

SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielfunktionale Sanierung
zweier Mehrfamilienhäuser als Modell für die Sanierung
der Südtiroler-Siedlung Bludenz

Themendokumentation

**Ökologische Bewertung leitungsgebun-
dener Wärmeversorgungssysteme mit
verschiedenen Erzeugungstechnologien**



Ökologische Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgungssysteme
mit verschiedenen Erzeugungstechnologien

Dornbirn, Oktober 2025

Richard Büchele

Martin Ploß

Thomas Roßkopf-Nachbaur

Energieinstitut Vorarlberg

CAMPUS V, Stadtstraße 33

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Bauen und Sanieren

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

info@energieinstitut.at

Zusammenfassung

Die vorliegende Themendokumentation behandelt die ökologische Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgungssysteme mit verschiedenen Erzeugungstechnologien im Kontext sozialverträglicher und klimazielf kompatibler Sanierungen. Ausgangspunkt ist die Problematik bisheriger Bewertungsfaktoren wie CO₂-Äquivalente und Primärenergiefaktoren, die meist auf jährlichen Durchschnittswerten beruhen und somit saisonale Schwankungen, unterschiedliche Erzeugungsstrukturen und technologische Besonderheiten nur unzureichend abbilden. Dies führt zu Verzerrungen, insbesondere bei Wärmenetzen mit vielfältigen Energiequellen und zunehmender Integration erneuerbarer Energien.

Der Bericht stellt daher eine Methodik vor, die eine realitätsnähere Bewertung ermöglicht. Kernpunkte sind die unterjährige (monatliche) Bewertung, die Einbeziehung der tatsächlichen und zukünftigen Erzeugungsstrukturen sowie eine differenzierte Betrachtung einzelner Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen, Biomasse, Biogas und Abfallverwertung. Anhand eines Beispielnetzes werden die methodischen Ansätze veranschaulicht, insbesondere die Unterschiede zwischen verschiedenen Allokationsmethoden für KWK (Exergie- vs. Finnische Methode) sowie die Auswirkungen der Wahl von Emissionsfaktoren für Strom.

Die vorgestellte Bewertungsmethodik wird in Kapitel 5 zur vergleichenden Bewertung von drei untersuchten Versorgungsoptionen für die Südtiroler-Siedlung in Bludenz angewendet:

1. ein Biomasse-KWK-basiertes Wärmenetz
2. eine zentrale Hochtemperatur-Wärmepumpe mit Biogas-Spitzenlastkessel sowie
3. eine Niedertemperatur-Lösung mit dezentralen Booster-Wärmepumpen.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein Biomasse-basiertes Wärmenetz die geringsten Nettoemissionen aufweist, dabei jedoch ein nachhaltiges Biomasse-Budget überschreitet. Strombasierte Lösungen sind stark von der Bewertung des eingesetzten Stroms abhängig und bleiben im Winter emissionsintensiv, auch bei einem zukünftigen Strommix.

Über alle Varianten hinweg zeigt sich, dass eine höhere Sanierungsqualität die jährlichen Emissionen um 15–20 % reduzieren kann. Insgesamt bietet die vorgestellte Methodik ein fundiertes Instrumentarium, um Wärmeversorgungstechnologien objektiver zu vergleichen und klima- sowie ressourcenschonende Entscheidungen für zukünftige Wärmenetze zu ermöglichen.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1. Einleitung und Problemstellung.....	5
2. Status Quo der Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung in Österreich.....	6
2.1. Konversionsfaktoren laut OIB-Richtlinie.....	6
2.2. Harmonisierte österreichische THG-Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes	8
2.3. Schwächen bisher üblicher Bewertungsfaktoren	9
3. Möglichkeiten zur realitätsnäheren Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung	10
3.1. Unterjährige Bewertung	10
3.2. Bewertung anhand der tatsächlichen Erzeugungsstruktur	10
3.3. Bewertung anhand der zukünftigen Erzeugungsstruktur.....	10
3.4. Bewertung einzelner Technologien und Energieträger.....	11
3.4.1. Bewertung von KWK-Technologien	11
3.4.2. Bewertung von fester Biomasse.....	13
3.4.3. Bewertung von Biogas bzw. gasförmigen Biobrennstoffen.....	14
3.4.4. Bewertung von Abfall	15
4. Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung für ein theoretisches Beispielnetz	15
5. Bewertung möglicher Versorgungsoptionen für die Südtiroler-Siedlung Bludenz	22
6. Abbildungen	28
7. Tabellen.....	28
8. Literatur	29

1. Einleitung und Problemstellung

Die Bewertung und der Vergleich der Umweltauswirkungen verschiedener Wärmeversorgungsoptionen für Gebäude erfolgt in der Regel durch die Bewertung der Menge der zum Einsatz kommenden Energieträger anhand hinterlegter Bewertungsfaktoren. Die am meisten verbreiteten Bewertungsfaktoren sind dabei die äquivalenten CO₂-Emissionen (CO_{2eq}) oder Primärenergiefaktoren. CO_{2eq}-Emissionsfaktoren erfassen dabei direkte (und ggf. auch indirekte) Treibhausgasemissionen und eignen sich als einfache Metrik zur Bewertung der Klimawirkung der Wärmeerzeugung. Primärenergiefaktoren hingegen dienen der Berechnung der eingesetzten Primärenergie, differenzieren meist zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern und bieten eine integrative Bewertung des Gesamtenergieeinsatzes. Allerdings reflektieren sie nicht zwangsweise die thermodynamischen Effizienzverluste entlang der Energiewandlungskette. Durch die Anwendung solcher Bewertungsfaktoren gestaltet sich der Vergleich verschiedener Wärmeversorgungsoptionen beim Einsatz einzelner klassischer (insbesondere fossiler) Energieträger recht einfach, da hier lediglich die Menge des eingesetzten Energieträgers mit dem jeweiligen Faktor multipliziert werden muss.

Beim zunehmenden Einsatz erneuerbarer Energieträger ergeben sich hingegen erste Ungenauigkeiten, da diese jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen können und auch nicht immer unbegrenzt verfügbar sind. So ergibt sich beispielsweise beim Einsatz von Wärmepumpen oder von direktem Strom zur Wärmeerzeugung eine Abhängigkeit von den Bewertungsfaktoren des Endenergieträgers Strom, welcher wiederum durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Umwandlungstechnologien mit unterschiedlichen Umweltauswirkungen bereitgestellt werden kann und des Weiteren durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien einer immer stärkeren saisonalen Schwankung unterworfen ist.

Noch weiter erhöht sich die Komplexität, wenn die Wärme über Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bereitgestellt wird, da sich hier das grundsätzliche Problem der Aufteilung der eingesetzten Energieträger und der verursachten Emissionen auf die beiden Koppelprodukte elektrische Arbeit und Nutzwärme ergibt. Hierbei gibt es keine standardisierte Berechnungsvorschrift, sondern unterschiedliche, nebeneinander gültige Berechnungsarten. Und insbesondere bei einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung führt einer deren großen Vorteile, nämlich die Möglichkeit der Integration all dieser unterschiedlichen Wärmeerzeugungstechnologien und Energieträger aber auch die Kopplung mit anderen Energiesektoren, zu erheblichen Unschärfen bei der Verwendung klassischer statischer Faktoren zur vergleichenden Bewertung mit anderen Wärmebereitstellungsoptionen.

Die derzeit verwendeten Emissions- und Primärenergiefaktoren beruhen in der Regel auf aggregierten, jährlichen Mittelwerten und bilden saisonale Schwankungen nicht adäquat ab. Sie

verdecken somit kritische Unterschiede im saisonalen Betrieb von Fernwärmenetzen. Ein einzelner konstanter Faktor zur Bewertung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung spiegelt daher die Realität der unterschiedlichen Wärmenetze nicht wider, kann die Dynamik der Wärmeerzeugung nicht abbilden und führt zu verzerrten energetischen und ökologischen Bewertungen.

In diesem Bericht soll eine realitätsnähere Bewertung anhand dieser einfachen Faktoren vorgestellt werden, indem diese an die jeweilige Situation angepasst werden. Dazu werden vorrangig die CO₂-Emissionen als einfache Bewertungsmetrik herangezogen, wobei es sich dabei, wenn nicht anders angegeben immer um die äquivalenten CO₂-Emissionen inklusive indirekter Emissionen aus Vorketten handelt.

2. Status Quo der Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung in Österreich

Wie in Einleitung und Problemstellung erörtert, werden zur Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung – so wie auch für nicht leitungsgebundene Wärmeversorgung – konstante, jährliche Faktoren (die allerdings im Lauf der Zeit immer wieder leicht angepasst wurden) herangezogen, welche von verschiedenen Stellen berechnet und herausgegeben werden. In Österreich sind das insbesondere das Institut für Bautechnik sowie das Umweltbundesamt deren Bewertungsfaktoren in den nächsten Kapiteln diskutiert werden. Zusätzlich wurden auch in der facheinschlägigen Literatur immer wieder Bewertungsfaktoren publiziert (z.B. [1] oder [2]). Da diese Publikationen allerdings schon älter sind und mit Schweiz bzw. Deutschland jeweils einen anderen geografischen Fokus aufweisen, werden sie hier nicht näher diskutiert.

2.1. Konversionsfaktoren laut OIB-Richtlinie

In den seit 2007 im Vier-Jahres-Rhythmus erscheinenden OIB Richtlinien des Institut für Bautechnik [3] werden in der „OIB Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz“ die sogenannten Konversionsfaktoren zur Ermittlung des Primärenergiebedarfes PEB (f_{PE}), des nicht-erneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,n.erm}$), des erneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,erm}$) sowie der äquivalenten CO₂-Emissionen CO_{2eq} (f_{CO2eq}) von Gebäuden publiziert. Auch hier gab es im Lauf der Zeit immer wieder Anpassungen der Konversionsfaktoren insbesondere auch von der letzten Version der OIB RL6 2023 auf die neue, aktuelle Version OIB RL 6 2025.

Tabelle 1 zeigt die in den letzten drei Versionen der OIB RL6 (2019, 2023 und 2025) angeführten Konversionsfaktoren. Die Bezeichnungen der Energieträger waren dabei nicht über alle Versionen ident und auch die damit verbundenen Systemgrenzen und Berechnungslogik insbesondere für erneuerbare Energieträger haben sich im Laufe der Zeit verändert.

