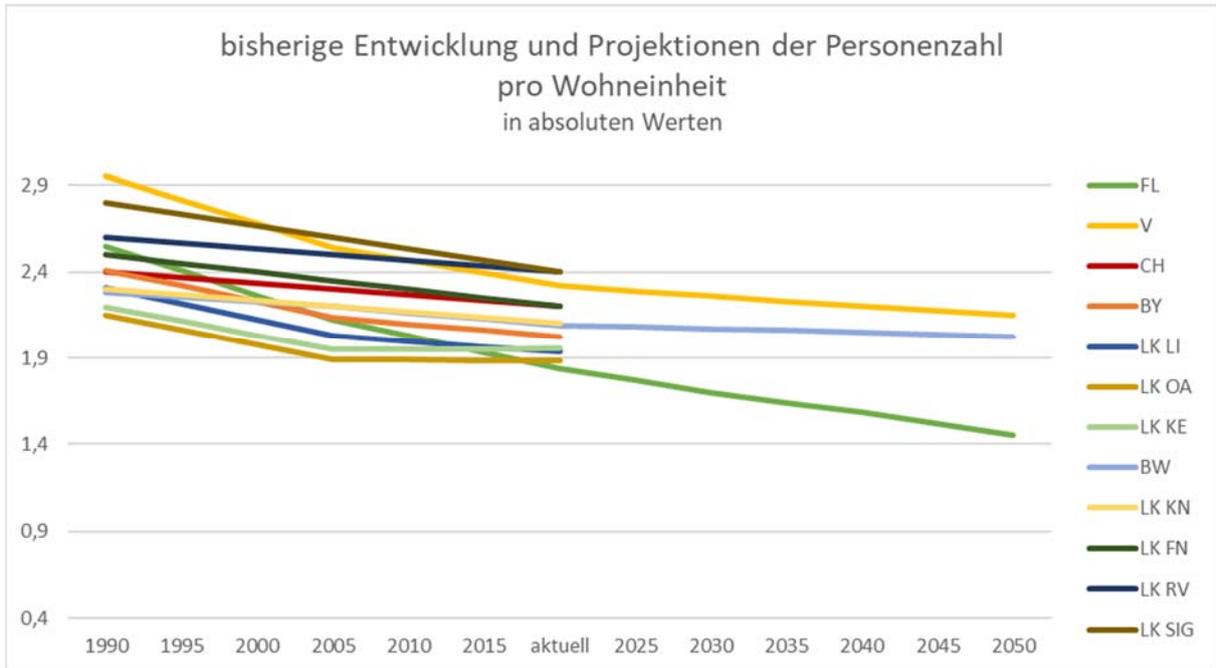


**Abbildung 71: bisherige Entwicklung / Projektionen der Wohnfläche von 1990 bis 2050 als prozentuale Werte (Werte mit \* sind interpoliert)**

Daten zur Entwicklung der Wohnfläche wurden nur für die in der Abbildung dargestellten Regionen zur Verfügung gestellt, für die übrigen waren offensichtlich nur die aktuellen Werte verfügbar.

Wie die Abbildung verdeutlicht, stieg die Wohnfläche in den Regionen, für die Daten vorliegen zum Teil deutlich stärker als die Bevölkerungsanzahl. Das stärkste Wachstum verzeichneten das Fürstentum Liechtenstein und Vorarlberg, für beide Regionen wird auch bis 2050 das stärkste Wachstum erwartet. Auch in Baden-Württemberg wird trotz geringerem prognostizierten Bevölkerungswachstums ein erheblicher Wohnflächenzuwachs erwartet.

### 5.1.4 Bisherige Entwicklung und Projektionen der mittleren Personenzahl pro Wohneinheit



**Abbildung 72: bisherige Entwicklung und Projektionen der mittleren Personenzahl pro Wohneinheit von 1990 bis 2050 (Werte mit \* sind interpoliert)**

Auch Daten zur Entwicklung der mittleren Personenzahl pro Wohneinheit wurden nur für einen Teil der Regionen zur Verfügung gestellt. Prognosewerte liegen nur für drei Regionen vor, die Werte für die Baden-Württembergischen Landkreise für 2005 wurden linear zwischen den vorhandenen Werten für 1990 und den aktuellen Werten interpoliert.

Die aktuellen Daten liegen mit 1,84 bis 1,94 Personen/Wohneinheit im Fürstentum Liechtenstein, dem Landkreis Oberallgäu und dem Landkreis Lindau am niedrigsten und mit 2,30 bis 2,50 Personen pro Wohneinheit in den Kantonen St. Gallen, Appenzell-Außerrhoden, Vorarlberg und Appenzell-Innerrhoden am höchsten. Die Werte für Bayern, Baden-Württemberg und die Schweiz liegen mit 2,02 bis 2,20 in einem mittleren Bereich.

Für die Zukunft werden für Vorarlberg, Baden-Württemberg und das Fürstentum Liechtenstein weiter sinkende mittlere Personenbelegungen pro Wohneinheit erwartet.

Gründe für diese Entwicklung sind der Trend zu mehr Ein- und Zweipersonenhaushalten unter jungen Menschen (Marktsegment Wohnungen) sowie der zunehmende Anteil älterer Menschen, die nach Auszug der Kinder immer länger zu zweit oder alleine in großen Einfamilienhäusern leben (siehe Kapitel 3.3.1).

### 5.1.5 Bisherige Entwicklung und Projektionen der Nutzflächen der Nicht-Wohngebäude

Die folgende Tabelle zeigt die Angaben, die aus den Regionen zur Entwicklung der Nutzflächen der Nicht-Wohngebäude zurückgemeldet wurden.

	1990	1990	2005	2005	aktuell	aktuell	2030	2030	2040	2040	2050	2050	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	
Gesamtläche Nicht-Wohngebäude	Liechtenstein												
	Vorarlberg					11 433 828		12 319 065		12 798 263		13 085 986	
	Schweiz												
	Thurgau												
	St. Gallen					8 719 592							
	Schaffhausen												
	Appenzell Innerrhoden					159 754							
	Appenzell Ausserrhoden					567 282							
	Zürich					30 400 383							
	Bayern Gesamt												
	LK Lindau												
	LK Oberallgäu												
	Kempten												
	BaWü Gesamt					536 263 727		626942197		664477202		677278746	
	LK Konstanz												
	Bodenseekreis												
LK Ravensburg													
LK Sigmaringen													

Abbildung 73: bisherige Entwicklung und Projektionen der Gesamtfläche der Nicht-Wohngebäude von 1990 bis 2050

Die Tabelle offenbart offensichtliche Schwächen der verfügbaren Statistiken im Bereich der Nicht-Wohngebäude. Während die aktuellen Wohnflächen in allen Regionen erhoben werden und in einigen Regionen auch Werte zur historischen Entwicklung und Prognosewerte bis 2050 verfügbar sind, liegen für Nicht-Wohngebäude offensichtlich weit weniger belastbare Zahlen vor.

Diese Schwäche zeigt sich nicht nur auf regionaler Ebene, sondern auch für Deutschland, Österreich und andere EU-Staaten wie Luxemburg.

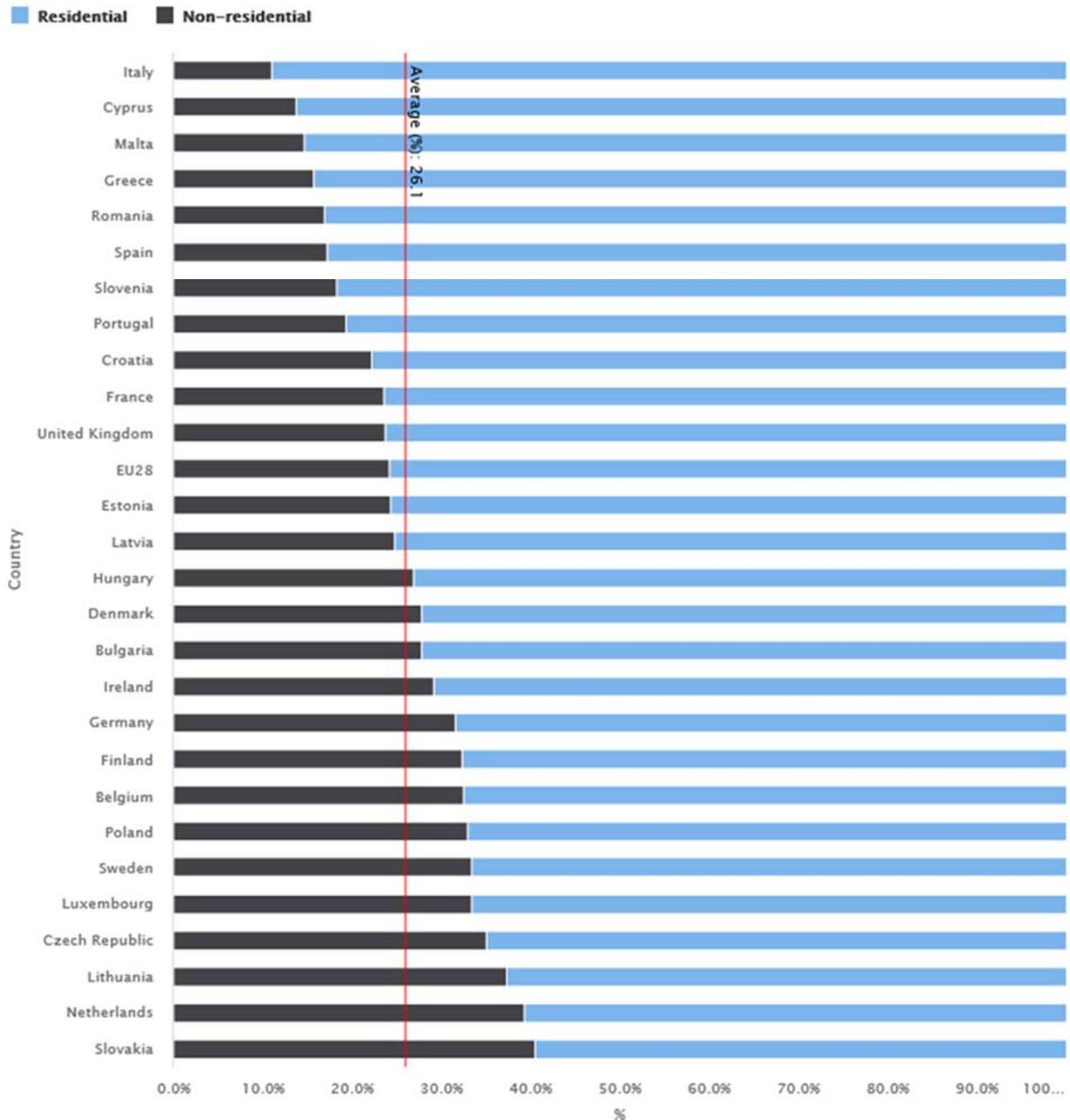
Zur Plausibilisierung der Daten zu den Nutzflächen wurden deren Anteile an der Gesamt-Wohn- und Nutzfläche ermittelt und mit Vergleichswerten für eine Vielzahl an EU-Staaten verglichen.

	Wohnen	Nicht-Wohnen	Summe	Anteil Nicht-Wohnen
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	%
<b>St. Gallen</b>	<b>27.102.224</b>	<b>8.719.592</b>	<b>35.821.816</b>	<b>24,3</b>
<b>Appenzell-Innerrhoden</b>	<b>913.081</b>	<b>159.754</b>	<b>1.072.835</b>	<b>14,9</b>
<b>Appenzell-Außerrhoden</b>	<b>3.246.580</b>	<b>567.282</b>	<b>3.813.862</b>	<b>14,9</b>
<b>Zürich (Kanton)</b>	<b>72.660.581</b>	<b>30.400.383</b>	<b>103.060.964</b>	<b>29,5</b>
<b>Baden-Württemberg</b>	<b>487.720.000</b>	<b>329.563.700</b>	<b>817.283.700</b>	<b>40,3</b>
<b>Vorarlberg</b>	<b>18.606.869</b>	<b>11.433.828</b>	<b>30.040.697</b>	<b>38,1</b>

Abbildung 74: Wohn- und Nutzflächen sowie Anteil der Nutzfläche an der Gesamtfläche – aktueller Stand ca. 2018

Aus den von den Partnern genannten Daten ergeben sich Flächenanteile der Nicht-Wohngebäude von 14,9% in Appenzell-Außerrhoden und Appenzell-Innerrhoden bis 40,3% in Baden-

Württemberg. Da die Datenqualität für die Nicht-Wohngebäude nicht gut ist, sollten die prozentualen Anteile der Nicht-Wohngebäude nur als erste Anhaltspunkte verstanden werden. Wie der Vergleich mit den in der folgenden Abbildung dargestellten Werten der EU-Staaten zeigt, liegen sie jedoch in einem durchaus plausiblen Bereich.



**Abbildung 75: Flächenanteile der Wohn- und Nicht-Wohngebäude in den EU-Staaten** [68]

Die EU Building Stock Observation gibt als EU 28-Mittelwert einen Anteil der Nichtwohngebäude von 26,1% an [68]. Für Deutschland werden 31,5% genannt, für Frankreich 23,5%, für Belgien 32,5% und für Luxemburg 33,5%. Werte für Österreich werden in der EU-Statistik nicht genannt.

Wie zu erkennen unterscheiden sich die Werte der einzelnen Staaten beträchtlich, über die Datenqualität kann keine Aussage getroffen werden.

Die Datenqualität ist schon innerhalb einzelner Staaten nur mäßig, so wird etwa die Situation in Deutschland in [69] wie folgt beschrieben.

*„Im Vergleich zu den Wohngebäuden gibt es zurzeit kaum belastbare Zahlen zum Bestand an Nichtwohngebäuden. Darüber hinaus weichen die verfügbaren Quellen in ihren Ergebnissen erheblich voneinander ab, was Unsicherheiten der Quellen verdeutlicht“*

An der Situation in Deutschland hat sich seit 2015 nur wenig geändert, die für Mai 2020 geplante Vorstellung der Ergebnisse einer sehr detaillierten Bestandserhebung des Institut Wohnen und Umwelt wurde in Folge der Corona-Krise verschoben.

Die Situation in Österreich ist bezüglich der Datenverfügbarkeit tendenziell noch schlechter als in Deutschland. Daten für Vorarlberg wurden erstmals im Jahr 2018 vom Energieinstitut Vorarlberg erhoben. Die Datenqualität ist jedoch wegen der sehr mäßigen Qualität der Primärdaten weit weniger belastbar als für den Wohnbau.

Der Vergleich von Daten verschiedener Staaten erscheint noch schwieriger, weil beispielsweise die folgenden Abgrenzungen unterschiedlich definiert sein können:

- Abgrenzung zwischen Wohnbau und Nicht-Wohngebäude
- Definition des Begriffs Nicht-Wohngebäude (nur beheizte oder auch unbeheizte Gebäude)

Wegen der beschriebenen, unbefriedigenden Datenqualität wird auf eine weitergehende Analyse der Daten zum Bestand an Nicht-Wohngebäuden verzichtet.

Für den Sektor der Nicht-Wohngebäude scheint eine detailliertere, im Idealfall international gleichartige Datenerhebung dringlich geboten.

#### **5.1.6 Sanierungsrate, Kesselaustauschrate und Abrissrate**

Angaben zu Sanierungsrate, Kesselaustauschrate und Abrissrate wurden nur für Baden-Württemberg, die einige Schweizer Kantone und Vorarlberg zur Verfügung gestellt. Für das Fürstentum Liechtenstein wurde nur die Abrissrate aufgeführt. Für Bayern sind belastungsfähige und niedrigschwellig verfügbare Zahlen aus den Kommunen oder vom statistischen Landesamt nicht verfügbar. Die Werte für Vorarlberg beruhen auf einer einzigen wissenschaftlichen Arbeit aus dem Jahr 2014 [70].

Die verfügbaren Werte der Regionen sind in der folgenden Abbildung zusammengestellt. Wegen der unklaren und vermutlich unterschiedlichen Definitionen sind sie nur sehr bedingt vergleichbar.

	Sanierung Hülle in % p.a.	Kesselaustauschrate in % p.a.	Abrissrate in % p.a.
Baden-Württemberg	0,9	2,64	0,06
Appenzell-Innerrhoden	0,3 (EFH)	2,32	1,1 (EFH)
	0,5 (MFH)		2,5 (MFH)
Appenzell-Außerrhoden	0,7 (EFH)	1,07	0,6 (EFH)
	0,2 (MFH)		0,4 (MFH)
Kanton Sankt Gallen	0,4 (EFH)	1,96	1,1 (EFH)
	0,1 (MFH)		0,8 (MFH)
Kanton Zürich	0,4 (EFH)	1,57	0,6 (EFH)
	0,1 (MFH)		0,4 (MFH)
Fürstentum Liechtenstein	0,35*	k.A.	0,25
Vorarlberg	0,85	1,7	0,30 (EFH)
			0,32 (MFH)

**Abbildung 76: aktuelle Sanierungsrate, Kesselaustauschrate und Abrissrate in den Regionen**

Anmerkung zu Wert Sanierung Hülle für Fürstentum Liechtenstein: Schätzung, berechnet nach BuA 2014/21 Seite 27 mit einer Einsparwirkung 2019 von 0,88GWh / 250GWh = 0,35% Sanierungsrate ausgedrückt als effektive Wirkung zum Potenzial (nur geförderte Flächen, einige ungeförderte Fenstersanierung nicht enthalten)

Anmerkung zur Abrissrate für Baden-Württemberg: Der angegebene Wert von 0,05% bezieht sich auf die Anzahl der Wohneinheiten. Bei Bezug auf die Nutzfläche beträgt der Anteil 0,11%.

Die Abbildung zeigt, dass die Sanierungsrate in allen Regionen weit unter dem betriebswirtschaftlichen und den aus Klimaschutzgründen notwendigen Werten liegt. Gleiches gilt für die Kesselaustauschrate. Da keine Angaben zur Art der Bestimmung beider Raten vorliegen, wird auf eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse verzichtet. Gerade bei der Kesselaustauschrate könnte es eine große Dunkelziffer an Kesseltauschen geben, von denen die Bauämter keine Kenntnis haben.

Zur Steuerung der Dekarbonisierung des Gebäudesektors sind zukünftig detailliertere, nachvollziehbar dokumentierte Angaben zu Sanierungs- und Kesselaustauschrate notwendig, die nach einer klar beschriebenen Methodik ermittelt werden (siehe Kapitel 6.1.1).

Die Werte für die Abrissrate schwanken zwischen den Regionen sehr stark. Der niedrigste Wert wird mit 0,06% p.a. für Baden-Württemberg angegeben, die höchsten Werte für Appenzell-Innerrhoden (mit bis zu 2,5% p.a. für Mehrfamilienhäuser) und den Kanton Sankt Gallen. Für das Fürstentum Liechtenstein und Vorarlberg werden deutlich niedrigere Werte angegeben als für die vier Schweizer Kantone. Ob die Werte tatsächlich so stark schwanken, ist aus Sicht des Energieinstitut Vorarlberg fraglich. Dass eine für das Monitoring der Energiewende im Gebäudebereich zentrale, leicht zu ermittelnde Größe wie die Abrissrate nicht in allen Regionen ermittelt wird und dass die Datenqualität vermutlich mäßig ist, ist verwunderlich.

Um die Notwendigkeit eindeutiger Definitionen und eines nachvollziehbaren, detaillierten Monitorings zu darzulegen, wird nachfolgend erläutert, wie die oben angegebenen Werte der Sanierungsrate für Vorarlberg anhand der wenigen, teils widersprüchlichen Daten bestimmt werden mussten.

Für Vorarlberg sind drei Haupt-Datenquellen vorhanden:

In der **Bundesländer Luftschadstoffinventur 1990 – 2016**, d.h. der Regionalisierung der nationalen Emissionsdaten auf Grundlage von EU-Berichtspflichten werden die folgenden Sanierungsraten für einzelne Bauteile der Gebäudehülle sowie eine Kesselaustauschrate als Mittelwerte für die Jahre 2008 bis 2016 genannt [71].

- Fenstertausch: 1,7% (+- 0,2%), Tendenz gegen Periode 2002-2012: - 28%
- Thermische Fassadenerneuerung: 1,0% (+-0,2%), Tendenz gegen Periode 2002-2012: - 26%
- Oberste Geschossdecke: 1,1% (+-0,2%), Tendenz gegen Periode 2002-2012: - 31%
- Werte für die Kellerdecke bzw. die Bodenplatte werden nicht genannt.

Aus den o.g. Werten kann die flächengewichtete mittlere Sanierungsrate der Gebäudehülle aufgrund von Einzelbauteilsanierungen grob auf etwa 0,9% abgeschätzt werden. Zusätzlich weist die Studie Sanierungen aus, in denen gleichzeitig mindestens drei von vier Sanierungsmaßnahmen (Außenwand, Dach, Fenster, Kesseltausch) durchgeführt werden.

Berücksichtigt man den Anteil dieser Sanierungen, so kann die mittlere Modernisierungsrate der Gebäudehülle auf Basis der Zahlen der Bundesländer-Luftschadstoffinventur auf ca. 1,1 % p.a. geschätzt werden.

Als Kesselaustauschrate wird ein Wert von 1,7% (+-0,2%) genannt.

Aus dem **Jahresbericht zur Energieausweis-Zentrale 2015 (EAWZ)** geht hervor, dass zwischen 2008 und 2015 im Mittel etwa 52.000 m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> in Wohngebäuden umfassend saniert wurden (größere Sanierung). Dies entspricht einer Sanierungsrate der Hülle von knapp 0,3% p.a. Zusätzlich wurden im Mittel der Jahre 2008 bis 2015 etwa 128.500 m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> an Einzelbauteilflächen energetisch saniert. Da die Einzelbauteilsanierungen nicht nach Bauteil differenziert werden, kann nur grob abgeschätzt werden, dass sich die flächengewichtete mittlere Sanierungsrate der Gebäudehülle aufgrund der Einzelbauteilsanierungen um etwa 0,3% p.a. erhöhen.

Unter Berücksichtigung der umfassenden Sanierungen und der Einzelbauteilsanierungen kann die flächengewichtete Modernisierungsrate der Gebäudehülle damit auf Basis der EAWZ-Auswertungen auf etwa 0,6% p.a. abgeschätzt werden.

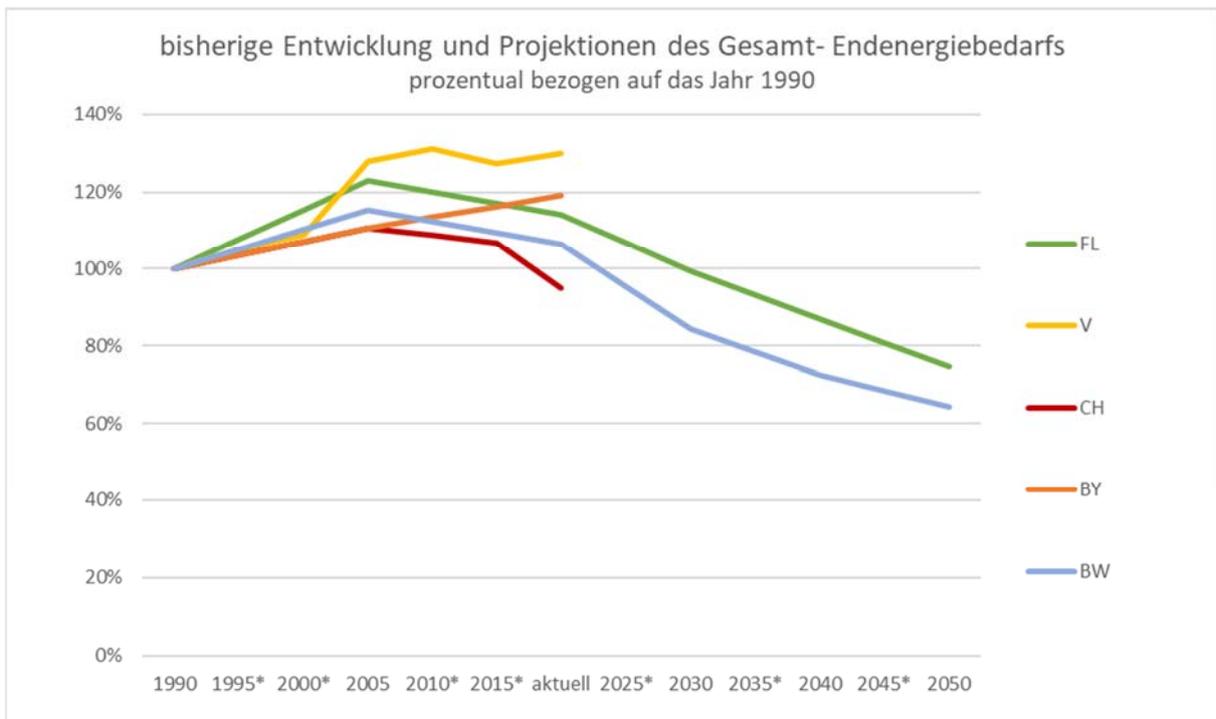
Im **Jahresbericht zur Energieausweis-Zentrale 2020 (EAWZ)** wird eine auf den gesamten Wohngebäudebestand bezogene Sanierungsrate von 0,7% genannt. Der genannte Wert

bezieht sich auf alle Sanierungen, für die ein Energieausweis berechnet wurde. Ob die Sanierungen tatsächlich durchgeführt wurden, geht aus der Datenquelle nicht hervor. Sanierungen, die ohne Ausstellung eines Energieausweises durchgeführt wurden, sind nicht enthalten.

Die Datenlage zum Thema Gebäudesanierung ist wie dargestellt weiterhin unbefriedigend, die flächengewichtete mittlere Sanierungsrate der Gebäudehülle kann auf Basis der drei genannten Quellen nur sehr grob auf 0,6 bis 1,1% p.a. abgeschätzt werden. Dieser Wert liegt um den Faktor 2 bis 3 unter dem betriebs- und volkswirtschaftlich optimalen Wert.

Auch die Kesselaustauschrage liegt mit 1,7% p.a. um den Faktor 2 bis 3 unter dem wirtschaftlich optimalen Wert.

### 5.1.7 Bisherige Entwicklung und Projektionen des Gesamt-Endenergieverbrauchs aller Sektoren



**Abbildung 77: bisherige Entwicklung und Projektionen des Gesamt-Endenergieverbrauchs aller Sektoren von 1990 bis 2050 (Werte mit \* sind interpoliert)**

Die Entwicklung des Gesamt-Endenergieverbrauchs in Summe aller Verbrauchssektoren (Gebäude, Mobilität, Landwirtschaft...) wird in der Abbildung nur für das Fürstentum Liechtenstein, Vorarlberg, die Schweiz, Bayern und Baden-Württemberg dargestellt. Die Daten sind für größere Gebiete wie die Schweiz, Bayern und Baden-Württemberg aussagekräftiger als für kleinere Länder/Staaten wie Vorarlberg und das Fürstentum Liechtenstein: in kleineren Regionen kann der Treibstoffexport/import bei Bilanzierung nach dem Territorialprinzip eine bedeutende Rolle in der Energiebilanz spielen. Ebenso kann der Wert durch den Im- und Export von Strom

verfälscht werden. Außerdem ist der Gesamt-Endenergiebedarf in Summe aller Verbrauchssektoren stark von Bedeutung, Struktur und Energieintensität des Industriesektors abhängig und daher zur Interpretation von Trends im Gebäudesektor wenig aussagekräftig. Da er jedoch den Gesamterfolg der Regionen im Hinblick auf die Steigerung der Effizienz beschreibt, werden die Werte dennoch dargestellt.

Wie die Darstellung zeigt, konnte der Endenergiebedarf in Summe aller Verbrauchssektoren in der Schweiz im Vergleich zum Referenzjahr 1990 leicht reduziert werden.

In Baden-Württemberg stieg der Verbrauch zunächst an, um in den vergangenen Jahren zu sinken. Im Jahr 2018 lag er bei 106% des Ausgangswerts von 1990.

In Bayern steigt der Endenergiebedarf in Summe aller Sektoren seit 1990 und betrug im Jahr 2017 etwa 119% des Ausgangswertes von 1990.

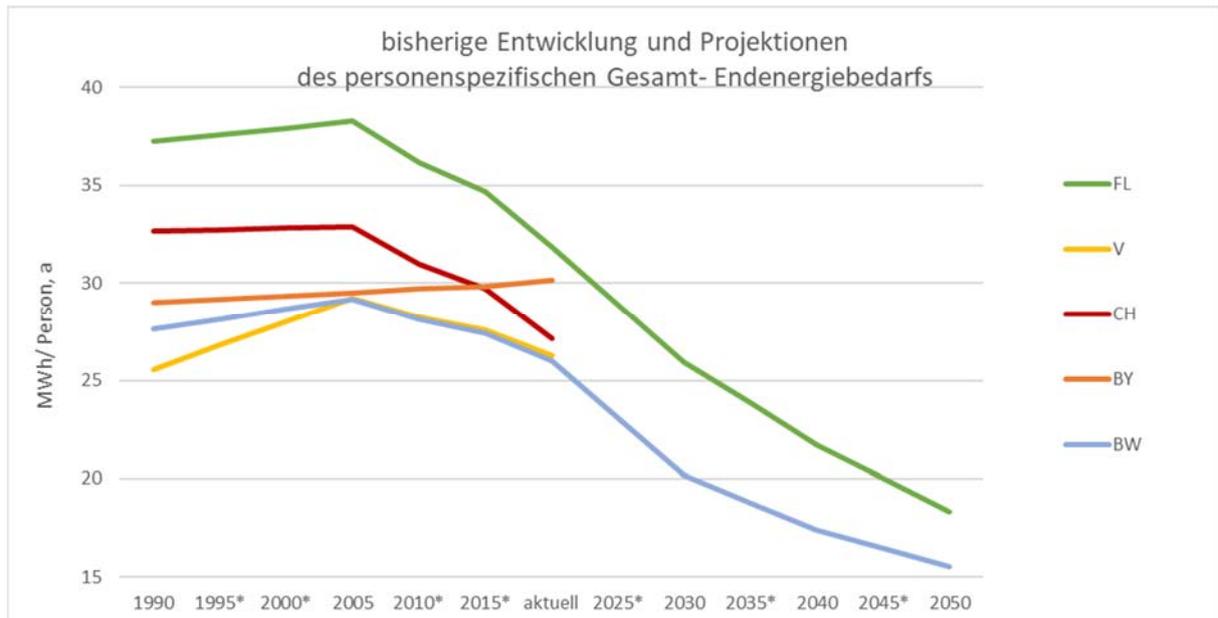
Für Vorarlberg sind – anders als im bisherigen Monitoring der Energieautonomie – die Werte inkl. Kraftstoffexport gemäß Nutzenergieanalyse dargestellt [72]. Dies entspricht einer Bilanzierung nach dem Territorialprinzip, wie sie zukünftig auch für die Energieautonomie durchgeführt werden wird. Im Vergleich zum Ausgangsjahr 1993 (dem ersten Jahr, für das Werte in der Nutzenergieanalyse verfügbar sind), stieg der aktuellste verfügbare Wert (2018) auf 130% des Ausgangswertes. Im Vergleich zum Jahr 2005 stieg der Verbrauch in Summe aller Sektoren (inkl. Kraftstoffexport) bis 2018 um 1,5%.

Im Fürstentum Liechtenstein stieg der Endenergieverbrauch bis 2005 auf 123% des Ausgangswertes von 1990 an, seit 2005 sinkt er leicht und betrug 2018 etwa 117% des Ausgangswertes.

Die Entwicklung des absoluten Endenergieverbrauchs ist natürlich auch von Faktoren wie dem Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum abhängig. Da Klimaschutzziele jedoch als Absolutwerte definiert werden sollten (und nicht als spezifische Werte, z.B. in kWh/Produktionseinheit), sind die dargestellten Entwicklungen des Endenergieverbrauchs sehr wohl von Belang. Als Zwischenergebnis nach 30 Jahren Klimapolitik sind sie ernüchternd.

### 5.1.8 Bisherige Entwicklung und Projektionen des pro-Kopf Endenergieverbrauchs in Summe aller Sektoren

Die folgende Abbildung zeigt den aus den o.g. Werten des Endenergieverbrauchs in Summe aller Verbrauchssektoren ermittelten personenspezifischen Gesamt-Endenergiebedarf.



**Abbildung 78: bisherige Entwicklung und Projektionen des personenbezogenen Endenergieverbrauchs in Summe aller Sektoren von 1990 bis 2050**

Der personenspezifische Endenergieverbrauch in Summe aller Verbrauchssektoren konnte im Vergleich zum Ausgangswert von 1990 im Fürstentum Liechtenstein, der Schweiz und Baden-Württemberg reduziert werden.

In Vorarlberg stieg der personenspezifische Endenergieverbrauch (gemäß Nutzenergieanalyse, d.h. inkl. Kraftstoffexport) bis 2005 an, 2018 wurde in etwa der Ausgangswert von Anfang der 90er Jahre wieder erreicht.

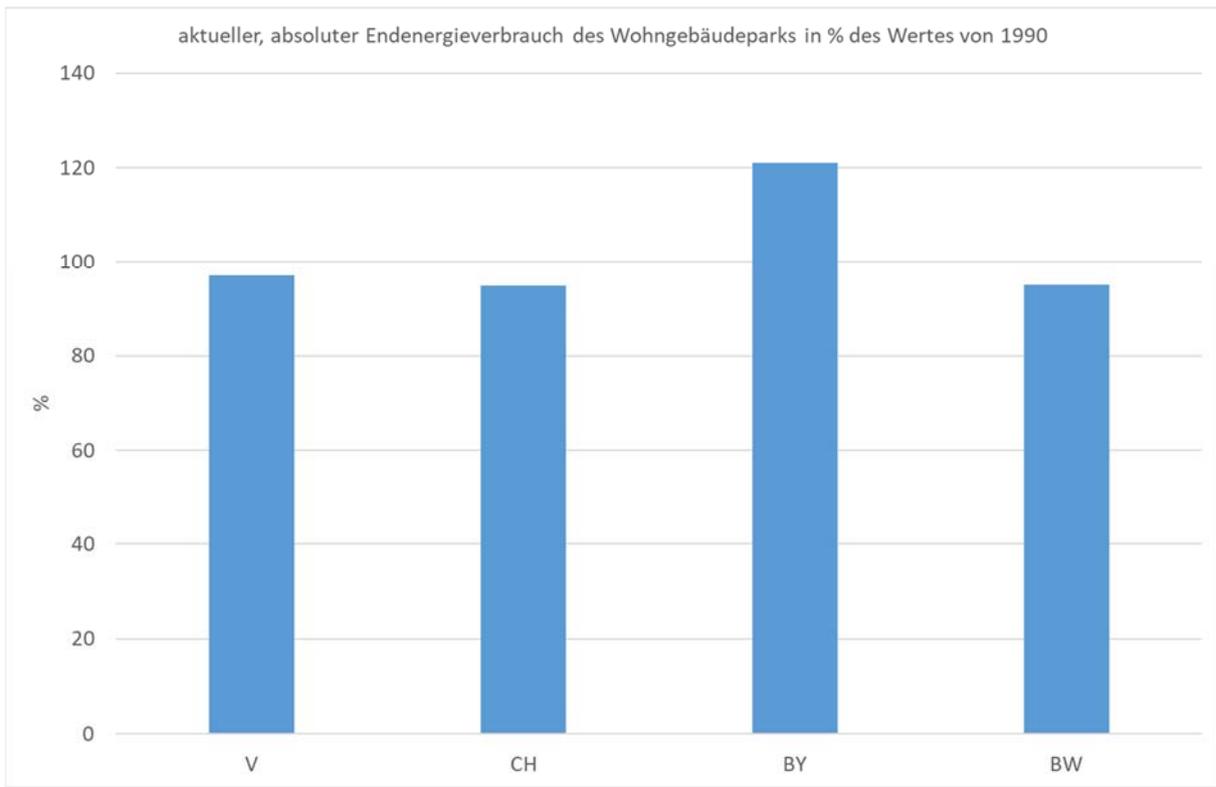
In Bayern stieg nicht nur der absolute Endenergieverbrauch, sondern auch der personenspezifische Wert.

Für die in dieser Studie untersuchte Fragestellung des Status Quo der Dekarbonisierung des Gebäudesektors ist der dargestellte Wert von untergeordneter Bedeutung. Er wird dargestellt, um das energiepolitische Gesamtbild abzurunden. Ablesbar ist, dass der personenspezifische Endenergiebedarf in vier Regionen seit 2005 sinkt während er in Bayern weiterhin steigt.

Als Einschränkung sei ergänzend darauf hingewiesen, dass Umweltziele international und national sowie regional in Bezug auf Absolutwerte formuliert werden. Der Vergleich von personenspezifischer Werte (oder im Fall der Industrie: relativer Werte in Bezug auf die Produktionsmenge) können irreführend sein. Das Gesamtziel der Klimaschutzziele ist eine absolute Reduktion der THG-Emissionen.

### 5.1.9 Entwicklung des absoluten Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks

Die folgende Abbildung zeigt den aktuellen, absoluten Endenergieverbrauch des Wohngebäudeparks von vier Regionen im Vergleich zum Ausgangswert von 1990.



**Abbildung 79: aktueller, absoluter Endenergieverbrauch des Wohngebäudeparks in Prozent des Ausgangswertes von 1990**

Wie zu erkennen konnte der absolute Endenergieverbrauch des Wohngebäudeparks in Vorarlberg, der Schweiz und Baden-Württemberg seit 1990 um etwa 3 bis 5% reduziert werden. In Bayern stieg der Verbrauch auf 121% des Ausgangswertes<sup>8</sup>.

### 5.1.10 Bisherige Entwicklung und Projektionen des mittleren, flächenspezifischen Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks

Die folgende Abbildung zeigt die bisherige Entwicklung und Projektionen des mittleren, flächenspezifischen Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks

<sup>8</sup> Wert für Bayern bezieht sich auf die Gesamtfläche der Wohn- und Nichtwohngebäude, da keine differenzierten Werte verfügbar

	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a	GWh/ a	kWh/ m <sup>2</sup> a
	1990	1990	2005	2005	aktuell	aktuell	2030	2030	2040	2040	2050	2050
Liechtenstein												
Vorarlberg	2 898	250	3 183	209	2 814	151						
Schweiz	66 430	#DIV/0!	72 530		63 020	141	2 489	123	2 219	104	1 958	89
Thurgau												
St. Gallen					3 664	135						
Schaffhausen												
Appenzell Innerrhoden					150	164						
Appenzell Ausserrhoden					529	163						
Zürich					8 037	111						
Bayern Gesamt *	143 232	343	163 650	310	173 384	283						
LK Lindau	587	224	624	186	601	156						
LK Oberallgäu	1 091	211	1 180	176	1 081	143	950		700		500	
Kempten	647	305	557	231	473	169	300		240		180	
BaWü Gesamt	84 178	236	96 449	217	80 054	164	65 000	114	57 500	96	51 944	83
LK Konstanz					2 311	173						
Bodenseekreis					1 788	168						
LK Ravensburg					2 378	178						
LK Sigmaringen					1 257	191						

**Abbildung 80: bisherige Entwicklung und Projektionen des mittleren, absoluten und flächenspezifischen Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks in kWh/(m<sup>2</sup>a)**

Anmerkung 1: Der Wert von 283 kWh/m<sup>2</sup>a für Bayern ist irreführend und nicht mit den übrigen Werten vergleichbar, da für Bayern nur der Gesamtverbrauch in Summe aller Wohn- und Nichtwohngebäude verfügbar ist. Teilt man diesen Wert durch die Fläche der Wohngebäude, so ergibt sich ein deutlich zu hoher Wert. Da offensichtlich auch die Fläche der Nicht-Wohngebäude für Bayern nicht vorliegt, kann der angegebene Gesamtverbrauch auch nicht durch die Gesamtfläche Wohnen und Nicht-Wohnen dividiert werden.

Anmerkung 2: Auch in dieser Auswertung bestehen Unsicherheiten, so kann das Flächenbezugsmaß von Staat zu Staat unterschiedlich definiert sein.

Anmerkung 3: ein weiterer Unterschied besteht hinsichtlich des Bilanzierungsrahmens. Während die Werte für Vorarlberg, die Gesamtschweiz (Statistik „Energieverbrauch nach Verbrauchergruppen“ des BFE), Baden-Württemberg sowie die dt. Landkreise den Haushaltsstrom enthalten, ist er in den Angaben für die Kantone (vermutlich) nicht enthalten. Unter Einbeziehung des Haushaltsstrombedarfs lägen die Werte für die Schweiz um etwa 25 bis 35 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub> höher.

Wie die Tabelle zeigt, liegen die aktuellen Werte des spezifischen Endenergieverbrauchs zwischen 111 kWh/m<sup>2</sup>a im Kanton Zürich und 191 kWh/m<sup>2</sup>a im Landkreis Sigmaringen.

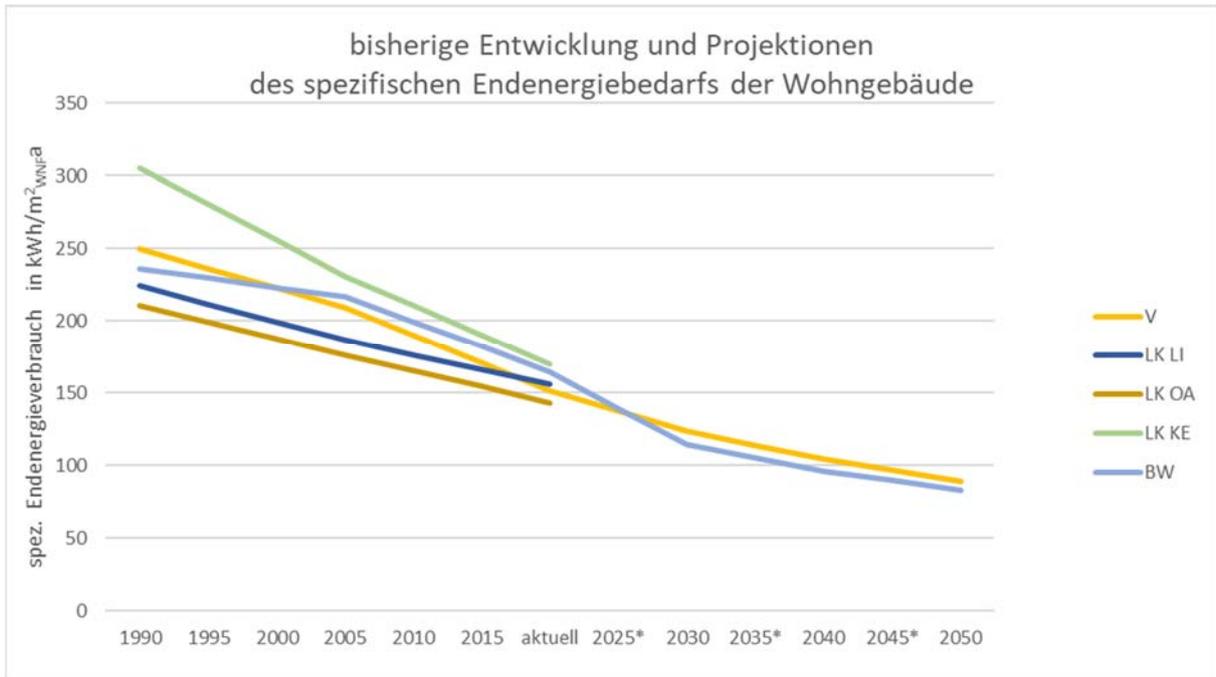
Addiert man zu den für die Kantone aufgeführten Verbrauchswerte einen Haushaltsstromverbrauch von 30 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>, so liegen die Werte aller Regionen in einem Bereich von 141 bis 194 kWh/m<sup>2</sup><sub>WNFA</sub>. Aufgrund der in Anmerkung 1 bis 3 aufgeführten Unterschiede wird auf eine weitere Interpretation verzichtet.

Aus den Unterschieden bezüglich des mittleren Endenergieverbrauchs der Regionen kann nicht auf die Fortschritte bei der Gebäudesanierung geschlossen werden. Der Mittelwert des spezifischen Endenergieverbrauchs hängt in erheblichem Maße auch von der Altersklassenverteilung des Bestandes ab: In Regionen mit hohen Anteilen neuerer Baualtersklassen wie Vorarlberg, dem Fürstentum Liechtenstein und dem Kanton Zürich sind daher tendenziell niedrigere Mittelwerte zu erwarten. Die Potentiale zur Reduktion des Energiebedarfs für Heizung sind in diesen Regionen niedriger, die Wirtschaftlichkeit der erzielbaren Einsparungen aufgrund des höheren Anteils an neueren Gebäuden mit mittelmäßigen Energieverbräuchen tendenziell schlechter.

Diese Zusammenhänge verdeutlichen, dass seriöse Szenarienstudien zur Entwicklung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Gebäudeparks nur auf Grundlage detaillierte Gebäudetypologien mit realistischen Angaben zur energetischen Qualität und zur Struktur der Wärmeversorgung möglich sind. Modelle zur Durchführung entsprechender Studien sind etwa das GEMOD-Modell des ifeu, die Wohngebäudetypologie mit excel-basiertem Szenarienrechner des Energieinstitut Vorarlberg und kommerziell verfügbare tools wie etwa ecospeed.

### 5.1.11 Bisherige Entwicklung und Projektionen des mittleren, spezifischen Endenergiebedarfs der Wohngebäude

Die folgende Abbildung zeigt, mit allen oben genannten Einschränkungen, die zeitliche Entwicklung des mittleren, spezifischen Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks seit 1990 und – wo vorhanden mit Projektionen bis 2050.



**Abbildung 81: bisherige Entwicklung und Projektionen des mittleren, spezifischen Endenergieverbrauchs des Wohngebäudeparks von 1990 bis 2050**

Der mittlere, spezifische Endenergieverbrauch des Wohngebäudesektors konnte seit 1990 in allen Regionen reduziert werden, für die Vergleichswerte vorliegen. Dies liegt einerseits am niedrigeren Verbrauch von Gebäuden neuerer Baujahre, andererseits an der Verbrauchsreduktion durch thermische Sanierungen und den Ersatz alter durch effizienterer neuer Wärmeerzeuger.

Wie in Abbildung 80 dargestellt betragen die derzeitigen Werte der untersuchten Regionen inkl. Haushaltsstrom mit großen Unsicherheiten etwa 141 bis 194 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die aktuellen Werte der in Abbildung 81 dargestellten Regionen, für die auch eine zeitliche Entwicklung dargestellt werden kann, liegen bei etwa 141 bis 169 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Dargestellt sind auch die Ergebnisse aus Szenarienstudien für Vorarlberg und Baden-Württemberg. Für beide Länder verlief die Entwicklung der vergangenen 30 Jahre ähnlich. Auch die Entwicklung bis 2050 wird in den dargestellten Szenarien ähnlich eingeschätzt.

### **5.1.12 Ergebnisse der Datenrecherche zu den Treibhausgasemissionen der untersuchten Regionen in Summe aller Sektoren und für den Gebäudesektor**

Als Teil der Datenrecherche zum Status Quo der Dekarbonisierung des Gebäudebestandes wurden auch Daten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der untersuchten Regionen erhoben. Dabei wurde zwischen den Gesamtemissionen in Summe aller Verbrauchssektoren und dem Wert für den Gebäudesektor unterschieden. Für den Gebäudesektor wurde in der Abfrage zusätzlich nach den Teilssegmenten der Wohngebäude und der Nicht-Wohngebäude differenziert.

Die Datenauswertung zeigte, dass ein Vergleich der aus den Regionen zurückgemeldeten Daten nicht zielführend ist, da sie aus unterschiedlichen Quellen stammen und nach verschiedenen Bilanzierungsansätzen ermittelt wurden.

Als Grundlage für eine spätere vergleichende Betrachtung der Treibhausgasemissionen der Regionen am Bodensee werden nachfolgend mehrere verschiedene Bilanzierungsansätze dargestellt um im Hinblick auf Ihre Eignung zur Ableitung sektoraler Ziele für den Gebäudesektor analysiert. Dargestellt werden die folgenden Bilanzierungsverfahren:

1. Treibhausgasemissionen bei Bilanzierung nach Quellen gemäß internationaler Bilanzierungsregeln – Betrachtung auf Ebene von Nationalstaaten
2. Treibhausgasemissionen bei Bilanzierung gemäß Österreichischer Bundesländer-Luftschadstoffinventur – Betrachtung auf nationaler Ebene und auf Ebene Bundesländer
3. Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors bei Bilanzierung nach Verursacherprinzip

#### **Zu 1: Treibhausgasemissionen bei Bilanzierung nach Quellen gemäß internationaler Bilanzierungsregeln – Betrachtung auf Ebene der Nationalstaaten**

Als Teil der Verpflichtungen aus dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) sind alle 197 Vertragspartner verpflichtet, jährlich Treibhausgas-Inventare zu erstellen und zu veröffentlichen.

Zur Erstellung der Treibhausgasinventare gelten detaillierte, gemeinsame Regeln, so dass die Werte der verschiedenen Staaten untereinander vergleichbar sind und alle weltweit entstehenden anthropogenen Emissionen erfasst werden.

Die Bilanzierung auf internationaler Ebene erfolgt nach dem Territorialprinzip. Dies bedeutet, dass die Emissionen aus der Industrieproduktion in dem Staat bilanziert werden, in dem sie anfallen: die Emissionen von Stahl, der in China produziert wird, werden in China bilanziert,

auch wenn der Stahl in die Schweiz oder in die USA exportiert und dort verwendet wird. Gleichermassen werden die Emissionen der Kraftfahrzeuge ausländischer (Tank)Touristen in Österreich bilanziert, wenn diese in Österreich tanken. Dies erfolgt unabhängig davon, ob die Tankfüllung in Österreich, im Herkunftsstaat des Touristen oder in einem dritten Staat verbraucht wird.

Die Bilanzierung auf internationaler Ebene erfolgt darüber hinaus nach Quellen und nicht nach Verursachern. So werden die Emissionen von Wärmepumpenheizungen nicht dem Gebäude, sondern dem Energiesektor zugerechnet. Berücksichtigt werden dabei nur die fossilen Anteile der Stromerzeugung.

Die Sektoren, nach denen die Treibhausgasemissionen in der internationalen Bilanzierung differenziert werden, sind in der folgenden Abbildung am Beispiel des aktuellsten Inventars der Schweiz dargestellt.

Source and Sink Categories	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2018 vs. 1990
	CO <sub>2</sub> equivalent (kt)										%
1. Energy	41'846	43'216	39'155	40'549	41'471	37'426	37'095	37'489	36'503	35'235	-15.8%
1A1 Energy industries	3'674	3'846	3'598	3'641	3'736	3'607	3'294	3'379	3'298	3'360	33.4%
1A2 Manufacturing industries and construction	5'759	5'864	5'435	5'432	5'498	5'100	4'980	4'986	4'950	4'820	-26.6%
1A3 Transport	16'447	16'337	16'158	16'275	16'185	16'079	15'344	15'178	14'916	14'918	1.6%
1A4 Other sectors	15'567	16'753	13'556	14'810	15'683	12'276	13'124	13'587	12'991	11'791	-32.7%
1A5 Other	133	137	125	132	133	139	135	139	128	127	-42.4%
1B Fugitive emissions from fuels	268	279	283	259	235	226	218	219	220	219	-39.7%
2. Industrial processes and product use	4'264	4'519	4'526	4'503	4'509	4'511	4'459	4'408	4'561	4'422	10.2%
3. Agriculture	6'170	6'203	6'160	6'232	6'089	6'207	6'132	6'113	6'107	5'991	-12.2%
5. Waste	789	776	761	739	733	722	713	703	690	671	-36.9%
6. Other	13	12	13	14	14	12	12	12	13	14	10.6%
Total (excluding LULUCF)	53'082	54'727	50'616	52'037	52'816	48'877	48'412	48'725	47'873	46'333	-13.8%
4. Land use, land-use change and forestry	-2'893	-2'430	-1'045	-1'573	-1'745	-276	-2'072	-2'079	-1'323	-1'291	-33.3%
Total (including LULUCF)	50'189	52'297	49'571	50'464	51'071	48'602	46'341	46'646	46'551	45'041	-13.1%

**Abbildung 82: THG-Emissionssektoren und –senken der Schweiz [73], Seite 18**

In der Bilanz werden sowohl Quellen, als auch Senken erfasst. Die Quellen werden nach Energie, Industrie, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und sonstige differenziert. Als Senke wird der Bereich LULUCF (Land-use, land-use change and forestry) berücksichtigt.

Bilanziert werden nicht nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen der relevanten Gase (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>...). Die Ergebnisse werden in kt CO<sub>2eq</sub>-Emissionen pro Jahr ausgewertet.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung in den Staaten Fürstentum Liechtenstein, Österreich, Schweiz und Deutschland.

	1990		2005		2018			
	kt/a	%	kt/a	%	kt/a	%	Einwohner	to/EW
Österreich	78 492	100	92 428	118	78 950	101	8 822 000	8,9
Schweiz	53 779	100	55 414	103	45 041	84	8 544 527	5,3
Deutschland	1 251 488	100	993 199	79	858 369	69	82 790 000	10,4
Liechtenstein	228	100	265	116	181	79	38 747	4,7

**Abbildung 83: Entwicklung der THG-Emissionen ohne Berücksichtigung des Bereichs LULUCF [73], [74], [74], [75]**

Wie dargestellt konnten drei der vier Staaten ihre Treibhausgas-Emissionen in Summe aller Sektoren von 1990 bis 2018 um 16 bis 31% reduzieren. Die Emissionen Österreichs erreichten

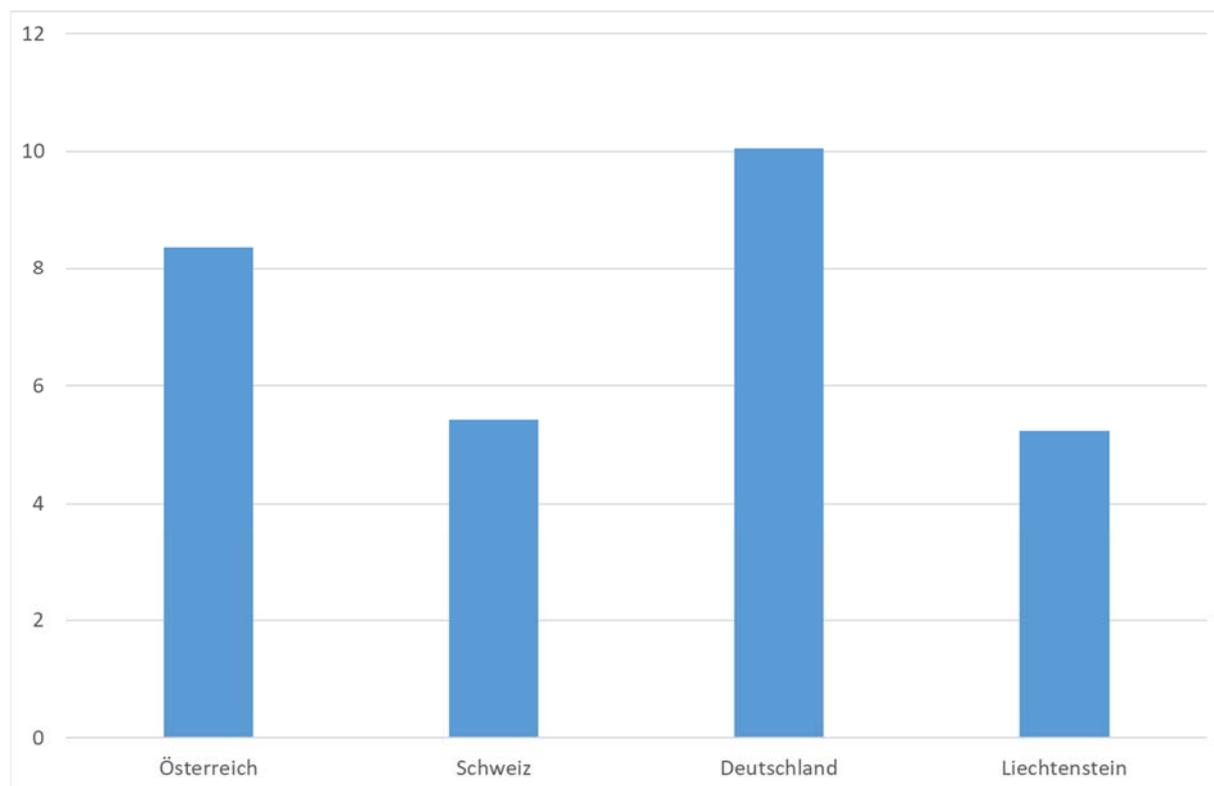
im Jahr 2018 nach einer Zunahme um 18% bis 2005 in etwa den Ausgangswert des Jahres 1990.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der vier Staaten unter Berücksichtigung des Bereichs LULUCF.

mit LULUCF	1990		2005		2018			
	kt/a	%	kt/a	%	kt/a	%	Einwohner	to/EW
Österreich	66 504	100	81 806	123	73 797	111	8 822 000	8,4
Schweiz	51 844	100	53 270	103	46 333	89	8 544 527	5,4
Deutschland	1 222 675	100	979 846	80	831 437	68	82 790 000	10,0
Liechtenstein	235	100	273	116	203	86	38 747	5,2

**Abbildung 84: Entwicklung der THG-Emissionen unter Berücksichtigung des Bereichs LULUCF** [73], [74], [74], [75]

Während die Schweiz, Deutschland und das Fürstentum Liechtenstein ihre Emissionen von 1990 bis 2018 um 11 bis 32% reduzieren konnten, stiegen sie in Österreich auf 111% des Ausgangswertes.



**Abbildung 85: pro-Kopf-Treibhausgasemissionen 2018 inkl. LULUCF** [73], [74], [74], [75]

Wie die Abbildung zeigt, haben das Fürstentum Liechtenstein und die Schweiz im Vergleich der vier Staaten die niedrigsten pro-Kopf-Treibhausgasemissionen. Deutschland hat auch aufgrund seines noch immer hohen Anteils an Kohlekraftwerken am nationalen Strommix die höchsten Werte.

Da die anhand der Nationalen Treibhausgas-Inventare bestimmten Werte nach dem Territorialprinzip ermittelt werden, enthalten sie nur die inländischen Emissionen. Die mit dem Import

von Konsumgütern verbundenen Emissionen sind ebenso wenig enthalten, wie die Emissionen des aus dem Ausland bezogenen Stroms. Umgekehrt enthält die nach dem Territorialprinzip erstellte Bilanz jedes Staats die Emissionen für die Produktion von Konsumgütern, die exportiert werden.

Eine Studie für die Schweiz kommt zu dem Ergebnis, dass die pro Kopf-Emissionen inkl. des Konsums importierter Güter bei etwa 14 to CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr betragen [76]. Die in der Schweiz bilanzierten Emissionen entsprechen also nur etwa einem Drittel der gesamten pro-Kopf-Emissionen.

Auswertungen für Deutschland zeigen, dass die Emissionen der in Deutschland hergestellten und exportierten Güter etwas höher sind, als die der importierten Güter. Eine Treibhausgas-Bilanz unter Berücksichtigung des Imports/Exports führt daher für Deutschland zu etwas geringeren Emissionen als bei Bilanzierung nach dem Territorialprinzip (<https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/rechnet-sich-deutschland-seine-co2-bilanz-schoen/>).

#### Bewertung der Eignung des Verfahrens für die Festlegung sektoraler Ziele für den Gebäudesektor und zum Monitoring seiner Emissionen

Das Bilanzierungsverfahren für die internationalen Treibhausgasinventare hat den Vorteil einer eindeutigen Zuordnung der Emissionen auf ihre Quelle, die Verbrennung von fossilen Energieträgern. Das Verfahren eignet sich jedoch nur bedingt zur Festlegung sektoraler Zeile für den Betriebsenergiebedarf des Gebäudesektors: die Emissionen lassen sich nicht dem Verursacher (der Beheizung von Gebäuden, der Warmwasserbereitung etc.) zuordnen.

## **2. Treibhausgasemissionen bei Bilanzierung gemäß Österreichischer Bundesländer-Luftschadstoffinventur – Betrachtung auf nationaler Ebene und auf Ebene Bundesländer**

Die nach den o.g. internationalen Bilanzierungsregeln ermittelten Treibhausgasbilanzen werden in Österreich als Teil der Bundesländer-Schadstoffinventur (BLI) regionalisiert, d.h. auf die Ebene der Bundesländer heruntergebrochen. Die Methodik der BLI orientiert sich an den Standardregeln der internationalen Emissions-Berichterstattung, die Emissionsdaten der Bundesländer werden konform zu den offiziellen (nationalen) Statistiken für Österreich ermittelt und weisen daher eine hohe Vergleichbarkeit auf [71]. Die Ergebnisse werden in einem Kyoto-konsistenten Berichtsformat erstellt. Datenquelle für die BLI ist die Österreichische Luftschadstoff-Inventur, die wie die BLI vom Umweltbundesamt erstellt wird.

Wie bei der internationalen Bilanzierung gilt das Territorialprinzip. Dieses wird jedoch beim Kraftstoffverbrauch nur zur Abgrenzung vom Ausland (Tanktourismus) angewandt und nicht zur Abgrenzung zwischen den Bundesländern.

Größter Unterschied zur Bilanzierung auf internationaler Ebene ist die Einteilung in abweichende Verbrauchssektoren. Abbildung zeigt die in der BLI verwendeten Sektoren am Beispiel der THG-Emissionen Vorarlbergs von 1990 bis 2018.

THG-Emissionen Vorarlbergs in 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent [kt].

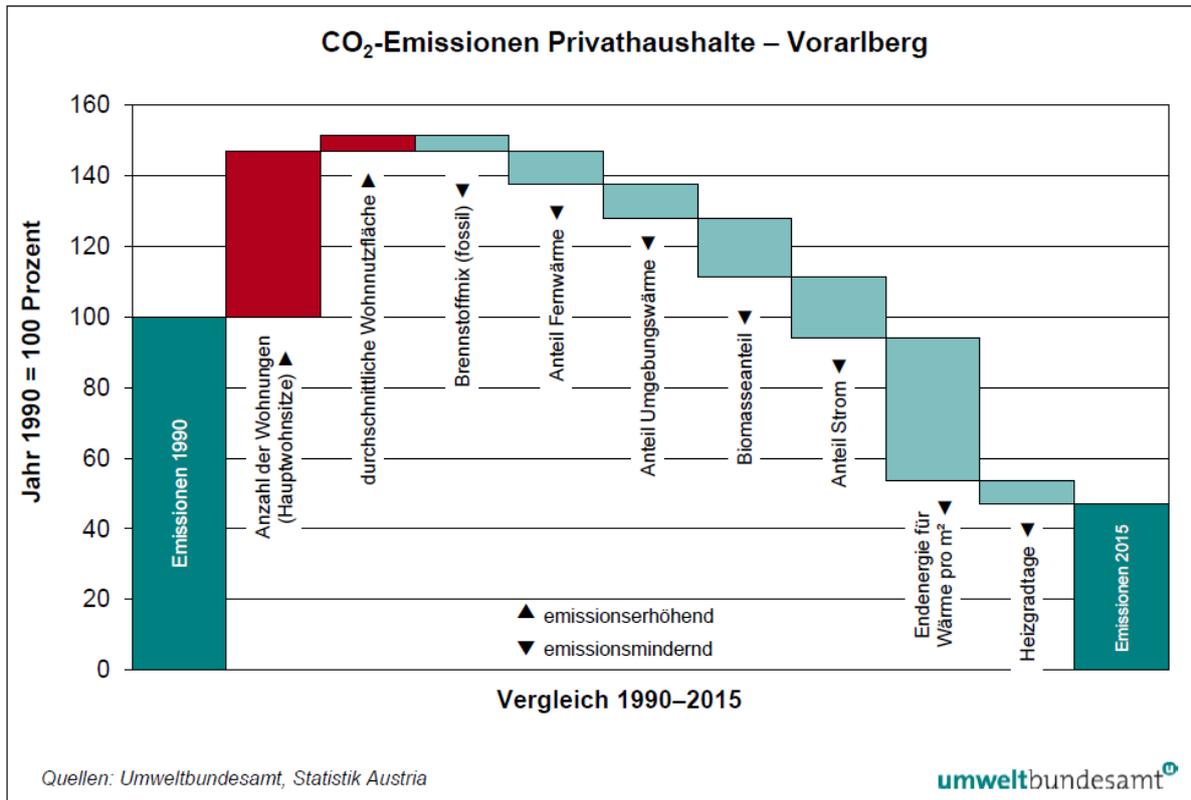
Verursacher	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Energie	5	10	3	3	3	3	3	3	5	3	8	8	7	8	9	10	9	10
Industrie	375	391	280	294	248	255	282	323	320	312	305	326	314	305	310	315	288	291
Verkehr	585	652	752	805	890	959	983	993	939	949	892	865	901	874	875	917	901	918
Gebäude	637	660	677	676	687	711	665	673	631	547	595	549	605	464	467	494	414	457
Landwirtschaft	233	227	220	218	225	221	225	219	218	218	222	225	224	223	223	222	225	228
Abfallwirtschaft	176	157	120	111	109	109	123	120	113	107	103	98	93	88	82	76	72	68
Fluorierte Gase	6	26	39	48	53	52	53	62	58	60	63	65	71	72	73	71	72	72
<b>Gesamt</b>	<b>2.016</b>	<b>2.124</b>	<b>2.092</b>	<b>2.155</b>	<b>2.214</b>	<b>2.310</b>	<b>2.334</b>	<b>2.393</b>	<b>2.283</b>	<b>2.197</b>	<b>2.188</b>	<b>2.136</b>	<b>2.215</b>	<b>2.034</b>	<b>2.039</b>	<b>2.106</b>	<b>1.981</b>	<b>2.045</b>

**Abbildung 86: THG-Emissionen Vorarlbergs in 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent (kt) [71], Anhang, Seite 232**

Wie zu erkennen sind in der BLI die Treibhausgasemissionen des Sektors Gebäude (Betriebsenergie) separat aufgeführt. Dies liegt daran, dass bezüglich der fossilen Energieträger nach Verursachern bilanziert wird: die Emissionen dezentraler (im Gebäude aufgestellter) fossiler Wärmeversorgungssysteme in Gebäuden werden dem Verursacher, dem Sektor Gebäude zugeordnet und nicht wie nach internationalen Bilanzierungsregeln der Quelle, dem Sektor Energie.

Die Emissionen strombasierter Wärmeversorgungssysteme (Wärmepumpe, el. Direktheizung...) werden hingegen dem Energiesektor zugeordnet. Dabei werden jedoch nur Emissionen fossiler Kraftwerke berücksichtigt; die Emissionen erneuerbarer Stromerzeuger (Wasserkraft, PV, Wind) werden mit Null bewertet, da sie im Betrieb keine fossilen Energien benötigen. Der Energieaufwand zur Herstellung der Kraftwerke (fossil wie Gas oder Kohle sowie erneuerbar wie Wasserkraft, PV oder Wind) wird im Sektor Industrie verbucht und zwar dort, wo zur Herstellung fossile Energien verwendet werden. Da auch hier das Territorialprinzip gilt, wird die Herstellungsenergie von PV-Anlagen aus chinesischer Produktion ebenso wenig in Österreich bilanziert, wie die von Stahl aus indischer oder deutscher Produktion. Umgekehrt werden die Emissionen der Stahlproduktion in Österreich im Inland bilanziert, auch wenn der Stahl exportiert wird.

Die Auswirkungen der in der BLI verwendeten Bilanzierungsregeln auf die Bilanzierung der betriebsenergiebedingten Emissionen des Wohngebäudesektors werden in der folgenden Abbildung dargestellt. Sie zeigt die Komponentenzersetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionstrends der Privathaushalte Vorarlbergs aus der Bereitstellung von Wärme für Vorarlberg für den Zeitraum von 1990 bis 2015.



**Abbildung 87: Komponentenzersetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionstrends der Privathaushalte Vorarlbergs aus der Bereitstellung von Wärme [71], Seite 34**

Wie zu erkennen sanken die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Privathaushalte Vorarlbergs von 1990 bis 2015 um 42%. Haupttreiber der Emissionen war die Zunahme der Wohneinheiten, ein weiterer Treiber die Zunahme der pro-Kopf-Wohnfläche. Nach der Darstellung des Umweltbundesamts ist dieser Treiber von untergeordneter Bedeutung, dies ist ein gewisser Widerspruch zu anderen Statistiken, in denen eine stark wachsende pro-Kopf Wohnfläche ausgewiesen wird.

Den größten Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Privathaushalte liefert die Reduktion des spezifischen Endenergieverbrauchs für Wärme. Diese Reduktion ergibt sich durch den Effekt von thermischen Sanierungen, die höhere Effizienz neuer Wärmeerzeuger in Bestandsgebäuden sowie die vergleichsweise niedrigen Endenergieverbräuche von Neubauten. Auch der Abriss alter, ineffizienter Gebäude und der Ersatz durch Neubauten machen sich unter dieser Position bemerkbar.

Die emissionssenkenden Effekte der Umstellung auf Biomasseheizungen führen zu relativ hohen Einsparungen, da der Brennstoff Biomasse als emissionsfrei bilanziert wird. Weitere emissionssenkende Effekte sind Effizienzverbesserungen bei fossilen Wärmeerzeugern (z.B. Umstieg von Kohle oder Öl auf Gas), die Nutzung von Umweltwärme (Wärmepumpen) sowie der Klimawandel, der sich in Form einer niedrigeren Anzahl an Heizgradtagen in geringem Ausmaß bemerkbar macht.

Der zweitgrößte Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen entsteht in der Bilanzierung nach den Regeln der BLI durch den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen. Wie bereits dargestellt werden die Emissionen von Strom nicht im Sektor Gebäude bilanziert, sondern im Energiesektor. Gleiches gilt auch für den in der Abbildung dargestellten Anteil der Emissionsreduktion infolge der Umstellung auf Fernwärme: Auch die Emissionen der Fernwärme (genauer: des nicht erneuerbaren Anteils der Fernwärme) werden nicht im Gebäudesektor, sondern im Energiesektor bilanziert.

#### Bewertung der Eignung des Verfahrens für die Festlegung sektoraler Ziele für den Gebäudesektor und zum Monitoring seiner Emissionen

Zwar werden im Bilanzierungsverfahren der Bundesländer-Luftschadstoffinventur die Emissionen der Gebäude aufgrund ihres Betriebsenergieeinsatzes separat ausgewiesen; da jedoch die Emissionen strombasierter Wärmeversorgungssysteme sowie von Fernwärme im Sektor Energie verucht werden, sind die Emissionsbilanzen für den Gebäudesektor nur sehr bedingt aussagekräftig: Würde die komplette Wärmeversorgung der Gebäude einer Region von heute auf morgen auf Wärmepumpen (oder elektrische Direktheizungen) umgestellt, so gälte der Gebäudesektor nach dieser Art der Bilanzierung als vollständig dekarbonisiert. In Realität wäre der notwendige Energieeinsatz nur in einen anderen Sektor verschoben. Trotz dieser Schwäche wird die Bilanzierung nach den Regeln der Bundesländer-Schadstoffinventur ab 2021 auch in Vorarlberg eingeführt werden.

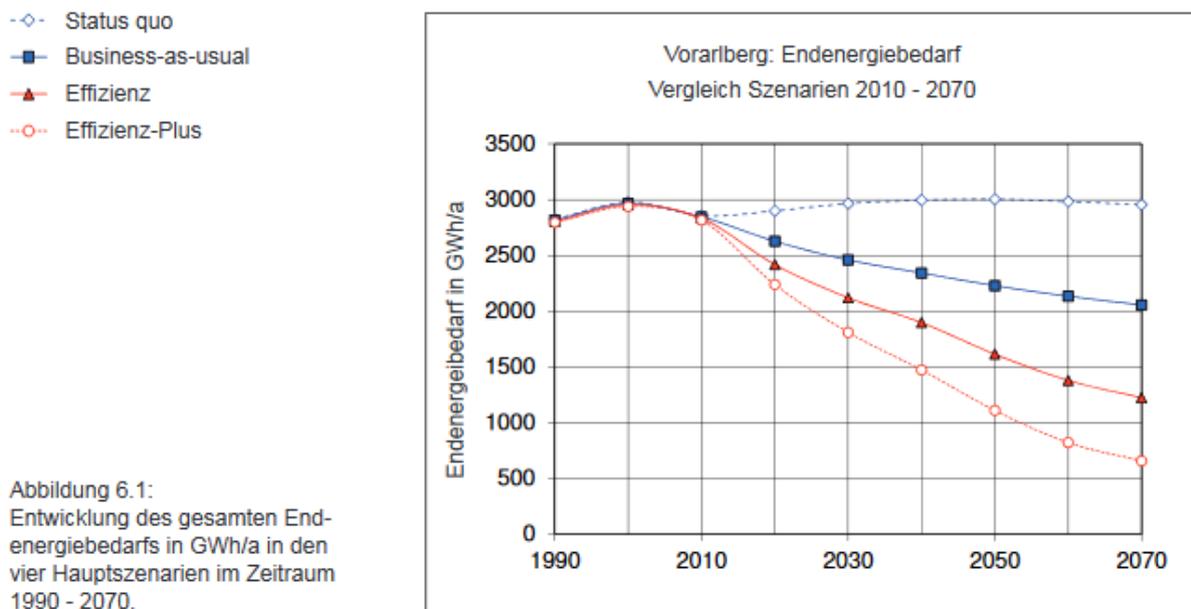
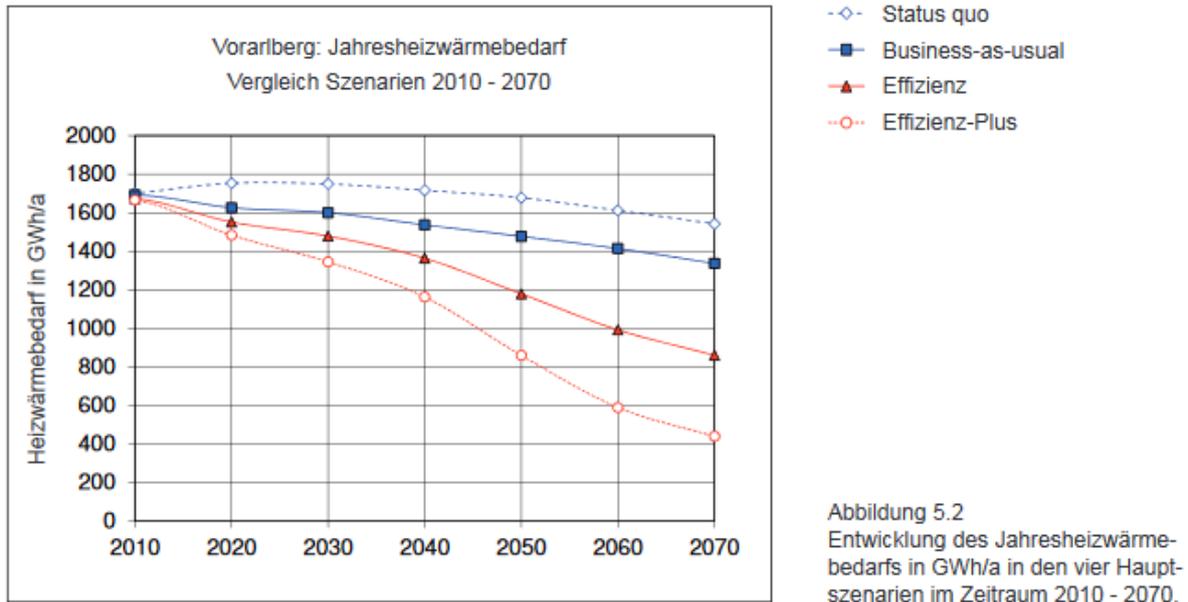
### **3. Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors bei Bilanzierung nach dem Verursacherprinzip**

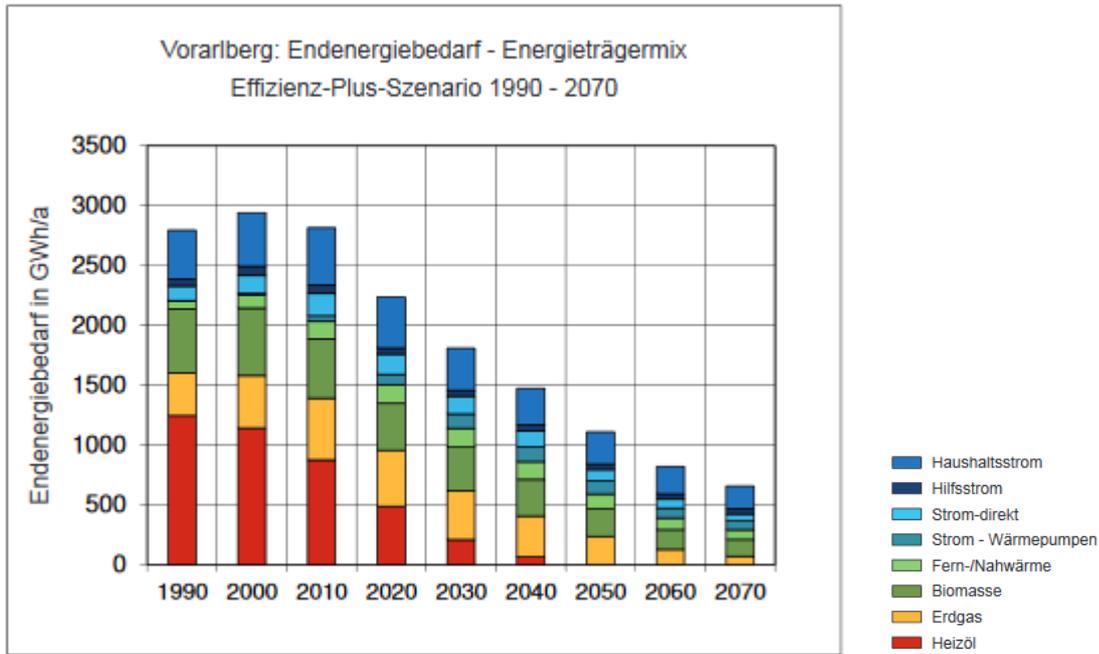
Die dritte Möglichkeit zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (des Gebäudesektors) ist die Bilanzierung nach dem Verursacherprinzip. Bei dieser werden die Emissionen einzelnen Energiedienstleistungen (Heizung, Warmwasser, Kühlung, Haushaltsstrom etc.) zugeordnet, die durch den Energieverbrauch die Emissionen verursachen.

Diese Art der Bilanzierung wird in Österreich auf Ebene der Einzelgebäude im Energieausweis angewandt, indem aus dem berechneten Endenergiebedarf durch Anwendung von Konversionsfaktoren die THG-Emissionen berechnet werden. Die Konversionsfaktoren beschreiben die THG-Emissionen für die Bereitstellung einer kWh Endenergie frei Wärmeerzeuger. Die Konversionsfaktoren für die Österreichischen Energieausweisberechnungen finden sich in OIB RL 6, für wissenschaftliche Studien werden eher Werte aus anderen Quellen verwendet [77]

Die Bilanzierung nach Verursacher eignet sich sehr gut für die Festlegung sektoralen Emissionszielen für den Gebäudesektor auf der Basis von Szenarienstudien. In den Szenarien wird

der Einfluss unterschiedlicher Einflussgrößen auf die zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen des Gebäudesektors wie mittlere Sanierungsrate und –qualität, Abriss- und Neubaurate, Neubauqualität, Energieträgermix etc. untersucht. Als eine Einflussgröße kann auch die zukünftige Entwicklung des Verbraucherstrommix und die daraus resultierende spezifische Treibhausgasemission von Strom untersucht werden (siehe Kapitel 3.9 zur Entwicklung des zukünftigen Verbraucherstrommix Österreichs). Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für eine solche Studie, in der vier Szenarien zur Entwicklung des Endenergiebedarfs und der THG-Emissionen des Wohngebäudeparks Vorarlberg bis 2070 untersucht wurden [6].





- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

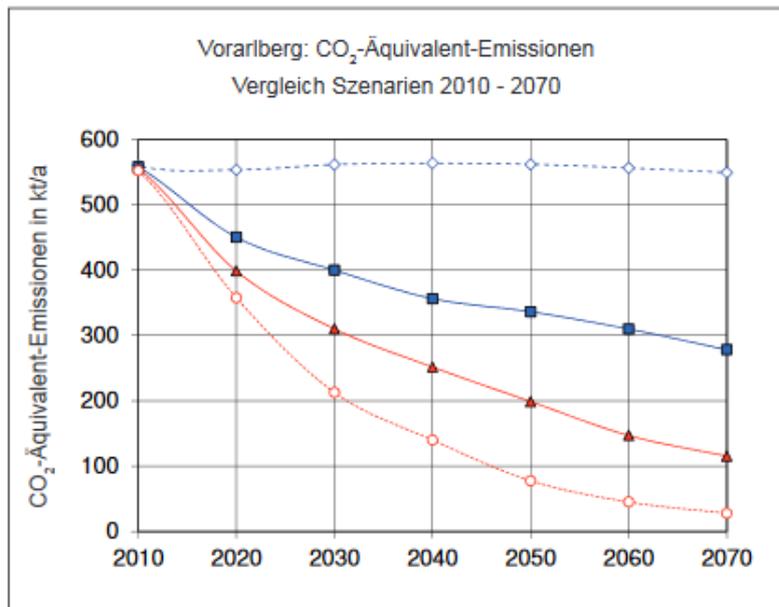


Abbildung 8.1  
Entwicklung der Treibhausgasemissionen in kt/a CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.

**Abbildungen 88: Szenarien zur Entwicklung des Heizwärmebedarfs, des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Wohngebäudeparks Vorarlberg bis 2070 [6]**

Die Abbildungen zeigen von oben nach unten die Ergebnisse für die vier Szenarien für die Entwicklung des Heizenergieverbrauchs, des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen. Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen ist für jedes Szenario eine unterschiedliche Entwicklung des Energieträgermix hinterlegt, für jeden Energieträger seine spezifischen THG-Emissionen pro kWh Endenergieeinsatz. Während für die fossilen Energieträger sowie für Biomasse konstante Emissionsfaktoren angenommen wurden, wurde in jedem Szenario eine andere zeitliche Entwicklung des Emissionsfaktors für den Verbraucherstrommix zugeordnet.

Bewertung der Eignung des Verfahrens für die Festlegung sektoraler Ziele für den Gebäudesektor und zum Monitoring seiner Emissionen

Das Beispiel zeigt, dass die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen nach Verursachern zur Festlegung sektoraler Ziele für den Gebäudesektor und als Grundlage für ein Erfolgsmonitoring sehr gut geeignet ist.

### 5.1.13 Energieträgermix im Wohngebäudebestand

Die folgende Abbildung zeigt den Energieträgermix (d.h. die Anteile der verschiedenen Energieträger) des Wohngebäudebestandes in den Regionen, die übernächste stellt die Werte tabellarisch dar. Da sich die Daten für die Schweiz, Baden-Württemberg auf die Anzahl der Wohneinheiten, die des Fürstentums Liechtenstein auf die Anzahl der Gebäude, die Vorarlbergs auf die Wohnfläche und die der bayerischen Landkreise auf den Energieverbrauch beziehen, sind sie nicht 1:1 vergleichbar, sondern geben nur Größenordnungen wider.

Die Werte für Bayern und das Fürstentum Liechtenstein beziehen sich anders als die anderen Werte nicht auf die Wohngebäude, sondern auf den Gesamtbestand an Wohn- und Nicht-Wohngebäuden. Getrennte Werte für Wohn- und Nicht-Wohngebäude sind nicht verfügbar.

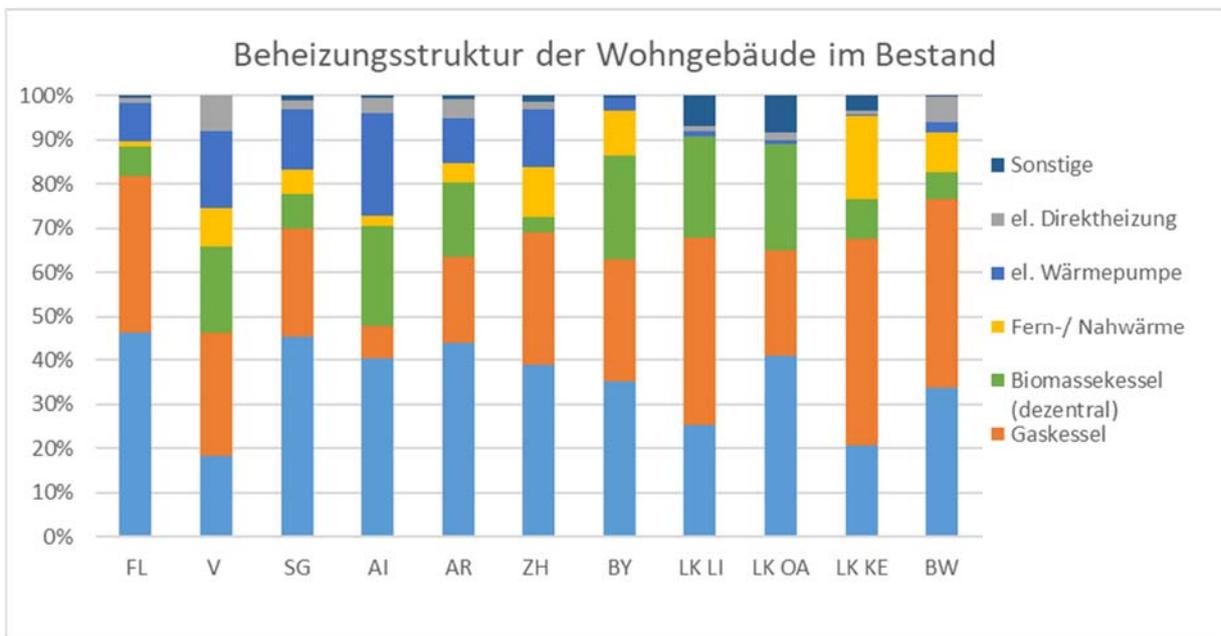


Abbildung 89: aktuelle Beheizungsstruktur des Wohngebäudebestandes

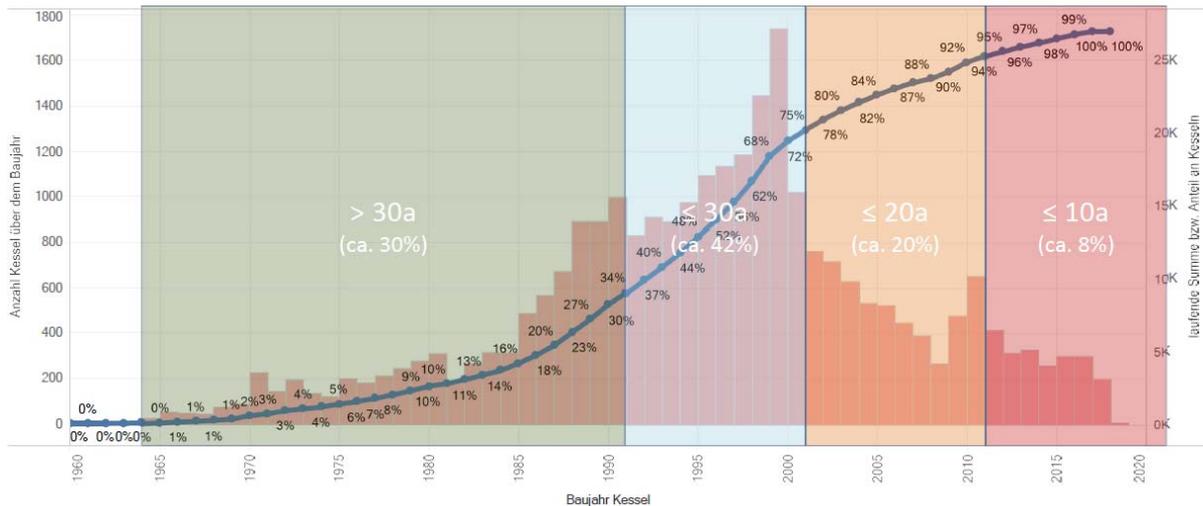
Beheizungsstruktur Wohngebäude			Ölkessel	Gaskessel	Biomassekessel (dezentral)	Fern-/ Nahwärme	el. Wärmepumpe	el. Direktheizung	Sonstige
			FL	Bestand	48,3%	37,0%	7,2%	1,1%	9,1%
Vorarlberg	Bestand	18,3%	27,8%	19,7%	8,9%	17,2%	8,2%	0,0%	
St. Gallen	Bestand	45,2%	24,7%	7,9%	5,4%	13,6%	2,1%	1,2%	
AI	Bestand	40,2%	7,4%	22,9%	2,2%	23,2%	3,6%	0,4%	
AR	Bestand	43,9%	19,8%	16,6%	4,5%	10,1%	4,3%	0,8%	
Zürich	Bestand	39,0%	30,0%	3,6%	11,3%	13,0%	1,6%	1,5%	
Bayern	Bestand	35,3%	27,7%	23,5%	10,1%	3,0%	0,0%	0,5%	
LK LI	Bestand	25,4%	42,5%	22,9%	0,0%	1,1%	1,3%	6,9%	
LK OA	Bestand	41,0%	24,1%	24,0%	0,0%	0,9%	1,7%	8,3%	
Kempten	Bestand	20,7%	47,0%	9,0%	18,7%	0,3%	0,9%	3,4%	
Ba-Wü	Bestand	33,8%	42,7%	6,2%	8,8%	2,3%	6,0%	0,2%	

Abbildung 90: aktuelle Beheizungsstruktur des Wohngebäudebestandes und Anteile der Energieträger im Neubau

Der Anteil der Ölkessel am Bestand schwankt zwischen etwa 18% in Vorarlberg und 48% im Fürstentum Liechtenstein, der Gasanteil zwischen 7% im Kanton Appenzell-Innerrhoden und 47% in der Stadt Kempten. Der Anteil der Gaskessel liegt zwischen 7% in Appenzell-Innerrhoden und 47% in Kempten.

Der Anteil in Summe der fossiler Energieträger Öl und Gas liegt zwischen etwa 46% in Vorarlberg (bezogen auf die Fläche) und 85% im Fürstentum Liechtenstein (bezogen auf die Anzahl der Wärmeerzeuger).

Zur Einschätzung der möglichen Geschwindigkeit der Dekarbonisierung der Wärmeversorgungssysteme ist die Kenntnis der Altersstruktur der fossilen Kessel im Gebäudebestand hilfreich. Die folgende Abbildung zeigt daher exemplarisch die Altersstruktur der Ölkessel in Vorarlberg.



**Abbildung 91: Altersverteilung der Ölkessel im Gebäudebestand Vorarlbergs [78]**

Wie zu erkennen, ist ein mit 30% beträchtlicher Teil der ca. 27.000 Ölkessel in Vorarlberg mehr als 30 Jahre alt und steht daher in den nächsten Jahren zum Austausch an. Nur etwa 20% der Gesamtanzahl ist weniger als 20 Jahre alt, nur etwa 8% sind jünger als 10 Jahre. Eine schnelle Dekarbonisierung ist daher im Rahmen üblicher Investitionszyklen / technischer Lebensdauern möglich.

Der Anteil der Biomasse liegt in Baden-Württemberg, im Fürstentum Liechtenstein, den Kantonen St. Gallen und Zürich sowie in der Stadt Kempten unter 10%. Die höchsten Werte von etwa 20 bis 24% werden in Vorarlberg, Appenzell Innerrhoden, Bayern sowie den bayerischen Landkreisen Lindau und Oberallgäu erreicht.

Der Anteil der Nah- und Fernwärme wird für die Landkreise Lindau und Oberallgäu mit großteils ländlichen Strukturen sowie für das Fürstentum Liechtenstein mit nahezu Null angegeben.<sup>9</sup> Der höchste Wert liegt bei knapp 19% in Kempten, in Baden-Württemberg, Bayern, Zürich und Vorarlberg liegen die Werte bei etwa 10%.

Die höchsten Anteile an Wärmepumpen im Bestand verzeichnen Appenzell-Innerrhoden mit 23 und Vorarlberg mit 17% gefolgt von den Kantonen St. Gallen und Zürich mit Werten von 13 bis 14%. Appenzell-Ausserrhoden und das Fürstentum Liechtenstein erreichen Werte von 9-

<sup>9</sup> Im Fürstentum Liechtenstein bezieht sich der Wert nicht auf den Anteil am Energieverbrauch oder den Flächenanteil, sondern auf die Anzahl der Anlagen. Der Anteil der drei Industriebetriebe entspricht 8% des Gesamtenergiebedarfs.

10%, Bayern und Baden-Württemberg liegen bei 3 bzw. 2,3% des Bestandes. Die niedrigsten Werte im Bestand verzeichnen die Bayerischen Bodensee-Landkreise und die Stadt Kempten.

Ein Grund für die im Vergleich zur Schweiz, dem Fürstentum Liechtenstein und Vorarlberg deutlich niedrigeren Anteile von Wärmepumpen in Bayern und Baden-Württemberg ist das deutlich höhere Strompreisniveau in Deutschland sowie die augenblicklich günstige Preissituation für Erdgas und Heizöl. Mit der Einführung einer kontinuierlich steigenden CO<sub>2</sub>-Abgabe ab dem Jahr 2021 werden sich fossile Brennstoffe in Deutschland verteuern.

### 5.1.14 Energieträgermix im Neubau Wohngebäude

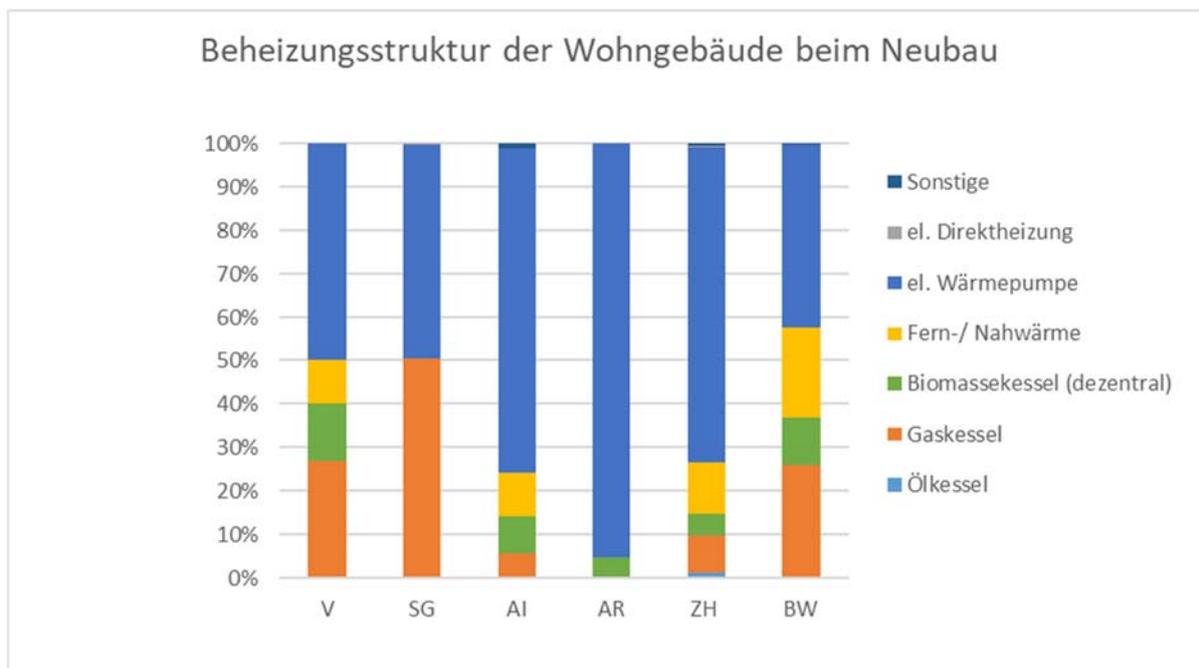


Abbildung 92: Beheizungsstruktur im Wohngebäude-Neubau

		Ölkesel	Gaskessel	Biomassekessel (dezentral)	Fern-/ Nahwärme	el. Wärmepumpe	el. Direktheizung	Sonstige
Vorarlberg	Neubau	0,0%	27,0%	13,0%	10,1%	49,9%	0,0%	0,0%
St. Gallen	Neubau	0,1%	50,3%	0,0%	0,0%	49,4%	0,1%	0,0%
Appenzell Innerrhoden	Neubau	0,0%	5,6%	8,7%	9,9%	74,5%	0,0%	1,2%
Appenzell Ausserrhoden	Neubau	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%	95,2%	0,0%	0,0%
Zürich	Neubau	1,3%	8,5%	5,0%	11,7%	72,7%	0,3%	0,6%
Baden- Württemberg	Neubau	0,0%	26,0%	10,9%	20,6%	41,9%	0,2%	0,1%

Abbildung 93: Beheizungsstruktur im Wohngebäude-Neubau

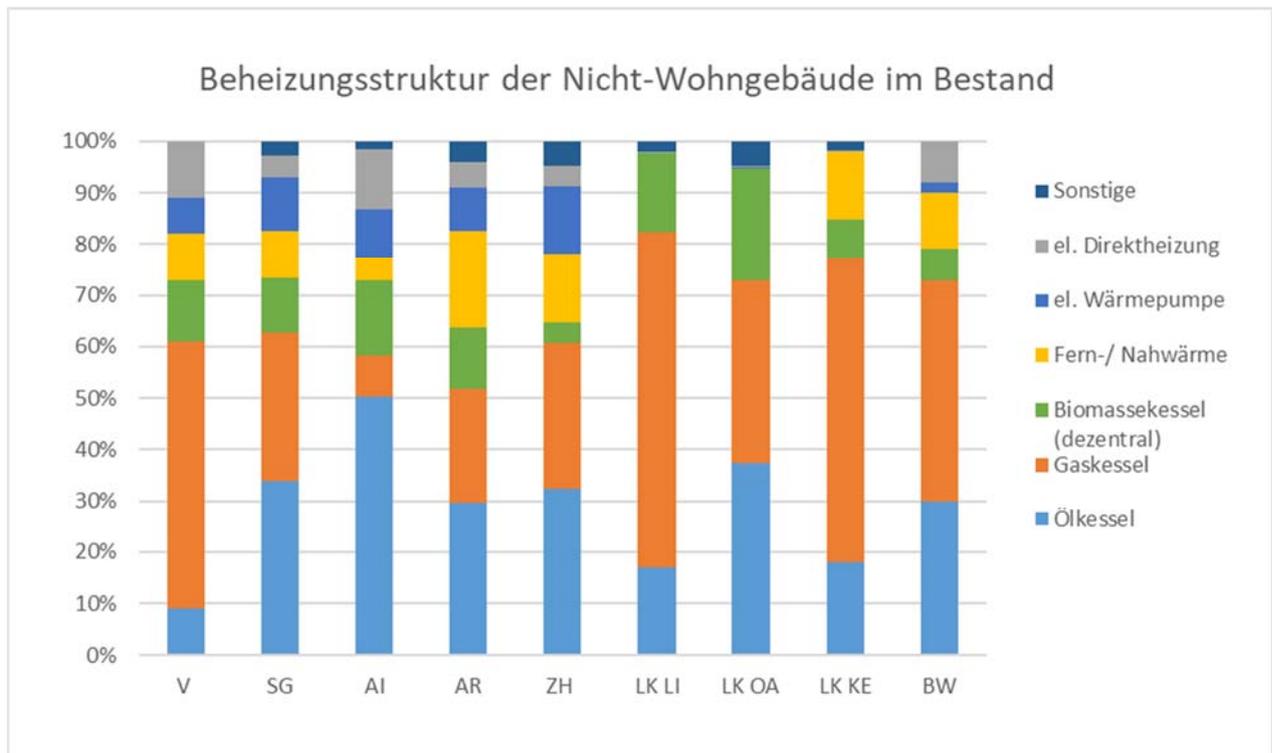
Ölkesel spielen im Wohngebäude-Neubau in keiner der 6 Regionen mehr eine Rolle. Den höchsten Anteil verzeichnet der Kanton Zürich mit 1,3%.

Der Anteil von Gasheizungen schwankt zwischen den Regionen sehr stark. Er liegt in Appenzell-Ausserrhoden bei Null, in Appenzell-Innerrhoden bei 5,6% und im Kanton Zürich mit 8,5% ebenfalls relativ niedrig. Vorarlberg und Baden-Württemberg haben mit 27 bzw. 26% noch sehr hohe Werte während im Kanton St. Gallen sogar noch die Hälfte der Neubauten mit Gasheizung realisiert wird.

Der Anteil von Biomassekesseln liegt im Kanton St. Gallen bei Null, in den Kantonen Appenzell-Ausserrhoden, Zürich und Appenzell Innerrhoden mit 4,8 bis 8,7% im Mittelfeld und in Baden-Württemberg und Vorarlberg mit 11 bis 13% am höchsten.

Wärmepumpen haben in Appenzell-Außerrhoden und im Kanton-Zürich mit 95 bzw. 73% die höchsten Anteile am Neubau, in Vorarlberg und dem Kanton St. Gallen bei knapp 50% und in und in Baden-Württemberg bei etwa 42%%.

### 5.1.15 Energieträgermix Bestand Nichtwohngebäude



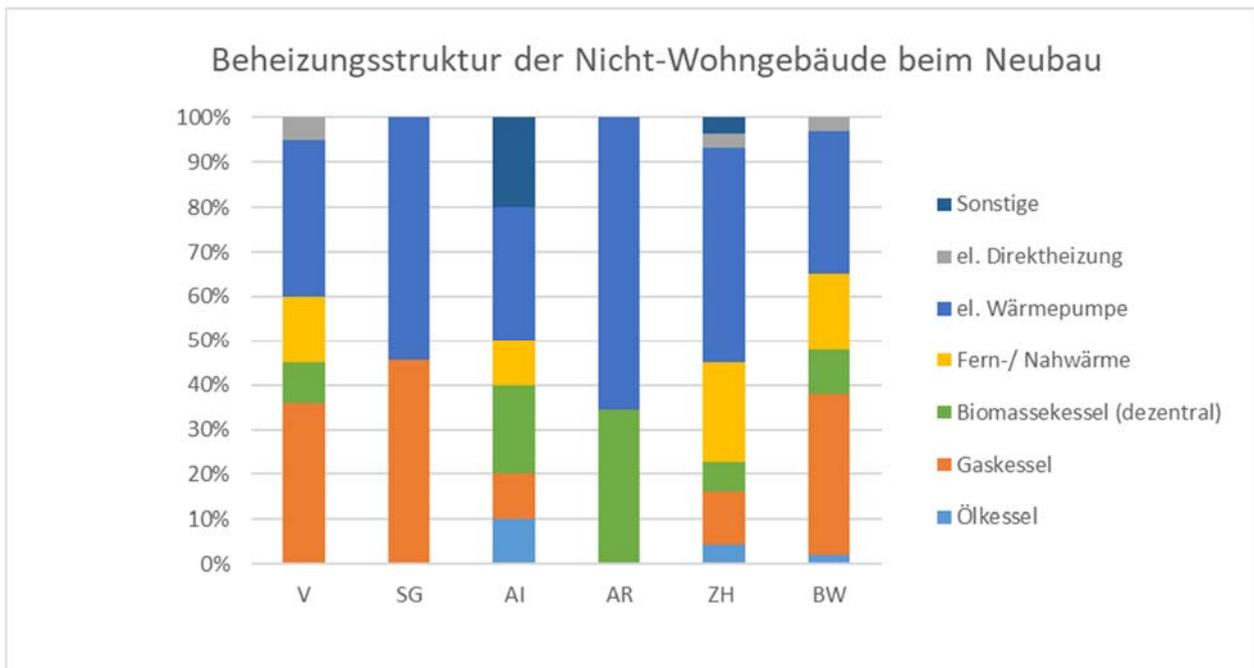
**Abbildung 94: aktuelle Beheizungsstruktur des Bestandes an Nicht-Wohngebäuden**

Der Anteil der Öl-kessel schwankt zwischen 9% in Vorarlberg und 50% im Kanton Appenzell-Innerrhoden, der Gasanteil zwischen 8% in Appenzell-Innerrhoden und 65% im LK Lindau. Der Anteil in Summe der fossilen Energieträger Öl und Gas liegt zwischen 52% in Appenzell-Außerrhoden und 82% im LK Lindau.

Fernwärme spielt in den Landkreisen Lindau und Oberallgäu keine Rolle, die höchsten Werte werden in der Stadt Kempten mit 11%, in Baden-Württemberg und im Kanton Zürich mit 13% sowie im Kanton Appenzell-Außerrhoden mit 19% erreicht.

Der Anteil an Wärmepumpen liegt in den Bayerischen Landkreisen unter 1%, der höchste Wert wird im Kanton Zürich mit 13% erreicht.

### 5.1.16 Energieträgermix Neubau Nichtwohngebäude



**Abbildung 95: aktuelle Beheizungsstruktur der Neubau-Nicht-Wohngebäude**

Auch beim Neubau von Nicht-Wohngebäuden spielen Ölheizungen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Werte in Baden-Württemberg und den Kantonen Zürich und Appenzell-Innerrhoden liegen zwischen 2 und 10%. Der Anteil von Gas ist in den Kantonen Zürich und Appenzell-Innerrhoden bei etwa 10-12%, in Vorarlberg, dem Kanton St. Gallen und in Baden-Württemberg liegen die Werte mit 36 bis 46% noch sehr hoch.

Fernwärme spielt nur in Vorarlberg, Appenzell-Innerrhoden, dem Kanton Zürich sowie in Baden-Württemberg mit Werten von 10 bis 22%.

Der Biomasseanteil ist in Appenzell-Innerrhoden und Appenzell-Außerrhoden mit 20 bzw. 34% am höchsten. Im Kanton Zürich, Vorarlberg und Baden-Württemberg liegen die Werte zwischen 7 und 10%.

Wärmepumpen haben Anteile von etwa 30 bis 65%.

### 5.1.17 Entwicklung der pro-Kopf-Solarthermiefläche

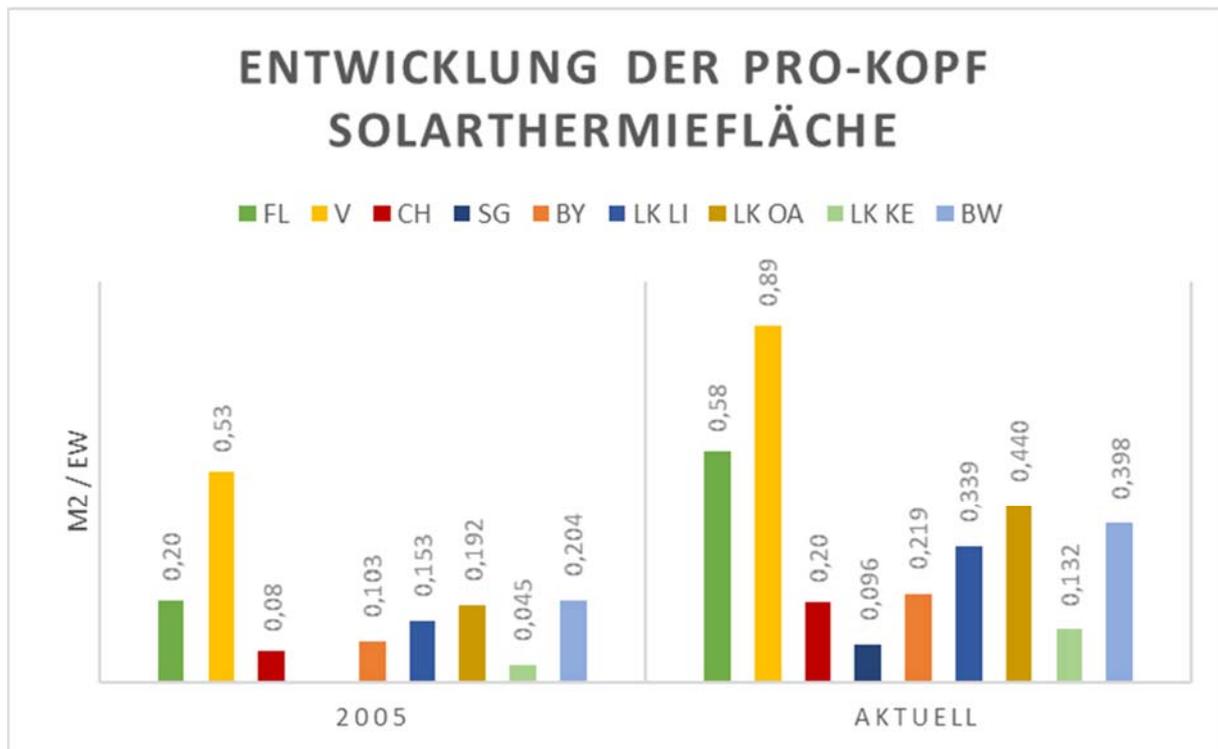


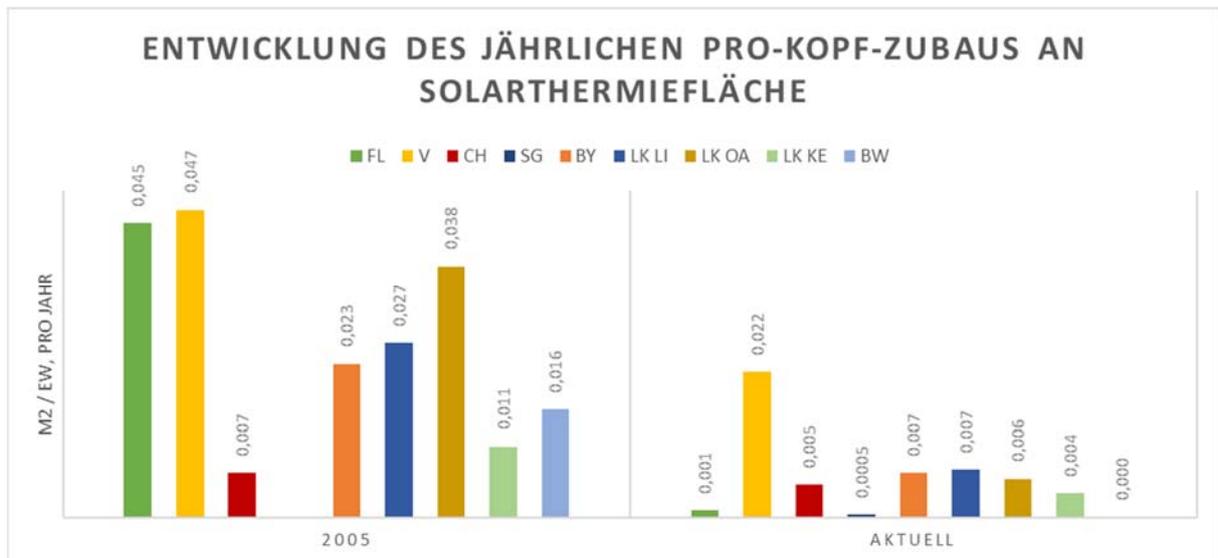
Abbildung 96: Entwicklung der personenspezifischen Solarthermiefläche von 1990 bis 2018/19

Die pro-Kopf Solarthermiefläche wurde zwischen 1990 und 2018/19 in allen Regionen für die Daten zur Verfügung gestellt wurden, gesteigert.

Die aktuellen Werte liegen zwischen 0,1m<sup>2</sup>/Person in St. Gallen und 0,89 m<sup>2</sup>/Person in Vorarlberg.

Die Datenqualität ist unterschiedlich gut, besonders gut sind die Zahlen für die Schweiz dokumentiert [79].

### 5.1.18 Entwicklung des jährlichen pro-Kopf Zubaus an Solarthermiefläche



**Abbildung 97: Entwicklung des einwohnerspezifischen, jährlichen Zubaus an Solarthermiefläche von 2005 bis 2018/2019**

Wie zu erkennen ging der jährliche, personenspezifische Zubau von Solarthermie in allen Regionen zwischen 2005 und 2018/19 stark zurück. Hauptgrund dürfte die immer stärkere Konkurrenz durch PV-Anlagen sein. Das Maximum des jährlichen Zubaus wurde beispielsweise in der Schweiz im Jahr 2010 mit ca. 157.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche erreicht, der Zubau im Jahr 2019 fiel auf knapp 43.000 und damit auf etwa ¼ des Höchststandes [79].

5.1.19 Entwicklung der installierten pro-Kopf PV-Leistung

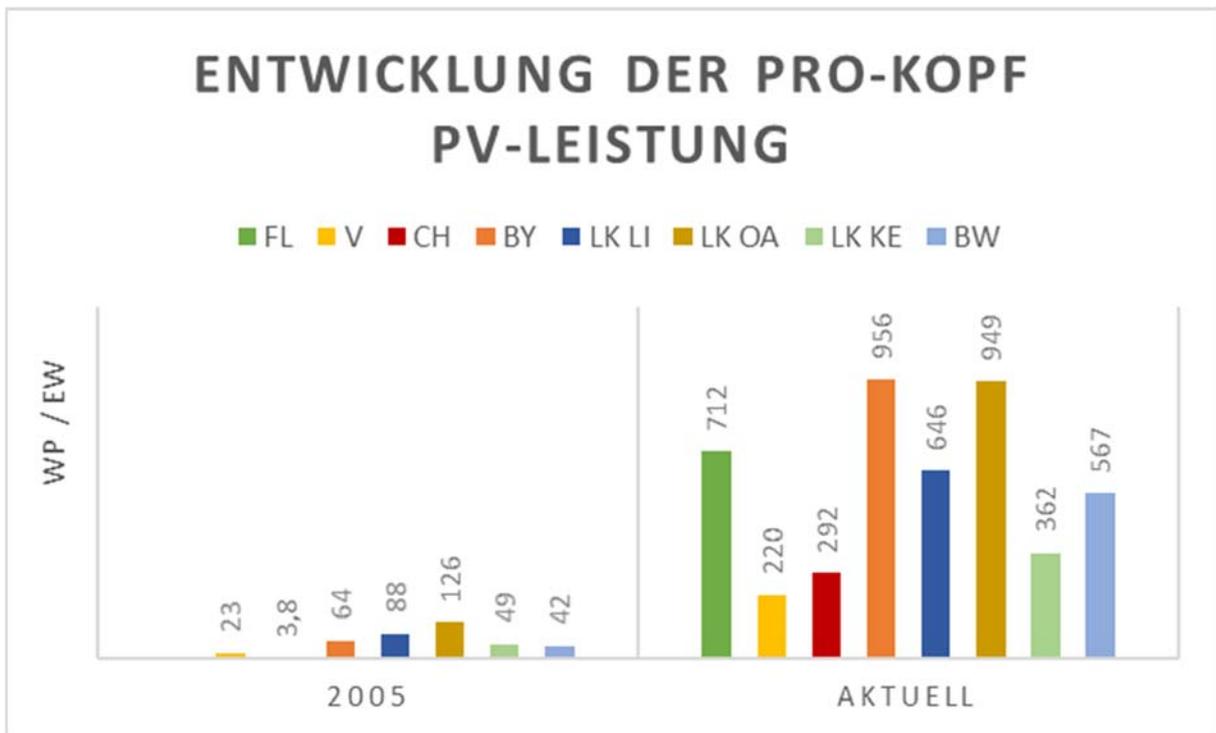


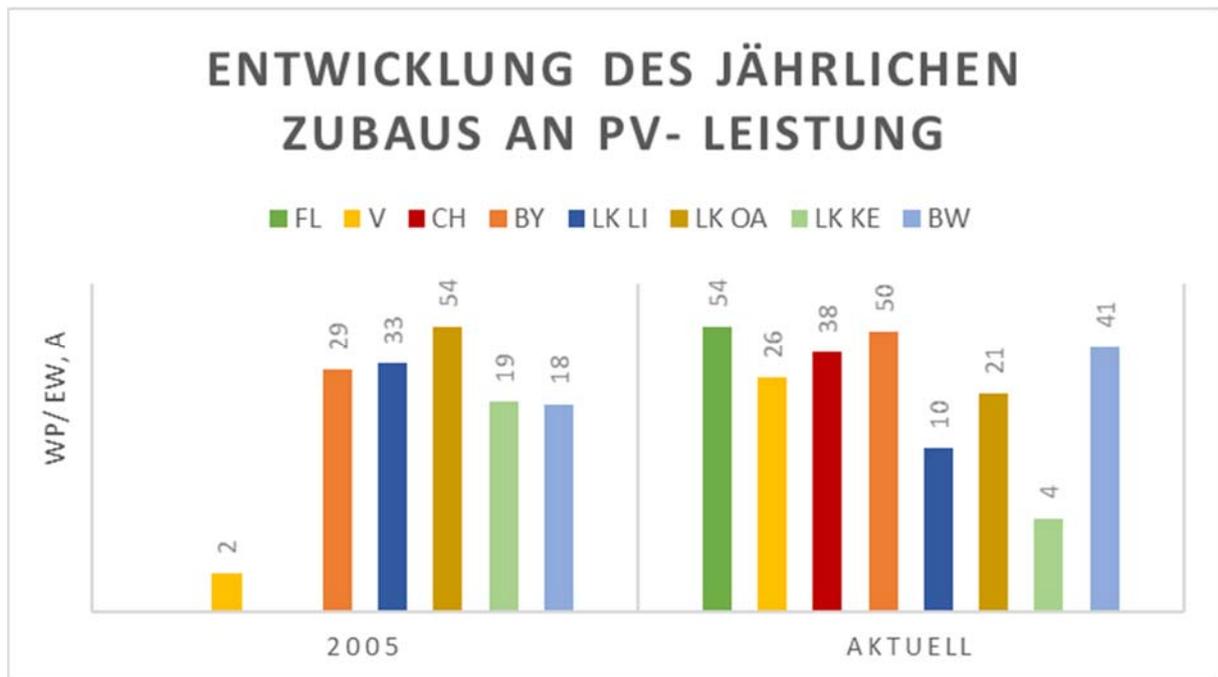
Abbildung 98: Entwicklung der personenspezifischen installierten PV-Leistung in Wp/Person

Wie die Abbildung verdeutlicht, stieg die pro-Kopf installierte PV-Leistung in allen Regionen, für die Zahlen zur Verfügung gestellt wurden, von 2005 bis heute sehr stark an. Die höchsten personenspezifischen, installierten PV-Leistungen erreichen derzeit Bayern, der Landkreis Oberallgäu und das Fürstentum Liechtenstein mit 956, 949 bzw. 712 W<sub>p</sub>/Person. Auch der Landkreis Lindau und Baden-Württemberg haben relativ hohe installierte pro-Kopf-PV-Leistungen.

Die Schweiz und Vorarlberg haben merklich geringere pro-Kopf-PV-Leistungen. In den Zahlen für Deutschland sind auch Freiflächenanlagen enthalten, die es in den anderen Regionen nicht oder nur in geringerem Umfang gibt.

Der Wert für Vorarlberg musste überschläglich aus den verfügbaren Daten zur jährlichen PV-Produktion abgeschätzt werden.