Tabelle 1: Primärenergie- und CO₂ Faktoren laut OIB RL6 2019, 2023 und 2025

	Energieträger	OIB RL 2019				OIB RL 2023			
		f _{PE} [-]	f _{PE,n.ern.} [-]	f _{PE,ern.} [-]	f _{CO2eq} [g/kWh]	f _{PE} [-]	f _{PE,n.ern.} [-]	f _{PE,ern.} [-]	f _{CO2eq} [g/kWh]
1	Fossile Brennstoffe fest	1,46	1,46	0,00	375	1,46	1,46	0,00	360
2	Fossile Brennstoffe flüssig	1,20	1,20	0,00	310	1,20	1,20	0,00	271
3	Fossile Brennstoffe gasförmig	1,10	1,10	0,00	247	1,10	1,10	0,00	201
4	Biogene Brennstoffe fest	1,13	0,10	1,03	17	1,13	0,10	1,03	9
5	Biogene Brennstoffe flüssig (Inselbetrieb) ⁽¹⁾	1,50	0,50	1,00	70	1,50	0,50	1,00	70
6	Biogene Brennstoffe gasförmig (Inselbetrieb) ^(1,2)	1,40	0,40	1,00	100	1,40	0,40	1,00	100
7	Elektrische Energie (Liefermix)	1,63	1,02	0,61	227	1,76	0,79	0,97	156
8a	Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar) ⁽³⁾	1,60	0,28	1,32	59	1,72	0,40	1,32	59
8b	Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar) ⁽³⁾	1,51	1,37	0,14	310	1,48	1,16	0,32	193
8c	Fernwärme aus hocheffizienter KWK ^(3,4)	0,88	0,00	0,88	75	0,59	0,41	0,18	67
9	Abwärme ⁽³⁾	1,00	1,00	0,00	22	1,00	1,00	0,00	22

⁽¹⁾ ... Unter Inselbetrieb sind hier ausschließlich Anlagen zu verstehen, bei denen auch die Produktion des Brennstoffes im Gebäude oder in unmittelbarer Nähe des Gebäudes stattfindet.
⁽²⁾ ... Für Grüngas und Synthesegas sind Werte den Erläuternden Bemerkungen zu entnehmen.
⁽³⁾ ... Im Falle eines Einzelnachweises sind die Randbedingungen den Erläuternden Bemerkungen zu entnehmen.
⁽⁴⁾ ... Als hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) werden all jene angesehen, die der Richtlinie 2012/27/EU entsprechen.

Für die Bewertung leitungsgebundener Wärme werden dabei drei unterschiedliche Kategorien der Fernwärme ausgewiesen: Fernwärme aus Heizwerk erneuerbar, Fernwärme aus Heizwerk nicht erneuerbar und Fernwärme aus hocheffizienter KWK, jeweils als einzelne jahresdurchschnittliche Konversionsfaktoren pro Kategorie.

Bis zur OIB RL6 2023 wurde dabei, wie in den erläuternden Bemerkungen [4] ausgeführt, für „Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)“ 90 % des Umwandlungsausstoßes aus „Biogenen Brennstoffen“ und Erneuerbaren in Heizwerken bzw. 10 % aus „Fossilen Brennstoffen gasförmig“ zugrunde gelegt, sowie für „Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)“ eine Energieträgerverteilung entsprechend der Restmengen für die Energieträger in Heizwerken. Diese wurden dann jeweils mit den entsprechenden Wirkungsgraden der Delegierten Verordnung (EU) 2015/2402 der Kommission [5] und den Konversionsfaktoren für die eingesetzten Energieträger bewertet. Für „Fernwärme aus hocheffizienter KWK“ wurden 100 % des Umwandlungsausstoßes aus „Fossilen Brennstoffen fest“, 100 % des Umwandlungsausstoßes aus „Fossilen Brennstoffen flüssig“, 80 % aus „Fossilen Brennstoffen gasförmig“ und 20 % aus den übrigen eingesetzten Energieträgern zugrunde gelegt. Zur Ermittlung der Stromgutschrift wurde das Verhältnis elektrischer Energie und Fernwärme jeweils aus KWK entsprechend dem Kriterium für hocheffiziente KWK aufgeteilt. Für die Stromgutschrift wurde dann die elektrische Energie entsprechend des Verdrängungsstrommix mit einem Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar) von 2,36 und einem CO_{2eq}-Faktor von 481 g/kWh bewertet. In allen drei Fällen wurden Transportverluste in der Höhe von 17,40 % berücksichtigt.

In der Neufassung der OIB RL6 [6] wurden die Konversionsfaktoren für Fernwärme (und auch elektrische Energie) hinsichtlich der Primärenergie und der THG-Emissionen infolge der Bedingung, diese ex-ante zu ermitteln, völlig aktualisiert:

Dazu wurden die Umwandlungseinsatz-Daten und die Umwandlungsausstoß-Daten der Jahre 2005 bis 2023 aus der Energiebilanz Österreich 1970–2023 der Statistik Austria entnommen, und eine Annäherung an die Zielwerte ab 2050 mittels der Methode der kleinsten Fehler-Quadrate durchgeführt und dann die Mittelwerte für die Jahre 2026 bis 2035 als heranzuziehende Konversionsfaktoren für diese Periode bestimmt. Aus dieser Veränderung der Bewertungssystematik ergeben sich deutlich niedrigere Konversionsfaktoren für die genannten Energieträger. So werden beispielsweise die spezifischen CO_{2eq}-Emissionen der erneuerbaren Fernwärme nun mit 25 statt 59 g/kWh bewertet und jene aus hocheffizienter KWK mit 22 statt 67 g/kWh.

Dennoch wird den Wärmenetzbetreibern nach wie vor die Möglichkeit einer Einzelnachweisführung eingeräumt, um von den o.g. Defaultwerten abweichen zu können. Den Autoren ist hier insbesondere der Fall der Fernwärme Wien bekannt, welche die laut Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) § 88 vorgeschriebene prozentmäßige Aufschlüsselung der Primärenergieträger bereitstellt und diese auch heranzieht und per Einzelnachweisführung trotz eines Anteils von fast 55% aus fossiler KWK und zusätzlich fast 10% fossiler Spitzenlastabdeckung den laut OIB nicht unterschreitbaren Bestwert von 0,3 für den Primärenergiefaktor und von 22 g/kWh für den CO₂ Faktor erreicht [7], [8].

2.2. Harmonisierte österreichische THG-Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes

Neben dem Institut für Bautechnik stellt auch das Umweltbundesamt im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz harmonisierte, österreichspezifische Emissionsfaktoren für Energieträger im Bereich Raumwärme, Elektrizität und Mobilität bereit, die als Grundlage für die Erstellung von Treibhausgasbilanzen dienen sollen und die den Ausstoß von Treibhausgasen pro Einheit einer Aktivität oder eines Prozesses beschreiben [9]. Dabei werden sowohl direkte Emissionen (also vor Ort z. B. bei einem Verbrennungsvorgang entstehend) als auch indirekte Emissionsanteile (vor- und nachgelagerte Emissionsanteile, die bei der Herstellung bzw. Bereitstellung von Energieträgern, Produkten oder Rohstoffen, oder durch zugehörige Prozesse entstehen) der Energieträger abgebildet. Tabelle 2 zeigt diese Emissionsfaktoren für die in der Raumwärme relevanten Energieträger.

Im Bericht wird auch explizit darauf hingewiesen, dass es sich um Mittelwerte aller für einen Energieträger relevanten Standorte in Österreich, einen Durchschnitt aller in Österreich einge-

setzten Technologien und einen Schnitt der Untergruppen von Energieträgern handelt. Abweichungen bei der Bewertung konkreter Objekte mit objektspezifischen Realdaten – insbesondere bei den Energieträgern Strom und Fernwärme – sind daher sehr wahrscheinlich.

Für Fernwärme wird dabei ein österreichischer Durchschnittswert, sowie ein Wert für erneuerbare Fernwärme ausgewiesen. Für die erneuerbare Fernwärme wird angenommen, dass sie sich aus 95 % fester Biomasse, 2 % Öl und 3 % Erdgas zusammensetzt. Die Berechnung der Durchschnittswerte erfolgt entsprechend der Anteile der Umwandlungsausstöße der jeweiligen Anlagen in der österreichischen Energiebilanz mittels der „Finnischen Methode“, welche später im Kapitel 3.4.1 näher beschrieben wird.

Tabelle 2: THG Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes

Energieträger Raumwärme	Datenstand 2023			Datenstand 2024		
	Direkte Emissionen	Indirekte Emissionen	Gesamte Emissionen	Direkte Emissionen	Indirekte Emissionen	Gesamte Emissionen
	g CO ₂ -eq/kWh			g CO ₂ -eq/kWh		
Heizöl extra leicht (fossil)	271	74	344	271	71	342
Heizöl leicht (fossil)	278	74	352	278	71	349
Erdgas (fossil) (Heizwert)	201	49	249	201	49	249
Erdgas (fossil) (Brennwert)	181	44	225	181	44	225
Flüssiggas LPG	231	82	313	231	82	313
Biomasse (Biobrennstoffe fest): Stückholz	18	6	25	18	6	25
Biomasse (Biobrennstoffe fest): Hackgut	13	7	19	13	7	19
Biomasse (Biobrennstoffe fest): Pellets	5	21	26	5	21	26
Biomasse (Biobrennstoffe fest): Gesamt ⁽¹⁾	16	9	24	15	9	24
Biobrennstoffe flüssig	4	113	117	4	116	120
Biobrennstoffe gasförmig	1	81	82	1	56	56
Solarthermie	0	25	25	0	25	25
Fernwärme Durchschnitt Österreich	126	52	179	122	50	172
Fernwärme Erneuerbar	26	16	42	26	16	42

2.3. Schwächen bisher üblicher Bewertungsfaktoren

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei beiden Sets an Bewertungsfaktoren um Durchschnittswerte einerseits über alle unterschiedlichen Wärmenetze je Kategorie und andererseits für den gesamten Zeitraum eines Jahres.