### 5.1.20 Entwicklung des jährlichen pro-Kopf Zubaus an PV-Leistung

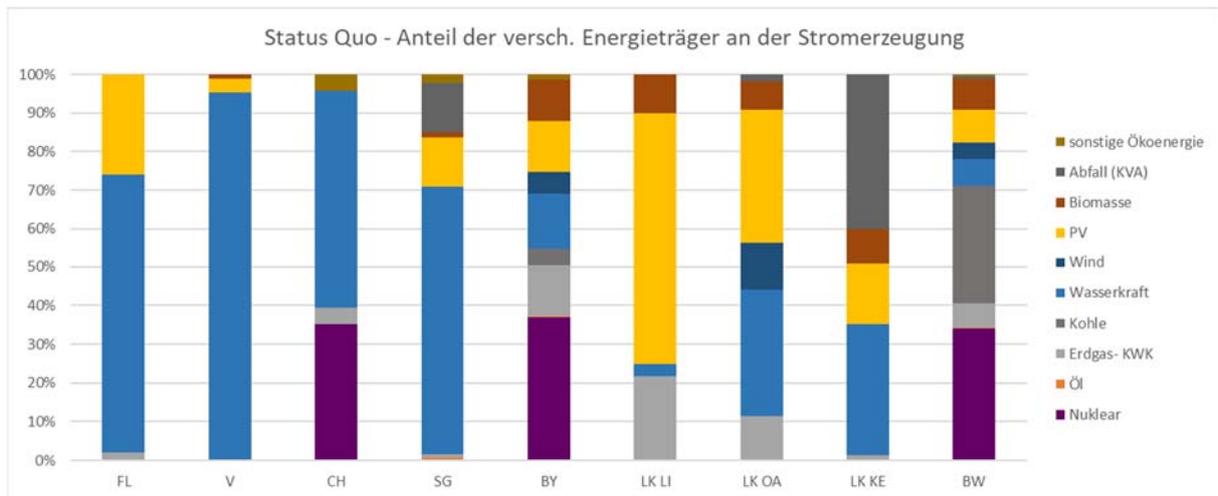


**Abbildung 99: Entwicklung des jährlichen pro-Kopf-Zubaus an installierter PV-Leistung**

Wie zu erkennen liegen die aktuellen Werte des jährlichen pro-Kopf-Zubaus an installierter PV-Leistung besonders im Fürstentum Liechtenstein, Vorarlberg der Schweiz und Baden-Württemberg deutlich höher als im Jahr 2005. Auch in Bayern stieg die jährlich installierte pro-Kopf-PV-Leistung. In den bayerischen IBK-Landkreisen ging die Neuinstallation dagegen deutlich zurück.

Das höchste pro-Kopf-Zubau-Tempo hat derzeit das Fürstentum Liechtenstein vor Bayern, Baden-Württemberg und der Schweiz.

### 5.1.21 Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung



**Abbildung 100: Anteil der verschiedenen Energieträger an der regionalen Stromerzeugung**

Zur Bewertung der Emissionen strombasierter Wärmeversorgungssysteme ist die Kenntnis des regionalen Stromerzeugungsmix ein Anhaltspunkt. Je kleiner jedoch die Region und je höher der Stromaustausch mit dem Ausland oder mit anderen Regionen im eigenen Staat, desto geringer ist die Aussagekraft des Wertes. Dies wird vor allem am Beispiel des Fürstentums Liechtenstein deutlich: der in der Grafik dargestellte Anteil erneuerbarer Energieträger an der regionalen (nationalen) Stromerzeugung liegt mit über 72% Wasserkraft und 26% PV-Strom bei 98%, etwa 2% stammen aus KWK. Zur Interpretation ist jedoch zu beachten, dass das Fürstentum Liechtenstein etwa 75% seines Stroms importiert [80].

Wie zu erkennen werden in Bayern (37%) und Baden-Württemberg (34%) noch immer große Anteile der Stromerzeugung durch Atomkraft gedeckt. In Baden-Württemberg spielt darüber hinaus Kohle mit knapp 31% eine wichtige Rolle. Beide Länder stehen aufgrund des in Deutschland beschlossenen Atomausstiegs bis 2022 und des Kohleausstiegs bis 2038 vor gewaltigen Herausforderungen zum Umbau ihrer Stromerzeugungssysteme, wollen sie nicht große Anteile aus Nachbar-Bundesländern oder Nachbarstaaten importieren. Dies gilt umso mehr, als die geplanten Stromtrassen von Norddeutschland nach gegenwärtigem Planungs- und Realisierungsstand erst in einigen Jahren fertiggestellt sein werden.

In der Schweiz liegt der Anteil der Atomkraft mit 35% ebenfalls sehr hoch. Da die Schweiz die verbliebenen Reaktoren jedoch erst nach Ablauf ihrer technischen Lebensdauer abschalten wird, verbleibt mehr Zeit für einen Umbau des Stromversorgungssystems und die Reduktion des Energiebedarfs.

Vorarlberg hat einen rein regenerativen Erzeugungs-Strommix, konnte seinen Gesamtstromverbrauch (ohne Verbrauch Pumpspeicher) von 2.855 GWh/a im Jahr 2018 jedoch jahresbilanziell nicht aus eigener Erzeugung decken. Die inländische Stromaufbringung betrug im Jahr 2018 knapp 2.000 GWh/a [45]. Der Eigendeckungsgrad sank in den vergangenen Jahren. Im

Winter muss ein Großteil des Stroms aus anderen Regionen bezogen werden, da die alpine Wasserkraft im Winter deutlich geringere Erträge hat als im Sommer.

### 5.1.22 Waldfläche und pro-Kopf Waldfläche

Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich der Anteile der Waldfläche an der Gesamtfläche der Regionen sowie die abgeleitete Größe der pro-Kopf-Waldfläche.

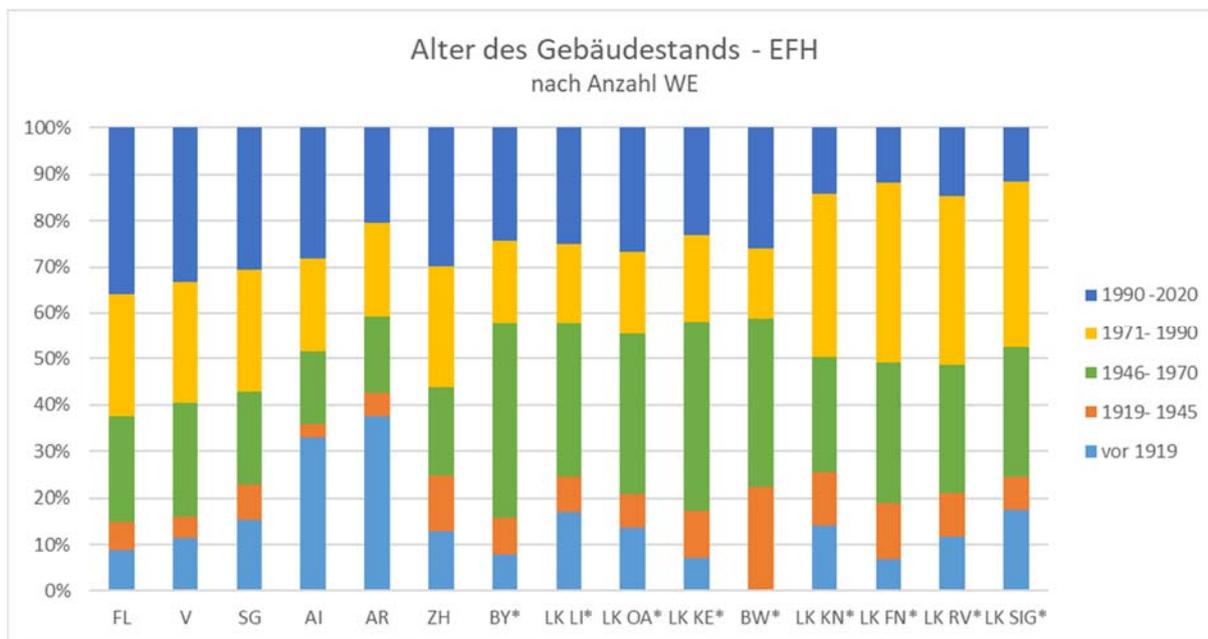
Region	Gesamtfläche in ha	Waldfläche in ha	Flächenanteil Wald in %	m <sup>2</sup> Wald/ Ew
Fürstentum Liechtenstein	16 050	6 635	41,3%	1 712
Vorarlberg	260 167	93 647	36,0%	2 164
Schweiz	4 128 500	1 280 000	31,0%	1 498
Thurgau				
St. Gallen	195 075	60 000	30,8%	1 182
Schaffhausen				
Appenzell Innerrhoden	17 248	4 869	28,2%	3 016
Appenzell Ausserrhoden	24 300	7 181	29,6%	1 300
Zürich	172 800	50 206	29,1%	330
Bayern Gesamt	7 054 200	2 605 563	35,3%	1 985
LK Lindau	32 339	8 300	25,7%	1 012
LK Oberallgäu	152 796	55 500	36,3%	3 558
Kempton	6 328	700	11,1%	101
BaWü Gesamt	3 574 826	1 351 284	37,8%	1 217
LK Konstanz	81 798	26 748	32,7%	934
Bodenseekreis	66 479	18 481	27,8%	850
LK Ravensburg	163 210	45 536	27,9%	1 595
LK Sigmaringen	120 423	46 122	38,3%	3 525

**Abbildung 101: Herleitung der pro-Kopf-Waldfläche der Regionen**

Zur Beurteilung des regionalen Biomassepotenzials ist die Waldfläche ein erster, grober Indikator. Sie liegt in den untersuchten Regionen – mit Ausnahme der Stadt Kempton – bei 26 bis 41%. Ein genauerer Indikator ist die pro-Kopf-Waldfläche. Diese liegt – mit Ausnahme der Stadt Kempton und des Kantons Zürich in einem Bereich von 850 bis 3.558m<sup>2</sup> Waldfläche pro Person. Die höchsten Werte haben die ländlichen Regionen Oberallgäu und Appenzell-Innerrhoden mit Werten von 3.558 und 3.016 m<sup>2</sup>/Person. Deutlich niedrigere Werte haben Kempton mit 101 m<sup>2</sup>/Person und der Kanton Zürich mit 330 m<sup>2</sup>/Person.

Auf Ebene der Nationalstaaten beträgt die pro-Kopf-Waldfläche 1.712 m<sup>2</sup>/Person im Fürstentum Liechtenstein, 1.498 m<sup>2</sup>/Person in der Schweiz, 1.373m<sup>2</sup>/Person in Deutschland und 4.538m<sup>2</sup>/Person in Österreich. Der Wert für die EU 27 liegt in der Größenordnung von 4.000 m<sup>2</sup>/Person.

### 5.1.23 Altersstruktur des Gebäudebestandes - Einfamilienhäuser



**Abbildung 102: Altersstruktur des Gebäudebestandes – EFH (nach Anzahl der Wohneinheiten)**

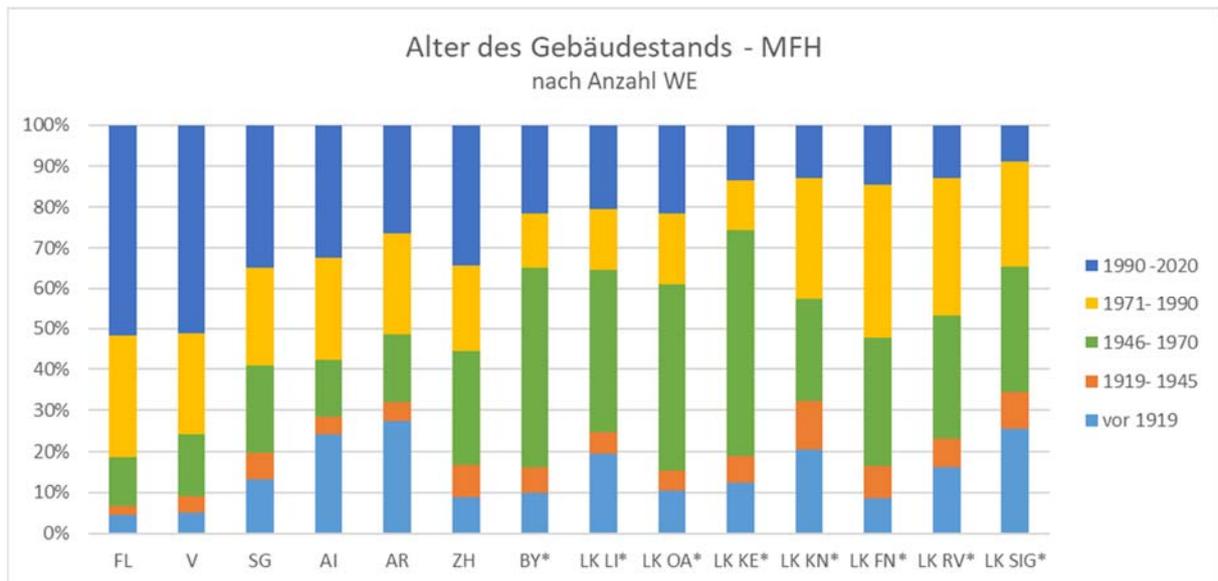
Anmerkung: für Baden-Württemberg sind die Altersklassen vor 1919 und 1919 – 1945 zusammengefasst.

Der Vergleich macht deutlich, dass das Fürstentum Liechtenstein, Vorarlberg und der Kanton Zürich den höchsten Anteil an Gebäuden der Altersklasse ab 1990 aufweisen. Dies stimmt damit überein, dass sie in den vergangenen Jahrzehnten das höchste Wachstum an Wohnflächen vorweisen.

Für die Sanierung in der nächsten Dekade sind die Gebäude der Baualtersklassen von 1946 bis 1970 und von 1971 bis 1990 am wichtigsten. Diese haben in Summe den höchsten Anteil am Gesamtbestand aller Regionen.

Ausnahme sind Appenzell-Innerrhoden und Appenzell-Außerrhoden, die mit 33 bzw. 38% einen deutlich höheren Anteil von Gebäuden mit Baujahr bis 1919 haben. Der Anteil von Gebäuden dieser Altersklasse liegt in den sonstigen Regionen 7 bis 17% relativ niedrig.

### 5.1.24 Altersstruktur des Gebäudebestandes - Mehrfamilienhäuser



**Abbildung 103: Alter des Gebäudebestandes – MFH nach Anzahl der Wohneinheiten**

Anmerkung: für Baden-Württemberg sind die Altersklassen vor 1919 und 1919 – 1945 zusammengefasst.

Bei den Mehrfamilienhäusern haben das Fürstentum Liechtenstein und Vorarlberg bei weitem den jüngsten Gebäudebestand mit Anteilen der Gebäude mit Baujahren ab 1990 von etwa 50%.

In den vier dargestellten Kantonen liegt der Anteil der MFH mit Baujahr ab 1990 mit 27 bis 35% ebenfalls relativ hoch. In Baden-Württemberg und Bayern liegt der Anteil der neueren MFH mit 21 bis 22% deutlich niedriger.

Die höchsten Anteile älterer Mehrfamilienhäuser mit Baujahren vor 1919 treten in Appenzell-Innerrhoden, Appenzell-Außerrhoden und im Landkreis Sigmaringen mit 24, 27 und 25% auf.

## 5.2 Bisherige Strategien und Instrumente zur Reduktion des Endenergiebedarfs und des Anteils der fossilen Energieträger sowie zur Steigerung des Anteils gebäudeintegrierter Solarsysteme

In diesem Kapitel wird untersucht, welche Strategien zur Reduktion des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen sowie zur Erhöhung der Sanierungsrate und zum Ausstieg aus fossilen Energieträgern zur Wärmeversorgung von Gebäuden in den einzelnen Regionen verfolgt wurden. Ebenfalls wird untersucht, welche Instrumente (Definition sektoraler Langfristziele und energetischer Mindestanforderungen, Besteuerung von Brennstoffen und CO<sub>2</sub>, Verbote von Brennstoffen, Förderungen, Öffentlichkeitsarbeit, Aus- und Weiterbildung...) dazu eingesetzt wurden und welche politischen Ebenen Strategieentwicklung und die Auswahl von Instrumenten beeinflussen können.

Als Grundlage zur Analyse wurde allen Projektpartnern ein Fragebogen zugestellt und von diesen für ihre Region (Kanton, Landkreis...) und ggf. für weitere politische Ebenen (Bundesland, Bund, Eidgenossenschaft) ausgefüllt.

Die Antworten der Partner werden im Folgenden Frage für Frage zusammengefasst.

### Frage 1: Auf welcher politischen Ebene liegt die Zuständigkeit für die folgenden Themen:

#### a. Baden-Württemberg

Die Zuständigkeit für die Festlegung von Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität liegt bei der Bundesrepublik Deutschland. Ebenso die Einführung von Verboten für fossile Energieträger, jedoch ist jedes Bundesland ermächtigt, weitere Einschränkungen diesbezüglich im Rahmen des Erneuerbarer-Wärme-Gesetz vorzunehmen. Auch ist der Bund für die Besteuerung von Energieträgern (wie z.B. eine CO<sub>2</sub>-Steuer) verantwortlich. Hier gibt es jedoch Mindestvorgaben im Rahmen der Energiesteuerrichtlinie der EU, an die sich die EU-Mitglieder halten müssen. Für die Förderung von Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle, der Umstellung auf nicht-fossile Energieträger sowie thermischer Solaranlagen sind sowohl der Bund als auch die einzelnen Bundesländer zuständig. Bei PV-Anlagen können die Bundesländer zum EEG ergänzende Förderungen und Anforderungen einführen. So wurde jüngst mit dem Klimaschutzgesetz eine Installationspflicht von PV auf neuen Nichtwohngebäuden und größeren Parkplätzen eingeführt. Einspeisevergütungen werden wiederum vom Bund geregelt. Die Ausweisung von Nah- und Fernwärmegebieten erfolgt über die Gemeinden, genauso wie die Energieraumplanung, zu der größere Kommunen mit dem baden-württembergischen Klimaschutzgesetz verpflichtet sind, bei der allerdings Vorgaben vom Bund und den Bundesländern im Rahmen des Planungs- und Klimaschutzrechts gemacht werden können. Die Entscheidung über den Bau von Kraftwerken erfolgt über

die Energieversorgungsunternehmen, aber die Bundesrepublik kann Vorgaben im Rahmen der Netzentwicklungsplanung und der Ausstiegspläne, machen. Für die Bilanzierung von Energieverbräuchen und –Erzeugung sowie die Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden und Kesseltausch liegt die Verantwortung bei allen Instanzen, vom Bund über die Bundesländer bis hin zu den Landkreisen und Gemeinden.

**b. Bayern**

Die Zuständigkeit für die Festlegung von Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität liegt bei der Bundesrepublik Deutschland. Ebenso die Einführung von Verboten für fossile Energieträger, jedoch ist jedes Bundesland ermächtigt, weitere Einschränkungen diesbezüglich im Rahmen des Erneuerbarer-Wärme-Gesetz vorzunehmen. Außerdem können die Gemeinden für einzelne Baugebiete energetische Mindestanforderungen festlegen und Verbote aussprechen. Auch ist der Bund für die Besteuerung von Energieträgern (wie z.B. eine CO<sub>2</sub>-Steuer) verantwortlich. Hier gibt es jedoch Mindestvorgaben im Rahmen der Energiesteuerrichtlinie der EU, an die sich die EU-Mitglieder halten müssen. Für die Förderung von Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle sind alle politischen Ebenen ermächtigt. Weitere Förderungen für die Umstellung auf nicht-fossile Energieträger sowie PV-Anlagen liegen sowohl im Machtbereich des Bundes, des Freistaats Bayern und der bayrischen Gemeinden. Im Gegensatz dazu können thermischen Solaranlagen nur vom Bund oder den Gemeinden gefördert werden. PV-Strom Einspeisevergütungen werden wiederum vom Bund geregelt. Die Ausweisung von Nah- und Fernwärmegebieten erfolgt über die Gemeinden. Die Entscheidung über den Bau von Kraftwerken liegt bei den Bundesländern sowie den Landkreisen. Für die Bilanzierung von Energieverbräuchen und –Erzeugung sowie die Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden und Kesseltausch liegt bei allen Instanzen, vom Bund über die Bundesländer bis hin zu den Landkreisen und Gemeinden. Die örtliche Energieraumplanung kann das Bundesland über den Landesentwicklungsplan, der Landkreis über den Regionalplan sowie die Gemeinden über den Flächennutzungsplan steuern.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

In Fürstentum Liechtenstein liegen alle abgefragten Zuständigkeiten beim Staat. Lediglich die Besteuerung von Energieträgern ist über den Zollvertrag der Schweiz geregelt. Außerdem können die Gemeinden bei den unterschiedlichen Förderungen, der Ausweisung von Nah- und Fernwärme, der Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden und Kesseltausch, sowie der Energieraumplanung einschreiten.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die Zuständigkeit für die Festlegung von Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität liegt bei Bund dem Kanton, ebenso die Förderung von Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle und die Umstellung auf nicht-fossile Energieträger. Verbote von Energieträgern und eine Besteuerung liegt im alleinigen Machtbereich des Bundes. Die Förderung thermischer Solaranlagen unterliegt dem Kanton. PV-Anlagen wiederum werden auf Bundesebene und Gemeindeebene gefördert. Die Einspeisevergütung für PV-Strom wird ausschließlich bundesweit geregelt. Die Ausweisung von Nah- und Fernwärmegebieten erfolgt über die Kantone oder Gemeinden. Kantonal wird über die Entscheidung von Kraftwerksbauten entschieden, bundesweit über die Bilanzierung von Energieverbräuchen und –Erzeugung. Die Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden und Kesseltausch liegt bei allen Instanzen, vom Bund über die Kantone bis hin zu den Gemeinden. Die örtliche Energieraumplanung kann der Kanton oder die Gemeinden steuern.

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Siehe d.

**g. Vorarlberg**

Die Zuständigkeit für die rechtlich verbindliche Festlegung energetischer Mindeststandards für Gebäude liegt bei den Bundesländern. Instrument ist das Baugesetz und die zugehörige Bautechnikverordnung. Sie müssen bei der Festlegung jedoch die Vorgaben der Europäischen Gebäuderichtlinie EPBD sowie den auf Basis dieser Richtlinie bestimmten Gesamt-Österreichischen Rahmen beachten, der in mehreren Dokumenten des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) verankert ist. Eines dieser Dokumente, die OIB Richtlinie 6, beschreibt das zum Nachweis der energetischen Gebäudequalität zu verwendende Rechenverfahren. Zu beachten ist u.A. die Maßgabe der EPBD, dass die Mindestanforderungen an die energetische Gebäudeeffizienz auf Basis von Kostenoptimalitätsstudien festzulegen sind. Im Förderwesen sind im Wohnbau und den öffentlichen Bauten die Länder und bei den gewerblichen Bauten der Bund federführend. Daneben gibt es befristete Förderprogramme des Bundes für Wohngebäude und Schwerpunktsetzungen des Landes im Bereich der gewerblichen Bauten.

**Frage 2: In welche Sektoren wird der Verbrauch in den nationalen und regionalen Statistiken üblicherweise differenziert?**

**a. Baden-Württemberg**

Industrie, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), private Haushalte (jeweils differenziert nach Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Klimakälte, Prozesskälte, mechanische Energie, IKT, Beleuchtung).

**b. Bayern**

Die Energiebilanz Bayern (2017) vom Bayerisches Landesamt für Statistik differenziert den Endenergieverbrauch nach den Sektoren Verarbeitendes Gewerbe, Verkehr sowie Haushalte und übrige Verbraucher.

Die Landkreise differenzieren üblicherweise nach Haushalten, Verkehr und Wirtschaft. Dabei wird der Sektor Wirtschaft aufgeteilt in Industrie, Gewerbe und Dienstleistung nach BSKO-Standard.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Es gibt keine Sektorenaufteilung in der Energiestatistik.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Haushalte, Landwirtschaft (Sektor 1), Industrie (Sektor 2), Dienstleistungen (Sektor 3), Verkehr, Energieerzeugung.

**e. St. Gallen**

Haushalte, Landwirtschaft (Sektor 1), Industrie (Sektor 2), Dienstleistungen (Sektor 3), Verkehr, Energieerzeugung.

**f. Zürich**

Haushalte, Industrie (inkl. Gewerbe), Dienstleistungen, statistische Differenz (inkl. Landwirtschaft), Verkehr.

**g. Vorarlberg**

Im Monitoringbericht der Energieautonomie Vorarlberg wird der Verbrauch in die folgenden Sektoren gegliedert: Mobilität, Gebäude Wärme, Gebäude Strom, Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft.

In Nationalen Dokumenten finden sich abweichende Sektoreinteilungen.

**Frage 3: Gibt es ein verbindliches Reduktionsziel für den Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen in Summe aller Verbrauchssektoren? Wenn ja, wie und auf welchen politischen Ebenen ist es beschrieben? Für welches Zieljahr/für welche Zieljahre?**

**a. Baden-Württemberg**

Im Rahmen des Energiekonzepts der Bundesregierung wurde das Ziel der Steigerung der Endenergieproduktivität auf 2,1 %/a bis 2050 auf Bundesebene definiert. Weitere Endenergieziele wurden für einzelne Sektoren definiert.

Die Treibhausgasemissionen sollen gemäß Bundesklimaschutzgesetz bis zum Jahr 2030 um 55 % gesenkt werden. Den weiteren Zielverlauf beschreibt der „Klimaschutzplan 2050“ mit -70 % (2040), weitgehend treibhausgasneutral (2050) (Reduktionsziele gegenüber 1990).

Auf Landesebene hat sich Baden-Württemberg das Ziel gesetzt, den Treibhausgas-Ausstoß des Landes bis zum Jahr 2050 um 90 Prozent zu senken.

**b. Bayern**

Die Treibhausgasemissionen sollen laut Bayerischem Klimaschutzgesetz je Einwohner (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) bis 2030 um mindestens 55% auf unter 5 Tonnen pro Einwohner und Jahr gesenkt werden (bezogen auf den Durchschnitt des Jahres 1990). Es besteht kein Ziel für den Endenergiebedarf.

Einzelne Landkreise haben darüber hinaus weitere Reduktionsziele festgelegt, wie z.B. der LK Oberallgäu, der bis 2050 im Vergleich zu 1990 die THG-Emissionen um 95% und den Energieverbrauch um 50% reduziert haben will.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Energiestrategie 2030 & Energievision 2050 sowie Klimavision welche am 7.10.2020 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Die Unterlagen finden sich unter [www.energiestrategie2030.li](http://www.energiestrategie2030.li).

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Keine verbindlichen Reduktionsziele.

**e. St. Gallen**

Ziele Energiekonzept Kanton St. Gallen:

- 1.65 Mio. t CO<sub>2</sub> (Halbierung 1990 bis 2030)
- Ausbau erneuerbare Energien von 2'000 GWh (2020) auf 3'100 GWh (2030)
- Langfristige Ziele gemäss Vision 2000-Watt-Gesellschaft (Absenkung des pro Kopf-Leistungsbedarfs von 5'200 Watt im Jahr 2020 auf 2'000 Watt im Jahr 2100)

und Reduktion der energetischen Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen von 5.5 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 auf 1 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2100). Beide Ziele auf Basis Primärenergie (LCA).

**f. Zürich**

Endenergie im eidgenössischen Energiegesetz: Verbrauchsrichtwerte für 2020 und 2035 (Art. 3).

Treibhausgas im eidgenössischen CO<sub>2</sub>-Gesetz (in Revision, vom Parlament beschlossen): neues Emissionsziel für 2030 (Art. 3).

**g. Vorarlberg**

Langfristziel der Energieautonomie Vorarlberg ist es, im Jahr 2050 den gesamten Endenergieverbrauch jahresbilanziell durch regionale, erneuerbare Energien zu decken. Für die Republik Österreich gilt ein verbindliches Reduktionsziel im Rahmen des europäischen NON-ETS Sektors. Dieses Ziel beträgt derzeit -36 % THG Emissionen gegenüber 2005.

**Frage 4: Gibt es ein verbindliches Reduktionsziel für den Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen des Sektors Gebäude? Wenn ja, wie und auf welchen politischen Ebenen ist es beschrieben? Für welches Zieljahr? Für den gesamten Gebäudesektor oder differenziert nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden?**

**a. Baden-Württemberg**

Das Ziel Deutschlands zur Senkung der THG-Emissionen für einzelne Sektoren wird im Bundesklimaschutzgesetz festgelegt und beträgt nach dem Quellprinzip bilanziert 70 Mio. t für das Jahr 2030 (ausgehend von 122 Mio. t im Jahr 2019). Es umfasst Wohngebäude und Nichtwohngebäude.

Weitere Ziele wurden bereits im Energiekonzept der Bundesregierung definiert: Senkung des nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarfs um 80 % bis 2050 (gegenüber 1990) und des Wärmebedarfs der Gebäude um 20 % bis 2020 (gegenüber 2008).

Auf Landesebene wurde im Integrierten Energie- und Klimakonzept IEKK für den Wärmemarkt eine Klimaneutralität bis 2050 beschlossen.

**b. Bayern**

Für Bayern und die Landkreise gibt es keine Reduktionsziele im Sektor Gebäude. Einzelne Landkreise haben qualitative Ziele für die Steigerung der Sanierungsquote.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Keine Sektoraufteilung in der Energiestatistik. Eine Aufteilung ist im Treibhausgasinventar vorhanden.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Keine verbindlichen Reduktionsziele.

**e. St. Gallen**

Nein.

**f. Zürich**

Nein.

**g. Vorarlberg**

Im Rahmen des Programms Energieautonomie Vorarlberg werden Sektorziele festgelegt. Diese sind jedoch nicht rechtlich bindend.

**Frage 5: Gibt es ein Datum, ab dem fossile Wärmeerzeuger bzw. Nachtspeicheröfen verbindlich verboten sind? Welche politische Ebene hat dieses Verbot erlassen?**

**a. Baden-Württemberg**

Ab dem 01.01.2026 dürfen Ölkessel bundesweit nur noch sehr restriktiv eingesetzt werden. Dies gilt auch für die Sanierung. Hier sind jedoch viele Ausnahmen möglich.

**b. Bayern**

Ab dem 01.01.2026 sind Ölkessel in jeglichen Neubauten, wenn sie nicht die Anforderung an Mindestanteile an erneuerbaren Energien, Abwärme oder KWK einhalten, vom Bund verboten worden. Dies gilt auch für die Sanierung. Hier sind jedoch viele Ausnahmen möglich.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Nachspeicheröfen, die größer als 3 kW sind, sind in Neubauten und Sanierungen jeglicher Gebäudeart nicht erlaubt.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Gemäß revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz dürfen ab dem Jahr 2023 Neubauten durch ihre Wärmeerzeugungsanlage für Heizung und Warmwasser grundsätzlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen verursachen. Außerdem besteht ein kantonales Verbot von Nachtspeicheröfen seit 2009 bei Neubauten und Sanierungen.

**e. St. Gallen**

Gemäß revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz dürfen ab dem Jahr 2023 Neubauten durch ihre Wärmeerzeugungsanlage für Heizung und Warmwasser grundsätzlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen verursachen. Außerdem besteht ein kantonales Verbot von Nachtspeicheröfen seit 2000 bei Neubauten und Sanierungen.

**f. Zürich**

Gemäß revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz dürfen ab dem Jahr 2023 Neubauten durch ihre Wärmeerzeugungsanlage für Heizung und Warmwasser grundsätzlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen verursachen. Seit 1.10.1997 besteht eine kantonale, indirekte Einschränkung bezüglich des Einbaus von Öl-, Gaskesseln und Nachtspeicheröfen, die durch einen Höchstanteil an nicht-erneuerbare Energien in Neubauten festgelegt wird. Des Weiteren gibt es ein Verbot für Ersatz bestehender Elektroheizungen seit 1.6.2013.

**g. Vorarlberg**

Ölkessel sind im Neubau seit 2020 in ganz Österreich nicht mehr zugelassen. Phase-out Pläne für Öl im Bestand und Gas in Neubau und Sanierung werden derzeit auf nationaler und auf Landesebene erarbeitet. Laut Bundes-Regierungsprogramm sollen Gasheizungen im Neubau ab 2025 nicht mehr zulässig sein.

**Frage 6: Gibt es finanzielle Anreize des Staates (welcher Ebene?) oder anderer Akteure (z.B. Energieversorger...) für den Austausch fossiler Wärmeerzeuger?**

**a. Baden-Württemberg**

Das Marktanzreizprogramm des Bundes (BAFA-Teil) fördert neue Heizung mit erneuerbaren Energien mit einem Zuschuss mit Förderquoten bis zu 45 % der förderfähigen Kosten. Im sog. KfW-Teil des Marktanzreizprogramms werden größere Heizungen (i.d.R. >100 kW) sowie Biogasleitungen, Hausübergabestationen und Wärmenetze gefördert („Erneuerbare Energien Premium“).

Anmerkung: Ab 2021 wird das MAP ersetzt durch das Bundesprogramm effiziente Gebäude (BEG). Dieses wird aber eine ähnliche Fördersystematik verfolgen. Die endgültige Richtlinie ist noch nicht veröffentlicht.

Im Rahmen der Effizienzhausförderung der KfW werden erneuerbare Wärmeerzeuger auch als Bestandteil der Neubauförderung bzw. der Sanierung gefördert.

Erneuerbare Wärmeerzeuger in Wärmenetzen werden derzeit mit dem KfW-Programm Erneuerbare Energien Premium gefördert. Weitere Förderprogramme sind in folgender Übersicht zusammengestellt (ifeu et al. 2020).

Wärmeerzeuger	MAP	KfW 295	i.KWK	KWKG (2020)	WNS 4.0	EEG	BEG (Entwurf)
<b>Große Solarthermie für Wärmenetze</b>							
Förderung	40 % + 10 % KMU-Bonus oder ertragsabh. Förderung	45% + 10% KMU-Bonus	Sehr hoch, abh. von KWK-Anlage	EE-Wärmebonus: Sehr hoch, abh. von KWK-Anlage	mind. 30%, bis zu 50 %		
Beschränkungen	Techn. Anforderungen des Merkblatts	Techn. Anforderungen des Merkblatts	Techn. Anforderungen der iKWK-Ausschreibung, u. a. Bündelung von Technologien,	Nur für WN mit Neubau-KWK (Stand 4'20)	max. 15 Mio. €, Bewilligungszeitraum max. 4 Jahre		
<b>Großwärmepumpen</b>							
Förderung	80 €/kW, Erdsonden 4-6 €/m		Sehr hoch, abh. von KWK-Anlage	EE-Wärmebonus: Sehr hoch, abh. von KWK-Anlage	mind. 30%, bis zu 50 %		
Beschränkungen	max. 100.000 € Förderung, keine Luft/Wasser-WP, Luft/Luft-WP. JAZ >3,8 (elektr.)		Techn. Anforderungen der iKWK-Ausschreibung, u. a. Bündelung von Technologien	Nur für WN mit Neubau-KWK (Stand 4'20)	max. 15 Mio. €, Bewilligungszeitraum max. 4 Jahre		
<b>Große Biomassekessel</b>							
Förderung	20 €/kW Basisförderung, 10 (Speicher-) zw. 25 €/kW (staubarm) Bonus für Innovationen	45 % der Invest.mehrkosten + 10% KMU-Bonus					
Beschränkungen	max. 50.000 €, Einhaltung von Emissionsgrenzwerten, hydraul. Abgleich	Baumusterprüfung bzw. eta min, ab 100 kW Abgas-WT					
<b>Biomasse-KWK</b>							
Förderung	40 €/kW für feste Biomasse-KWK						Strom-Ausschreibung
Beschränkungen	Anforderungen an Wirkungsgrade						
<b>Tiefe Geothermie</b>							
Förderung	Pro Vorhaben mit bis zu 4 Bohrungen: max. 2 Mio€ Anlagenförderung, max. 10 Mio. € Bohrkostenförderung, + 50% von Mehraufwänden bis De facto Obergrenzen der Förderung für rein thermische Anlagenkonzepte: 10 MWh, 4.500m Tiefe, 10 Mio€ Bohrkostenförderung, 2 Mio. € Anlagenkosten. Erkundungsbohrungen werden nicht gefördert. Niedrigere Fördersätze für kombinierte Strom-/Wärme-Projekte: Vergütung über EEG wird abgezogen						Festvergütung für Strom
Beschränkungen							
<b>Abwärme</b>							
Förderung		30% + 10 % KMU-Bonus		40%	bis zu 50% (Modul 2)		
Beschränkungen		max. 500 €/t CO <sub>2</sub> , bis max. 10 Mio. €		mind. 75% Abwärme. Bei Kombinationen mind. 10 % KWK, max. 20 Mio. €/Projekt	mind. 50% Abwärme oder mind. 1,5 GWh/a sind über Mindestnutzungsdauer von 10 Jahren einzuhalten; max. 15 Mio. €		
<b>Wärmenetze</b>							
Förderung	60 €/TM			40% (Stand 4'04)	Als Teil des WNS 4.0		je nach EH-Stufe
Beschränkungen	mind. 50 % EE/Abwärme, oder 20 % solar + Zusatzanforderungen. Höchstens 1-1,5 Mio. €. Mindestabsatz 500 kWh/m/a			mind. 75 % KWK, EE oder Abwärme. Bei Kombinationen mind. 10 % KWK			Gebäudenetze mit mind. 50 % EE
<b>Wärmespeicher</b>							
Förderung	250 €/m <sup>3</sup> .			250 €/m <sup>3</sup> Wasser	Als Teil des WNS 4.0		
Beschränkungen	ab 10m <sup>3</sup> , max. 1 Mio. €. Anforderung an Verluste und Wärmemenge			mind. 50% KWK-Wärme bzw. 25% KWK-Wärme durch Anrechnung EE oder Abwärme; max. 10 Mio. €/Projekt			
<b>Optimierungsmaßnahmen im Netz</b>							
Förderung	derzeit keine Förderung						
<b>Optimierungsmaßnahmen beim Kunden</b>							
Förderung							30-35 %
Beschränkungen							Anschluss an Gebäudenetz oder öffentl. Netz (mind. 25 % EE)
<b>Planung</b>							
Förderung							
Beschränkungen	Fördersatz WNS 4.0 Nur für WNS 4.0: von LPH5 „Ausführungsplanung“ bis LPH8 „Bauüberwachung und Dokumentation“ zuwendungsfähig Abgrenzung der LPH manchmal schwierig						
Bemerkungen							

Abbildung 104: Förderprogramme im Zusammenhang mit Wärmenetzen

**b. Bayern**

Es bestehen sehr attraktive Förderungen vom Bund über die BAfA und die KfW. Die BAfA-Zuschüsse belaufen sich auf bis zu 45 % der Kosten. Die KfW vergibt zinsgünstige Kredite und Zuschüsse bis zu 40 % für die Komplettisanierungen. Diese hohen

Standards können nur in Zusammenhang mit dem Austausch der alten fossilen Heizung erreicht werden.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Förderung gibt es von Land und Gemeinde.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Gestützt auf das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen und das harmonisierte Fördermodell der Kantone (HFM 2015): Kantonales Förderungsprogramm Energie.

**e. St. Gallen**

Gestützt auf das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen und das harmonisierte Fördermodell der Kantone (HFM 2015): Kantonales Förderungsprogramm Energie.

**f. Zürich**

Ja.

**g. Vorarlberg**

Förderungen für den Austausch fossiler Wärmeerzeuger gibt es sowohl auf Bundes- und Landesebene, als auch teilweise auf Gemeindeebene.

**Frage 7: Wie hoch sind Kosten und Förderung für folgende Beispielfälle?**

**a. Baden-Württemberg**

- i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus:

Bsp. Wohngebäude, 1 Wohneinheit, 10 kW Luft-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung.

Gesamtkosten 24.600 €, Förderhöhe 11.100 €

Grundsätzlich bis 100 kW: 45 % der förderfähigen Kosten, wenn die Bedingungen für den Ölkesseltausch-Bonus erfüllt sind, sonst 35 %.

**b. Bayern**

- i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus:

- Ungefähre Kosten (EUR) **ca. 40.000,- €**

- Geschätzter Barwert der Förderung (EUR oder %) **45% = ca. 18.000, €**

- ii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (ca. 1.000m<sup>2</sup> Wohnfläche):

- Ungefähre Kosten (EUR) **ca. 200.000,- €**

- Geschätzter Barwert der Förderung (EUR oder %) **45% = ca. 90.000, €**

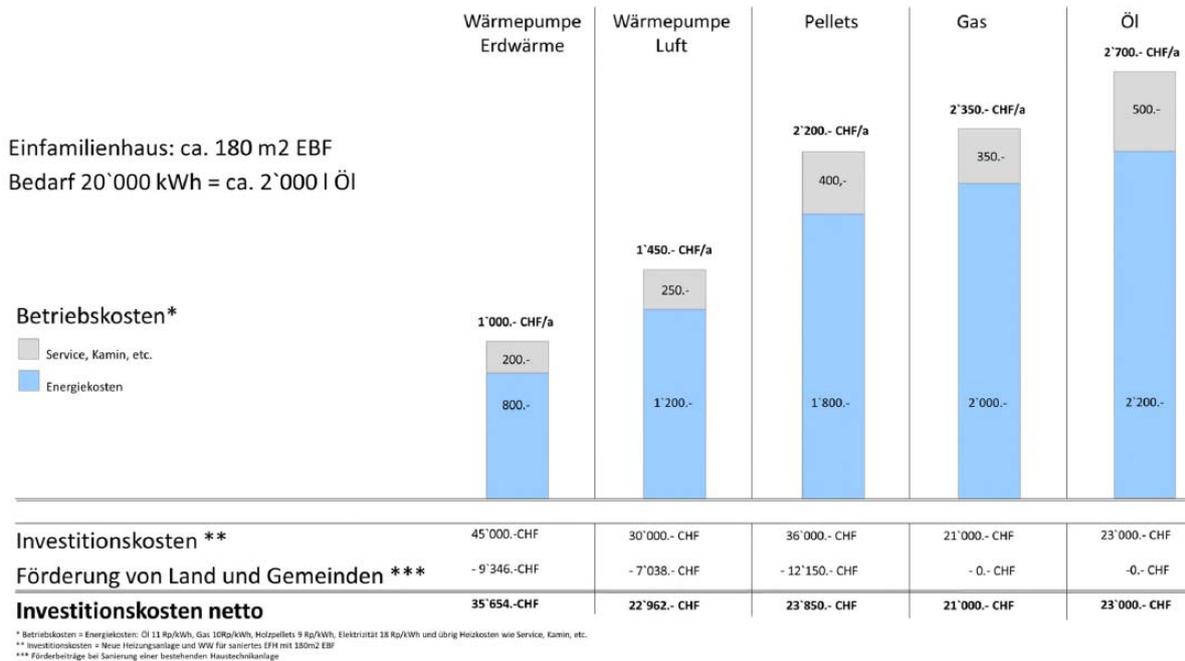
- iii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP in Schule mit 2.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche:

- Ungefähre Kosten (EUR) **ca. 400.000,- €**

- Geschätzter Barwert der Förderung (EUR oder %) **45% = ca. 180.000, €**

**c. Fürstentum Liechtenstein**

**i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus**



**Abbildung 105: Förderung im Fürstentum Liechtenstein**

- ii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (ca. 1.000m<sup>2</sup> Wohnfläche)
  - Pelletskessel CHF 9'923 von Land und CHF 9'923 von der Gemeinde
  - WP-Luft CHF 6'934 von Land und CHF 6'934 von der Gemeinde
  
- iii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP in Schule mit 2.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche  
Keine Förderung der Gemeinden durch das Land!  
Der Bürger versteht nicht, weshalb ein Geldfluss vom Land an die Gemeinde mit hohem Administrationsaufwand geschehen soll. Schlussendlich zahlt es immer der Bürger. Das gibt in einem kleinen Land nicht so viel Sinn. Alle Gemeinden führen das Label Energiestädte.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

- i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus:
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 4'000.- (Stückholzheizung bis 70 kW)  
+ 50.-/kW<sub>th</sub> (autom. Holzfeuerung bis 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 1'600.- & 60.-/kW<sub>th</sub> (WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'400.- & 180.-/kW<sub>th</sub> (WP Sole/Wasser)
  
- ii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (ca. 1.000m<sup>2</sup> Wohnfläche):

- Geschätzter Barwert der Förderung CHF 180.-/kW<sub>th</sub> (autom. Holzfeuerung ab 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 1'600.- & 60.-/kW<sub>th</sub> (WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'400.- & 180.-/kW<sub>th</sub> (WP Sole/Wasser)
- iii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP in Schule mit 2.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche:
- Geschätzter Barwert der Förderung CHF 180.-/kW<sub>th</sub> (Holzfeuerung ab 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 1'600.- & 60.-/kW<sub>th</sub> (WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'400.- & 180.-/kW<sub>th</sub> (WP Sole/Wasser)

#### e. St. Gallen

- i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus:
- Geschätzter Barwert der Förderung CHF 4'000.- (Stückholzheizung bis 70 kW)  
+ 50.-/kW<sub>th</sub> (autom. Holzfeuerung bis 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'800.- (bis 20 kW, WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 6'000.- (bis 20 kW, WP Sole/Wasser)
- ii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (ca. 1.000m<sup>2</sup> Wohnfläche):
- Geschätzter Barwert der Förderung CHF 180.-/kW<sub>th</sub> (autom. Holzfeuerung ab 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 1'600.- & 60.-/kW<sub>th</sub> (WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'400.- & 180.-/kW<sub>th</sub> (WP Sole/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 42'400.- & 100.-/10 kW<sub>th</sub> (ab 500 kW, WP Sole/Wasser)
- iii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP in Schule mit 2.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche:
- Geschätzter Barwert der Förderung CHF 180.-/kW<sub>th</sub> (Holzfeuerung ab 70 kW)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 1'600.- & 60.-/kW<sub>th</sub> (WP Luft/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 2'400.- & 180.-/kW<sub>th</sub> (WP Sole/Wasser)
  - Geschätzter Barwert der Förderung CHF 42'400.- & 100.-/10 kW<sub>th</sub> (ab 500 kW, WP Sole/Wasser)

#### f. Zürich

- i. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Einfamilienhaus (10 kW (200m<sup>2</sup> \* 50W/m<sup>2</sup>):
- Ungefähre Kosten (CHF) 55'000 CHF
  - Geschätzter Barwert der Förderung (CHF oder %) 5'000 bis 10'000

- ii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP im Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten (ca. 1.000m<sup>2</sup> Wohnfläche 50 kW (1000m<sup>2</sup> \* 50W/m<sup>2</sup>):
  - Ungefähre Kosten (EUR/CHF) 120'000 CHF
  - Geschätzter Barwert der Förderung (CHF oder %) CHF 7'000 bis 17'000
  
- iii. Ersatz Ölkessel durch Biomassekessel oder WP in Schule mit 2.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche 125 kW (2500m<sup>2</sup> \* 50W/m):
  - Ungefähre Kosten (CHF) 280'000 CHF
  - Geschätzter Barwert der Förderung (CHF oder %) CHF 11'000 bis 30'000

Keine Förderung für Holzheizkessel unter 300 kW. Wir unterscheiden bei den Förderätzen zwischen einer Wärmepumpe die Außenluft nutzt und Wärmepumpen die Wärme aus Erdreich, Grund- und Oberflächen nutzen.

#### g. Vorarlberg

Bei Ersatz eines Öl-, Gas- oder Kohlekessel bzw. einer Strom Direkt-Heizung durch eine Wärmepumpe, Holzheizung oder einen Fernwärmeanschluss beträgt die Förderung:

- bei Eigenheimen (bis max. 2 Wohneinheiten): € 9.000.
  - Land: € 4.000 max. 50%
  - Bund: € 5.000 max. 35%
  - zzgl. allfälliger Förderungen der Gemeinde
- bei Mehrwohnungshäusern (mehr als 2 Wohneinheiten):
  - Land: € 5000 pro Gebäude zzgl. € 400 pro Wohneinheit max. 50%
  - Bund: € 1000 pro Wohneinheit max. 35%
  - zzgl. allfälliger Förderungen der Gemeinde
- Bund/Land und allfällige Gemeindeförderungen sind kombinierbar.

**Frage 8: Gibt es neutrale Informations- und Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Austausch Wärmeerzeuger? Welche politische Ebene oder welche Institution bietet sie an (Bund/Eidgenossenschaft, Kanton/Bundesland, Gemeinde...)**

#### a. Baden-Württemberg

Ja, auf allen Ebenen. In Baden-Württemberg wird diese Öffentlichkeitsarbeit vor allem von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA) und den regionalen Energieagenturen geleistet, die das Bundesland nahezu flächendeckend abdecken. Flankiert wird dies durch die Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung (u.a. „Deutschland macht's effizient“) und der Deutschen Energieagentur dena.

#### b. Bayern

Bundesebene: Deutsche Energieagentur (dena) und Verbraucherzentralen

Regionale Ebene: Energieagenturen (z.B. eza!)

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Energiefachstelle des Landes als Anlaufstelle. [www.energiebündel.li](http://www.energiebündel.li)

**d. Appenzell- Innerrhoden**

- Bund: EnergieSchweiz
- Kanton: Amt für Hochbau und Energie, Verein Energie AR/AI
- Gemeinde: Individuell (z.B. Energiestädte)

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Ja, auf allen Ebenen.

**g. Vorarlberg**

Ja, Energieinstitut Vorarlberg im Auftrag des Landes.

**Frage 9: Mit welchen Indikatoren werden die Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden festgelegt?**

**a. Baden-Württemberg**

Neubau: Spezifischer auf die Gebäudehülle bezogener Transmissionswärmeverlust (HT'), Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

Sanierung: Spezifischer auf die Gebäudehülle bezogener Transmissionswärmeverlust (HT'), Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

**b. Bayern**

Wie a.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Neubau und Sanierung: Kleine Objekte mittels Einzel U-Wertenachweis. Bei größeren Objekten muss der Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 berechnet werden.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Neubau: Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf, CO<sub>2</sub>, Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK)

Sanierung: Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf, CO<sub>2</sub>, Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK)

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Neubau: Heizwärmebedarf, anderer Indikator für Hüllqualität als Variante, Endenergiebedarf gewichtet mit vorwärtsblickenden „nationalen Gewichtungsfaktoren“

Sanierung: Heizwärmebedarf als Variante, anderer Indikator für Hüllqualität als Variante, Endenergiebedarf als Variante (Minergie)

**g. Vorarlberg**

Wohngebäude: Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf, CO<sub>2eq</sub>-Emissionen

Nicht-Wohngebäude: LEK-Wert (Indikator für die Hüllqualität), Primärenergiebedarf und CO<sub>2eq</sub>-Emissionen

**Frage 10: Sind die Anforderungen an die Hülle vom Energieträger abhängig?**

**a. Baden-Württemberg**

Die Anforderung an HT' ist unabhängig vom Energieträger. Diese Nebenanforderung wurde bewusst eingeführt, um eine hohe Qualität der Hülle auch bei erneuerbaren oder anderen klimafreundlichen Energieträgern zu gewährleisten. In die Berechnung des Primärenergiebedarfs hingegen fließen sowohl Hüllenqualität als auch Anteil erschöpflicher Energieträger ein und können somit „verrechnet“ werden.

**b. Bayern**

Wie a.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Nein, keine Abhängigkeit vom Heizsystem. Immer gut Dämmen.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Nein.

**e. St. Gallen**

Nein.

**f. Zürich**

Ja (indirekt als Ergebnis der Gewichtung).

**g. Vorarlberg**

Die Anforderungen an die Gebäudehülle sind grundsätzlich unabhängig vom Energieträger. Dadurch, dass auch Anforderungen an den Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub> gestellt werden, muss bei fossilen Heizungssystemen auch die Gebäudehülle gegenüber Systemen mit erneuerbaren Energien besser sein. In der geplanten Bautechniknovelle 2021 werden diese Werte verschärft (Phase-Out-Pfad für fossile Energieträger)

**Frage 11: Welche Qualitätssicherungssysteme gibt es für die Prüfung von Energieausweisen und wer führt die QS durch? welche Rolle spielen darüber hinaus freiwillige Zertifizierungssysteme?**

**a. Baden-Württemberg**

In Deutschland gibt es eine sehr intensive Diskussion über die Qualität von Energieausweisen, die u.a. aus der Dualität von Verbrauchs- und Bedarfsausweis entsteht. Die Qualität von Energieausweisen soll dadurch gesteigert werden, dass 1. Qualitätsanforderungen an die Ausstellungsberechtigten gestellt werden, dass 2. Energieausweise zentral bei der EnEV-Registrierstelle am DIBt registriert werden und Stichprobenkontrollen von allen Ausweisen vorgenommen werden (§99 GEG). 3. Von den Landesbehörden oder von ihnen Beauftragte können ergänzende Kontrollen durchgeführt.

**b. Bayern**

Wie a.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Baurechtliche Anforderungen orientieren sich an der SIA-Norm der Schweiz. Die Förderung wird über das Monitoring der Energiestrategie 2020 beurteilt.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Verein GEAK zertifiziert Experten, welche den GEAK ausstellen dürfen.

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

„Private Kontrolle“ durch vom Kanton zugelassene Fachleute, Stichproben zur QS durch Kanton. Minergie-Label wird als Energienachweis anerkannt.

**g. Vorarlberg**

Energieausweise werden in Vorarlberg zentral über die Energieausweiszentrale (EAWZ) ausgestellt und erfasst. Im Rahmen der europäischen Gebäuderichtlinie muss ein unabhängiges Kontrollsystem für Energieausweise (UKS) durchgeführt werden. In der Energieausweiszentrale werden alle Energieausweise einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Mittels Stichprobe wird eine bestimmte Menge für eine vertiefte Prüfung herangezogen. Das UKS wird federführend vom Land Vorarlberg durchgeführt. Zur Unterstützung des Landes werden Teilaufträge an das Energieinstitut Vorarlberg vergeben.

**Frage 12: Auf welcher Basis werden baurechtliche Mindestanforderungen und Anforderungen für Förderungen beschlossen?**

**a. Baden-Württemberg**

Die Mindestanforderungen an Neubauten im Rahmen des neu verabschiedeten Gebäudeenergiegesetzes wurden im Rahmen der Kostenoptimalitätsstudie und ergänzender Untersuchungen festgelegt und untergingen danach einem politischen Bewertungsprozess. Das Ziel für den Gebäudesektor wird nicht explizit berücksichtigt, auch nicht über einen CO<sub>2</sub>-Preis o.ä. Die Anforderungen an Sanierungen im Rahmen des KfW-Förderprogramms orientieren sich an den gesetzlichen Mindeststandards und sind je nach prozentualer Unterschreitung bezogen auf  $H_T'$  und  $Q_P$  gestaffelt. Ein Effizienzhaus 55 muss 55 % des Primärenergiebedarfs eines entsprechenden Neubaus und 70 % des  $H_T'$ -Wertes einhalten. Die Anforderungen an Einzelmaßnahmenförderung (z. B. U-Werte) wurden basierend auf der Erreichung eines sog. Effizienzhauses 55 berechnet und entsprechen auch baupraktisch einem ambitionierten, aber marktüblichen Standard.

**b. Bayern**

Wie a.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Für die Förderung gelten die baurechtlichen Mindestanforderungen.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die Grundlage bilden das harmonisierte Fördermodell der Kantone (HMF 2015) sowie die Musterenergieverordnung der Kantone (MuKE n 2014). In diesen werden verschiedene Aspekte berücksichtigt, unter anderem auch die unten aufgeführten.

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Gemäß Variante 1 indirekt über Studien zur Kostenoptimalität von Minergie.

**g. Vorarlberg**

Baurecht: Mindestanforderung bildet der „Nationale Plan“ des OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik). Vorschläge für die Justierung der Mindestanforderungen werden von den relevanten Abteilungen der Landesverwaltung ausgearbeitet und politisch sowie mit wichtigen Stakeholdern abgestimmt. In der derzeit laufenden Runde zur Neujustierung der Mindestanforderungen werden (für den Bereich der Wohngebäude) Ergebnisse zweier Kostenoptimalitätsstudien des Energieinstitut Vorarlberg mit einfließen.

Förderungen: Ausgehend von den Mindestanforderungen im Baurecht werden Fördermodelle mit Anreizen für über das baurechtliche Minimum hinausgehende Objekte von den zuständigen Landesstellen in Abstimmung mit relevanten Stakeholdern und externen Experten erarbeitet.

**Frage 13: Wird die Wirksamkeit von Förderungen regelmäßig überprüft, wenn ja: wie und durch wen?**

**a. Baden-Württemberg**

Das MAP und die KfW-Förderung werden regelmäßig evaluiert. Dabei wird eine Zielerreichungs-, Wirkungs- und Wirtschaftlichkeitskontrolle vorgenommen. Die Evaluierungen werden ausgeschrieben und gutachterlich vergeben. Das MAP wurde in der Vergangenheit von einem Konsortium um Fichtner und technische Partner vergeben. ifeu war in die Weiterentwicklung des MAP involviert. Die Evaluierung des KfW-Programms ist aktuell neu ausgeschrieben.

Hinzu kommen statistische Auswertungen der BAFA und KfW.

**b. Bayern**

Die KfW und BAfA überprüfen regelmäßig die Förderfälle und justieren ggf. in Zusammenarbeit mit der Bundesregierung (BMWi) die Förderung nach.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Die Energiefachstelle macht ein Monitoring über Antragszahlen. Die Förderung wird zudem über das Monitoring der Energiestrategie 2020 beurteilt. Relevant sind Kennzahlen wie Förderung in CHF/kWh oder CHF/CO<sub>2</sub> Vermeidung über festgelegte Wirkungsdauern.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die Prüfung der Wirksamkeit der Förderungen in den Bereichen Wärmedämmung und Heizungersatz erfolgt jährlich durch das nationale Gebäudeprogramm. Bei der Prüfung werden folgende Punkte ausgewiesen:

- Auszahlung nach Massnahmen, Bereich, Kanton und Berichtsjahr
- Detail-Auswertung zu geförderten Projekten in den Massnahmenbereichen Wärmedämmung, Haustechnik, Systemsanierung, Neubau, zentrale Wärmeversorgung und indirekt Massnahmen
- Reduktion von Endenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Ausgelöste Mehrinvestitionen
- Wertschöpfung

Die Wirkung der globalbeitragsberechtigten Förderungsmassnahmen werden jährlich dem Bundesamt für Energie rapportiert (Berichterstattung über die Verwendung der Globalbeiträge).

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Es gibt eine Wirkungsanalyse im Rahmen des Gebäudeprogramms (schweizweit).

**g. Vorarlberg**

Erhoben werden sowohl die Anzahl der Förderfälle als auch die Fördersummen (Zuschüsse und zinsvergünstigte Darlehen). Auf Basis einer Vereinbarung zwischen Bund und Ländern (Art. 15a Vereinbarung) wird die Wirksamkeit der eingesetzten Fördermittel jährlich im Rahmen eines Berichtes monitort.

**Frage 14: Gibt es Untersuchungen zur Auswirkungen von Förderungen auf das Preisniveau von Effizienzkomponenten?**

**a. Baden-Württemberg**

Nein. Es wurde im Rahmen einer Studie zur Evaluierung des MAP versucht, nach Änderungen der Förderbedingungen entsprechende Marktpreiseffekte mit neuronalen Netzen zu untersuchen, dies mündete aber nicht in eine überzeugende Korrelation.

**b. Bayern**

Bislang sind keine dementsprechenden Studien bekannt, die Erfahrung zeigt aber, dass es bei höheren Förderungen zu einer stärkeren Auslastung der Betriebe und somit auch zu Preissteigerungen kommt.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Nein, nicht systematisch, weil Aussagen schwierig sind. Es werden aber Mittelwerte wie z.B. für gebaute PV in CHF/kWp beobachtet.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Nein.

**e. St. Gallen**

Nein.

**f. Zürich**

Das läuft unter dem Namen „Mitnahmeeffekt“. Das ist in den Wirkungsberechnungen für die Förderbeiträge eingerechnet.

**g. Vorarlberg**

Es gibt keine systematischen Untersuchungen. Unserer Beobachtung nach ist der wesentliche Preistreiber bei Gebäuden die momentane Marktsituation (Investitionen in Immobilien, hohe Auslastung des gesamten Bau- und Baunebengewerbes (Installateure, etc.), knappes Grundstücksangebot, niedrige Bankzinsen).

**Frage 15: Welche Rolle spielt Contracting von Wärmeversorgungsanlagen sowie Einsparcontracting?**

**a. Baden-Württemberg**

Beim Contracting unterscheiden wir hauptsächlich zwischen Energieliefer-Contracting (ELC), dem Energiespar-Contracting (mit Einspargarantie) (ESC) und dem Pacht- und Betriebsführungs-Contracting. Der Gesamtumsatz für Contracting in Deutschland belief sich nach der jährlichen Marktanalyse für Energiedienstleistungen der BfEE<sup>[1]</sup> im Jahr 2018 auf etwa 6,7 Mrd. Euro. Dabei dominiert vom Umsatz her das ELC deutlich gegenüber ELC und Pacht- oder Betriebsführungs-Contracting. Demnach ist ELC für 73% der befragten Anbieter das vornehmliche Angebot, für 16% ist es ESC und Pacht- oder Betriebsführungs-Contracting für weitere 11%.

Eine Aufschlüsselung der Bedeutung von Contracting nach Gebäudetypen wird in der Marktanalyse nicht vorgenommen. Dort wird ein nutzerbezogener Ansatz gewählt, das bedeutet, Aussagen zur Nutzung durch bestimmte Gruppen sind möglich. So lag der Anteil der Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU), die Contracting in Anspruch nah-

---

<sup>[1]</sup> Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) (Hrsg.), „Empirische Untersuchung des Marktes für Energiedienstleistungen, Energieaudits und andere Energieeffizienzmaßnahmen im Jahr 2019“, Endbericht 2019 - BfEE 17/2017, Eschborn, 2020.

men, im Jahr 2018 bei 16%, bei größeren Unternehmen sogar bei 20%. Je nach Branche gibt es sogar noch höhere Nutzungsraten, beispielsweise in der energieintensiven Industrie, der Immobilienbranche oder im Bereich Gesundheit, Pflege und Heime.

Bei Privathaushalten spielt Energiecontracting dagegen eine untergeordnete Rolle. Nur 4% der befragten Eigentümerhaushalte hat in den letzten fünf Jahren laut der Befragung im Jahr 2019 diese Dienstleistung genutzt.

Die Öffentliche Hand unterscheidet sich was die Nutzung von Contracting angeht deutlich sowohl von Unternehmen, als auch von Privathaushalten. 12% der 2019 befragten Stellen haben in den letzten fünf Jahren Contracting genutzt. Allerdings spielt das ESC bei der Öffentlichen Hand eine ebenso große Rolle wie das ELC.

**b. Bayern**

Generell finden Contracting-Modelle in der Region Allgäu nur sehr selten eine praktische Anwendung. In den größeren Städten Memmingen und Kempten sind vereinzelt Contracting Modelle in öffentlichen Nicht-Wohngebäuden im Einsatz. Genaue Zahlen über Marktanteile o.ä. sind nicht bekannt. Hier kommt sowohl Einspar- als auch Wärmeliefer-Contracting zur Anwendung. Von den eza!-Partner-Unternehmen bietet die Fa. Urlbauer Contracting-Modelle an. Infolge geringer Nachfrage sind auch nur wenige Anbieter in der Region. In ländlichen Kommunen gibt es auch vereinzelt Wärmeliefer-Verträge.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Contracting-Modelle spielen praktisch keine Rolle im Fürstentum Liechtenstein.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Contracting von Wärmeversorgungsanlagen wie auch Einsparcontracting sind Dienstleistungen von Energieversorgern und spielt eine wichtige Rolle beim Ersatz von fossilen Heizsystemen (vor allem bei grösseren Gebäuden).

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

- contracting von Wärmeversorgungsanlagen in Wohngebäuden → grosse Rolle
- contracting von Wärmeversorgungsanlagen in öffentlichen Gebäuden → grosse Rolle
- contracting von Wärmeversorgungsanlagen in Nicht-Wohngebäuden → grosse Rolle
- Einsparcontracting für Wohngebäude → kleine Rolle
- Einsparcontracting für öffentliche Gebäude → kleine Rolle

- Einsparcontracting für Nicht-Wohngebäude → kleine Rolle

**g. Vorarlberg**

Contracting, besonders Einsparcontracting spielte bisher eine untergeordnete Rolle. Es treten jedoch verstärkt Firmen am Vorarlberger Markt auf die Angebote für Wärmecontracting anbieten.

**Frage 16: Gibt es eine Definition des Begriffs „Energiearmut“ und eine Quantifizierung der Anzahl an Haushalten, die von Energiearmut betroffen sind?**

**a. Baden-Württemberg**

Es gibt keine offizielle Definition der Bundesregierung vor. Die unter Frage 21 genannten Studien quantifizieren energiearme Haushalte über Hilfsgrößen, etwa die Zahl der von Stromsperrungen betroffenen Haushalte. Die Bundesregierung „verfolgt zur Armutsbekämpfung im Sozialrecht einen umfassenden Ansatz, der sich nicht auf einzelne Bedarfselemente – wie Energie – konzentriert.“ (LTRS 2020, [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/langfristige-renovierungsstrategie-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/langfristige-renovierungsstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=6))

**b. Bayern**

Es ist keine Definition und auch keine Anzahl von Haushalten, die betroffen sind, bekannt.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Eine allfällige Energiearmut wird mit der generellen Thematik Armut über die Sozialsysteme abgedeckt.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Das Bundesamt für Wohnungswesen hat den Sachverhalt analysiert und publiziert (Studie «Zusammenhang zwischen Einkommens- und Energiearmut sowie die Folgen energetischer Sanierungen für vulnerable Gruppen. Eine qualitative Analyse, 2019).

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Nein.

**g. Vorarlberg**

Es gibt seitens der EU die EMPFEHLUNG (EU) 2020/1563 DER KOMMISSION vom 14. Oktober 2020 zu Energiearmut.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020H1563&from=EN>

Aktuelle Auswertungen zur Energiearmut in Österreich finden sich in einer Studie der Statistik Austria. Die Daten liegen nicht regionalisiert nach Bundesländern vor.

[file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/energiearmut\\_in\\_oesterreich\\_2016-2.pdf](file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/energiearmut_in_oesterreich_2016-2.pdf)

**Frage 17: Gibt es Initiativen, mit denen privates Kapital für die Sanierung von Gebäuden und den Ersatz fossiler Wärmeversorgungsanlagen lukriert wird? („Green finance“)**

**a. Baden-Württemberg**

Nein, nicht auf Bundesebene, sondern nur im privatwirtschaftlichen Kontext.

**b. Bayern**

Bislang sind keine regionalen Projekte bekannt. Öffentliche Crowdfunding-Projekte sind im Internet zu finden (bundesweit).

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Nicht in nennenswertem Umfang bekannt.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die Stiftung «Klick» (private Stiftung der Erdölvereinigung) finanziert im großen Stil den Ersatz von fossilen Wärmeerzeugungsanlagen.

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Nein.

**g. Vorarlberg**

Derzeit nur im privatwirtschaftlichen Kontext.

**Frage 18: Gibt es neben der Förderung für relativ kapitalintensive Maßnahmen wie den Austausch des Wärmeerzeugers und/oder die Verbesserung der Hüllqualität auch Förderungen für kleinere Maßnahmen wie Pumpentausch, hydraulischen Abgleich, Einbau Dusch-WRG...)?**

**a. Baden-Württemberg**

Ja, die derzeitige Förderung der Heizungsoptimierung fördert hydraulischen Abgleich und Pumpentausch. Sie wird im Rahmen des geplanten BEG weitergeführt und erweitert werden. Auch die Fördermindstgrenze von 300 € soll vermutlich abgeschafft werden.

Im Rahmen der Kleinserien-Innovationsförderung des BMU werden daneben auch Dusch-WRG speziell gefördert.

**b. Bayern**

Wie a.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Gibt es, wenn jemand ein Programm dafür auflegt und viele kleine Maßnahmen summiert beantragt. Auf die Administrierung von kleinteiliger Förderung wird verzichtet, da das Kosten/ Nutzen- Verhältnis ungünstig ist. Bisher nur wenig Aktivität in diesem Bereich festgestellt, obwohl das System mit Förderbetrag ist = Einsparung über 10 Jahre mal 3Rp/kWh sehr einfach gehalten ist. Größere Maßnahmen (LED, WRG, Prozessoptimierung etc.) werden hingegen über diesen Ansatz sehr häufig beantragt.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Es gibt auf nationaler Ebene unterschiedliche Fördermöglichkeiten für Druckluftanlagen, Pumpenanlagen, Kälteanlagen und Weiterbildung im Energiebereich ([www.energieschweiz](http://www.energieschweiz.ch)).

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Ja.

**g. Vorarlberg**

Seitens des Landes gibt es keine Förderungen für Kleinkomponenten. Die Förderung solcher Komponenten erfolgt im Rahmen des Energieeffizienzgesetzes durch die dazu verpflichteten Energieversorger (z.B. Umwälzpumpentausch, wassersparende Armaturen, Weißwaren, effiziente Beleuchtung LED).

**Frage 19: Gibt es Informationskampagnen, um Hausbewohnern ein Gefühl für ihre Energieverbräuche und – kosten zu vermitteln?**

**a. Baden-Württemberg**

Ja, es gibt zahlreiche Informationskampagnen, u. a.:

- Die deutschlandweite Kampagne „Deutschland machts effizient“ (BMWi);
- Die verschiedenen Landeskampagnen der Verbraucherzentralen inkl. niederschwelliger Beratungsangebote;
- Jeweilige Beratungsangebote von nationalen, länder- und regionalen Energieagenturen
- Klimaschutzkampagne des BMU

**b. Bayern**

Ja, Energieberatungen in den regionalen Energieberatungsstellen und an den Gebäuden vor Ort z.B. Check dein Haus. Die Durchführung erfolgt vorwiegend durch die Energieagenturen und die Verbraucherzentralen.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Ja, im Radio, TV, Presse, Messen, Rundschreiben, Vorträge usw.

Alle Zählerdaten Strom (100% Smartmeterausbau Strom) können kostenlos über ein Onlineportal ausgelesen werden. Monats und Tageswerte sind kostenlos. 15-Min.-Werte mit kleinem Aufpreis erhältlich.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die Information erfolgt über den «Verein Energie AR/AI».

**e. St. Gallen**

Die Information erfolgt über die «energieagentur St. Gallen».

**f. Zürich**

Ja.

**g. Vorarlberg**

Informationskampagnen gibt es sowohl auf Bundes-, als auch auf Landesebene. In Vorarlberg ist das Energieinstitut Vorarlberg ein zentraler Akteur, ein wichtiger „Vertriebskanal“ ist das Gemeindeprogramm e<sup>5</sup>.

**Frage 20: Gibt es ein Monitoring der tatsächlichen Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der damit verbundenen THG-Emissionen des Gebäudesektors mit den politischen Zielwerten? Wenn ja: auf welcher politischen Ebene?**

**a. Baden-Württemberg**

Ja, im Rahmen des Monitorings der Energiewende und der entsprechenden Monitoring-Kommission werden diese Zahlen erfasst.

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/monitoring-prozess.html>.

Der Expertenrat für Klimafragen des Bundesumweltministeriums begleitet zudem speziell die Entwicklung der THG-Emissionen.

**b. Bayern**

Ja, manche Landkreise und Kommunen beauftragen externe Dienstleister, z.B. eza!, mit der Erstellung von Energie- und THG-Bilanzen. Die Ergebnisse werden dann mit den Zielwerten, soweit vorhanden, verglichen. Kommunen, die am European Energy Award (eea) teilnehmen lassen sich i.d.R. alle 4 bis 5 Jahre eine aktualisierte Energie- und THG-Bilanz zur Erfolgskontrolle erstellen. Kommunen, welche den Prozess starten, lassen sich zunächst eine Bilanz erstellen und formulieren nach deren Kenntnis quantifizierte energiepolitische Ziele. Im Rahmen eines Energiewende-Monitorings wird alle 5 bis 6 Jahre versucht eine allgäuweite Energie- und THG-Bilanz zu erstellen, welche aus den Einzelbilanzen der vier Allgäuer Landkreise und der drei kreisfreien Städte gebildet wird.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Das Monitoring erfolgt über alle Energieanwendungen mit der ES2020 sowie über die Energiestatistik und den Treibhausgasbericht für FL.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Gemäss CO<sub>2</sub>-Verordnung müssen die Kantone dem Bundesamt für Umwelt alle zwei Jahre die Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Gebäude (Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude) rapportieren. Aktuell liegt die Berichterstattung für die Jahre 2016-2018 vor. Die nächste Berichterstattung erfolgt im Jahr 2022 für die Jahre 2019 und 2020. 22 Kantone haben sich dabei für eine gemeinsame Plattform entschieden (ECOSPEED Immo). Bei den Mitgliedern der IBK nutzen bis auf der Kanton Schaffhausen alle Kantone diese Plattform.

**e. St. Gallen**

Siehe d.

**f. Zürich**

Siehe d.

**g. Vorarlberg**

Ja. Ein Monitoring gibt es sowohl auf Landesebene <https://www.energieautonomie-vorarlberg.at/de/das-monitoring>, als auch auf Bundesebene. Neben dem internationalen Reporting der Treibhausgasemissionen <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0724.pdf> gibt es jährliche Nutzenergieanalysen, die von der Statistik Austria veröffentlicht werden [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie-umwelt-innovation-mobilitaet-energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie-umwelt-innovation-mobilitaet-energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html).

**Frage 21: Gibt es einen mittelfristigen Plan zur Gestaltung der Fördergelder?**

**a. Baden-Württemberg**

Es gibt keinen langfristigen Plan über die Haushaltsfestlegungen hinaus. Die BMWi-Förderstrategie hat 2017 ein grundlegendes Konzept für die Entwicklung der Förderinstrumente entwickelt. Für die einzelnen Programme sind in verschiedenen Dokumenten Größenordnung des Förderabrufs berichtet (MAP: 500 Mio. €/a; Energieeffizient Bauen und Sanieren rd. 2,5 Mrd €/a; Bundesprogramm Effiziente Wärmenetze 1,8 Mio. € in 4 Jahren). Der tatsächliche Mittelabruf ist geringer.

Mittelabfluss in Euro in den Jahren 2010 bis 2020 (Stand 31. Juli 2020)

Jahr	Markteinführungsprogramm	CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramm
2010	307.278.988	634.562.000
2011	199.404.242	738.639.000
2012	274.736.103	834.033.000
2013	293.202.287	699.480.000
2014	225.837.436	1.065.919.000
2015	166.581.048	1.123.352.000
2016	248.683.654	1.266.783.379
2017	256.110.133	1.437.340.329
2018	218.519.913	1.832.621.764
2019	253.494.900	1.960.198.566
2020	164.235.814	1.300.838.418

**Abbildung 106: jährlicher Mittelabruf aus dem Markteinführungsprogramm und dem CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm**

**b. Bayern**

Nein, nicht auf regionaler Ebene. Landkreise und Kommunen entscheiden i.d.R. zeitnah und bedarfsorientiert, welche zusätzlichen Förderungen den Bürgern angeboten werden.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Ja. Die Summe ist für alle Maßnahmen budgetiert. Jährlich stehen neu für 2021 CHF 5 Mio. zur Verfügung.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Die bestehenden Fördermodelle sollen fortgeführt werden.

**e. St. Gallen**

Die bestehenden Fördermodelle sollen fortgeführt werden.

**f. Zürich**

Das hängt von vielen Faktoren ab. Z.B. wie sich die übrige Förderlandschaft entwickelt (Stiftung KliK, Bundesförderungen im Rahmen des neuen CO<sub>2</sub> Gesetzes, etc.) oder wie das jetzige Förderprogramm genutzt wird.

**g. Vorarlberg**

Die Förderungen werden in der Regel über zwei Jahre beschlossen und richten sich nach den im Landesbudget zur Verfügung gestellten Mitteln.

**Frage 21: Gibt es Untersuchungen zum Thema Energiearmut in der Region?**

**a. Baden-Württemberg**

Es gibt verschiedene Studien, u. a.

[https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.523073.de/diw\\_sp0811.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.523073.de/diw_sp0811.pdf),

[https://www.boeckler.de/pdf\\_fof/97606.pdf](https://www.boeckler.de/pdf_fof/97606.pdf),

[https://www.uni-heidelberg.de/md/sai/wiw/masterarbeit\\_homepage.pdf](https://www.uni-heidelberg.de/md/sai/wiw/masterarbeit_homepage.pdf),

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/analyse-der-unterbrechungen-der-stromversorgung-nach-19-abs-2-stromGVV.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/analyse-der-unterbrechungen-der-stromversorgung-nach-19-abs-2-stromGVV.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

Speziell für Baden-Württemberg gibt es nach Kenntnis der Autoren keine weiteren Analysen.

**b. Bayern**

Bislang nicht bekannt.

**c. Fürstentum Liechtenstein**

Nein.

**d. Appenzell- Innerrhoden**

Nein.

**e. St. Gallen**

Nein.

**f. Zürich**

Nein.

#### **g. Vorarlberg**

In Vorarlberg wird Personen bzw. Haushalten mit geringen Einkommen seit 2002 ein Heizkostenzuschuss gewährt. Die Abwicklung erfolgt über die Gemeinden und Bezirkshauptmannschaften.

[https://vorarlberg.at/web/land-vorarlberg/contentdetailseite/-/asset\\_publisher/qA6AJ38txu0k/content/heizkostenzuschuss?article\\_id=28558](https://vorarlberg.at/web/land-vorarlberg/contentdetailseite/-/asset_publisher/qA6AJ38txu0k/content/heizkostenzuschuss?article_id=28558)

Im Ökostromgesetz gilt eine Gebührenbefreiung für Personen, die von der GIS-Gebühr befreit sind.

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007906>

## **6 Hemmnisse**

In diesem Kapitel werden die Haupthemmnisse aufgezeigt, die dafür verantwortlich sind, dass die Ziele der Reduktion des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen bislang nur unzureichend erreicht wurden.

### **6.1 Festlegung von Zielen für die Sanierungs- und Kesselaustauschrates ohne Definition und ohne Monitoring**

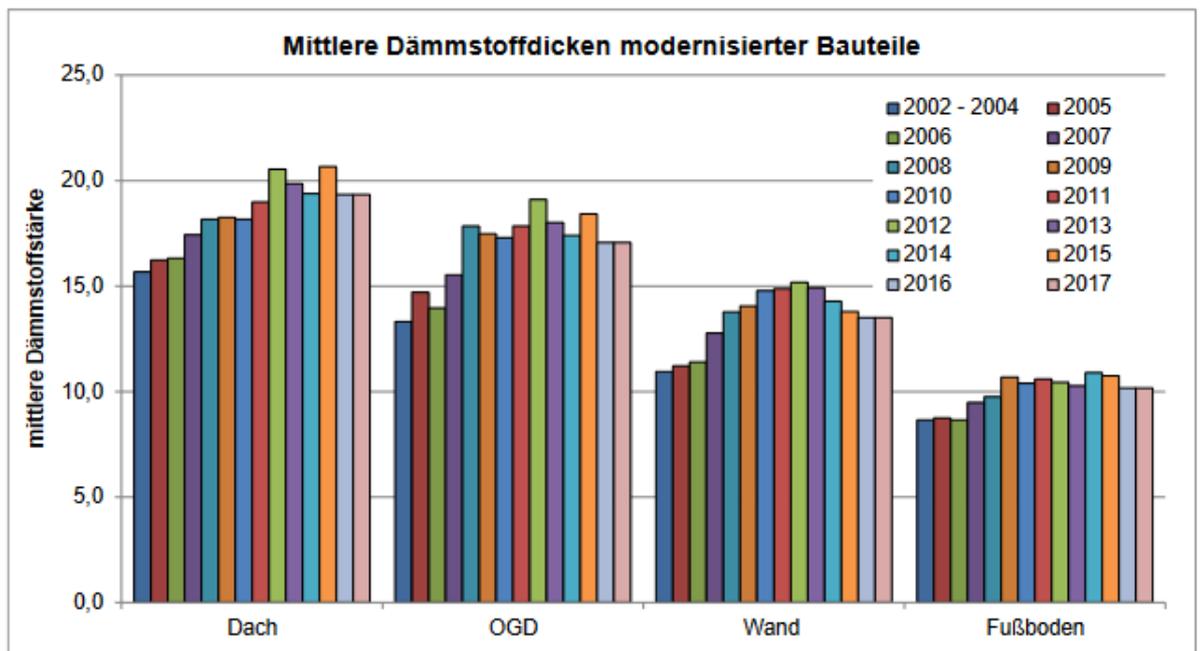
Ein banales Hemmnis für die Umsetzung höherer Sanierungs- und Kesselaustauschrates ist die Tatsache, dass diese zentralen Steuergrößen – zumindest in Österreich - nicht einheitlich definiert und nur unzureichend statistisch erfasst werden. Ohne eindeutige Definition und ohne detailliertes Monitoring ist keine Erfolgskontrolle und keine Steuerung des langfristigen Transformationsprozesses der Dekarbonisierung des Gebäudeparks möglich.