Diese Bewertung mag für ein Gesamtsystem, eine Gesamtbilanz oder eine erste Abschätzung durchaus genügen. Für die Bewertung eines konkreten Wärmenetzes im Vergleich zu anderen Wärmeversorgungsoptionen ist sie jedoch in der Regel nicht zielführend, da jahreszeitliche Schwankungen in der Wärmeerzeugung, bedingt durch den unterschiedlichen Einsatz der verfügbaren Primärenergieträger und die teils stark variierenden Erzeugungsstrukturen der Wärmenetze, nicht abgebildet werden. Dies gilt insbesondere für die zukunftsfähigen Energieträger Strom und Fernwärme, die zukünftig noch höhere Anteile an erneuerbaren Energieträgern

mit jahreszeitlich schwankendem Angebot enthalten werden. Zugleich werden auch eventuelle mengenmäßige Beschränkungen einzelner Potentiale nicht abgebildet.

3. Möglichkeiten zur realitätsnäheren Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung

Um zu einer realitätsnäheren Bewertung, insbesondere für den Vergleich mit anderen Wärmeversorgungstechnologien, zu gelangen, können eine Reihe von Anpassungen bei der Ermittlung der Bewertungsfaktoren vorgenommen werden, die in den folgenden Kapiteln näher diskutiert werden.

3.1. Unterjährige Bewertung

Ähnlich wie im Themenbericht zu Primärenergiefaktoren[10] für den Energieträger Strom vorgeschlagen und in den Erläuterungen zur OIB RL6 /2023 [4] erstmalig für elektrische Energie auf Basis der monatlichen Nettostromerzeugung nach Brennstoff lt. Eurostat dargestellt, sollten auch für Wärmenetze monatliche Konversionsfaktoren Anwendung finden, Damit können einerseits saisonale Schwankungen im Energiedargebot verschiedener Energieträger berücksichtigt werden und andererseits auch die zunehmende Kopplung zwischen dem Strom- und dem Wärmesektor, welche eine unterschiedliche Bewertung des Überangebotes (erneuerbarer) Energieträger im Sommer und des derzeit immer noch notwendigen vermehrten Einsatzes fossiler Energieträger im Winter erfordert. So wurde bereits in [11] ein Vorschlag zur monatlichen Bewertung von Wärmenetzen gemacht.

3.2. Bewertung anhand der tatsächlichen Erzeugungsstruktur

Anstelle von zwei oder drei Durchschnittswerten, die auf der gesamtösterreichischen Energiebilanz basieren, sollten vermehrt die tatsächlichen, individuellen Erzeugungsstrukturen der jeweiligen Wärmenetzbetreiber herangezogen werden. Zwar gibt es bereits jetzt laut OIB Richtlinie die Möglichkeit eines Einzelnachweises. Allerdings ist die Bewertungsmethode für den Einzelnachweis nicht konkret genug vorgegeben bzw. zu hinterfragen. Um den Aufwand für die Wärmenetzbetreiber möglichst gering zu halten und gleichzeitig die Konsistenz und Vergleichbarkeit zwischen den Bewertungen zu gewährleisten, sollte die Bewertungsmethodik mit möglichst wenigen, individuell anzunehmenden Parametern funktionieren.

3.3. Bewertung anhand der zukünftigen Erzeugungsstruktur

Die bisher verwendeten Emissionsfaktoren hinken der Realität immer hinterher, da sie in der Regel ex-post auf Basis des Energieträgereinsatzes der vergangenen Jahre ermittelt und bis zur neuerlichen Aktualisierung der Werte verwendet werden. Dies mag für die Bewertung von

Bestandsanlagen hinreichend sein, führt jedoch insbesondere bei der Investitionsentscheidung für eine Wärmebereitstellungstechnologie zu einem unvollständigen Vergleich. Hier ist nochmals hervorzuheben, dass in der Neufassung der OIB RL6 2025 [12] der Übergang zu einer ex-ante Bestimmung der Konversionsfaktoren für die Energieträger Fernwärme und elektrische Energie erfolgt, welche in den nächsten Jahren voraussichtlich einer starken Dynamik unterliegen werden.

3.4. Bewertung einzelner Technologien und Energieträger

Neben einer besseren Abbildung der zeitlichen (unterjährigen) sowie der räumlichen (einzelne Netze) Dimension zur Ermittlung der Bewertungsfaktoren kann, insbesondere auch durch die jeweilige Berücksichtigung einzelner Umwandlungstechnologien bzw. der Energieträger, eine realitätsnähere Bewertung erfolgen. Im Folgenden sollen spezifische Umwandlungstechnologien und Energieträger, die in der leitungsgebundenen Wärmeversorgung zum Einsatz kommen, sowie die Problematiken bei deren Bewertung vorgestellt werden.

3.4.1. Bewertung von KWK-Technologien

Bei der Bewertung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), die gleichzeitig elektrische Energie und Nutzwärme erzeugen, stellt sich grundsätzlich die Frage, wie der eingesetzte Brennstoff und die damit verbundenen CO₂-Emissionen den beiden Koppelprodukten – Strom und Wärme – zugeordnet werden sollen. Diese Aufteilung (Allokation) ist entscheidend für ökologische und ökonomische Bewertungen der KWK-Technologie.

In der Fachliteratur werden seit geraumer Zeit zahlreiche unterschiedliche Methoden diskutiert, z.B. in [13], [14], [15], die sich in ihrer Herangehensweise und Zielsetzung teils erheblich unterscheiden und jeweils spezifische Vor- und Nachteile haben. Die Auswahl des Verfahrens sollte sich daher stets an der Zielsetzung der Analyse und den zugrundeliegenden Annahmen und Rahmenbedingungen orientieren. Das IWU hat bereits vor über zehn Jahren einen Vergleich zentraler Methoden (Stromgutschrift, Stromkompensation, Exergie, Gesamteffizienz) angeregt und eine Neuregelung der Brennstoff-Allokation bei KWK-Anlagen vorgeschlagen [16]. Bis heute existiert jedoch kein universell anerkanntes Allokationsverfahren, das wirtschaftliche, ökologische und thermodynamische Gesichtspunkte gleichermaßen optimal berücksichtigt und eine einheitliche Lösung steht weiterhin aus.

Nachfolgend sollen die gängigsten Methoden zur Aufteilung von Brennstoff- und Emissionsanteilen ohne Anspruch auf Vollständigkeit in Gruppen eingeteilt und kurz beschrieben werden.

Substitutionsmethode / Verdrängungsmethode / Stromkompensationsmethode

Diese Methode ordnet dem Hauptprodukt – in der Regel Strom – die Emissionen zu, die durch die Erzeugung von KWK-Strom verdrängt werden. Entscheidend ist dabei, welche Art von Strom als verdrängt angenommen wird (z. B. der gesamte Strommix oder nur der fossile Anteil). Die restlichen Emissionen werden dem Nebenprodukt (i. d. R. Wärme) zugeordnet. Da der Emissionsfaktor des verdrängten Stroms je nach Annahme sehr hoch sein kann, kann diese Methode sogar zu negativen Emissionen beim Nebenprodukt führen. Sie wird in bestimmten nationalen Regelwerken herangezogen, z. B. wird in den erläuternden Bemerkungen zur OIB-Richtlinie 6 zur Bewertung von Fernwärme aus hocheffizienter KWK darauf verwiesen.

Stromgutschrift- / Wärmegutschrift- / Wärmerestwert-Methode

Bei diesen Verfahren wird einem der beiden Produkte (meist Strom) ein bestimmter Teil des Brennstoffs direkt zugewiesen. Die Emissionen des anderen Produkts ergeben sich aus dem verbleibenden Brennstoffanteil. Es handelt sich um eine einseitige Zuweisung, die z. B. in Wirtschaftlichkeitsrechnungen gebräuchlich ist, aber oft ökologische Verzerrungen verursacht.

Energetische Allokation / Wirkungsgradmethode / Pro-rata-Verfahren / IEA-Methode

Diese Allokation erfolgt auf Basis der Energieinhalte bzw. Umwandlungseffizienzen von Strom und Wärme. Die Emissionen werden proportional zur erzeugten Energie verteilt. Bei der Variante der IEA-Methode erfolgt die Aufteilung umgekehrt proportional zur jeweiligen Effizienz, was der höheren Wertigkeit von Strom zumindest teilweise Rechnung trägt. Nachteil dieser Methode ist die Vernachlässigung der unterschiedlichen Exergiegehalte (Wertigkeit) der beiden Produkte, da Strom und Wärme gleichwertig behandelt werden.

Gesamteffizienzmethode / Finnische Methode:

Bei dieser Methode wird die Produktion der KWK-Koppelprodukte mit der getrennten Erzeugung durch Referenztechnologien verglichen. Die erzielte Brennstoffeinsparung bzw. der erzielte Effizienzgewinn werden proportional auf die beiden Koppelprodukte aufgeteilt. Als Rahmenbedingung sind hier die Referenztechnologien und deren jeweilige Umwandlungseffizienz festzulegen. Diese Methode wird vom Umweltbundesamt für die Berechnung der harmonisierten Treibhausgasemissionsfaktoren verwendet und auch in der Energieeffizienzrichtlinie insbesondere zur Definition der „hocheffizienten KWK“ verwendet, die einer Primärenergieeinsparung gegenüber der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme mittels der jeweiligen Referenztechnologie von mindestens 10% erfordert. Dazu wurden von der Kommission harmonisierte Wirkungsgrad-Referenzwerte unter ISO-Standardbedingungen für eine Vielzahl an Brennstoffen abgestuft nach Baujahr und genutztem Wärmeträgermedium festgelegt, die dann an die jeweiligen nationalen atmosphärischen Bedingungen anzupassen sind.

Exergie-Methode / Carnot-Methode

Diese Methode berücksichtigt die thermodynamische Wertigkeit der Produkte. Grundlage ist die Exergie, also das Maß der maximal nutzbaren Arbeit aus einem Energieinhalt. Die Allokation erfolgt basierend auf dem Exergiegehalt von Strom und Wärme und wird über den Carnot-Wirkungsgrad aus der Umgebungstemperatur (meist 10–20 °C) und dem Temperaturniveau der Wärmeauskopplung (z. B. Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes oder aber Temperatur der Abwärmenutzung) berechnet. Die Ressourcenexergieanalyse, die eine vollständige Bewertbarkeit und Vergleichbarkeit von Energiesystemen basierend auf Exergie vorschlägt [17], argumentiert, dass das thermodynamische Mitteltemperaturniveau aus Vor- und Rücklauf die realistischere Bewertungsbasis für den Exergiegehalt der Fernwärme darstellt. Je tiefer die angesetzte Temperatur der Wärmenutzung liegt, desto höher ist der Emissionsanteil der dem Strom aufgrund des höheren Exergiegehaltes zugewiesen wird. Dadurch führt diese Bewertungsmethode regelmäßig zu einer relativ geringen Allokation der Emissionen für die Wärme.

3.4.2. Bewertung von fester Biomasse

Der Einsatz von Biomasse spielt in der Wärmeversorgung in Österreich sowohl in Einzelfeuerungen als auch in Wärmenetzen eine große Rolle und es werden relevante Mengen an Biomasse eingesetzt. Allerdings ist Biomasse ein begrenzt verfügbarer, speicherbarer Energieträger mit hoher Energiedichte, der künftig verstärkt für Anwendungen mit hoher Flexibilität – etwa in der Industrie oder in der Stromerzeugung – benötigt wird. Für den Gebäudesektor steht daher nur ein begrenztes „Biomasse-Budget“ zur Verfügung.

Ein sinnvoller Bewertungsansatz wie z.B. in [18], [19] dargestellt, berücksichtigt diesen Umstand, indem Biomasse bis zu einer definierten Grenze mit reduzierten Bewertungsfaktoren als erneuerbar angerechnet wird, während darüberhinausgehende Mengen voll bewertet werden. Als Grenze für Deutschland wurde ein auf die Nutzfläche umgerechnetes Biomasse-Budget für die Wärmeversorgung von Gebäuden in der Größenordnung von 20-30 kWh/m² ausgewiesen. Zur Bestimmung dieses Budgets wurde davon ausgegangen, dass etwa die Hälfte der für energetische Zwecke verfügbaren Biomasse für den Raumwärmebereich zur Verfügung steht.

In der Themendokumentation zu Biomasse in der Raumwärme [20] werden die Potentiale in Österreich und Vorarlberg analysiert und beziffert und in den entsprechenden Kontext gesetzt. Demnach wären pro Person und Jahr bis zu 3.400 kWh Holz für energetische Zwecke verfügbar (trotz Reduktion des energetischen Anteils von derzeit 70% auf ca. 50%), was aufgrund der österreichischen Rahmenbedingungen mehr als dem Doppelten des europäischen Durchschnitts entspricht. Nach Abzug von 5% für den Eigenbedarf der Holzindustrie und weiteren 11% für Industrie blieben somit ca. 2.900 kWh energetisch nutzbares Holz pro Person und

Jahr übrig, wovon allerdings ein möglichst großer Anteil – realistischerweise max. 50% – in KWK-Anlagen (mit ca. 50% Wärmeauskoppelung) verwertet werden soll. Werden für 50% der thermischen Nutzung weiter 10% Verteilverluste von Wärmenetzen berücksichtigt, verbleiben für Raumwärme und Warmwasser ca. 2.070 kWh_{END}/pax. Bei knapp 47 m² Wohnfläche pro Person würde das zu einem nachhaltigen energetischen Biomassepotential in der Wärmeversorgung von Gebäuden von ca. 44 kWh_{END}/m²_{Wfl} führen. Dies ist jedenfalls als Maximum zu sehen, da zukünftig womöglich weitere Nutzungskonkurrenzen über die verfügbare Biomasse entstehen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die heutige Nutzung in der Wärmeversorgung – etwa in Vorarlberg – mit ca. 820 GWh_{END} bereits bei über 2.000 kWh_{END}/pax liegt.

3.4.3. Bewertung von Biogas bzw. gasförmigen Biobrennstoffen

Da gasförmige Biobrennstoffe aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Quellen stammen können und somit ganz unterschiedlichen Rahmenbedingungen unterliegen, ist eine Bewertung sehr vielschichtig und kann hier nur im Ansatz angerissen werden. So wurde Biogas bzw. gasförmige biogene Brennstoffe in der Version OIB RL6/23 - wie in Tabelle 1 dargestellt - mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 100 g/kWh bewertet. Dieser Wert galt nur für den sogenannten „Inselbetrieb“, was bedeutet, dass die Produktion des Brennstoffes unmittelbar in der Nähe des Verbrauchs erfolgen muss.

In den erläuternden Bemerkungen [4] wurden für zukünftige Anwendungsfälle bis zum Vorliegen neuerer Werte weitere CO₂ Emissionsfaktoren für Grüngas von 32 g/kWh sowie für Synthesegas von 27 g/kWh und Biogas von 18 g/kWh angegeben, bei deren Anwendung in einem Gasnetz darauf zu achten war, dass die eingespeiste Menge gesetzlich sichergestellt und technisch nachvollziehbar der verbrauchten Menge entspricht.

In der Neufassung der OIB RL6/25 sind gasförmige Biobrennstoffe nicht mehr unmittelbar enthalten, sondern lediglich in den erläuternden Bemerkungen, wo die Faktoren für „Biogene Brennstoffe flüssig HVO“ mit 66 g/kWh gemäß Angaben des Vereins Energie.Wärme.Österreich (EWO) und für den Energieträger „Biogene Brennstoffe gasförmig“ gemäß Angaben des Energieinstituts an der Johannes-Kepler-Universität übernommen wurden.

In den harmonisierten Emissionsfaktoren des UBA [9] (Datenstand 2024) hingegen werden gasförmige Biobrennstoffe mit direkten äquivalenten CO₂-Emissionen von 1 g/kWh bewertet und mit Gesamtemissionen (also inkl. vorgelagerter indirekter Emissionen) von 56 g/kWh wobei im Datenstand 2023 noch 82 g/kWh ausgewiesen wurden.

Das Institut für Wohnen und Umwelt [21] hat bereits 2013 unterschiedliche Quellen für Bewertungsfaktoren verglichen und mit GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) verschiedene Varianten der Biomethanherzeugung aus Gülle, Biomasse, Gras-Silage und Mais

gegenübergestellt und dabei Gesamt- CO₂ Emissionsfaktoren von 57 bis über 400 g/kWh ermittelt und schlug einen Bewertungsfaktor von 200 g/kWh vor.

3.4.4. Bewertung von Abfall

Auch die Bewertung von Abfall ist ein vielschichtiges Thema, das den Rahmen dieser Themendokumentation sprengen würde und daher nur kurz angerissen werden soll:

Moderne Abfallverbrennungsanlagen emittieren typischerweise 0,7 bis 1,2 Tonnen CO₂ je Tonne Siedlungsabfall. Davon sind je nach Zusammensetzung des Abfalls ungefähr 30–50 % biogenes CO₂ (z. B. Papier, Lebensmittel), das im allgemeinen klimaneutral betrachtet wird. Somit verbleiben etwa 0,35–0,8 t fossiles CO₂ pro Tonne Abfall. Bei einem durchschnittlichen Heizwert von gemischtem Siedlungsabfall von 10 MJ/t (2777 kWh/t) ergeben sich somit spezifische Emissionen von ca. 120-290 g fossilem CO₂ pro kWh [22], [23].

Derzeit sind kommunale Abfallverbrennungsanlagen allerdings noch vom EU-Emissionshandelssystem (ETS) ausgenommen, und Emissionen aus der Abfallverwertung werden meist nicht bewertet. Nach einer Evaluierungsphase bis 2026 soll die vollständige Aufnahme der Abfallverbrennung ins EU ETS spätestens ab 2030 erfolgen.

4. Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung für ein theoretisches Beispielnetz

In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten zur realitätsnäheren Bewertung leitungsgebundener Wärmeversorgung an einem fiktiven Beispiel vorgestellt und exemplarisch berechnet. Das gewählte Beispielnetz enthält alle für die Bewertung entscheidenden Komponenten und Technologien. Die Bewertung erfolgt ausschließlich auf Basis des monatlichen Energieträgereinsatzes und der jeweiligen Umwandlungseffizienz, wodurch die Anforderung der unterjährigen (monatlichen) Bewertung sowie der Berücksichtigung der tatsächlichen Erzeugungsstruktur automatisch erfüllt werden.

Tabelle 3 zeigt die für das Wärmenetz angenommene Verteilung des Energieträgereinsatzes. In Summe weist das Netz einen Energieträgereinsatz von 100 GWh auf - somit entspricht die Energiemenge jeweils auch dem prozentualen Wert. Um die Effekte der unterschiedlichen Bewertungsmöglichkeiten von KWK darzustellen, wurde den verschiedenen KWK-Anlagen (Abfall, Biomasse, Gas und Öl) insgesamt ein Anteil von 50% des Energieträgereinsatzes zugeordnet. Und um die Effekte der unterschiedlichen Bewertungsmöglichkeiten von Strom als Energieträger darzustellen, wurden mit je 5% relativ hohe Anteile für direkte Stromanwendung und für Wärmepumpen angesetzt. Mit Umwandlungstechnologien basierend auf 10% Abwärme und 15% Abfall sind 25% des Energieträgereinsatzes für Grundlastherzeugung mit

durchgehender Jahresproduktion reserviert und mit 5% Öl und 10% Gas typische Spitzenlastkessel abgedeckt. Die monatlichen Energieträgermengen entsprechend dabei jeweils typischen Erzeugungsprofilen. Für Hilfs- und Pumpstrom wird 1% der Energiemenge angesetzt. Abbildung 1 zeigt die daraus resultierende monatliche Verteilung des Energieträgereinsatzes für dieses Beispielnetz.