#### **6.1.1 Definition der Begriffe Sanierungs- und Kesselaustauschrates**

Aus Sicht des Energieinstitut Vorarlberg wäre es sinnvoll, Sanierungs- und Kesselaustauschrates wie folgt zu definieren:

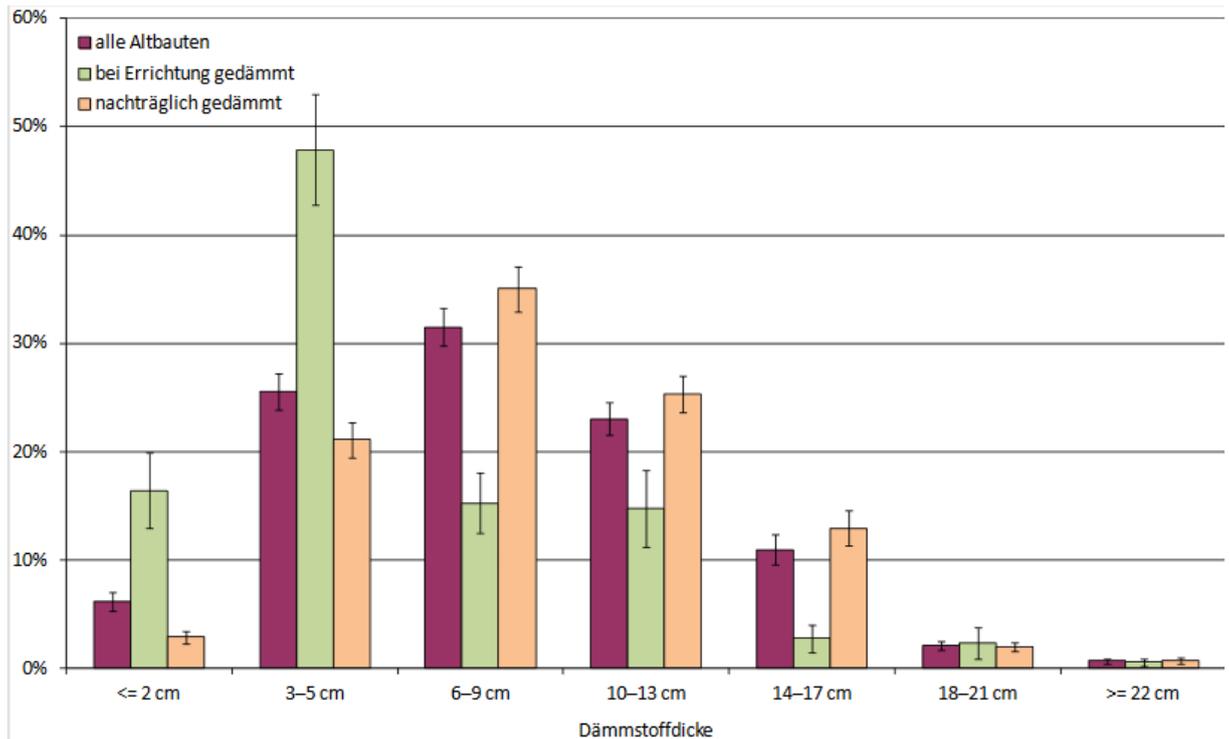
1. Die Sanierungsrate bezieht sich auf die thermische Gebäudehülle mit ihren Bauteilen Außenwand, Dach/oberste Geschoßdecke, Bodenplatte/Kellerdecke und Fenster. Getrennt von der Sanierungsrate für die thermische Gebäudehülle wird die Kesselaustauschrates bestimmt.
2. Die Sanierungsrate wird auf die Gesamtanzahl aller Haupt- und Nebenwohnsitzwohnungen einer Region zum jeweiligen Zeitraum bezogen. Eine Beschränkung der Grundgesamtheit auf Gebäude, die ein gewisses Alter haben (z.B. älter als 20 Jahre) erscheint nicht sinnvoll, da die energetische Gebäudesanierung ein Dauerthema ist und jedes Gebäude – auch jeder Neubau - nach Ablauf der technischen Lebensdauer seiner Bauteile ein "Sanierungsfall" sein wird.

3. Die Kesselaustauschrage wird auf die Gesamtanzahl aller Wärmeerzeuger (inkl. Fernwärmeanschlüsse) bezogen. Alternativ kann die Rate auch auf die Anzahl der Wohneinheiten bzw. die Wohnfläche bezogen werden.
4. Um auch die Sanierung von Einzelbauteilen zu berücksichtigen, werden eigene Werte der Sanierungsrate für jedes Element der Gebäudehülle (Außenwand, Dach/oberste Geschossdecke, Kellerdecke/Bodenplatte, Fenster) bestimmt [81]. Zusätzlich werden auch die energetischen Qualitäten verschiedener Maßnahmen ausgewertet, etwa in den jährlichen Monitoringberichten zur KfW-Förderung für die Gebäudesanierung in Deutschland [82].



**Abbildung 107: Auswertung der Entwicklung der mittleren Dämmstoffdicken modernisierter Bauteile in KfW-geförderten Sanierungen [82]**

Durch die verschiedenen Datenerhebungen und Auswertungen von Förderprogrammen sind in Deutschland inzwischen sehr detaillierte Daten nicht nur zur Häufigkeit von Sanierungsmaßnahmen (Sanierungsrate, Kesselaustauschrage) verfügbar, sondern auch zu ihrer Qualität.



**Abbildung 108: Dämmstoffdicken der Außenwanddämmung im Altbau bis Baujahr 1978 danach, ob die Dämmung bei Errichtung oder nachträglich angebracht wurde (alle Arten der Dämmung)** [81]

Derartige Daten sind eine unabdingbare Voraussetzung für die Durchführung von belastbarer Szenarienstudien zur Entwicklung des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Regionen und Staaten.

- Die Sanierungsrate für die Gebäudehülle sollte entsprechend dem Vorschlag des Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, als flächengewichtete Wärmeschutz-Modernisierungsrate ermittelt, die sich aus den flächengewichteten Einzelraten der vier Bauteile Außenwand, Dach/oberste Geschosdecke, Kellerdecke/Bodenplatte und Fenster ergibt. Die Sanierungen der vier Bauteile werden entsprechend der folgenden Gewichtungsfaktoren berücksichtigt [81]:

- Außenwand 40%
- Dach/oberste Geschosdecke 28%
- Fußboden/Kellerdecke 23%
- Fenster: 9%

Die genannten Gewichtungsfaktoren entsprechen den prozentualen Anteilen der Einzelbauteile an der Gesamtsumme aller Bauteilflächen im dt. Wohngebäudebestand 2009 nach den Ansätzen des IWU-Wohngebäude-Bestandsmodells. Alternativ kann die Gewichtung auch nach dem mittleren Anteil der einzelnen Bauteile an der Gesamteinsparung durch die Sanierung der gesamten Gebäudehülle vorgenommen werden. Auch hierzu gibt es einen gut ausgearbeiteten, auf die dt. Gebäudetypologie gestützten Vorschlag des IWU.

### 6.1.2 Verfahren zur Festlegung realistischer Ziele für die Sanierungsrate

Energetische Gebäudesanierungen und der Kesselaustausch sind betriebswirtschaftlich vorteilhaft, wenn sie mit ohnehin anstehenden Maßnahmen an Bauteilen und Kessel kombiniert werden: Die nachträgliche Außendämmung ist dann am wirtschaftlichsten, wenn sie zu dem Zeitpunkt durchgeführt wird, an dem ohnehin eine Maßnahme wie ein Neuanstrich oder Putzausbesserungen durchgeführt werden müssen.

Der Austausch eines Kessels ist dann betriebswirtschaftlich vorteilhaft, wenn er ohnehin das Ende seiner technischen Lebensdauer erreicht hat.

Die betriebswirtschaftlich optimale Sanierungsrate für die Gebäudehülle und Kesselaustauschrate können daher aus den mittleren technischen Lebensdauern der einzelnen Bauteile bzw. des Kessels bestimmt werden.

Die folgende Abbildung verdeutlicht dies am Beispiel der Sanierungsrate der Gebäudehülle

Element der Gebäudehülle	mittlere technische Lebensdauer	resultierende Sanierungsrate	flächengewichteter Anteil an der Gesamt-Hüllfläche
	Jahre		Prozent
Außenwand	50	2,0%	40
Dach/oberste Geschoßdicke	60	1,66%	28
Kellerdecke/Bodenplatte	75	1,33%	23
Fenster	40	2,5%	9
<b>betriebswirtschaftlich optimale, flächengewichtete Sanierungsrate der Gebäudehülle</b>			<b>1,80%</b>

**Abbildung 109: Abschätzung der betriebswirtschaftlich optimalen, flächengewichteten Modernisierungsrate der Gebäudehülle [83]**

In der Abbildung sind die betriebswirtschaftlich optimalen Sanierungsraten der vier Hauptbauteile der Gebäudehülle dargestellt. Bei einer angenommenen mittleren technischen Lebensdauer der Außenwand von 50 Jahren ergibt sich für dieses Bauteil eine Sanierungsrate von 2%. Bei einer Gewichtung der einzelnen Bauteile nach ihrem mittleren Anteil an der Gesamthüllfläche von Gebäuden ergibt sich eine betriebswirtschaftlich optimale, flächengewichtete Sanierungsrate der Gebäudehülle von 1,8%. Für Vorarlberg mit einem Wohngebäudebestand von etwa 182.000 Wohneinheiten (Haupt- und Nebenwohnsitze) bedeutet die o.g. flächengewichtete Modernisierungsrate der Gebäudehülle von 1,8% p.a., dass flächengewichtet die Gebäudehüllen von 3.276 Wohneinheiten pro Jahr energetisch saniert werden müssten. Aus den wirtschaftlich optimalen Sanierungsraten ergeben sich die in der folgenden Abbildung aufgeführten jährlich zu sanierenden Bauteilflächen.

Bauteil	Bauteilfläche	mittlere Nutzungsdauer	resultierende Sanierungsrate	Anzahl der Wohneinheiten, in denen das Bauteil pro Jahr zu sanieren ist	Jährlich zu sanierende Bauteilfläche
Einheit	m <sup>2</sup>	Jahre	%	Stück p.a.	m <sup>2</sup> /a
Außenwand	26.600.000	50	2,0%	3.632	532.000
Steildach	11.016.000	80	1,25%		137.700
Flachdach	4.080.000	40	2,5%		102.000
Fenster	3.800.00	40	2,5	4.540	95.000

**Abbildung 110: Abschätzung der jährlich zu sanierenden Bauteilflächen bei Umsetzung der betriebswirtschaftlich optimalen Sanierungsrate der Gebäudehülle [83]**

Wie die Abbildung verdeutlicht, müssten bei Umsetzung der betriebs- und volkswirtschaftlich optimalen Sanierungsrate jährlich sehr große Flächen aller Bauteile saniert werden.

### 6.1.3 Verfahren zur Festlegung realistischer Ziele für die Kesselaustauschrategie

Analog zum Vorgehen bei der Festlegung realistischer Ziele für die Sanierungsrate können realistische Ziele für die Kesselaustauschrategie aus der mittleren technischen Lebensdauer von Kesseln bestimmt werden. Setzt man diese mit 20 bis 30 Jahren an, so ergeben sich Kesselaustauschraten zwischen 5% und 3,33% pro Jahr.

Bei einem Bestand von ca. 182.000 Wohneinheiten in Vorarlberg bedeutet dies, dass jährlich die Wärmeerzeuger für etwa 6.000 bis 9.000 Wohneinheiten ausgetauscht werden müssen.

Bei einem Bestand von etwa 80.000 Wärmeerzeugern in Wohngebäuden in Vorarlberg (Hauptheizsysteme) müssten pro Jahr zwischen 2.640 und 4.000 Wärmeerzeuger ausgetauscht werden.

## 6.2 Imageprobleme

Ein Grund für die geringe Renovierungsrate sind Imageprobleme der energetischen Gebäuderenovierung sein. Während vor einigen Jahren noch die positiven Medienberichte überwogen (Altbaurenovierung als wichtiger Teil der Klimaschutzbemühungen), hat sich der Tenor vieler Berichte der Populär- und der Fachmedien in den vergangenen Jahren deutlich verändert: Presseartikel wie „Die Volksverdämmung“ [84], Fernsehberichte wie „Verdämmt und zugeklebt“ [85] stellen die energetische Gebäuderenovierung zunehmend als unwirtschaftlich dar und kritisieren dabei vor Allem die Außenwanddämmung mit dem meist angewandten Dämmstoff Polystyrol. Analysiert man die Medienberichte, die der energetischen

Gebäuderenovierung kritisch gegenüberstehen, so zeigen sich die folgenden Hauptkritikpunkte:

- die vorausberechneten Energieeinsparungen werden in der Praxis nicht erreicht
- die Dämmung benötigt mehr Herstellungsenergie als sie einspart
- die Dämmung ist giftig
- Entsorgung und Recycling von Dämmstoffen sind ungeklärt
- die energetische Renovierung verursacht Schimmel in Gebäuden

Die kritische Berichterstattung führt zu einer Verunsicherung potenzieller Sanierer, auch wenn die meisten der in den Medien verbreiteten Kritikpunkte fachlich nicht haltbar sind, wie die nachfolgende Analyse zeigt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Hautkritikpunkte grob analysiert.

### **Herstellung der Dämmung benötigt mehr Energie, als im Betrieb eingespart wird**

Wie zahlreiche übereinstimmende wissenschaftliche Studien belegen wird der Herstellungsenergieaufwand von Dämmung aus Polystyrol und anderen Dämmstoffen innerhalb kürzester Zeit durch die Energieeinsparung im Betrieb kompensiert. Wie die folgende Abbildung zeigt, liegt die energetische Amortisationszeit bei einem Ausgangs-U-Wert von  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  je nach Dämm-Material und Dämmstoffdicke zwischen etwa einem Monat und etwa zwei Jahren, in wenigen Ausnahmefällen bei bis zu 5 Jahren.

Dämmstoff	U= 1,4 W/(m <sup>2</sup> K) auf...					
	... U = 0,24 W/(m <sup>2</sup> K) (EnEV 09)		... U = 0,18 W/(m <sup>2</sup> K) (NEH)		... U = 0,10 W/(m <sup>2</sup> K) (Potential)	
	dämmstoff	Amorti- sations- zeit	dämmstoff	Amorti- sations- zeit	dämmstoff	Amorti- sations- zeit
Zellulosematten	14	0,5	20	0,7	38	1,3
Zelluloseflocken	14	0,1	20	0,1	38	0,2
Hanf (mit Stützfaser)	14	0,2	20	0,3	38	0,5
WF (Trockenverfahren)	14	0,5	20	0,6	38	1,1
WF (Nassverfahren)	14	0,7	20	0,9	38	1,6
Schaumglas I	14	0,7	20	0,9	38	1,7
Schaumglas II	19	1,9	27	2,6	52	4,7
Glaswolle I	14	0,2	20	0,2	38	0,4
Glaswolle II	13	0,2	17	0,3	33	0,6
Glaswolle III	12	0,3	16	0,4	30	0,8
Steinwolle I	14	0,4	20	0,5	38	0,8
Steinwolle II	13	0,7	17	1,0	33	1,7
Steinwolle III	14	1,9	20	2,5	38	4,5
XPS	12	0,3	16	1,7	31	3,0
EPS grau	11	0,3	16	0,4	30	0,7
EPS weiß I	14	0,4	20	0,5	38	0,9
EPS weiß II	13	0,5	17	0,6	33	1,1
PU I	10	0,9	14	1,2	26	2,1
PU II	8	0,8	12	1,0	22	1,9
VIP	2,5	0,4	3,5	0,5	6,5	1,0

**Abbildung 111: Dämmstoffdicke und energetische Amortisationszeit ausgewählter Dämmstoffe beim Einsatz an Außenwänden mit Ausgangs-U-Wert 1,4 W/m<sup>2</sup>K [86]**

Wie die Abbildung zeigt, liegt die energetische Amortisationszeit von grauem EPS (Polystyrol) selbst bei 30cm Dicke bei 0,7 Jahren. Die Dämmung spart daher im Laufe ihrer Lebensdauer ein Vielfaches der eingesetzten Energie wieder ein.

Die Studie zeigt auch, dass Polystyrol eine geringere energetische Amortisationszeit hat, als viele andere Dämmstoffe. So liegt etwa der Vergleichswert von 30cm dicken Holz-Weichfaserplatten je nach Herstellungsverfahren bei 1,1 bis 1,6 Jahren.

### Dämmung ist giftig

Ein weiterer Kritikpunkt bezüglich der Dämmung aus Polystyrol ist, dass diese giftige Inhaltsstoffe enthalte. Die Kritik bezieht sich hauptsächlich auf das Flammschutzmittel

Hexabromcyclododekan (HBCD). Dieser Stoff ist giftig für Gewässerorganismen, z.B. Algen und ist langlebig, da er in der Umwelt schlecht abgebaut werden kann. HBCD ist daher nach der europäischen Chemikalienverordnung REACH als „besonders besorgniserregender Stoff“ eingestuft.

Die Hersteller haben auf die Kritik am bislang eingesetzten Flammschutzmittel reagiert und ersetzen es seit 2015 durch ein unbedenklicheres Flammschutzmittel [87].

### **Entsorgung und Recycling von Dämmstoffen ist ungeklärt**

Die Frage der Entsorgung und des Recyclings von Dämmstoffen wird in der Forschung erst seit relativ kurzer Zeit untersucht. Einen guten Überblick zum Thema vermittelt eine Studie des Fraunhofer Instituts für Bauphysik aus dem Jahr 2014 [88]. Die Studie kommt u.a. zu den folgenden Einschätzungen:

- Der Anteil des EPS (Polystyrol) am Abfallaufkommen der „übrigen Bau- und Abfallprodukte“ in Deutschland liegt derzeit mit 0,2% noch niedrig, für die kommenden Jahre ist jedoch mit einem Anstieg der Mengen zu rechnen
- „Das Abfallaufkommen an EPS ist momentan gering, wird aber in den nächsten Dekaden ansteigen. In der Übergangsphase, bis sich andere Verwertungsverfahren etabliert und den Nachweis für ein sicheres Ausschleusen von HBCD erbracht haben, sollte auf die energetische Verwertung zur Ausschleusung von HBCD haltigen EPS z.B. in einer kommunalen Müllverbrennungsanlage zurückgegriffen werden. Durch die große Anzahl der kommunalen Müllverbrennungsanlagen, zurzeit ca. 80 Anlagen, die über die gesamte Bundesrepublik verteilt sind, kann die Zerstörung von HBCD sicher und ohne großen Transportaufwand bewerkstelligt werden. Aufgrund der hohen Kapazität der Anlagen (> 20 Mio. Tonnen pro Jahr) können auch die in Zukunft zu erwartenden Mengen an EPS-Abfall verwertet werden.“
- „Das Abfallregime in Deutschland favorisiert die Abfallvermeidung. Bei WDVS bedeutet dies, bestehende Systeme, wo dies technisch möglich und ökonomisch und ökologisch sinnvoll erscheint, aufzudoppeln.“
- In den vergangenen Jahren haben die Entwicklungen leicht trennbarer Dämmstoffverfahren und stofflichem Recycling u. a. von EPS an Fahrt aufgenommen (siehe <https://www.ifeu.de/projekt/bewertung-von-daemmstoffalternativen/>).

### **Die energetische Renovierung verursacht Schimmel in Gebäuden**

Die außenseitige Wärmedämmung von Wänden führt zu einer Erhöhung der Temperatur der raumseitigen Wandoberflächen. Dadurch wird das Risiko feuchtebedingter Schimmelschäden gesenkt.

In gut geplanten hochwertigen Gebäuderenovierungen werden Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung, zumindest jedoch Abluftanlagen eingesetzt. Durch den kontinuierlichen, bedarfsgerechten Luftwechsel wird die Raumluftfeuchte im Winter bei Werten von 30 bis 50% gehalten, so dass das Schimmelrisiko sinkt.

Ganzheitlich geplante energetische Sanierungen führen demnach zu einer signifikanten Reduktion des Risikos feuchtebedingter Schimmelschäden.

### **6.3 Mangelndes Problembewusstsein der Hausbesitzer**

Hausbewohner kennen sehr oft weder ihren Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser sowie Haushaltsstrom noch die damit verbundenen Kosten. Noch weniger können sie den eigenen Verbrauch einordnen. Das eigene Gebäude wird selten als energetisch schlecht wahrgenommen. Eine repräsentative Umfrage mit 1.580 Befragten in Luxemburg kam im Jahr 2015 zu dem Ergebnis, dass 41% der Personen, die sich eine energetische Sanierung ihres Gebäudes nicht vorstellen können, als Grund angaben, das Haus sei energetisch in Ordnung. Die Antwort war damit gleichauf mit monetären Argumenten der Hauptgrund für die Entscheidung nicht zu sanieren [89].

### **6.4 Fehlende Sanierungsrücklagen**

Geld wird für Urlaub, Auto, Konsumgüter ausgegeben, Rücklagen für Sanierungen (allgemeine sowie energetische) werden – wenn überhaupt – nur in zu geringer Höhe gebildet.

### **6.5 Organisatorische Probleme**

Neben technischen, finanziellen und Motivationsgründen können auch organisatorische Probleme ein Hemmnis bei der Entscheidung für eine energetische Gebäuderenovierung sein. Wichtige Einzelaspekte sind:

- Organisatorischer Aufwand zur Koordination der verschiedenen Gewerke bei umfassenden Renovierungen
- Belästigung der Bewohner bei Renovierung im bewohnten Zustand

## **6.6 Rechtliche Hemmnisse**

Bei der Entscheidung für eine energetische Gebäudesanierung können auch rechtliche Hemmnisse eine Barriere darstellen. Wichtige Einzelaspekte sind hier:

- Entscheidungsprozesse in Eigentümergemeinschaften
- Kommunale Bauverordnungen

### **6.6.1 Entscheidungsprozesse in Eigentümergemeinschaften**

Ein Hindernis für die Entscheidung für eine energetische Sanierung können in Gebäuden von Eigentümergemeinschaften die Mehrheitsquoten sein. Wird etwa Einstimmigkeit verlangt, um Investitionsentscheidungen zu treffen, so sind diese nur sehr schwer durchsetzbar.

### **6.6.2 Bauordnungen**

In den Bauordnungen fehlen oftmals Spielräume für die Anbringung von Wärmedämmung an Außenwänden bei Überschreitung der Abstandsflächen. Eine ähnliche Restriktion kann bei Überschreitung der Trauf- und Firsthöhe bei der nachträglichen Dämmung von Dächern auftreten. Werden im Nachbarrecht Ausnahmeregelungen für das Überschreiten von Abstandsflächen und der Baugrenzen für das Anbringen von Außenwanddämmung rechtlich verankert, ist dieses Hemmnis beseitigt. Derartige Ausnahmeregelungen gibt es derzeit in mindestens 7 deutschen Bundesländern sowie in Vorarlberg.

## **6.7 Finanzielle Hemmnisse**

Finanzielle Aspekte sind eines der Haupthemmnisse für die Durchführung energetischer Renovierungen. Im Einzelnen lassen sich die finanziellen Hemmnisse differenzieren:

- hohe Immobilienpreise
- zu niedrige Rücklagen für Renovierungen
- erforderliche Vorfinanzierung
- lange Betrachtungszeiträume erforderlich
- niedrige Energiepreise
- Schwachstellen in Förderanreizen
- Nutzer- Eigentümer-Dilemma

### **6.7.1 Finanzierungengpässe: hohe Immobilienpreise**

Im großen Teilen des Bodenseegebiets sind die Immobilienpreise nach der Bankenkrise seit etwa 10 Jahren sehr stark gestiegen. Dies gilt nicht nur für Neubauten, sondern auch für einen großen Teil des Marktes an Gebrauchtimmobilen.

Da die Preissteigerungen in vielen Fällen über den durchschnittlichen Einkommenszuwächsen lag, müssen zunehmend höhere Anteile des Einkommens für den Kauf von Gebrauchtimmobilien eingesetzt werden. Das verbleibende Budget für (energetische) Sanierungen nimmt daher ab.

### **6.7.2 Zu niedrige Rücklagen für Renovierungen**

Eines der Hauptprobleme bei der Finanzierung von Renovierungsmaßnahmen ist die Tatsache, dass ein Großteil der Wohnungs- und Gebäudeeigentümer zu geringe Rücklagen bilden. Werden Gebäude in typischen Renovierungszyklen von 40 bis 50 Jahren umfassend saniert, so ist auch ohne Energiesparmaßnahmen mit Kosten von mehreren Hundert Euro pro Quadratmeter zu rechnen. Im Allgemeinen sparen weder Eigenheimbesitzer noch Besitzer von Eigentumswohnungen noch Wohnungsbaugesellschaften genug an, um die entstehenden Kosten ohne Kredite finanzieren zu können.

Die Deutsche Eigentümerverband Haus und Grund empfiehlt seit längerem, jährliche Sanierungsrücklagen von etwa 1,5% der Herstellungskosten als Sanierungsrücklage zurückzulegen <http://www.baulinks.de/webplugin/2006/1758.php4>.

Bei Herstellungskosten von 400.000 EUR bedeutet Rücklagen von 6.000 EUR pro Jahr oder 500 EUR/Monat. Derartige Rücklagen werden heute nur in sehr wenigen Fällen gebildet.

Das beste System zur Bildung von Sanierungsrücklagen in Deutschland und Österreich ist der als dritter Bestandteil der Miete von Wohnungen gemeinnütziger Wohnbauvereinigungen eingehobene Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag EVB. Die Höhe dieses verpflichtenden Beitrags ist im Österreichischen Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz WGG festgelegt - siehe folgende Abbildung.

Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag nach WGG § 14d Abs. 2 (i.d. Fassung der WGG-Novelle 2016, BGBl. I Nr. 157/2015), Stand: 1.4.2019	
Jahr nach Bezug	EVB gem. WGG-Nov. 2016; 4/2018 - 3/2020 Euro/m <sup>2</sup> und Monat
1	0,51
2	0,51
3	0,51
4	0,51
5	0,51
6	0,58
7	0,64
8	0,70
9	0,76
10	0,82
11	0,89
12	0,95
13	1,01
14	1,07
15	1,13
16	1,19
17	1,26
18	1,32
19	1,38
20	1,44
21	1,50
22	1,57
23	1,63
24	1,69
25	1,75
26	1,81
27	1,87
28	1,94
29	2,00
30ff	2,06

**Abbildung 112: Höhe des Erneuerungs- und Verbesserungsbeitrags im gemeinnützigen Wohnbau Österreichs** <https://www.gbv-aktuell.at/abc>

Wie zu erkennen steigt der EVB mit zunehmendem Gebäudealter von 0,51 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> pro Monat auf 2,06 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> pro Monat im 30. Jahr nach Bezug. Werden Rücklagen nach diesem Schema gebildet, so belaufen sich die Rücklagen für eine 80m<sup>2</sup>-Wohnung nach 30 Jahren auf etwa 34.000 EUR (ohne Berücksichtigung von Zins und Inflation).

Dies entspräche nach 30 Jahren Rücklagen von 426 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>. In der Praxis wird nach Auskunft einiger gemeinnütziger Wohnbauvereinigungen jedoch ein erheblicher Anteil der Rücklagen für kleinere Erhaltungs- und Schönheitsreparaturen ausgegeben, so dass die nach 30 Jahren für (energetische) Sanierungen tatsächlich zur Verfügung stehenden Mittel oft deutlich geringer ausfallen.

### 6.7.3 Kreditfinanzierung erforderlich

Die energetische Sanierung verlangt eine finanzielle Investition, die je nach Aufwand beträchtlich sein kann und vom Eigentümer bereitgestellt werden muss. Auch wenn Teile der Investitionen durch Förderungen bezuschusst werden, müssen große Teile der Kosten von umfassenden Sanierungen meist über Kredite finanziert werden. Dies kann gerade für ältere Besitzer von Einfamilienhäusern, die ihr Gebäude nach 30 bis 40 Jahren grundlegend sanieren wollen,

ein Problem sein, da Kredite mit zunehmendem Alter nur schwerer und zu schlechteren Kreditbedingungen zu erlangen sind.

Darüber hinaus ist es für viele ältere Hausbesitzer ein eher mentales Problem, einige Jahre nachdem das Haus abbezahlt ist, erneut Kredite aufzunehmen.

#### **6.7.4 Lange Betrachtungszeiträume erforderlich**

Energieeffizienzmaßnahmen an Gebäuden sind dann wirtschaftlich, wenn sie während ihrer technischen Lebensdauer die Gesamtkosten für Investition, Wartung und Instandhaltung sowie Energie senken. Aufgrund der langen technischen Lebensdauern der meisten Bauteile und Komponenten sowie der langen Finanzierungsdauern sollten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Gesamtanierungen daher für Betrachtungszeiträume von etwa 30 bis 40 Jahren durchgeführt werden. Während derartige Zeiträume für viele Bauherren oder für jüngere Käufer von Gebrauch-Immobilien plausibel sind, sind sie für ältere Haus- oder Wohnungsbesitzer verständlicherweise schwer vermittelbar. Wie eine Schweizer Studie auf der Basis von Befragungen von Einfamilienhaus-Besitzern zeigt, neigen ältere Hausbesitzer dazu, keine größeren Arbeiten am Gebäude mehr vorzunehmen, sondern nur noch Instandhaltungsarbeiten durchführen zu lassen.

Diese Einstellung ist durchaus rational: wichtige, langfristig wirksame Entscheidungen werden den Erben oder neuen Hausbesitzern überlassen; dies bedeutet für die Ausgestaltung von Förderprogrammen, dass sie, wenn möglich auf den Zeitpunkt eines Eigentümerwechsels abzielen und genau zu diesem Zeitpunkt hohe Förderanreize setzen sollten. Dies umso mehr, als zum Zeitpunkt des Besitzerwechsels auch andere, nicht energetische Maßnahmen wie Grundrissanpassungen, Anbauten und Aufstockungen, und zukünftig evtl. verstärkt auch die Teilung großer Gebäude in mehrere Wohneinheiten durchgeführt werden, mit denen die energetischen Maßnahmen gekoppelt werden sollten.

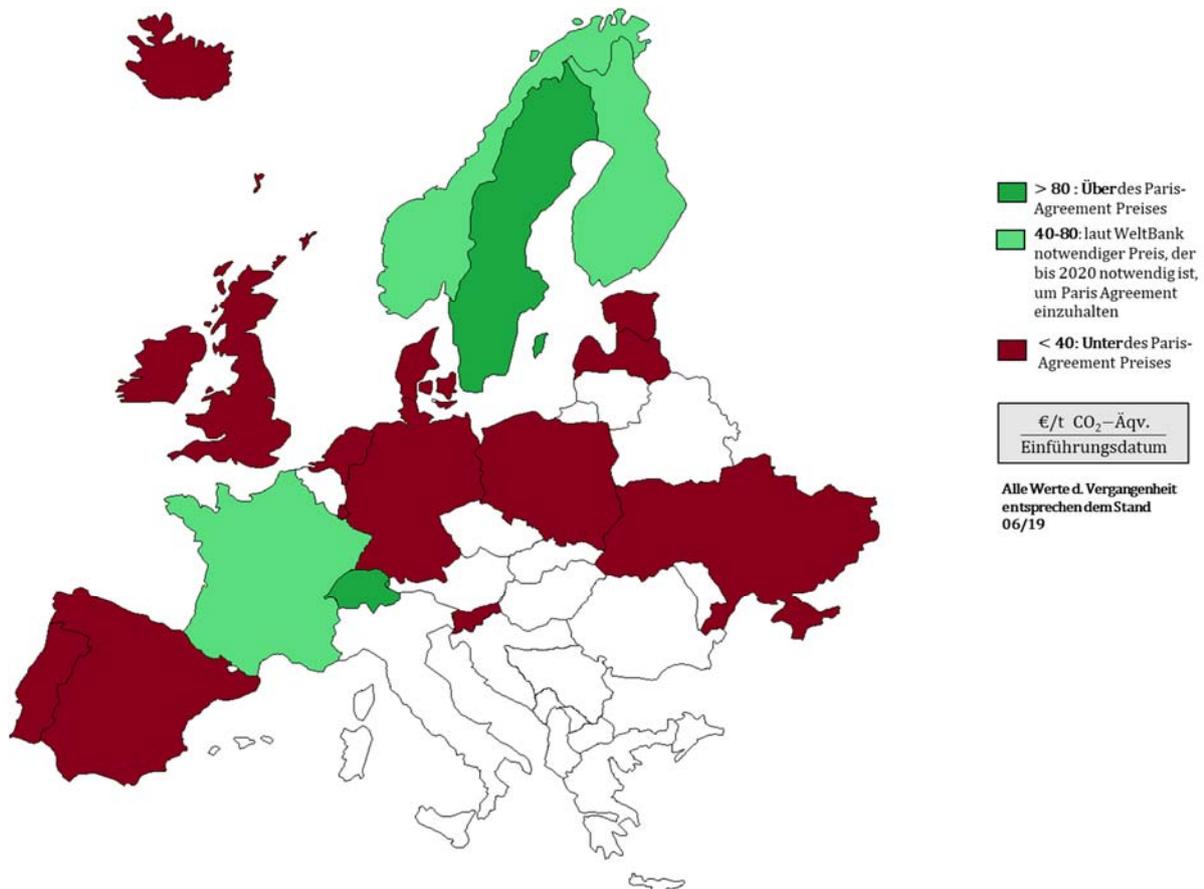
#### **6.7.5 Vergleichsweise niedrige Energiekosten bei hohen Einkommen**

Der Anreiz zur energetischen Renovierung ist umso stärker, je höher der Anteil der Energiekosten am verfügbaren Einkommen ist. Die Statistiken zeigen für die Bodensee-Anrainerstaaten hohe Durchschnittseinkommen und – zumindest für Österreich, das Fürstentum Liechtenstein und die Schweiz relativ niedrige Strompreise. In Deutschland liegen die Strompreise auch in Relation zum Einkommen höher als in vielen anderen europäischen Staaten. Deutschland liegt beim Strompreis in Kaufkraftstandards bei den 7 EU-Staaten mit den höchsten Preisen <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10826611/8-07052020-AP-DE.pdf/dd69b744-6ecf-9499-0fac-7cf7d27f6168>

Öl und Erdgas sind auch in Deutschland in Relation zur Kaufkraft günstig: Die kaufkraftbereinigten Erdgaspreise Deutschlands sind die viertgünstigsten in der EU 27

<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10826611/8-07052020-AP-DE.pdf/dd69b744-6ecf-9499-0fac-7cf7d27f6168>.

Ein bewährtes Mittel zur Lenkung des notwendigen Transformationsprozesses zur Dekarbonisierung ist die Bepreisung von CO<sub>2</sub>. Wie die folgende Karte zeigt, wird dieses Mittel inzwischen in sehr vielen europäischen Staaten eingesetzt, wenn auch mit sehr unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Preisen.



**Abbildung 113: Staaten mit und ohne Bepreisung von CO<sub>2</sub> (Energieinstitut Vorarlberg, Präsentation M. Ploss, economicum Session 10, 22. Oktober 2020; schriftl. Themenband: März 2021)**

Wie zu erkennen, hat ein großer Teil der Staaten Europas eine Bepreisung von CO<sub>2</sub> bereits eingeführt oder steht unmittelbar davor (Deutschland und Luxemburg ab 1.1.2021).

Während die Schweiz (96 CHF/to) mit Schweden (120 EUR/to) zu den Ländern mit den höchsten aktuellen CO<sub>2</sub>-Preisen zählt, wird eine Bepreisung in Deutschland erst 2021 mit zunächst 25 EUR/to eingeführt. Der Preis soll bis 2025 auf 55 EUR/to steigen.

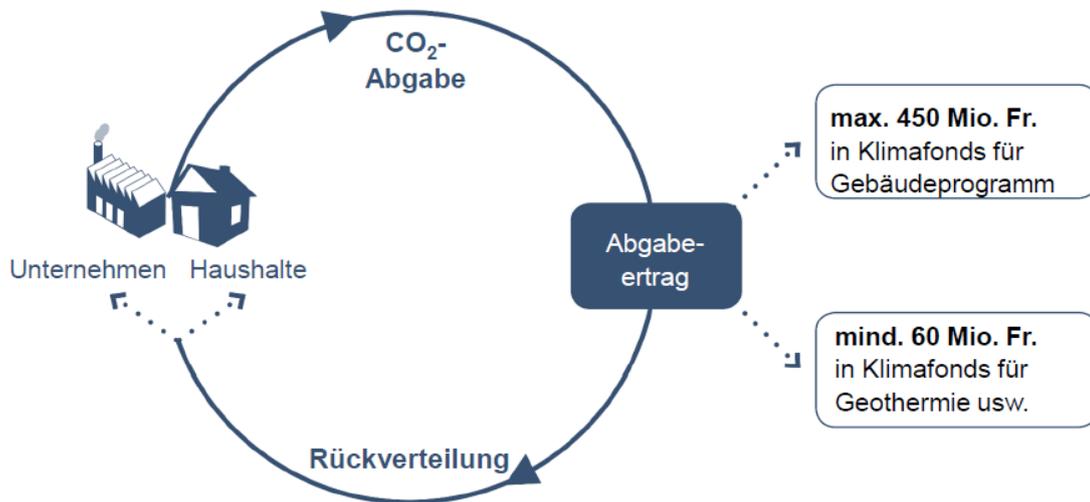
Österreich ist ab 2021 der EU-Staat mit dem höchsten pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt, der bislang keine CO<sub>2</sub>-Bepreisung eingeführt hat <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/188766/umfrage/bruttoinlandsprodukt-bip-pro-kopf-in-den-eu-laendern/>.

Die Erfahrung der Staaten, die das Instrument schon länger nutzen zeigen, dass die Bepreisung als Lenkungsinstrument gut und sozial ausgewogen funktionieren kann, wenn einkommensschwache Haushalte durch Kompensationsmaßnahmen entlastet werden.

Das System der Lenkungsabgaben und Förderung der Schweiz nach der Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für die Zeit nach 2020 ist in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.



## CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe



Maximaler Abgabesatz: 96 bis 210 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub>

Abbildung 114: CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe, Ertrag und Rückverteilung [90]

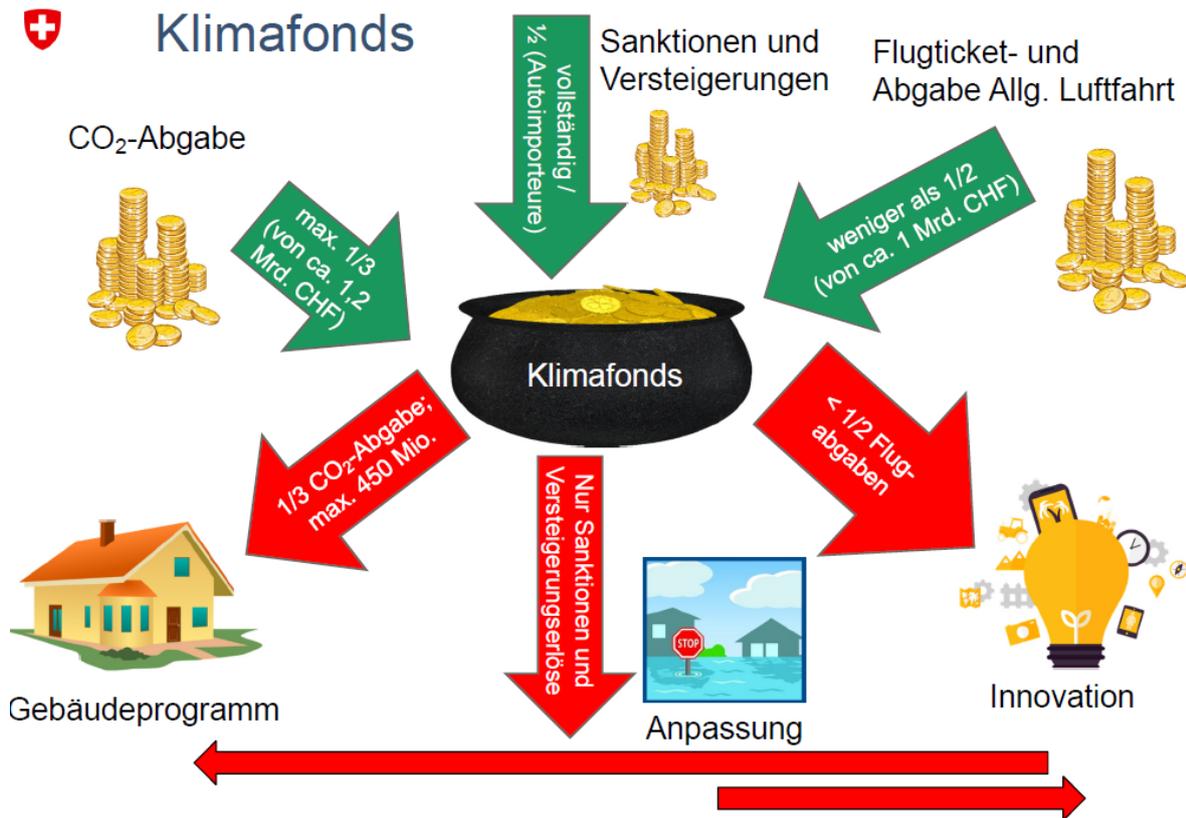


Abbildung 115: Klimafonds – Einnahmen und Ausgaben [90]

Wie in Abbildung 114 dargestellt kommen maximal 450 Mio. CHF/a der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Steuer dem Gebäudeprogramm des Klimafonds zu Gute, dies sind etwa 1/3 der erwarteten Einnahmen von 1,2 Mrd. CHF/a. Der größte Teil der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Steuer wird Unternehmen und Haushalten zurückerstattet. Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Steuer wird auf 96 bis 210 CHF/to. festgelegt.

Weitere mindestens 60 Mio. CHF/a aus den CO<sub>2</sub>-Steuer-Einnahmen kommen dem Klimafonds für Themen wie Geothermie zugute. Weitere Einnahmequellen für den Klimafonds sind Erlöse aus Sanktionen und Versteigerungen sowie aus der Flugticket und der allgemeinen Luftfahrtabgabe. Aus dem Klimafonds werden außer dem Gebäudeprogramm u.a. Innovationen finanziert.

Die Dotierung des Gebäudeprogramms mit 450 Mio. CHF/a entspricht 418,5 Mio. EUR/a und damit knapp 49 EUR/Einwohner pro Jahr.

Umgerechnet auf Deutschland entspräche diese 4,05 Mrd. EUR/a, für Österreich 433 Mio. EUR/a, für das Fürstentum Liechtenstein knapp 2 Mio. EUR/a für ein jeweiliges Gebäudeprogramm.

Die in Deutschland in den vergangenen Jahren abgerufenen bundesweiten Fördermittel lagen deutlich niedriger:

Mittelabfluss in Euro in den Jahren 2010 bis 2020 (Stand 31. Juli 2020)

Jahr	Markteinführungsprogramm	CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramm
2010	307.278.988	634.562.000
2011	199.404.242	738.639.000
2012	274.736.103	834.033.000
2013	293.202.287	699.480.000
2014	225.837.436	1.065.919.000
2015	166.581.048	1.123.352.000
2016	248.683.654	1.266.783.379
2017	256.110.133	1.437.340.329
2018	218.519.913	1.832.621.764
2019	253.494.900	1.960.198.566
2020	164.235.814	1.300.838.418

**Abbildung 116: Mittelabfluss bundesweite Förderprogramme in Deutschland von 2010 bis 2020**

Bei etwa 445.500.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche in der Schweiz und einer angenommenen Vollsanierrungsrate von 2% des Gesamtbestandes p.a. müssten jährlich etwa 8,9 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche energetisch renoviert werden. Würden die 450 Mio. CHF/a des Gebäudeprogramms nur für die energetische Sanierung von Wohngebäuden verwendet, so stünden pro m<sup>2</sup> zu sanierender Wohnfläche 50 CHF zur Verfügung.

In Deutschland wurden die Maßnahmen zur Kompensation der Folgen der CO<sub>2</sub>-Steuer für einkommensschwache Haushalte gesetzlich geregelt [25]. Gleichzeitig mit der Einführung der CO<sub>2</sub>-Steuer ab 2021 wird das Wohngeld erhöht, um einkommensschwache Haushalte zu entlasten, die schon heute Wohngeld beziehen.

Die Entlastungsbeträge sind in Abhängigkeit von der Anzahl der Haushaltsmitglieder gestaffelt und liegen zwischen 14,40 EUR/Monat für Einpersonenhaushalte und 29,40 EUR/Monat für 5-Personenhaushalte. Sie erhöhen sich pro weiterer Person um 3,60 EUR/Monat.

Für den Wohngeld-Zuschlag sind 120 Mio. EUR pro Jahr veranschlagt, die Zahl der Haushalte, die Wohngeld beziehen, liegt bei etwa 665.000.

### 6.7.6 Schwachstellen in Förderanreizen

Gerade in Deutschland und Österreich sind derzeit relativ hoch dotierte Förderprogramme für die energetische Sanierung und die Umstellung auf erneuerbare Energieträger verfügbar.

Derartige Förderprogramme sind immer dann erfolgreich, wenn sie einfach verständlich sind (z.B. verlorene Zuschüsse statt zinsvergünstigter Darlehen), nicht zu häufig verändert werden und Interessenten von neutralen Institutionen wie Energieagenturen erläutert werden.

Förderprogramme mit häufig wechselnden Konditionen, unterschiedlichen Fördergebern (Bund/Land in Österreich) sowie Programme, die auf zinsgünstige Kredite statt auf Zuschüsse setzen, sind tendenziell weniger attraktiv.

### **6.7.7 Nutzer- Eigentümer-Dilemma**

Neben den allgemeinen finanziellen Hürden ist das Nutzer-Eigentümer-Dilemma im Mietbereich als eine wichtige Hürde zu berücksichtigen. Das Interesse eines Eigentümers an energiesparenden Investitionen ist zumeist sehr gering, da die eingesparten Energiekosten den Nutzern, in diesem Fall den Mietern, zugutekommen.

### **6.7.8 Mangelnde Kopplung an andere Renovierungsauslöser**

Energiesparmaßnahmen sind nur einer von mehreren möglichen Auslösern für Gebäuderenovierungen. Die Kopplung von Energieeffizienzmaßnahmen an andere Auslöser wie Um- und Anbau, Aufstockung, allgemeine Modernisierungsmaßnahmen bietet die Chance, durch Synergieeffekte Kosten zu sparen und die Zahl der energetischen Renovierungen und ihre Akzeptanz zu steigern.

Soll dies gelingen, so müssen zunächst die nicht-energetischen Herausforderungen bei der Anpassung des Gebäudebestandes analysiert werden.

Wichtige Aspekte sind u.a.:

- Barrierefreiheit
- demoskopischer Wandel und resultierende Wohnbedürfnisse
- Kopplung energetische Renovierung an Eigentümerwechsel (v.A. bei EFH)
- Nachverdichtung, Aufstockung

#### **Barrierefreiheit**

Angesichts einer alternden Gesellschaft ist die Schaffung von Angeboten an barrierefreien oder –armen Wohnungen eine wichtige Herausforderung.

#### **Demoskopischer Wandel und resultierende Wohnbedürfnisse**

Wie in Kapitel 5.1.4 dargestellt, sank die durchschnittliche Bewohnerzahl pro Wohnung in den vergangenen Jahrzehnten in allen untersuchten Regionen und wird weiter sinken. Die Gründe für diese Tatsache wurden bereits in Kapitel 3.3.1 erläutert

#### **Kopplung der Renovierung an einen Eigentümerwechsel**

Die Anpassung von Gebäuden an veränderte Haushaltsstrukturen lässt sich am Besten bei Eigentümerwechseln durchführen. Pilotprojekte und Förderungen sollten so definiert werden, dass dieser Tatsache Rechnung getragen wird. Derartige größere Renovierungen können sehr gut mit energetischen Maßnahmen gekoppelt werden, zudem werden für umfassendere

Umbauten auch häufiger Architekten und Planer beauftragt, was die energetische Renovierung erleichtern kann.

### **Nachverdichtungen und Aufstockungen**

Wie einige Vorhaben in Deutschland und der Schweiz zeigen, können die nicht unerheblichen Kosten umfassender energetischer Renovierungen durch Maßnahmen zur Nachverdichtung und Aufstockung und somit zur Schaffung neuen Wohnraums querfinanziert werden.

Dies gilt sowohl für Einfamilienhäuser, die erweitert und in zwei oder drei Wohneinheiten aufgeteilt werden, als auch für Mehrfamilienhäuser, deren bisher ungenutzte Dachgeschosse in Wohnraum umgenutzt werden.

Auch diese Maßnahme führt zu indirekten Energiespareffekten: der spezifische Bedarf kann in größeren Gebäuden gesenkt werden, durch die Nachverdichtung werden vorhandene Erschließungs-Infrastrukturen besser genutzt und über die Querfinanzierung steht mehr Geld für die energetische Renovierung zur Verfügung. Zudem wird durch die Nachverdichtung die Wärmedichte im Gebiet erhöht und so die Wirtschaftlichkeit bestehender Nah/Fernwärmenetze verbessert.

## **6.8 Mangelnde Kapazitäten der Bauwirtschaft / Mangelnde Attraktivität des Sanierungsmarktes für die Bauwirtschaft**

Wie in Kapitel 7.3 ausgeführt entstünden durch die Erhöhung der Sanierungs- und der Kesselaustauschrate sowie der Erhöhung der Sanierungsqualität erhebliche volkswirtschaftliche Vorteile, u.a. würden Arbeitsplätze geschaffen und das BIP gesteigert.

Da die Lage in der Baubranche in den vergangenen Jahren von einer sich steigernden Hochkonjunktur mit sehr hohen Neubauraten geprägt ist, muss jedoch die Frage gestellt werden, wie viele zusätzliche Arbeitskräfte benötigt würden und wie diese rekrutiert werden könnten, um Kapazitäten zur Erhöhung der Sanierungsrate zu schaffen. In den vergangenen Jahren hatten die Baufirmen – zumindest in Vorarlberg und Teilen der deutschen Bodensee-Anrainerländer Schwierigkeiten, genügend Arbeitskräfte zu finden.

Die Zahl der zusätzlich benötigten Arbeitskräfte wird nachfolgend auf Basis der folgenden Einflussfaktoren am Beispiel Vorarlbergs abgeschätzt:

- Anzahl der Wohneinheiten und Fläche des Wohngebäudebestandes
- Sanierungs- und Kesselaustauschrate
- Energetische Qualität der Renovierung
- Kosten der energetischen Renovierung und Kosten ohnehin fälliger Renovierungsarbeiten
- Beschäftigungseffekt pro Investition

### 6.8.1 Eingangsgrößen

Im Folgenden werden zunächst die Eingangsgrößen hergeleitet, im Anschluss die Ergebnisse der Grobschätzung dargestellt.

#### Anzahl der Wohneinheiten und Fläche des Wohngebäudebestandes

Anzahl und Fläche der jährlich zu sanierenden Wohneinheiten hängen von der Gesamtanzahl der Wohneinheiten (Haupt- und Nebenwohnsitzangabe) ab.

<b>Wohngebäudebestand Vorarlberg 2018</b>		
Anzahl Wohneinheiten	181.600	Stück
Durchschnittliche Wohnfläche	99,6	m <sup>2</sup>
Wohnfläche gesamt	18.090.000	m <sup>2</sup>

**Abbildung 117: Wohngebäudebestand Vorarlberg (Haupt- und Nebenwohnsitze) 2018 – Anzahl der Wohneinheiten, durchschnittliche Wohnfläche und Gesamtwohnfläche**

Die Anzahl der Wohneinheiten in Vorarlberg (Summe Haupt- und Nebenwohnsitzwohnungen) lag im Jahr 2018 bei ca. 181.600.

Bei einer durchschnittlichen Wohnfläche von 99,6m<sup>2</sup> ergibt sich eine Gesamt-Wohnfläche von ca. 18.090.000 m<sup>2</sup>.

#### Modernisierungsrate Hülle und Kesselaustauschrage

Die Modernisierungsrate Hülle und die Kesselaustauschrage werden zur Abschätzung der Beschäftigungseffekte zwischen den derzeitigen, auf Basis statistischer Daten abgeschätzten Werte und den betriebs- und volkswirtschaftlich optimalen Werten variiert.

	Aktueller Wert		wirtschaftlich optimaler Wert	
	Prozent p.a.	Wohneinheiten	Prozent p.a.	Wohneinheiten
flächengewichtete Modernisierungsrate Hülle	0,85	1.544	1,8	3.269
Kesselaustauschrage	1,7	1.360	4,5	3.600

**Abbildung 118: Annahmen zur flächengewichteten Modernisierungsrate Hülle und zur Kesselaustauschrage zur Abschätzung der Beschäftigungseffekte [83]**

#### Energetische Qualität der Renovierung

Für die Grobabschätzung werden die Energieniveaus Bautechnikverordnung (21er-Linie + neuer Gaskessel) und enerphit (abgemilderter Passivhausstandard für Sanierungen, WRG + Wärmeerzeuger nicht-fossil + Thermie oder PV) verglichen.

**Kosten der energetischen Modernisierung in verschiedenen Niveaus und Kosten ohnehin fälliger Renovierungsarbeiten**

	BTV	enerphit
„Ohnehin-Kosten“ ohne Energie	400	400
Energiemaßnahmen BTV (21er Linie + Abluft + Gaskessel)	320	320
Mehrkosten Hülle enerphit (=10er-Linie) + WRG	0	120
Mehrkosten Wärmeerzeuger nicht-fossil + Thermie/PV	0	50
<b>Gesamtkosten</b>	<b>720</b>	<b>890</b>

**Abbildung 119: Annahmen zu Ohnehin-Kosten nicht energetischer Sanierungsarbeiten, zu den Kosten der Energiemaßnahmen nach Bautechnikverordnung BTV sowie zu den Mehrkosten für den Standard enerphit und für optimierte und regenerative Wärmeerzeugung [83]**

Die „Ohnehin-Kosten“ für energetisch nicht relevante Maßnahmen werden mit 400 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> angenommen, die Kosten für die Energiemaßnahmen zur Erfüllung der BTV mit 300 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>. Die Mehrkosten der energetisch höherwertigen Sanierung inkl. Kesselaustausch werden mit 170 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> angenommen. Die Mehrkosten werden überschläglich in 120 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> Mehrkosten für Hülle und Lüftung mit WRG sowie 50 EUR/m<sup>2</sup><sub>WNF</sub> für verbesserte (und regenerative) Wärmeerzeuger sowie Thermie/PV aufgeteilt.

**Beschäftigungseffekt pro Investition**

Zur Abschätzung des Beschäftigungseffekts wird der für Deutschland ermittelte, aktuelle Wert von 10,9 Arbeitsplätzen pro Mio. EUR Bruttoinvestition übernommen [82].

**Beschäftigungseffekte in Vorarlberg**

Auf Basis der beschriebenen Annahmen ergeben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Umsätze und Beschäftigungseffekte in Abhängigkeit von Renovierungsrate und –qualität.

Modernisierung Hülle			Kesselaustausch + Thermie/PV			jährliche Brutto-Investitionskosten				
Modernisierungsrate Hülle	Wohneinheiten mit sanierter Hülle	WNF mit sanierter Hülle	Kesselaustauschrate	Wohneinheiten mit ausgetauschtem Kessel	WNF mit ausgetauschtem Kessel	"Ohnehin-Kosten" Hülle	Energie BTV	Mehrkosten Hülle + WRG	Mehrkosten Wärmeerzeuger + Thermie/PV	Gesamtkosten
%	Anzahl	m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub>	%	Anzahl	m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub>	EUR/a	EUR/a	EUR/a	EUR/a	EUR/a
0,85	1 544	153 743	1,7	1 360	135 456	61 497 024	49 197 619	0	0	110 694 643
1,7	3 087	307 485	4,5	3 600	358 560	122 994 048	98 395 238	36 898 214	17 928 000	276 215 501
Mehrinvestition										165 520 858
zusätzliche Arbeitsplätze										1 804

**Abbildung 120: Investitionen in die Wohngebäudesanierung und Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt [83]**

Würde die Modernisierungsrate für die Gebäudehülle vom aktuellen Wert von etwa 0,85 auf 1,7% p.a. verdoppelt, die Kesselaustauschrate vom aktuellen Wert von 1,7 auf 4,5% p.a. gesteigert und gleichzeitig die energetische Qualität der Hülle und der Wärmeerzeuger gesteigert, so entstünden in Vorarlberg jährliche Mehrinvestitionen von etwa 165 Mio. EUR. Dies entspräche einem Äquivalent von etwa 1.800 zusätzlichen Arbeitsplätzen.

Die energetische Gebäudesanierung wäre damit ein Jobmotor, sofern es gelänge, die Bauberufe attraktiver zu machen.

## **6.9 Widerstand einzelner Branchen gegen die Dekarbonisierung des Gebäudesektors**

Die Dekarbonisierung des Gebäudesektors wird insgesamt Arbeitsplätze sichern und neue Arbeitsplätze schaffen. Trotzdem wird es nicht nur Branchen geben, die profitieren, sondern auch solche, die verlieren. Beispiele sind etwa die Öl- und Gaswirtschaft sowie Schornsteinfeger und evtl. Hersteller, die nur fossile Kessel produzieren.

Als Teil einer langfristigen Sanierungsstrategie sollten daher Konzepte entwickelt werden, wie die Widerstände der betroffenen Branchen beseitigt werden können und wie Umschulungsprogramme und Kompensationsmaßnahmen aussehen könnten.

## **6.10 Energiearmut**

Das Thema Energiearmut spielt in einigen EU-Staaten eine große Rolle und wird von interessierter Seite oft als Argument gegen strengere energetische Mindeststandards etc. angeführt. In vergleichsweise reichen Regionen wie der Bodenseeregion dürfte der Anteil der tatsächlich von Energiearmut betroffenen Personen jedoch gering sein.

Dies darzustellen erscheint wichtig, um den Kritikern Wind aus den Segeln zu nehmen. Auch wenn die betroffene Personengruppe vermutlich relativ klein sein wird, müssen zielgerichtete Maßnahmen entwickelt werden, um z.B. die Wirkung von CO<sub>2</sub>-Steuern zumindest teilweise zu kompensieren.

## **6.11 Altersstruktur der Bewohner sanierungsbedürftiger Gebäude**

Ein Hemmnis bei der Sanierung älterer Gebäude ist die Altersstruktur ihrer Bewohner. Gerade Bewohner sanierungsbedürftiger, etwa 40-jähriger Einfamilienhäuser sind typischerweise in einem Alter, in dem die Sanierung eines Gebäudes keine hohe Priorität mehr hat und in dem oft auch die Finanzierung (Kreditvergabe an ältere Generation) nicht unproblematisch ist.

Oft ist es die bessere Option, die Sanierung auf den nächsten Eigentümerwechsel zu verschieben, da bei dieser Gelegenheit oft ohnehin größere Umbaumaßnahmen geplant werden.

Mit Beratungsprogrammen wie dem vom Energieinstitut entwickelten Sanierungslotsen kann versucht werden, älteren Menschen Alternativen zur besseren Nutzung ihrer oft mindergenutzten Einfamilienhäuser aufzuzeigen.

## 7 Vorteile von energetischen Sanierungen

Ein Grund für die bislang geringen Sanierungsraten ist die Tatsache, dass es bislang offensichtlich nicht hinreichend gelungen ist, die Vorteile energetischer Gebäudesanierungen zu vermitteln. Dies gilt sowohl für die zu erwartende Energieeinsparung und die dadurch bedingte Reduktion der Energiekosten, als auch für die nachfolgenden nicht energetischen Vorteile.

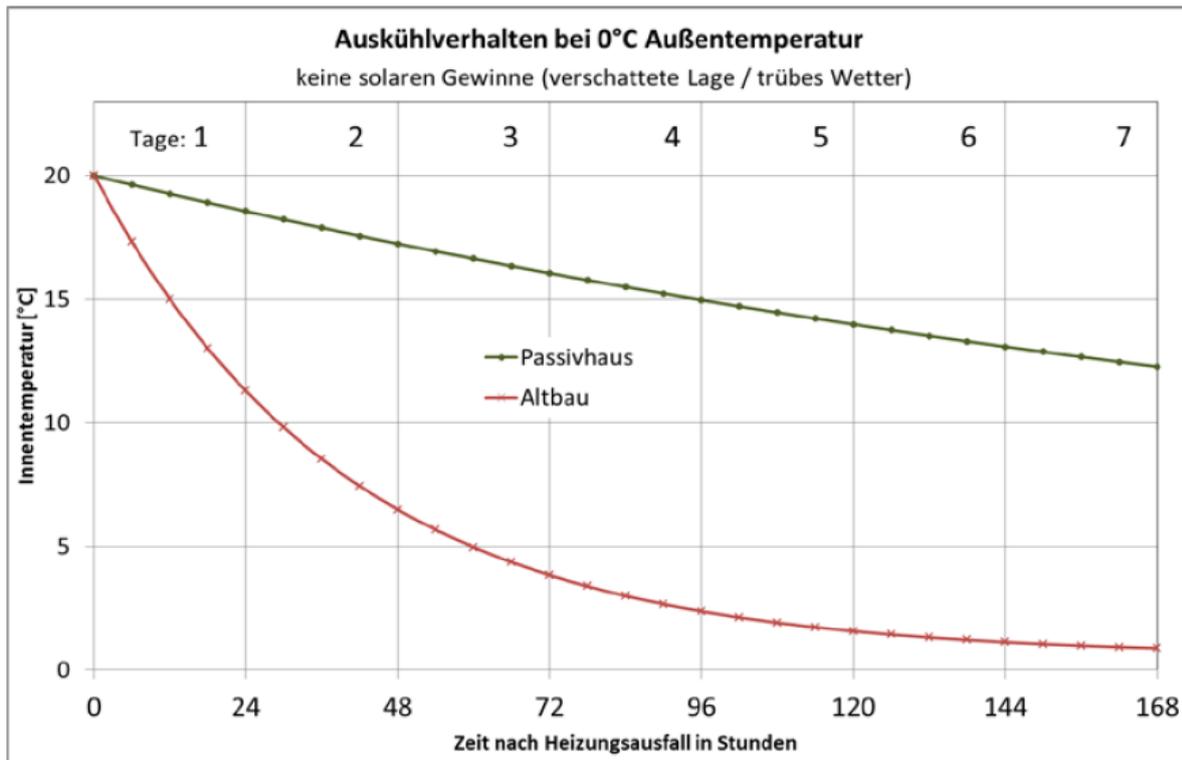
Während die höhere Behaglichkeit und eine höhere Resilienz sowie die Vermeidung von Bauschäden, und eine verbesserte Robustheit Argumente für Immobilienbesitzer sind, sind die volkswirtschaftlichen Vorteile energetischer Gebäudesanierungen und die Verringerung der Importabhängigkeit Argumente für die Gesamt-Gesellschaft, die Wirtschaft und die Politik

### 7.1 Höhere thermische Behaglichkeit und verbesserte Robustheit

Für einen Großteil der Nutzer ist der Energieverbrauch ihres Gebäudes nur eines von vielen Beurteilungskriterien. Weit wichtiger ist in der Regel die thermische Behaglichkeit – sowohl im Winter als auch im Sommer.

Wie groß angelegte Studien in Deutschland mit Messungen in 3,9 Mio. Räumen in 1,3 Mio. Wohnungen zeigen, liegen die Temperaturen im Winter in mehr als 70% der Räume unter 20°C, etwa ¼ der Räume ist auf weniger als 16°C temperiert und mehr als 8% der Räume haben Temperaturen von weniger als 12,6°C [35]. Die realen Raumlufttemperaturen im Gebäudebestand liegen damit weit unter den Behaglichkeitsoptima, die nach Untersuchungen von Fanger bei operativen Temperaturen von etwa 22-23°C liegen.

Ein Grund für die schlechte Behaglichkeit in Bestandsgebäuden ist die schnelle Auskühlung aufgrund des im Vergleich zum Neubau oder hochwertig sanierten Gebäuden schlechten Wärmeschutzes. Abbildung 121 zeigt eine Prinzipdarstellung des Auskühlverhaltens von Gebäuden unterschiedlicher Energieniveaus im Winter.



**Abbildung 121: Auskühlverhalten bei 0°C Außentemperatur – Prinzipdarstellung für Gebäude unterschiedlicher Energieniveaus [34]**

Wie zu erkennen kühlen Gebäude mit hohem Wärmeschutzniveau (Passivhausniveau) bei Heizungsausfall deutlich langsamer aus als typische Altbauten. Während die Raumlufttemperatur im Passivhaus unter idealisierten Bedingungen (Außenlufttemperatur konstant 0°C, keine solaren Gewinne, standardisierter Luftwechsel...) in 4 Tagen von 20 auf 15°C fallen, würden sie unter gleichen Bedingungen im Altbau auf etwa 2,5°C sinken [34].

Die hochwertig gedämmte Gebäudehülle sorgt im Winter nicht nur bei Heizungsausfall, sondern auch im „Normalbetrieb“ für höhere thermische Behaglichkeit, da die Innenoberflächen der Außenwände und Dächer aufgrund des besseren Wärmeschutzes deutlich wärmer sind als in Altbauten.

Im Sommer vermindert eine gute Dämmung – besonders von Flachdächern – den Wärmeeintrag und verringert Überhitzungsprobleme. Dieser Punkt wird bei den in Folge des Klimawandels erwarteten zunehmenden Temperaturen von steigender Bedeutung sein.

## 7.2 Vermeidung von Bauschäden

Wie Studien aus der Schweiz, Deutschland und Österreich belegen, sind Feuchte- und Schimmelschäden im Gebäudebestand kein vereinzelt Phänomen, sondern in allen drei Ländern häufig anzutreffende Schadensbilder:

- Eine Schweizer Studie nennt einen Anteil von etwa 20 bis 25% der Wohnungen, die von Feuchtigkeitsproblemen betroffen sind [91]

- Eine Deutsche Studie, in der 5.530 Wohnungen analysiert wurden, spricht von einem Anteil von 21,9% mit Feuchte- und davon von 9,3% mit Schimmelschäden [92]
- Eine Österreichische Studie im Auftrag des Österreichischen Verbandes gemeinnütziger Bauvereinigungen beziffert den Anteil der Personen mit wohnungsbezogenen Gesundheitsbelastungen durch Feuchtigkeit und Schimmel in Österreich auf 10 bis 18% [93]

Nach Untersuchungen der WHO gibt es einen kausalen Zusammenhang zwischen Feuchtigkeit und Schimmel sowie Asthma. Durch die energetische Gebäudesanierung wird das Risiko von Feuchte- und Schimmelschäden und somit auch das Risiko feuchte- und schimmelbedingter Krankheiten reduziert.

### **7.3 Volkswirtschaftliche Vorteile**

Eine entscheidende Voraussetzung für die Durchführung energetischer Gebäudesanierungen für ausreichend große Teile des Gebäudebestandes ist ihre gesamtgesellschaftliche Finanzierbarkeit. Dieser Aspekt wurde in den vergangenen Jahren in verschiedenen Studien in Deutschland, Österreich und der Schweiz untersucht, die sich nicht mit der betriebswirtschaftlichen Bewertung von Einzelprojekten, sondern mit den volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Realisierung energieeffizienter Gebäuderenovierungen beschäftigen. In den Studien werden u.a. die folgenden Fragen untersucht:

- Welche arbeitsmarktpolitischen Auswirkungen haben Investitionen in die Energieeffizienz von Bestandsgebäuden?
- Welche arbeitsmarktpolitischen Auswirkungen haben Förderprogramme für energieeffiziente Neubauten und Renovierungen?
- Welche Auswirkungen haben staatliche Förderungen für die Energieeffizienz auf den Staatshaushalt?

Die wichtigsten Ergebnisse einiger Studien werden nachfolgend zusammengefasst.

#### **Beschäftigungseffekt von Investitionen in die Gebäudeenergieeffizienz**

Im Rahmen des Monitorings für das bundesweite, deutsche Förderprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) für die Gebäuderenovierung im Jahr 2017 ermittelte das Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt in einer Input-Output-Rechnung die durch das Förderprogramm induzierten Beschäftigungseffekte [82]. Bei einer nach Umsatzanteilen der Ausbau- und der Planungsgewerke gewichteten Ermittlung ergibt sich ein Beschäftigungseffekt von 10,9 Personenjahren pro Mio. EUR Brutto-Investitionsvolumen.

Zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Beschäftigungseffekte der Gebäuderenovierung kommt eine österreichische Studie [94]. Diese gibt den Beschäftigungseffekt mit 14 Arbeitsplätzen pro Mio. EUR Investition an. Der Beschäftigungseffekt pro Mio. Investition ist etwas höher, da die Studie aus dem Jahr 2008 datiert, als die Kosten von Sanierungsmaßnahmen noch niedriger lagen.

Auch eine Studie aus dem Jahr 2013 zu den Beschäftigungseffekten der Wohnbau- und Gebäuderenovierungsförderung in Niederösterreich beziffert Beschäftigungseffekt pro Mio. Investition auf 14 Arbeitsplätze (Vollzeitäquivalente) pro Jahr [95].

### **Durch Fördergelder induzierter Beschäftigungseffekt**

Die Studie ermittelt darüber hinaus die Beschäftigungseffekte in Österreich pro Mio. Euro Fördervolumen der Niederösterreichischen Gebäuderenovierungsförderung.

Für das Fördersystem der Niederösterreichischen Wohnbauförderung (Gebäuderenovierungsförderung) kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass pro Mio. Euro Fördersumme für die Eigenheimrenovierung 42 Arbeitsplätze (Vollzeitäquivalente) entstehen.

### **Auswirkungen staatlicher Fördergelder auf den Staatshaushalt**

Die Auswirkungen der durch die Förderung der energetischen Gebäudesanierung induzierten Zusatzinvestitionen auf die Einnahmen des Staates werden in einer Prognos-Studie zum deutschen Fördersystem der Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW untersucht [64].

Verglichen wurden die vom Staat gewährten Fördermittel und die durch die dadurch ausgelösten zusätzlichen Steuereinnahmen des Staates. In zwei Szenarien wurde die Renovierungsrate in unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf 2% p.a. gesteigert. Dieser Wert entspricht der Zielsetzung der deutschen Bundesregierung.

Die Untersuchung zeigt, dass die zusätzlichen Einnahmen des Staates im Jahr 2011 deutlich über dem Fördervolumen lagen. Die gleiche Tendenz zeigt sich für die Weiterführung der Förderprogramme in der Zukunft: unabhängig von der Renovierungsrate (Basisszenario mit unveränderter Sanierungsrate, Szenario 1 und Szenario 2 mit gesteigerten Sanierungsraten) übersteigen die Steuer-Mehreinnahmen das Fördervolumen (fast) durchgängig.

Die Autoren fassen die Ergebnisse der Studie wie folgt zusammen: *„Die volkswirtschaftliche Analyse der KfW-EBS-Programme kommt zu dem Ergebnis, dass eine Fortführung der Programme der deutschen Wirtschaft auch langfristig spürbare Wachstumsimpulse gibt. Die deutliche Ausweitung der Programme, um die Ziele der von der Bundesregierung beschlossenen Energiewende erreichen zu können, würde die Wachstumseffekte signifikant erhöhen. Aufgrund der besonderen Konstellation – Förderung beschäftigungsintensiver heimischer Wertschöpfung zulasten kapitalintensiver importlastiger Güter – ergeben sich in den untersuchten Szenarien sichtbar positive Wirkungen auf die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung durch die geförderten Maßnahmen. Werden die Zielszenarien 1 oder 2 erreicht, kann langfristig ein Bruttoinlandsprodukt erreicht werden, das im Niveau in einer Größenordnung von 0,25 Prozent über dem des Basisszenarios liegt. In unserer Basisprognose für die deutsche Volkswirtschaft gehen wir gegenwärtig von einem langfristigen BIP-Wachstum von 1,1% aus. Dies verdeutlicht, dass in künftigen Zeiten rückläufiger Dynamik die EBS-Programme einen relevanten Beitrag zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung leisten können.“*

Die Autoren ergänzen: „Die Berechnungen zeigen, dass die zusätzlichen Einnahmen des Staates über wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die zusätzlichen Investitionen die Größenordnung des geschätzten Fördervolumens in den meisten Jahren übersteigen. Aus staatlicher Sicht ergibt sich damit eine Selbstfinanzierungsquote größer Eins.“

### **Verringerung der Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern**

Etwa 46% der Fläche des Gesamt-Wohngebäudebestandes Vorarlbergs werden aktuell durch die fossilen Energieträger Öl und Gas beheizt.

Der Anwendungsbereich Niedertemperaturwärme ist damit einer sehr hohen Importabhängigkeit unterworfen. In Zeiten zunehmender Instabilität in vielen der Herkunft- und Transitländer (Russland/Ukraine, arabische Staaten, Iran, Nigeria...) ist die Verringerung der Importabhängigkeit ein wichtiges politisches Ziel der EU, Österreichs und Vorarlbergs. Wie eine Studie am Beispiel Deutschlands zeigt, kann die Verringerung des Wärmebedarfs im Gebäudesektor dabei eine sehr wichtige Rolle spielen [96]. Die Studie untersucht den Einfluss der Reduktion des Wärmebedarfs des Gebäudesektors durch verstärkte Renovierungsanstrengungen auf die Importabhängigkeit Deutschlands von russischem Gas.

Dabei werden die folgenden Randbedingungen gewählt:

- Verdoppelung der Renovierungsrate von 1 auf 2%
- Erhöhung der mittleren Renovierungsqualität auf Heizwärmebedarfswerte zwischen 35 und 70 kWh/m<sup>2</sup><sub>WFlA</sub> (je nach Gebäudetyp)
- Betrachtung auf 10 Jahre

Wie die Studie belegt, würde eine Verdoppelung der Renovierungsrate bei gleichzeitiger Erhöhung der Renovierungsqualität die Gas-Importabhängigkeit Deutschlands von Russland in nur 10 Jahren um etwa 1/3 reduzieren.

## 8 Grundsätze zur Ausarbeitung von Langfrist-Strategien und zu neuen / veränderten Instrumenten

Ziel dieser Studie ist es nicht, Langfrist-Strategien für energetische Sanierung in die beteiligten Regionen zu entwickeln. Die Studie kann jedoch als Grundlage derartiger Strategien verwendet werden. Erste Grundsätze und Überlegungen zur Strukturierung der Langfriststrategien und wichtiger Umsetzungsinstrumente werden nachfolgend dargestellt.

### 8.1 Festlegung verbindlicher Zielwerte in Langfrist-Strategien für den Gebäudesektor

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, können verbindliche Zielwerte zur Reduktion des Endenergiebedarfs sowie der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors auf Grundlage der globalen Klimaschutzziele des Paris-Abkommens und aus den vom IPCC ermittelten verbleibenden, globalen CO<sub>2</sub>-Budgets bestimmt werden. Dabei sollten die folgenden Grundsätze beachtet werden

- Langfristziele (z.B. 2050) sowie Zwischenziele (z.B. 2030 und 2040) sollten sektoral und mit hoher Verbindlichkeit festgelegt werden.
- Hauptindikator für die sektoralen Ziele sind die THG-Emissionen
- Als zusätzlicher Indikator zur Festlegung regionaler Zielwerte für den Gebäudesektor ist auf jeden Fall der Endenergiebedarf notwendig; ohne diesen Indikator ist die Gefahr groß, dass Strategien gewählt werden, die einseitig auf die Dekarbonisierung der Wärme- und Stromversorgung setzen und die Bedeutung der Reduktion des Energiebedarfs als Grundlage der Dekarbonisierung vernachlässigen
- Ziele und Monitoring sollten für Wohn- und Nichtwohngebäude getrennt festgelegt und durchgeführt werden
- Auf der Ebene von Einzelgebäuden sollte zusätzlich der der Nutzwärmebedarf (Heizwärmebedarf als Indikator verwendet werden.
- Zur Bestimmung der sektoralen Ziele für den Gebäudebereich erscheint eine Bilanzierung der THG-Emissionen nach dem Verursacherprinzip zusätzlich zur Bilanzierung nach Quellen vorteilhaft. Die Bilanzierung nach Quellen, wie sie in den internationalen Reports üblich und sinnvoll ist, kann bei Anwendung auf den Gebäudesektor zu gravierenden Miss-Interpretationen führen: Ein zu 100% mit el. Nachtspeicheröfen betriebener Gebäudepark ist nach den Bilanzierungsregeln für die internationalen Reports vollständig dekarbonisiert. Die Emissionen werden im Kraftwerkssektor verbucht.
- Bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor ist zu beachten, dass auch zukünftig der winterliche Wärmebedarf dominieren wird. Da Wärmepumpen eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung des Gebäudesektors haben wer-

den, ist zu überlegen, wie der Aspekt des gegenläufigen Jahresverlaufs von Wärmebedarf und regenerativer Stromerzeugung im Alpenraum (Fokus auf alpine Wasserkraft mit Erzeugungsspeak im Sommer sowie auf PV, geringe Windkraftpotentiale) berücksichtigt werden kann. Der im Winter nicht mit regionalen, regenerativen Quellen erzeugbare Strom muss entweder aus sommerlichem Überschuss-Strom jahreszeitlich gespeichert werden oder aus anderen Regionen importiert werden wie dies in Vorarlberg schon heute der Fall ist. Derzeit ist nicht erkennbar, welche Regionen derartige winterliche Überschüsse an regenerativem Strom erzeugen können, dass sie große Bundesländer wie Bayern und Baden-Württemberg bei steigendem Stromverbrauch mitversorgen können: Der Windkraftausbau in Deutschland ist zurückgegangen und stößt in vielen Regionen auf Bedenken, auch in anderen Staaten Mitteleuropas geht der Windausbau bislang relativ langsam vonstatten.

## **8.2 Festlegung von Indikatoren für ein Erfolgsmonitoring der Dekarbonisierung des Gebäudesektors**

Eine schnelle Dekarbonisierung des Gebäudesektors wird nur wirtschaftlich gelingen können, wenn wichtige Erfolgsindikatoren vorab festgelegt, systematisch erfasst und ex post in einem durchgängigen, kontinuierlichen Monitoring erfasst werden. Wichtige Begriffe sind - im Idealfall europäisch oder international abgestimmt - zu definieren.

Wie auch der Datenrücklauf im Rahmen dieser Studie zeigt, sind bislang nicht einmal wichtige Randbedingungen wie die Abrissrate, die Sanierungsrate der Gebäudehülle und die Kessel-austauschrate in allen Regionen systematisch erfasst bzw. öffentlich verfügbar. In Österreich ist es derzeit sogar schwierig, amtliche Zahlen zur Neubautätigkeit zu erhalten, in Bayern sind keine Zahlen zur Gesamtfläche aller Wohngebäude verfügbar.

Während die Datenlage zum Wohngebäudebestand in den meisten Regionen als befriedigend bezeichnet werden kann, ist die Datenverfügbarkeit zu Nicht-Wohngebäuden absolut unzureichend. So sind etwa für Deutschland und Österreich die Angaben zur Gesamtfläche und zum Gesamt-Energieverbrauch sehr vage, noch schlechter ist die Verfügbarkeit für verschiedene Kategorien von Nicht-Wohngebäuden.

Da sich die Datenlage zu den realen Energieverbräuchen durch die Markteinführung von smart Metern in den kommenden Jahren verbessern wird, ist sicherzustellen, dass auch diese Daten öffentlich verfügbar gemacht werden und als Teil des Monitorings zentral verwaltet werden. Dabei sind die Grundsätze des Datenschutzes, aber auch die Notwendigkeit einer Datenanalyse zur Steuerung des Prozesses der Dekarbonisierung zu berücksichtigen.