Tabelle 3: Energieträgereinsatz des Beispielnetzes

Energieträger	Anteil [%]	Jahr [GWh]	Monat											
			Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Abwärme	10%	10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Heizöl	5%	5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	0,9
Erdgas	10%	10	2,4	1,9	2,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	2,3
Biomasse	10%	10	1,2	1,2	1,3	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	1,2	1,3
Abfall	5%	5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Heizöl KWK	10%	10	1,6	1,3	1,0	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	1,4	2,1
Erdgas KWK	20%	20	3,2	2,6	2,1	1,3	0,6	0,2	0,2	0,1	1,0	1,8	2,8	4,1
Biomasse KWK	10%	10	1,2	1,2	1,3	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	1,2	1,3
Abfall KWK	10%	10	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Strom direkt	5%	5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6
Strom WP	5%	5	0,8	0,6	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
Hilfsstrom	1%	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

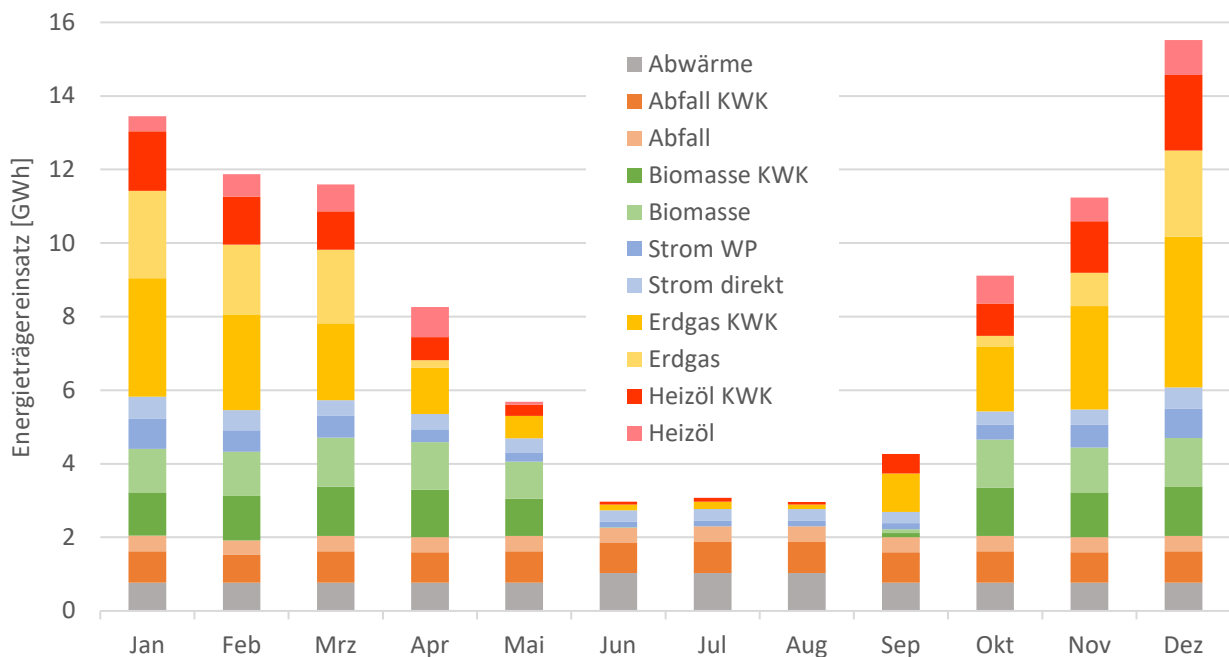


Abbildung 1: monatlicher Energieträgereinsatz des Beispielnetzes

Als weiteren notwendigen Input für die Bewertung zeigt Tabelle 4 die verwendeten monatlichen Umwandlungseffizienz der jeweiligen Technologie.

Tabelle 4: Umwandlungseffizienzen der Wärmeerzeugungstechnologien des Beispielnetzes

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Abwärme η_{th}	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%
Heizöl η_{th}	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Erdgas η_{th}	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
Biomasse η_{th}	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%
Abfall η_{th}	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Heizöl KWK η_{th}	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Erdgas KWK η_{th}	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Biomasse KWK η_{th}	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
Abfall KWK η_{th}	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Strom direkt η_{th}	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Strom WP SPF	235%	235%	253%	275%	299%	329%	329%	329%	299%	275%	253%	235%
Heizöl KWK η_{el}	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Erdgas KWK η_{el}	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Biomasse KWK η_{el}	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Abfall KWK η_{el}	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%

Obwohl die monatliche Bewertung es erlauben würde, auch die Umwandlungseffizienz unterjährig anzupassen (z.B. aufgrund schlechterer Effizienz im Teillastbetrieb während den Sommermonaten oder besserer Effizienz im Kondensationsbetrieb im Winter) wird für das Beispielnetz weitestgehend von konstanten Effizienzen ausgegangen. Für die reinen Wärmeerzeuger werden dafür die Referenzwirkungsgrade der getrennten Erzeug von Wärme laut neuester Version der EU Verordnung [24] und für die KWK Technologien typische Strom- und Wärmewirkungsgrade herangezogen. Lediglich für die Wärmepumpe wird eine monatliche Umwandlungseffizienz (Seasonal Performance Factor –SPF) berechnet. Dazu wird für das Beispielnetz angenommen, dass es sich um eine Hochtemperatur-Luft-Wasser Wärmepumpe handelt, die einen Temperaturhub von der jeweiligen monatlichen Durchschnittstemperatur T_0 auf die jeweilige Vorlauftemperatur T_{vl} vollziehen muss. Die Berechnung erfolgt mit folgender Formel anhand des reziproken Carnot-Wirkungsgrad η_c (= Leistungszahl ε_{WP}) und eines konservativ angesetzten Gütegrades, der angibt, inwieweit die theoretisch maximal mögliche Leistungszahl erreicht wird. Der Wert des Gütegrades $G = 0.48$ wurde so gewählt, dass die gewichtete Jahresarbeitszahl bei den gewählten Systemtemperaturen bei 2.7 liegt.

$$\varepsilon_{WP} = \frac{1}{\eta_c} * G = \frac{T_{vl}}{T_{vl} - T_0} * G$$

Tabelle 5 zeigt für das Beispielnetz die monatlichen Vor- und Rücklauftemperaturen und die durchschnittlichen monatlichen Umgebungstemperaturen sowie den resultierenden Carnot-Wirkungsgrad und die mittels Gütegrades von $G = 0.48$ berechnete monatliche Leistungszahl.

Tabelle 5: Monatliche Systemtemperaturen und resultierende Carnot Effizienz

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
T_{vl} [°C]	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
T_{rl} [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
T_0 [°C]	0	0	5	10	15	20	20	20	15	10	5	0
η_c	0,20	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20
ε_{WP}	2,35	2,35	2,53	2,75	2,99	3,29	3,29	3,29	2,99	2,75	2,53	2,35

Mit dem monatlichen Energieträgereinsatz und der jeweiligen Umwandlungseffizienz ergibt sich somit die ins Wärmenetz eingespeiste Energiemenge. Für das Beispielnetz wird von einem Netzverlust von 10% der jährlich eingespeisten Wärmemenge ausgegangen, welche sich gleichmäßig über das Jahr verteilen und somit den resultierenden Wärmeabsatz ergeben. Tabelle 6 zeigt diese Werte für das Beispielnetz.

Tabelle 6: Wärmeeinspeisung und Netzverluste des Beispielnetzes

	Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Wärmeeinspeisung	78,8	10,6	9,2	9,3	6,5	4,6	2,6	2,7	2,6	3,2	7,0	8,6	11,8
Netzverluste [%]	10%	6%	7%	7%	10%	14%	25%	25%	25%	21%	9%	8%	6%
Netzverluste [GWh]	7,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Wärmeabsatz [GWh]	70,9	10,0	8,6	8,7	5,8	3,9	1,9	2,0	2,0	2,5	6,4	8,0	11,2

Für die KWK-Technologien sollen sowohl die Exergie-Methode als auch die Finnische Methode zur Brennstoff- und somit CO₂ Allokation verglichen werden.

Bei der **Exergie-Methode** erfolgt die Berechnung des Brennstoffanteils der thermischen Energie A_{th}^{Ex} und der elektrischen Energie A_{el}^{Ex} anhand der mittels Carnot-Wirkungsgrad η_c gewichteten thermischen Umwandlungseffizienz η_{th} und der elektrischen Umwandlungseffizienz η_{el} wie folgt:

$$A_{th}^{Ex} = \frac{\eta_c * \eta_{th}}{\eta_{th} * \eta_c + \eta_{el}}$$

$$A_{el}^{Ex} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{th} * \eta_c + \eta_{el}}$$

Da der Carnot-Wirkungsgrad sich mit der Vorlauf- und Umgebungstemperatur monatlich leicht ändert, ändert sich auch die Brennstoffaufteilung.

Bei der **Finnischen Methode** wird zuerst die Primärenergieeinsparung *PEE* (Brennstoffeinsparung) der gekoppelten Produktion gegenüber der getrennten Produktion von Strom und Wärme durch die jeweilige Referenzeffizienz berechnet.

$$PEE = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{th}}{\eta_{th_ref}} + \frac{\eta_{el}}{\eta_{el_ref}}}$$

Die Berechnung des Anteils der thermischen Energie A_{th}^{Fi} und der elektrischen Energie A_{el}^{Fi} erfolgt dann anhand der Brennstoffeinsparung und des Verhältnisses der Umwandlungseffizienz im KWK-Prozess zur Referenzeffizienz.

$$A_{th}^{Fi} = (1 - PEE) * \frac{\eta_{th}}{\eta_{th_ref}}$$

$$A_{el}^{Fi} = (1 - PEE) * \frac{\eta_{el}}{\eta_{el_ref}}$$

Damit lassen sich mit dem monatlichen Energieträgereinsatz und den berechneten Brennstoffanteilen für die Wärmeerzeugung dann unter Anwendung von Emissionsfaktoren die je Energieträger emittierten Emissionen berechnen.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind in Tabelle 7 dargestellt. Für Abwärme wird dabei auf den Faktor der aktuell gültigen OIB RL6/25 zurückgegriffen. Für Öl, Gas und insbesondere für Biomasse (Hackgut) wird hingegen der Emissionsfaktor des UBA verwendet, da dieser Energieträger in Wärmenetzen mit Abstand am häufigsten eingesetzt wird und in der OIB-RL6/25 feste Biomasse nicht weiter differenziert wird. Für Abfall werden in der Beispielberechnung keine Emissionen angesetzt, da diese derzeit vom EU-ETS ausgenommen sind. Für Strom wird einerseits der konstante Faktor aus der OIB-RL6/25 herangezogen und andererseits die im Themenbericht zu Primärenergiefaktoren [10] vorgeschlagenen durchschnittlichen monatlichen Faktoren der letzten fünf Jahre (EIV 2020-24) und mögliche zukünftige Emissionsfaktoren die den Mittelwert über die Betrachtungsdauer des Wärmenetzes darstellen könnten (EIV Mix2030).