Als erster bzw. ergänzender Schritt wäre (z.B. für Deutschland) die Einführung einer Energieausweis-Datenbank sinnvoll, wie sie Staaten wie Dänemark, aber auch das Bundesland Vorarlberg bereits eingeführt haben.

Ein wichtiger Punkt bezüglich der Daten für das Erfolgsmonitoring ist deren Qualitätssicherung; diese Aufgabe sollte – ähnlich wie die Qualitätssicherung im Rahmen des Reportings der Treibhausgasemissionen - zentral und als integraler Bestandteil des Monitorings durchgeführt werden.

In der folgenden Tabelle sind exemplarisch einige Indikatoren dargestellt, die als Grundlagen des Monitorings erforderlich sind. Die Liste versteht sich als erste Anregung und ist in Zukunft zu vervollständigen.

Indikator	Einheit	Aktueller Wert	Erläuterungen	Datenquelle
Einwohner	Anzahl			
Anzahl und Fläche der Wohneinheiten – Hauptwohnsitz	Anzahl, m <sub>2</sub> Wohnfläche		Wie bisher nach Baualtersklassen, Gebäudetyp, Wärmeerzeuger etc.	Statistische Ämter
Anzahl und Fläche der Wohneinheiten - Nebenwohnsitz	Anzahl, m <sub>2</sub> Wohnfläche		Wie bisher nach Baualtersklassen, Gebäudetyp, Wärmeerzeuger etc.	Statistische Ämter
Neubau Wohneinheiten			Wie bisher nach Gebäudetypen, nach Wärmeerzeuger, Solarsystem etc.	Statistische Ämter
Abriss – Anzahl der Wohneinheiten und Fläche			Nach Baualtersklasse, Gebäudetyp, Wärmeerzeuger	
Energetische Sanierung Bauteile Gebäudehülle			Anzahl der Wohneinheiten, differenziert nach Bauteilen mit Flächen, U-Werten etc.	
Kesselaustauschrate			Mit Angabe Leistung, Baujahr und Energieträger des alten Kessels sowie Leistung und Energieträger für neuen Kessel	Schornsteinfeger, Installateure
Anteil erneuerbare Energien und netzgebundene Wärme (oder mittlerer spez. CO <sub>2</sub> -Faktor der neu installierten Wärme o.ä.)				
Berechnete Energiekennwerte (und			Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf	Energieausweiszentrale

CO <sub>2eq</sub> -Emissionen) pro Gebäude			nach Anwendungen Heizung, Warmwas- ser, Hilfsstrom, Nut- zerstrom, Haushalts- strom; CO <sub>2eq</sub> -Emissi- onen	
Gemessene Energie- verbräuche pro Ge- bäude			Endenergiebedarf nach Anwendungen Heizung, Warmwas- ser, Hilfsstrom, Nut- zerstrom, Haushalts- strom	Energieversorger, Energieabrech- nungsunterneh- men
Mittlerer Energiebe- darf			Berechnete Werte, pro Gebäudetyp/pro Baualterklasse/pro Energieträger	
Mittlerer Energiever- brauch			Gemessene Ver- bräuche, pro Gebäu- detyp/pro Baualter- klasse/pro Energie- träger	
Mittlere CO <sub>2eq</sub> -Emis- sionen				

**Abbildung 122: Liste von Indikatoren für ein Erfolgsmonitoring der Dekarbonisierung des Gebäudesektors**

Während ein Teil der Daten schon heute verfügbar ist, sollte ein anderer Teil zukünftig neu erhoben oder zugänglich gemacht werden.

### 8.3 Verortung gebäudebezogener, energierelevanter Daten und übergeordneter Infrastrukturen in GIS-Systemen

Als Grundlage für die Energieraumplanung sollten die wie im vorigen Kapitel beschrieben erhobenen und qualitätsgesicherten gebäudebezogener, energierelevanten Daten in GIS-Systemen abgebildet werden. Neben den gebäudebezogenen Daten sollten auch übergeordnete energierelevante Infrastrukturen wie Fern- und Nahwärmenetze sowie Abwärmequellen und Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien (Solar, Sole- und Wasser-WP, ...) und Restriktionen wie Immissionschutzgebiete verortet werden.

Während entsprechende GIS-Systeme bereits verfügbar sind, ist die Datenverfügbarkeit und –qualität bislang teilweise schlecht. Für Deutschland liegt mit dem Wärmeetlas 2.0 eine gute Ausgangsbasis vor, in dem neben einer vollständigen Gebäudedatenbank ein Verbrauchsmodell und verschiedenen Informationen zu Wärmenetzen, Abwärmequellen und anderen geographischen Informationen enthalten sind.

## 8.4 Vergleich und Optimierung von Fördersystemen

Als Grundlage für die Optimierung könnte ein Vergleich der der bisherigen Fördersysteme in den IBK-Regionen angestellt werden. Dabei sollten u.a. die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- Förderkriterien
- Ambitionsniveau
- Dotierung der Förderung
- Art der Förderung (verlorener Zuschuss, zinsgünstiger Kredit...)
- Nachweisführung
- Qualitätssicherung und Monitoring

Letztlich könnte der Vergleich dazu dienen, festzustellen mit welcher Art der Förderung pro Euro oder Franken der größte nachweisbare Reduktionseffekt bei geringst möglichem bürokratischen Aufwand entsteht.

## 8.5 Modellvorhaben zum Praxisvergleich der energetischen Qualität und Wirtschaftlichkeit verschiedener Sanierungskonzepte

Wie das Vorarlberger Modellvorhaben KliNaWo zeigt, kann die zu großen Teilen unsachlich geführte Diskussion zu realen Energieverbräuchen von Gebäuden sowie zu (Mehr)Kosten und Wirtschaftlichkeit versachlicht werden, wenn die energetische Performance sowie Kosten und Wirtschaftlichkeit in Modellvorhaben in der Region untersucht und zielruppengerecht aufbereitet werden.

Wie das Beispiel Vorarlbergs zeigt, können die so gewonnenen Daten als Grundlage für Kostenoptimalitätsstudien verwendet werden, die wiederum als Grundlage zur Justierung von Mindestanforderungen und von Förderungen verwendet werden können.

Derartige Modellvorhaben sollten für die Sanierung der relevantesten Gebäudetypen durchgeführt werden. Dabei sollten für jeden Typ unterschiedliche Konzepte untersucht werden. Dies sollte einerseits durch Planung und Ausschreibung mehrerer Varianten pro Projekt erfolgen (unterschiedliche Dämmstoffdicken, Wärmeversorgungssysteme, Lüftungsstrategien und Solarsysteme...), andererseits auch durch den Quervergleich mehrerer Projekte eines Typs.

In einigen Projekten sollte auch die Kombination von Sanierung mit Aufstockung und Erweiterung untersucht werden. Diese Kombination kann die Finanzierbarkeit hochwertiger energetischer Sanierungen deutlich verbessern und reduziert weitere Bodenversiegelung.

In weiteren Projekten sollten Konzepte zu Einsparcontracting, flatrate-Mieten etc. untersucht werden (Beispiel stroomversnelling, Niederlande).

## 8.6 Efficiency first – hohe Priorität für Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs

Wie Szenarienstudien zeigen, ist eine sehr deutliche Reduktion des mittleren Heizwärmeverbrauchs des Gebäudeparks angesichts der Begrenztheit erneuerbarer Energieträger (besonders im Winter) eine Grundvoraussetzung für die vollständige Dekarbonisierung. Wie verschiedene Studien zeigen, sind Reduktionen des mittleren Heizwärmeverbrauchs um 40 bis 55% bis 2050 auch in Regionen mit deutlichen Zuwächsen an Wohn- und Nutzfläche möglich, wenn die betriebswirtschaftlich sinnvollen Energieniveaus in der Breite umgesetzt werden [6], [28], [29].

Auf der Ebene von Einzelgebäuden zeigen Modellvorhaben, dass Reduktionen des Endenergieverbrauchs<sub>Heiz+WW</sub> von 70 bis 80% möglich sind, so dass bei gleichzeitigem Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeuger noch höhere THG-Reduktionen erreicht werden. Einzelne Projekte demonstrieren, dass bereits heute bis zu sechsgeschossige Gebäude als jahresbilanzielle Nullenergiegebäude saniert werden können (siehe Kapitel 3.5).

Auch wenn energetische Sanierungen mit hohen Einsparungen sehr oft wirtschaftlich sind, sind in vielen Fällen Förderanreize notwendig sein, um die Finanzierbarkeit zu verbessern, indem ein Teil der energiebedingten Mehrkosten abgedeckt wird. Um Fördergelder so einzusetzen, dass sie einen möglichst hohen Einspareffekt ermöglichen, sollten sie in Zukunft sowohl bezüglich der Hüllsanierung, als auch bezüglich des Austauschs von Wärmeerzeugern (siehe folgendes Kapitel) stärker differenziert werden.

Fördermittel für die Sanierung der Gebäudehülle sollten prioritär für Gebäude eingesetzt werden, die einen aktuellen Heizwärmeverbrauch  $> 125 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  haben. Dabei sollten sowohl Voll- als auch Teilsanierungen (Sanierungen in mehreren Schritten) gefördert werden, letztere jedoch nur, wenn der langfristig wirtschaftliche Standard (U-Werte opak bspw.  $< 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) erreicht wird. Da die Austauschrate bei Fenstern höher liegt als bei opaken Bauteilen, kann das Segment auf  $\text{HWB} > 75 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  erweitert werden (Mindestanforderung U-Wert transparent  $< 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ).

Wie im folgenden Kapitel erläutert, sollte auch die Förderung von Wärmeversorgungssystemen bei Ersatz des bisherigen Erzeugers stärker differenziert werden. Die Förderung von Wärmepumpen orientiert sich an den sinnvollen Einsatzsegmenten: Luftwärmepumpen werden in Gebäuden (Neubau und Sanierung) mit einem Heizwärmeverbrauch  $< 45 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  gefördert; Erdreich-Wärmepumpen mit oberflächennaher Erschließung bis Heizwärmeverbrauch von  $75 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$  und Erdsonden bis  $125 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$ , wobei für alle Bauformen (Gebäudetypen) eigene Effizienz-Standards zu definieren sind. Biomasse-Heizanlagen sollten nur für denkmalgeschützte Gebäude oder Gebäude mit Ensembleschutz gefördert werden.

## 8.7 Differenzierter Umbau der Wärmeversorgung

Die Dekarbonisierung bedingt einen rigorosen Umbau unserer Wärmeversorgung. Um diesen Umbau möglichst wirtschaftlich abzuwickeln, ist es zum einen wichtig, die (in sich wirtschaftlichen) Effizienzpotenziale möglichst vollständig zu nutzen – keine halbherzigen Sanierungen, Neubau-Anforderungen am langfristig ökonomischen Standard orientieren – das führt mittelfristig zu einer Reduktion des Gebäudewärmebedarfs um rund 50% (Vgl. Kapitel 3.2 bis 3.6). Zum anderen müssen Lenkungsmaßnahmen einem ebenso langfristigen kommunalen Wärmeplan folgen. Nur so kann unterbunden werden, dass heute Investitionen getätigt werden, die in 10 oder 15 Jahren ihren Wert verlieren und damit zu einer massiven Erhöhung der volkswirtschaftlichen Kosten führen.

Angelehnt an das in Kapitel 3.7 beschriebene Angebot an Wärmeversorgungssystemen ergibt sich eine Matrix mit den präferierten Lösungen in Abhängigkeit von Gebäudeart, Wärmedichte, der Verfügbarkeit von Wärmenetzen und des energetischen Standards:

			Realer Heizwärmeverbrauch in kWh/m <sup>2</sup> WNF.a					
			NEUBAU	BESTAND				
Gebäudeart	Bereits FW-Gebiet?	Wärmedichte derzeit	<25	<45	45-75	75-125	>125	Denkmalschutz
EFH	Nein	<20-30 GWh/km <sup>2</sup>	WP (L)		WP (L/E)	WP (E_t)	SAN+WP (L)	Biomasse
MFH, Nicht-Wohnbau			WP (L/E)		WP (E)		SAN+WP (L/E)	
Alles		>20-30 GWh/km <sup>2</sup>	FW				SAN+FW	FW
	Ja	Egal						

- WP (L)            Luft-Wärmepumpe
- WP (L/E)        Luft- oder Erd-Wärmepumpe (Flachkollektor oder Erdsonde) - kostengünstigste Variante
- WP (E)            Erd-Wärmepumpe (Flachkollektor oder Erdsonde) - kostengünstigste Variante
- WP (E\_t)         Erd-Wärmepumpe (Erdsonde)
- FW                Fernwärme
- SAN                Sanierung

**Abbildung 123: Matrix der präferierten Wärmeversorgungssysteme in Abhängigkeit von Gebäudeart, Wärmedichte und Verfügbarkeit von Wärmenetzen sowie vom Energieniveau**

Eine zentrale Unterscheidung liegt in der Verfügbarkeit bzw. der wirtschaftlichen Realisierbarkeit von Wärmenetzen. In [50] werden diese Grenzen in Wärmeabsatz pro Trassenmeter des Wärmenetzes angeführt: 0,64 MWh pro Meter müssen im urbanen Bereich, 0,39 MWh pro Meter im ländlichen Bereich mindestens abgesetzt werden, um ein Netz wirtschaftlich betreiben zu können. Der Unterschied liegt unter anderem in den höheren Baukosten im städtischen Bereich. Je nach geographischer Situation korrespondiert dieser trassenspezifische Wärmeabsatz mit einer Wärmedichte von 10 bis 30 GWh/km<sup>2</sup> (250 bis 500 m Trasse pro Hektar). In <https://www.iwb.ch/Ueber-uns/Newsroom/Medienmitteilungen/W-rme-im-Wandel-zum-Nutzen-f-r-Basel.html> beträgt der angesetzte Grenzwert für Wärmenetze 16 GWh/km<sup>2</sup>.

In **Gebieten ohne Wärmenetze und geringer Wärmedichte** gilt:

Für **Einfamilienhäuser im besten Standard** (Neubau, Bestand mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf) deckt eine moderne Luft-Wärmepumpe mit kostengünstiger Erschließung der Wärmequelle alle Anforderungen ab. Der Bedarf an Winterstrom ist vergleichsweise niedrig und durch die geringen Mehrinvestitionen in die thermische Qualität kann die Wärmeversorgung entsprechend günstiger ausgeführt werden.

**Einfamilienhäuser mit mittlerem Verbrauch** (Neubau-Mindeststandard der letzten 20 Jahre) sind hochwertige Luft-Wärmepumpen ebenfalls eine Option, ein noch effizienterer Betrieb ist mit Erdreich-Wärmepumpen möglich. Dabei kann die Erschließung durchaus kostengünstig in Form eines oberflächennahen Flach- oder Ringgrabenkollektors erfolgen.

**Einfamilienhäuser mit hohem Verbrauch** (Neubau-Mindeststandard 80er und 90er, halberzige Sanierungen) können noch mit Wärmepumpen beheizt werden, allerdings nur bei höchster Effizienz: Wärmequelle Erdreich, über Erdsonden erschlossen; außerdem leistungsgeregelt.

**Für Mehrfamilienhäuser** in diesen Standards stehen prinzipiell die gleichen Technologien zur Verfügung – je geringer der Heizwärmebedarf, umso einfacher darf die Erschließung der Wärmequelle erfolgen. Allerdings sorgen hier die Gegebenheiten oft für eine Beschränkung der Möglichkeiten; sowohl die Wärmequelle Luft als auch eine oberflächennahe Erschließung des Erdreichs wird mit zunehmender Größe aus Platzgründen schwierig, sodass aus Gründen der Machbarkeit oft die effizientere, aber etwas teurere Erdsonden-Lösung umgesetzt werden muss.

Für **Ein- und Mehrfamilienhäuser mit sehr hohem Energieverbrauch** (i.d.R. unsanierte Bauten vor 1980) gilt: Zuerst (hochwertig) sanieren, dann Wärmeversorgung anpassen! Nicht nur, weil die hohen benötigten Energiemengen die Potenziale der Erneuerbaren sprengen: Wärmepumpen sind für die erforderliche Art von Wärmeabgabe ungeeignet und Biomasse wird in Zukunft zu wertvoll (und teuer) sein, um in diesen Mengen verheizt zu werden. Die grundsätzlich richtige Parole „Raus aus dem Öl!“ wäre hier falsch angewandt: Jegliche unnötige Investition in die Wärmeversorgung eines unsanierten Gebäudes ist eine Fehlinvestition – nach der Sanierung kostet das neue, auf den reduzierten Bedarf angepasste Heizsystem nur noch einen Bruchteil. Bestenfalls lohnt sich die Installation einer Biomasseheizung als Übergangslösung, wenn die Sanierung noch in weiter Ferne (15 bis 20 Jahre) liegt. Nach der Sanierung kommen dann wieder einfache Wärmepumpensysteme zur Anwendung (Wärmequelle Luft oder Erdreich, je nach LCC-Optimum).

Alle beschriebenen Einsatzfälle von dezentralen Wärmepumpen eignen sich auch für die Einbindung in Energienetze. Die sinnvolle bzw. wirtschaftliche Anwendung hängt weniger von den versorgten Gebäuden als von der Eignung des gesamten Quartiers ab (Vgl. 3.7.3.).

Für sämtliche Wärmepumpenanwendungen gilt: Die **Wärmeeinbringung** erfolgt auf möglichst niedrigem Temperaturniveau – vorzugsweise über Flächenheizungen, im Sanierungsfall auch über spezielle Niedertemperatur-Heizkörper. Die **Trinkwasser-Erwärmung** kann im Mehrfamilienhaus zentral (mittels Wärmepumpe) erfolgen, allerdings sollte die Übergabe der Wärme

erst in der Wohnung (Wohnungsübergabestation) erfolgen, um die erforderlichen hohen Temperaturen einer zentralen Warmwasserspeicherung zu umgehen.

Für **denkmalgeschützte Gebäude** mit sehr hohem Energieverbrauch, die weder saniert, noch an ein Wärmenetz angeschlossen werden können, bleibt die Notlösung Biomasse. Für diesen kleinen Anteil des Gebäudebestands (ca. 3%) steht keine andere Form der erneuerbaren Energien zur Verfügung.

Gebiete, die bereits mit Wärmenetzen erschlossen sind oder eine geeignete Wärmedichte (oberhalb von 20-30 GWh/km<sup>2</sup>) aufweisen, sollen zukünftig über **Wärmenetze** versorgt werden. Wobei auch hier gilt, dass Gebäude mit sehr hohem Energieverbrauch baldmöglichst zu sanieren sind.

Der massive Ausbau an Wärmenetzen erfordert die Verdichtung bestehender Netze (also den zusätzlichen Anschluss von Liegenschaften innerhalb des Netzes), aber auch die räumliche Erweiterung bestehender und den Bau neuer Wärmenetze. Wo genau sind nun die geeigneten Randbedingungen hierfür zu finden? Je nach Region leben zwischen 20 und 35% der Bevölkerung in Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern. Diese Städte bieten i.d.R. die besten Voraussetzungen für Wärmenetze mit hohem Anschlussgrad. In [50] werden die möglichen Anschlussgrade bereits bis 2030 mit 30 bis 60% benannt. Aber auch in kleineren Orten finden sich meist Gebiete mit ausreichender Wärmedichte – im Ortskern und/oder im Umkreis von Großverbrauchern wie Schulen, Hotels o.ä. Hier sind Anschlussgrade um 20 bis 30% möglich.

Ein Beispiel für den massiven Ausbau der leitungsgebundenen Wärmeversorgung hat kürzlich der Energieversorger der Stadt Basel (IWB) vorgestellt, sowohl durch Verdichtung, als auch durch räumliche Erweiterung

<https://www.iwb.ch/Ueber-uns/Newsroom/Medienmitteilungen/W-rme-im-Wandel-zum-Nutzen-f-r-Basel.html>.

## 8.8 Rechtzeitig angekündigter Stufenplan zum Verbot fossiler Wärmeerzeuger

Die Zielsetzung der Klimaneutralität im Jahre 2040 (Regierungsprogramm Österreich) markiert auch das Datum der vollständigen Dekarbonisierung der Heizkeller: Bis zu diesem Zeitpunkt soll der Umbau vonstattengehen bzw. abgeschlossen sein. Wärmeerzeuger sind im Mittel über 30 Jahre in Verwendung; eine mögliche Strategie könnte demnach folgendermaßen aussehen.

- Stufenweise Verbote des Betriebs von Öl- und Gas-Heizgeräten in Abhängigkeit von ihrem Alter. Der Zeitplan für die Verbote wird im Jahr 2021 verbindlich festgelegt, so dass Hausbesitzer ausreichende Vorlaufzeiten für die anstehenden Investitionen haben. Auf das österreichische Ziel der vollständigen Dekarbonisierung bis 2040 sähe der Zeitplan für die Verbote fossiler Kessel etwa wie folgt aus:
  - Per 1.1.2026 alle Geräte mit Baujahr 1990 oder älter.

- Per 1.1.2031 alle Geräte mit Baujahr 2000 oder älter.
- Per 1.1.2036 alle Geräte mit Baujahr 2010 oder älter.
- Per 1.1.2041 alle restlichen Geräte.
- Degressive Förderung für den Umstieg auf nicht-fossile Energieträger; je früher ein fossiler Kessel freiwillig getauscht wird, desto höhere Förderungen werden gewährt (auch um den Restwert auszugleichen). Für den Austausch von Kesseln, die erst zu den im o.g. genannten Zeitplan genannten Zeitpunkt gewechselt werden, gibt es keine (oder ggf. geringe) Förderung.
- Parallel dazu muss der Einbau neuer Öl- und Gas-Heizgeräte so schnell wie möglich untersagt werden, um heute keine teuren Altlasten des Jahres 2040 zu erzeugen.
- Nicht gefördert werden Austausche in Gebäuden mit sehr hohem Energiebedarf; hier ist zunächst eine thermische Sanierung durchzuführen.

Die Förderungen für den Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeuger könnte zeitlich degressiv gestaltet werden, so dass Anreize entstehen, den vorgeschriebenen Austausch möglichst frühzeitig durchzuführen und nicht im letztmöglichen Jahr.

Die Förderungen sollten so gestaltet werden, dass höhere Boni gewährt werden, wenn gleichzeitig mit dem Kesseltausch auch hochwertige Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle vorgenommen werden.

Alternativ zu obigem Vorschlag könnte die Dekarbonisierung des Gebäudesektors auch dadurch gesteuert werden, dass ein Zeitplan mit verbindlichen CO<sub>2</sub>-Grenzwerten auch für Bestandsgebäude festgelegt wird, wie bereits 2012 als „Stufenmodell“ angedacht ([https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/strategie\\_f\\_r\\_eine\\_wirkungs-volle\\_sanierung\\_des\\_deutschen\\_geb\\_udeestandes\\_endg.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/strategie_f_r_eine_wirkungs-volle_sanierung_des_deutschen_geb_udeestandes_endg.pdf)).

Wird dieser auch in der Schweiz geplante Weg beschritten, so muss bei der Ausgestaltung begleitender Förderungen darauf geachtet werden, dass nicht einseitig auf den Ersatz von Öl- und Gaskesseln durch Biomassekessen gesetzt wird. Diese erreichen zwar auch strenge CO<sub>2</sub>-Grenzwerte, sind aber wegen der Begrenztheit der Ressource Holz keine Lösung für große Marktsegmente. Auch für Gebäude, die von fossilen Energieträgern auf Holz umsteigen, muss daher gewährleistet werden, dass zunächst die Effizienz verbessert wird.

Ein ähnliches Instrument – die Verpflichtung zur Sanierung aller Gebäude auf ein bestimmtes Energieniveau mit einem frühzeitig hinterlegten, langfristigen Zeitplan - wird seit einigen Jahren in den Niederlanden angewendet. Dort müssen bis 2023 alle Bürogebäude mindestens auf Effizienzklasse C saniert werden, zu einem späteren Zeitpunkt muss die Klasse A erreicht werden.

## 9 Quellen

- [1] S. Peper, „Gebäudesanierung ‚Passivhaus im Bestand‘ in Ludwigshafen / Mundenheim – Messung und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge“. Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist, 2008.
- [2] S. Peper, „Sanierung mit Passivhauskomponenten – Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstrasse Frankfurt a.M.“ Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist, 2009.
- [3] M. Ploss, „Verbrauchsdatenauswertung MFH in Hörbranz“. Energieinstitut Vorarlberg, 2016.
- [4] C. C. Lorz, „Endbericht Modellvorhaben Effizienzhaus Plus im Altbau - Energetisches Monitoring der Effizienzhäuser Plus Pfuhrer Strasse 4-6 und 12-14 in Neu-Ulm“. RWTH Aachen, 2018.
- [5] T. Rosskopf, „Kostenoptimalitätsstudie zur Justierung der Energieanforderungen in der Bautechnikverordnung Vorarlberg 2021 sowie im Deklarationssystem klimaaktiv“. Energieinstitut Vorarlberg, 2020.
- [6] M. Ploss, T. Hatt, R. Vallentin, und M. Kern, „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070 - Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks - ‚Dampferstudie‘“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Okt. 2017.
- [7] T. Rosskopf und M. Ploss, „Szenarien zur Entwicklung der Monatswerte der CO<sub>2</sub>-eq-Emissionen des österreichischen Verbraucherstrommix“. Energieinstitut Vorarlberg, 2020.
- [8] V. Masson-Delmotte, „Global warming of 1,5°C - an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways in the context of strenghtening the global response to the treat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty“, IPCC, 2019.
- [9] R. Vallentin, „Neubestimmung der Klimaschutzziele anhand von CO<sub>2</sub>-Globalbudgets“. unveröffentlicht.
- [10] „Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Der europäische Grüne Deal“. Dez. 11, 2019.
- [11] „Verordnung (EU) 2018/842 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030“. .
- [12] „Ein Sauberer Planet für alle - Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft - Mitteilung der Kommission an...“ [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>.
- [13] „Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz“. Mai 30, 2018, [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=DE>.
- [14] „EMPFEHLUNG (EU) 2019/786 DER KOMMISSION vom 8. Mai 2019 zur Renovierung von Gebäuden“. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019H0786&from=DE>.
- [15] „Energiestrategie 2030 - Vision 2050“. Regierung des Fürstentums Liechtenstein, Sep. 2020.
- [16] „Aus Verantwortung für Österreich - Regierungsprogramm 2020 - 2024“. 2020, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/bundeskanzleramt/die-bundesregierung/regierungsdokumente.html>.
- [17] „Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich - Periode 2021-2030 - gemäß Verordnung (EU) 2018/1999“. [Online]. Verfügbar unter: [file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/NEKP\\_final%2018.12.2019-1.pdf](file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/NEKP_final%2018.12.2019-1.pdf).
- [18] „Langfristige Renovierungsstrategie OIB-330.6-022/19-093“. Apr. 2020, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-ltrs>.

- [19] „VERORDNUNG (EU) 2018/1999 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU und 2013/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2009/119/EG und (EU) 2015/652 des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates“. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=DE>.
- [20] A. Zechmeister, „Klimaschutzbericht 2019 - Analyse der Treibhausgas-Emissionen bis 2017“. Umweltbundesamt, 2019, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0702.pdf>.
- [21] S. Dan, „A review of EU member states 2020 Long term renovation strategies“. BPIE, 2020.
- [22] „Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften“. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2019, 12 2020.
- [23] „Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz)“. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil I, Nr. 37 vom 13. August 2020.
- [24] „Erstes Gesetz zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes“. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil I, Nr. 50, Nov. 03, 2020.
- [25] „Gesetz zur Entlastung bei den Heizkosten m Wohngeld im Kontext der CO2-Bepreisung“. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil 1, Ausgabe 22.05.2020.
- [26] „Energieeffizienzstrategie 2050“. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Dez. 2019.
- [27] „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz GEG)“. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil I, Nr. 37 vom 13. August 2020.
- [28] R. Vallentin, „Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern - Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnbau“. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2011.
- [29] M. Ploss, „Energieperspektiven Luxemburg 2070“. Energieinstitut Vorarlberg, 2017.
- [30] M. Preißinger, „Energieautonomie Vorarlberg 2050 - Gesamtszenarien für 2030 - Fokus Strom - Kurztitel: Szenarienbetrachtung 2030“, Dornbirn, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/Bericht\\_Szenarienbetrachtung\\_2030.pdf](file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/Bericht_Szenarienbetrachtung_2030.pdf).
- [31] M. Greller, „Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualtersklassen“. Bauphysik 32(2010) Heft 1.
- [32] „Energiekennwerte 2019 Eine Studie von Techem zum Wärme- und Wasserverbrauch in Mehrfamilienhäusern Eschborn“. Techem Energy Services GmbH, 2020, [Online]. Verfügbar unter: [https://www.techem.de/fileadmin/user\\_upload/epaper-EKW-2019\\_Leseversion/#0](https://www.techem.de/fileadmin/user_upload/epaper-EKW-2019_Leseversion/#0).
- [33] M. Ploss und J. Gehrmann, „Verbrauchsdatenerhebung MFH der VOGEWOSI (unveröffentlicht)“. Energieinstitut Vorarlberg, 2018.
- [34] T. Loga, „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“. Institut Wohnen und Umwelt, 2019, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-04-2019.html>.
- [35] F. Schröder, „Reale Raumtemperaturen in Mehrfamilienhäusern und Implikationen für die Einschätzung des Heizwärmebedarfs“. EnEV aktuell, Nr. 1/2010.
- [36] T. Loga, „Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten“. Institut Wohnen und Umwelt, 2003.
- [37] „Under-occupation of housing increases with age“. LISER, 2019, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.liser.lu/ise/index.cfm>.
- [38] „Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg - LTRS Long Term Renovation Strategy“. Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire - Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2020.

- [39] N. Weyand, „Modernisierung Brunckviertel: Ergebnisse zum 3-Liter-Haus“. Tagungsband 9. Internationale Passivhaustagung, 2005.
- [40] F. Kagerer, „Sanierung eines Hochhauses auf Passivhaus-Standard – ein Jahr Betriebs-erfahrungen“. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 2013.
- [41] D. Günter, „Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungs- projekt WPsmart im Bestand“. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 2020.
- [42] „98%-MFH-Sanierung, 8057 Zürich/ZH“. Schweizer Solarpreis 2017, [Online]. Verfügbar unter: [https://www.solaragentur.ch/sites/default/files/g-17-09-20\\_solarpreispublikation\\_2017\\_def\\_84-85\\_98-mfh-sanierung\\_zuerich.pdf](https://www.solaragentur.ch/sites/default/files/g-17-09-20_solarpreispublikation_2017_def_84-85_98-mfh-sanierung_zuerich.pdf).
- [43] „Energieträger der Heizung gemäss GWR, Gebäude: Wohngebäude der GWS 2019“. Amt für Statistik Liechtenstein, Oktober 2020.
- [44] G. Benke, „Gasetagenheizungen im Licht der Dekarbonisierung des Energiesystems“. e7 Energie Markt Analyse GmbH, Wien 2017.
- [45] „Energie- und Monitoringbericht 2020“. Amt der Vorarlberger Landesregierung, [Online]. Verfügbar unter: <file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/Energie-+und+Monitoringbericht+2020-1.pdf>.
- [46] „Wohnen in Deutschland, Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018“. Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Wiesbaden 2019.
- [47] P. Sterchele, „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem“. Fraunhofer ISE, Freiburg 2020.
- [48] „Klimaneutrales Deutschland - In drei Schritten zu null Treibhausgasen über ein Zwischenziel von -65% als Teil des EU-Green-Deals“. Agora Energiewende, Nov. 2020, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>.
- [49] M. Deutsch, „Wie werden Wärmenetze grün?“ Agora Energiewende, 2019.
- [50] N. Gerhardt, „Entwicklung der Gebäudewärme und Rückkopplung mit dem Energiesystem in -95 %-THG-Klimazielszenarien“. Fraunhofer IEE, Kassel, 2019.
- [51] C. Winterscheid, „Infoblatt Solare Wärmenetze Nr. 1“. Steinbeis Innovation GmbH.
- [52] M. Brunn, „Energieausweiszentrale Vorarlberg - Jahresbericht 2020“, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abt. VIa, Bregenz, 2020.
- [53] P. Biermayr, „Innovative Energietechnologien in Österreich 2019“. Bundesministerium für Klima, [Online]. Verfügbar unter: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea\\_pdf/schriftenreihe-2020-14-marktstatistik-2019-bf.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/schriftenreihe-2020-14-marktstatistik-2019-bf.pdf).
- [54] „Fallbeispiele ‚Thermische Netze‘“. Energie Schweiz, Feb. 2018, [Online]. Verfügbar unter: [file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/8836-d\\_20180222\\_Alle\\_Fallbeispiele\\_Thermische\\_Netze\\_mit\\_Vergleich-1.pdf](file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/8836-d_20180222_Alle_Fallbeispiele_Thermische_Netze_mit_Vergleich-1.pdf).
- [55] Ch. Drexel, „HyLiving Saisonale Energiespeicherung im Wohnbau“. drexel reduziert, 2020.
- [56] „Die Ökostromlücke, ihre Effekte und wie sie gestopft werden kann“. Agora Energiewende, März 2020.
- [57] „National Energy and Climate Plan of the Czech Republic“. Nov. 2019, [Online]. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/cs\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/cs_final_necp_main_en.pdf).
- [58] P. Stolz, .
- [59] A. Van Oehsen, „Benötigt man zeitlich aufgelöste Stromprimärenergiefaktoren in der Energieeinsparverordnung?“ Energiewirtschaftliche Tagesfragen 11/2014, S. 67.
- [60] M. Ploss, T. Hatt, C. Schneider, T. Rosskopf, und M. Braun, „Modellvorhaben KliNaWo - Klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau - Zwischenbericht Jänner 2017“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2018.
- [61] M. Ploss, T. Hatt, C. Schneider, T. Rosskopf, und M. Braun, „Modellvorhaben ‚KliNaWo‘ - Klimagerechter, nachhaltiger Wohnbau - Zweiter Zwischenbericht Juli 2019 - Beschreibung der Realisierungsvariante, abgerechnete Kosten, Ergebnisse Monitoring“, Dornbirn, Juli 2019.
- [62] „OIB Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz: Kostenoptimalität OIB-330.6-005/18-001“. Feb. 2018, [Online]. Verfügbar unter: [https://www.oib.or.at/sites/default/files/kostenoptimalitaet\\_26.02.18\\_0.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/kostenoptimalitaet_26.02.18_0.pdf).

- [63] O. Kah, „Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen im Gebäudebestand 2005“. Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist, 2005.
- [64] M. Böhmer, „Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren“. Prognos, Berlin, BAsel, 2013.
- [65] A. Enseling, „Häuser sparsamer als verlangt - investive Mehrkosten bei Neubau und Sanierung - Einfamilienhäuser“. Institut Wohnen und Umwelt, Okt. 2014.
- [66] A. Enseling, „Häuser sparsamer als verlangt – investive Mehrkosten bei Neubau und Sanierung – Mehrfamilienhäuser“. Institut Wohnen und Umwelt, Okt. 2014.
- [67] B. Schulze-Darup, „Sanierung mit Faktor 10: Projektbeispiele mit Monitoring-ergebnissen; Präsentation anlässlich des FIW Wärmeschutztages 2012, München 15. Juni 2012“. 2012.
- [68] „datamapper, 2020. Breakdown of building floor area“. [Online]. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-datamapper\\_en](https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-datamapper_en).
- [69] „Der dena Gebäudereport 2015 - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand“. Deutsche Energieagentur Dena, 2015.
- [70] Schremmel, „Wohnungsbedarfsprognose für Vorarlberg und die Region Rheintal zum Jahr 2030“. ÖIR GmbH, 2014.
- [71] M. Anderl, „Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2016“, Umweltbundesamt, Wien, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0665.pdf>.
- [72] „Nutzenergieanalyse für Vorarlberg 1993 bis 2017“. Statistik Austria.
- [73] „Switzerlands Greenhouse Gas Inventory 1990 to 2018, National Inventory Report, including reporting elements under the Kyoto Protocol; Submission of April 2020 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol“. Federal Office for the environment, Apr. 2020.
- [74] „Austrias National Inventory Report 2020“. Umweltbundesamt, 2020.
- [75] „Liechtenstein’s greenhousegas Inventory 1990 - 2018 - National Inventory Report 2020“. Office of ENvironment, Apr. 2020.
- [76] „Mehr als 60% des Treibhausgas-Fussabdrucks entstehen im Ausland“. Bundesamt für Statistik, 2018.
- [77] Philippe, „Umweltkennwerte und Primär-energiefaktoren von Energiesystemen“. treeze ltd., 2017, [Online]. Verfügbar unter: [https://treeze.ch/fileadmin/user\\_upload/downloads/Publications/Case\\_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf](https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf).
- [78] M. Brunn, „Altersverteilung Ölkessel; Quelle: AdVLRg 2016 - 2018“. Amt der Vorarlberger Landesregierung, Amt für Energie und Klima.
- [79] T. Hostettler, „Markterhebung Sonnenenergie 2019“. Bundesamt für Energie.
- [80] „Energiestatistik 2019 - Liechtenstein“. Amt für Statistik.
- [81] H. Cischinsky und N. Diefenbach, „Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 - Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Apr. 2018.
- [82] N. Diefenbach, „Monitoring der KfW-Programme ‚Energieeffizient Sanieren‘ und ‚Energieeffizient Bauen 2017‘. IWU + Fraunhofer IFAM, Okt. 2018.
- [83] M. Ploss, „Wohngebäude energetisch gut sanieren, in: economicum, Themenband 8“. Energieinstitut Vorarlberg, Apr. 2019.
- [84] „Die Volksverdümmung: Energiewende - wie Mieter und Hausbesitzer um Milliarden betrogen werden“, Spiegel Nr. 49, Dez. 2014.
- [85] „Verdämmt und zugeklebt“, ZDF, TV-Sendung planet e, März 2015.
- [86] C. Sprengard, „Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe“. FIW München, Nov. 2013.
- [87] „Hexabromcyclodekan (HBCD) - Antworten auf häufig gestellte Fragen“, Umweltbundesamt (Herausgeber), Feb. 2015.
- [88] W. Albrecht, „Rückbau, Recycling und Verwendung von WDVS - Möglichkeiten zur Wiederverwertung von Bestandteilen des WDVS nach dessen Rückbau...“, Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2014.
- [89] „La rénovation énergétique de l’habitat au Luxembourg - Volet ménages - enquête par sondage réalisée par TNS Ilres en octobre-décembre 2015“. TNS Ilres / myenergy, 2015.

- [90] „Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für die Zeit nach 2020“. Bundesamt für Umwelt BAFU, [Online]. Verfügbar unter: [file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/Musterpr%C3%A4sentation%20nach%20Schlussabstimmung\\_de-1.pdf](file:///C:/Users/mp/AppData/Local/Temp/Musterpr%C3%A4sentation%20nach%20Schlussabstimmung_de-1.pdf).
- [91] „Vorsicht Schimmel - Eine Wegleitung zu Feuchtigkeitsproblemen und Schimmel in Wohnräumen“. Eidgenössisches Departement des Inneren, Bundesamt für Gesundheit (Herausgeber):
- [92] S. Brasche, „Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen - Ergebnisse einer repräsentativen Wohnungsstudie in Deutschland“. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 46 2003.
- [93] P. Biwald, „Schaffung von Public Value - Zentrale Aspekte und strategische Konsequenzen am Beispiel der gemeinnützigen Wohnungswirtschaft; Im Auftrag des Österreichischen Verbandes gemeinnütziger Bauvereinigungen – Revisionsverband und der Wohnbauförderungsabteilungen der Bundesländer“. Revisionsverband und der Wohnbauförderungsabteilungen der Bundesländer; KDZ Zentrum für Verwaltungsforschung.
- [94] Kletzan-Klamanig, „Energieeffiziente Gebäude – Potenziale und Effekte von emissionsreduzierenden Maßnahmen“. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), 2008.
- [95] A. Oberhuber, „Beschäftigungseffekte der Wohnbau- und Gebäude-~~sanierungs~~-förderung in Niederösterreich“. Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, 2013.
- [96] C. Petersdorff, „Energieabhängigkeit von Russland durch Energieeffizienz reduzieren“. ecofys, 2014.