Tabelle 7: Verwendete Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger

Emission [gCO ₂ /kWh]		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Abwärme	OIB 6/25	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Heizöl	UBA 24	342	342	342	342	342	342	342	342	342	342	342	342
Erdgas	UBA 24	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249
Biomasse	UBA 24: Hackgut	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Abfall	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Strom	OIB 6/25	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Strom	EIV '20-24	254	217	218	143	97	86	98	97	136	175	237	263
Strom	EIV Mix 2030	151	124	120	105	82	69	77	76	91	104	146	162

Aus den eingesetzten Brennstoffen (bzw. Brennstoffanteilen bei der KWK) und den zugrunde gelegten Emissionsfaktoren ergeben sich somit monatliche Emissionen, die dann jeweils auf den monatlichen Wärmeabsatz aus Tabelle 6 bezogen werden.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der vorgeschlagenen monatlichen Bewertung für das Berechnungsbeispiel anhand der tatsächlichen Erzeugungsstruktur für die beiden KWK-Bewertungsmethoden „Exergie“ und „Finnisch“ und mit drei unterschiedlichen Bewertungsfaktoren für den eingesetzten Strom (konstanter Emissionswert laut OIB RL6/25, monatlicher aktueller Emissionswert laut EIV und monatlicher zukünftiger Emissionswert laut EIV).

Es ist klar zu erkennen, dass bei der angenommenen Netzstruktur aufgrund der fossilen KWK und insbesondere der fossilen Spitzenlastabdeckung die spezifischen Emissionen im Winter deutlich höher sind als im Sommer. Daher führt eine Reduktion der Winterlast z.B. durch energetische Effizienzmaßnahmen an den Gebäuden zur stärksten Reduktion der Emissionen.

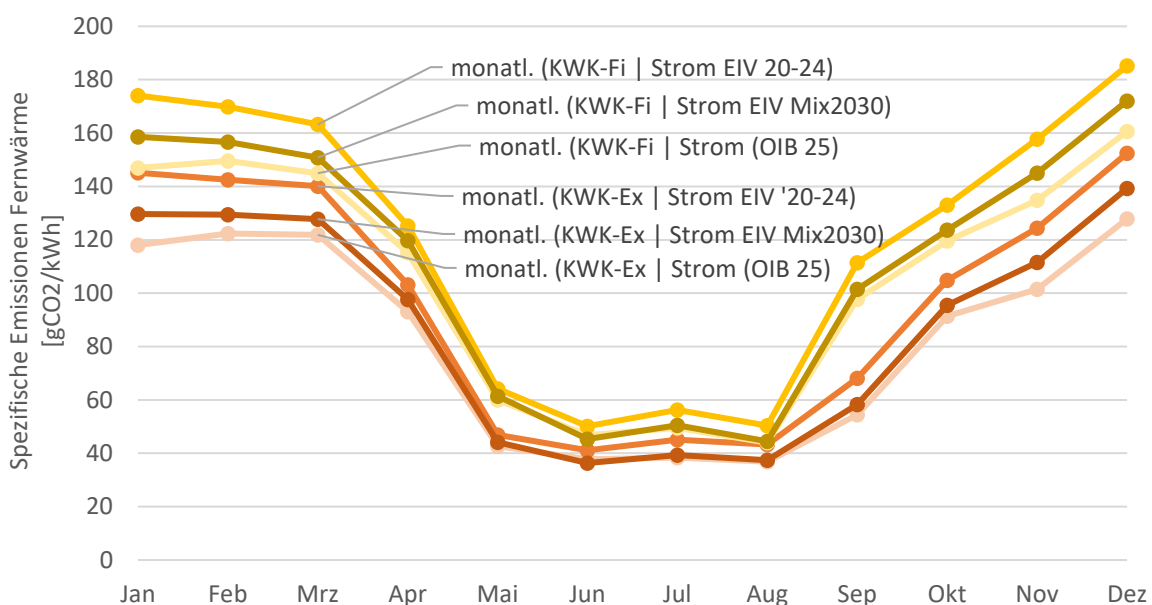


Abbildung 2: monatliche spezifische Emissionen eines Beispiel Wärmenetzes

Die Einhaltung eines verfügbaren Biomasse-Budgets kann in diesem Fall überprüft werden, indem die Biomasse-Brennstoffanteile aus dem Heizkessel und aus der Biomasse KWK über das Jahr aufsummiert werden und durch die versorgte Nutzfläche dividiert wird. Unter der Annahme, dass mit dem Beispielnetz eine Nutzfläche von 500 000 m² versorgt wird (was einer gelieferten Energiemenge von ca 140 kWh/m² entspräche), wäre in diesem Fall mit einem energetischen Biomasseeinsatz von ca. 13-15 GWh (Exergetische bzw. Finnische Allokation) ein spezifischer Biomasseverbrauch von 28-32 kWh/m²a verbunden.

5. Bewertung möglicher Versorgungsoptionen für die Südtiroler-Siedlung Bludenz

In diesem Kapitel wird die vorgeschlagene Bewertungsmethodik für jene Versorgungsoptionen durchgeführt, welche für die Südtiroler-Siedlung in Bludenz analysiert und in der Themendokumentation „Nahwärme als Option für die Südtiroler-Siedlung in Bludenz“ [25] ausführlich beschrieben wurden.

Dabei wurden, jeweils für die Annahme einer hohen Sanierungsqualität (Q1 mit spezifischem Wärmebedarf an gelieferter Energie von 90 kWh/m²) und für eine gute Sanierungsqualität (Q2 mit spezifischem Wärmebedarf an gelieferter Energie von 110 kWh/m²), folgende drei unterschiedlichen Versorgungsoptionen untersucht:

- Bereitstellung der Wärme mittels Biomasse KWK und Biomasse Spitzenlastkessel im 70/40 Netz
- Bereitstellung der Wärme über eine zentrale Hochtemperatur Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Biogas-Spitzenlastkessel im 70/40
- Bereitstellung der Wärme über eine zentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Biogas-Spitzenlastkessel im 40/25 Netz und dezentralen Booster Wärmepumpen

Als Input für die Bewertung werden jeweils die monatlichen Energieträgereinsätze, welche sich aus der Investitions- und Einsatzoptimierung ergeben, sowie jeweils die zugehörige Umwandlungseffizienz verwendet - wie in der SüdSan -Themendokumentation „Nahwärme als Option für die Südtiroler-Siedlung in Bludenz“ [25] detailliert beschrieben.

Abbildung 3 zeigt in der oberen Grafik die monatlichen Energieträgereinsätze der drei untersuchten Versorgungsoptionen bei Umsetzung der hohen Sanierungsqualität (Q1) und im unteren Bereich jene bei guter Sanierungsqualität (Q2).



Abbildung 3: Monatliche Energieträgereinsätze der untersuchten Versorgungsoptionen bei hoher Sanierungsqualität Q1 (oben) und bei guter Sanierungsqualität Q2 (unten)

Analog dazu zeigt Abbildung 4 in der oberen Grafik die monatlich eingespeiste Wärmemenge der drei untersuchten Versorgungsoptionen bei Umsetzung der hohen Sanierungsqualität Q1 und im unteren Bereich jene bei guter Sanierungsqualität Q2. Die eingespeiste Wärmemenge ergibt sich dabei aus der jeweiligen Umwandlungseffizienz. Es ist zu erkennen, dass ein Teil des in der Biomasse KWK eingesetzten Energieträgereinsatzes zur Stromproduktion dient.

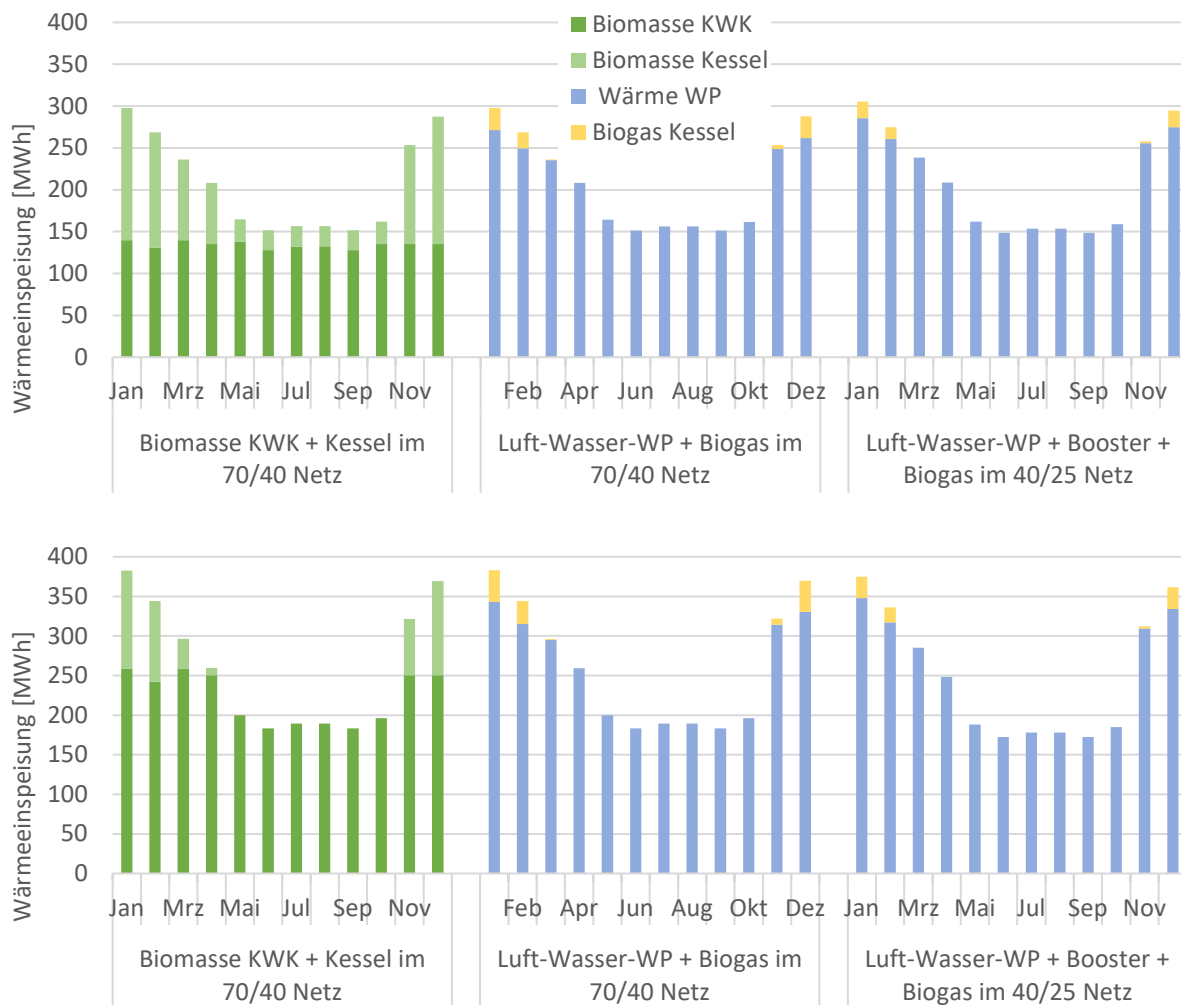


Abbildung 4: Monatliche Wärmeeinspeisung der untersuchten Versorgungsoptionen bei hoher Sanierungsqualität Q1 (oben) und bei guter Sanierungsqualität Q2 (unten)

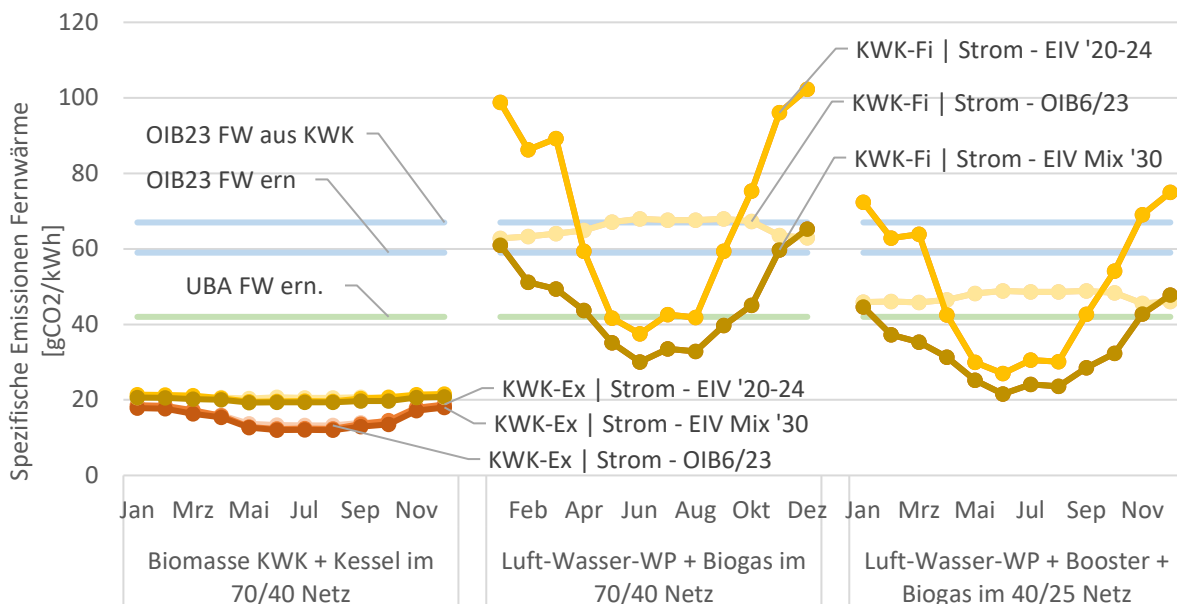
Die Berechnung der spezifischen Emissionen erfolgt analog zum Beispielnetz. Die KWK wird dabei einerseits mit der Exergie-Methode bewertet - mit Systemtemperaturen von 70°C im Vorlauf bzw. 40°C bei der Variante mit Niedertemperaturnetz - und den monatlichen Umgebungstemperaturen wie im Beispielnetz bewertet und andererseits mit der Finnischen Methode mit denselben Referenz-Effizienzen und auch weitestgehend denselben Emissionsfaktoren wie im Beispielnetz. Lediglich Biogas, welches im Beispielnetz nicht vorkommt, wird entsprechend des Vorschlags des UBA wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben mit einem Emissionsfaktor von 56 g/kWh bewertet und für Strom wird der Wert aus der OIB RL6/23 herangezogen welche zum Berechnungszeitpunkt die noch gültige Letztfassung war.

Abbildung 5 zeigt für die hohe Sanierungsqualität Q1 die monatlichen spezifischen Emissionen der untersuchten Wärmeversorgungs-lösungen entsprechend der Bewertungsmethodik und zum Vergleich die Emissionsfaktoren für erneuerbare Wärmenetze laut OIB RL6/23 und

UBA 2024. Die spezifischen Emissionen zwischen den beiden Sanierungsqualitäten unterscheiden sich nur marginal da diese fast ausschließlich durch die Erzeugungsstruktur bestimmt sind.

Es ist zu erkennen, dass bei der Versorgungslösung mit Biomasse KWK die exergetische Bewertung zu etwas geringeren Faktoren führt als die Finnische Bewertungsmethode und aufgrund des geringeren Carnot-Faktors im Sommer dort niedrigere spezifische Emissionen resultieren. Bei dieser Versorgungslösung spielen die unterschiedlichen Bewertungsfaktoren des Stromes kaum eine Rolle (nur der Hilfsstrom wird unterschiedlich bewertet) und die spezifischen Emissionswerte liegen praktisch übereinander.

Bei den Versorgungslösungen mit Luft-Wasser-Wärmepumpe ist es genau umgekehrt und die Bewertung nach Finnischer oder exergetischer Allokation führt zum gleichen Ergebnis. Bei diesen Versorgungslösungen spielt hingegen die Bewertung des eingesetzten Stromes eine entscheidende Rolle. Es ist zu erkennen, dass die Bewertung des Stromes mit konstantem Emissionsfaktor laut OIB6/23 zu annähernd konstanten spezifischen Emissionen führt bzw. aufgrund der höheren relativen Netzverluste sogar zu leicht höheren Emissionsfaktoren im Sommer. Bei der Bewertung des Stromes mit den monatlichen Emissionsfaktoren ist hingegen klar zu erkennen, dass ein Großteil der Emissionen im Winter entsteht, dann wenn auch die Stromerzeugung mit höheren Emissionen behaftet ist. Dies gilt insbesondere für die durchschnittlichen Emissionsfaktoren der letzten Jahre aber auch nach wie vor für einen zu erwartenden zukünftigen Strommix im Jahr 2030 und wohl auch darüber hinaus.



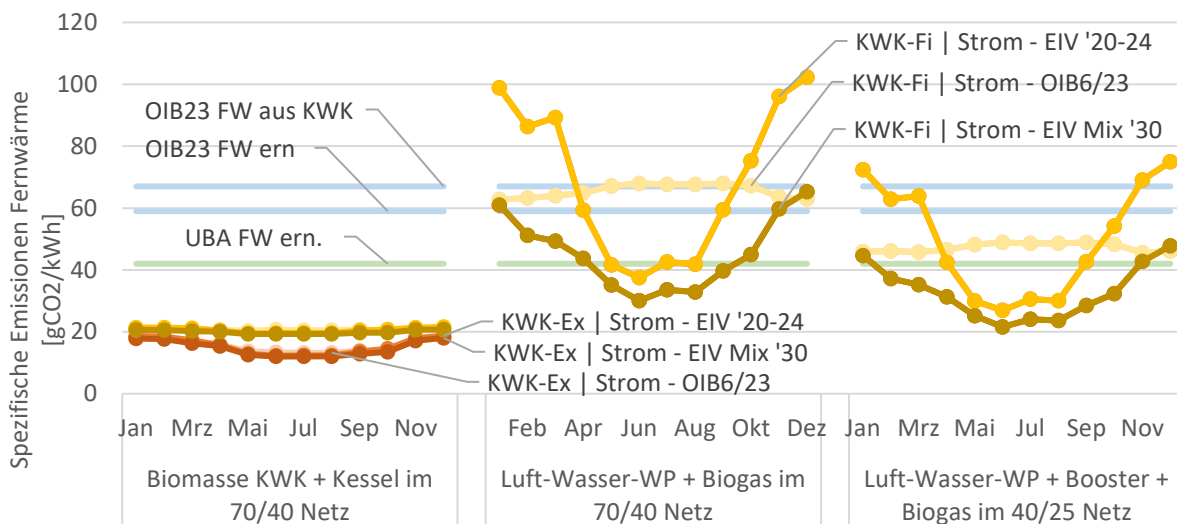


Abbildung 5: Monatliche Emissionsfaktoren der Wärmenetz-Versorgungsoptionen entsprechend der unterschiedlichen Bewertungsmethodiken

Da die resultierenden spezifischen Emissionen nicht geeignet sind, um die unterschiedlichen Sanierungsqualitäten zu bewerten, sind in Abbildung 6 die absoluten jährlichen Emissionen der untersuchten Wärmeversorgungs-lösungen dargestellt. Gleiche Bewertungsergebnisse sind dabei zur einfacheren Lesbarkeit nicht dargestellt. Für die Versorgungslösung mit Biomasse KWK sind also die unterschiedlichen Bewertungen des Stromes nicht dargestellt und für die Versorgungslösungen mit der Wärmepumpe sind die unterschiedlichen KWK-Bewertungen nicht dargestellt.

Der Vergleich der Versorgungslösungen untereinander ergibt, dass mit den verwendeten Emissionsfaktoren ein biomassebasiertes Wärmenetz die geringsten jährlichen Netto-Emissionen aufweist. Durch die geringere Allokation der eingesetzten Biomasse zur Wärmeerzeugung bei der exergetischen Bewertung sind dort die berechneten Emissionen am geringsten. Bewertet man hingegen die eingesetzte Biomasse entsprechend des wie in Kapitel 3.4.2 beschriebenen Biomasse Budgets, so wird das Budget in allen Varianten überschritten. Bei der exergetischen Bewertung werden für beide Sanierungsvarianten rund 1,7 GWh Biomasse der Wärmeerzeugung zugeordnet was bei 26.500 bzw. 28.000 m^2 versorgter Nutzfläche (vollständiger Denkmalschutz der Gesamtsiedlung bzw. Teilabriss und Neubau von etwa 15% der Wohneinheiten mit 50% Nachverdichtung) einer für Wärmezwecke eingesetzten Biomassemenge von 61-65 kWh/m^2 entspricht und somit deutlich über dem für Österreich ermittelten maximalen Budget liegt. Bei der Finnischen Bewertung werden für die beiden Sanierungsvarianten rund 2,3 GWh bzw. 2,6 GWh Biomasse der Wärmeerzeugung zugeordnet was dann bei wiederum 26.500 bzw. 28.000 m^2 versorgter Nutzfläche einem Biomassebedarf von 81-99 kWh/m^2 entspricht, und somit noch weiter über dem ermittelten maximalen Budget liegt.

Bei den strombasierten Versorgungslösungen ist zu erkennen, dass der Emissionsfaktor für Strom laut OIB RL6/23 bereits niedriger angesetzt ist, als eine Bewertung mittels durchschnittlicher monatlicher Faktoren der letzten fünf Jahre ergeben würde. Allerdings sollten für die Bewertung eines zukünftigen Wärmenetzes durchschnittliche zukünftige Emissionsfaktoren verwendet werden. Und auch wenn hier eine erhebliche Reduktion zu erwarten ist, wie auch die Emissionsberechnung mittels EIV-Mix 2030 zeigt, so werden die Emissionen aufgrund der vorwiegend im Winter anfallenden Wärmelast auch auf absehbare Zeit noch relevant sein. Vergleicht man die Sanierungsqualitäten untereinander so ist zu erkennen, dass durch eine höhere Sanierungsqualität in allen Versorgungslösungen und allen Bewertungsvarianten 15-20% der Emissionen reduziert werden können.

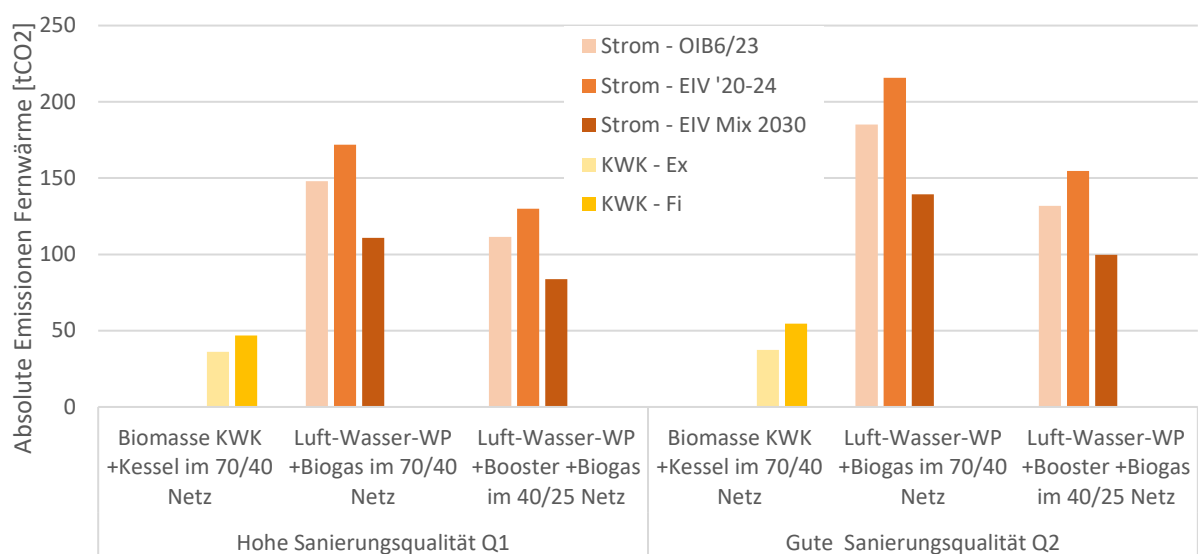


Abbildung 6: Absolute jährliche Emissionen der untersuchten Wärmeversorgungs-lösungen

6. Abbildungen

Abbildung 1: monatlicher Energieträgereinsatz des Beispielnetzes	16
Abbildung 2: monatliche spezifische Emissionen eines Beispiel Wärmenetzes.....	21
Abbildung 3: Monatliche Energieträgereinsätze der untersuchten Versorgungsoptionen bei hoher Sanierungsqualität Q1 (oben) und bei guter Sanierungsqualität Q2 (unten)	23
Abbildung 4: Monatliche Wärmeeinspeisung der untersuchten Versorgungsoptionen bei hoher Sanierungsqualität Q1 (oben) und bei guter Sanierungsqualität Q2 (unten)	24
Abbildung 5: Monatliche Emissionsfaktoren der Wärmenetz-Versorgungsoptionen entsprechend der unterschiedlichen Bewertungsmethodiken.....	26
Abbildung 6: Absolute jährliche Emissionen der untersuchten Wärmeversorgungs-lösungen	27

7. Tabellen

Tabelle 1: Primärenergie- und CO ₂ Faktoren laut OIB RL6 2019, 2023 und 2025	7
Tabelle 2: THG Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes	9
Tabelle 3: Energieträgereinsatz des Beispielnetzes	16
Tabelle 4: Umwandlungseffizienzen der Wärmeerzeugungstechnologien des Beispielnetzes	17
Tabelle 5: Monatliche Systemtemperaturen und resultierende Carnot Effizienz	18
Tabelle 6: Wärmeeinspeisung und Netzverluste des Beispielnetzes	18
Tabelle 7: Verwendete Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger	20

8. Literatur

- [1] U. Fritsche, L. Rausch, und E. Brommer, „Lebenswegbezogene Emissionsdaten für Strom- und Wärmebereitstellung, Mobilitätsprozesse sowie ausgewählte Produkte für die Beschaffung in Deutschland“, Öko-Institut e.V., Darmstadt, Nov. 2011. Verfügbar unter: https://inas.org/app/downloads_from_old_page/GEMIS/2011_GEMIS_Daten-FESt.pdf
- [2] P. Stolz und R. Frischknecht, „Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen“, 2017, Verfügbar unter: https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf
- [3] „Harmonisierung der Bauvorschriften“, *Österreichisches Institut für Bautechnik | OIB*. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/kernaufgaben/oib-richtlinien/>. [Zugegriffen: 17. Juli 2025]
- [4] „Erläuternde Bemerkungen zu OIB-RL 6“, Österreichisches Institut für Bautechnik, Richtlinie OIB-330.6-038/23, Mai 2023. Verfügbar unter: https://www.oib.or.at/wp-content/uploads/richtlinien/richtlinie_2023/erlaeuterungen_oib-rl_6_ausgabe_mai_2023-1.pdf. [Zugegriffen: 17. Juli 2025]
- [5] *Delegierte Verordnung (EU) 2015/2402 der Kommission vom 12. Oktober 2015 zur Überarbeitung der harmonisierten Wirkungsgrad-Referenzwerte für die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme gemäß der Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung des Durchführungsbeschlusses 2011/877/EU der Kommission*, Bd. 333. 2015. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2015/2402/oj/deu. [Zugegriffen: 12. September 2025]
- [6] „OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz“, Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-138/25, Sep. 2025. Verfügbar unter: https://www.oib.or.at/wp-content/uploads/oib-rl_6_september_2025.pdf. [Zugegriffen: 14. Oktober 2025]
- [7] „Leitfaden WUKSEA“. Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/pdf/ma37//leitfaden-wuksea-2020.pdf>
- [8] „Prüfstatement zur Aufschlüsselung der Primärenergieträger“, TÜV SÜD Landesgesellschaft österreich GmbH, 2223496–1 BT. Verfügbar unter: https://dokumente.wienenergie.at/wp-content/uploads/2223496-2AT_Pruefstatement.pdf
- [9] D. Fritz *u. a.*, „Harmonisierte österreichische THG-Emissionsfaktoren relevanter Energieträger“, Umweltbundesamt, Wien, Report REP-0948, 2025. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0948.pdf>. [Zugegriffen: 3. Juli 2025]
- [10] T. Roßkopf-Nachbaur und M. Ploss, „Ermittlung monatlicher Primärenergiefaktoren und CO₂eq-Konversionsfaktoren für den aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix sowie Szenario für 2030“, Energieinstitut Vorarlberg, 2025. Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/media/konversionsfaktoren-strommix-at-und-szenarienbetrachtung.pdf>. [Zugegriffen: 5. November 2025]
- [11] F. Ochs, M. Magni, und G. Dermentzis, „Integration of Heat Pumps in Buildings and District Heating Systems—Evaluation on a Building and Energy System Level“, *Energies*, Bd. 15, Nr. 11, S. 3889, Mai 2022, doi: 10.3390/en15113889
- [12] „OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz ENTWURF“, Österreichisches Institut für Bautechnik, Entwurf Jänner 2025 OIB-330.6-005/25, Jänner 2025. Verfügbar unter: https://pvaustria.at/wp-content/uploads/OIB-RL_6_Entwurf_Jaenner_2025.pdf. [Zugegriffen: 7. Juli 2025]
- [13] C. Pout und R. Hitchin, „Apportioning carbon emissions from CHP systems“, *Energy Convers. Manag.*, Bd. 46, Nr. 18–19, S. 2980–2995, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.enconman.2005.02.001
- [14] M. A. Rosen, „Allocating carbon dioxide emissions from cogeneration systems: descriptions of selected output-based methods“, *J. Clean. Prod.*, Bd. 16, Nr. 2, S. 171–177, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.08.025
- [15] M. Bianchi und A. De Pascale, „Emission Calculation Methodologies for CHP Plants“, *Energy Procedia*, Bd. 14, S. 1323–1330, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2011.12.1096

- [16] M. Hörner, „Vorschlag zur Neuregelung der Brennstoff-Allokation bei der Kraft-Wärme-Kopplung“, IWU Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, DIN NA 041-05-01 NHRS, Feb. 2014. Verfügbar unter: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2014_IWU_Hoerner_Brennstoffallokation-KWK.pdf. [Zugegriffen: 3. Juli 2025]
- [17] A. Jentsch, „REA: Ressourcenexergieanalyse“, AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Frankfurt am Main, Mai 2023. Verfügbar unter: https://www.agfw.de/secured/sdl-eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJpYXQiOiE3NTE0NzQ4MTMlMmV4cCI6MTU2NDgxMywidXNlciI6MCwiZ3JvdXBzljpbMCwtMV0sImZpbGUiOiJmaWxIY-WRtaW4vdXNlci91cGxvYWQvRm9yc2NodW5nX3VfSW5ub3ZhdGlvi9WZXJvZWZmZW50bGljaHVuZ2VuLzIzMDZfQUdGV19SRUFfQmVyZWNoVnV4Z3NsZWl0ZmFkZW4ucGRmllicGFnZSI6MTM3NX0.oFQhXAIcYqX3qM5MB5uPlwSLF60FCWFNdYvDaLmvsJk/2306_AGFV_REA_Berechnungsleitfaden.pdf. [Zugegriffen: 3. Juli 2025]
- [18] N. Diefenbach, „Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen“. Institut Wohnen und Umwelt, 2002. Verfügbar unter: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/werkzeuge/2002_IWU_Diefenbach_Bewertung-der-W%C3%A4rmeerzeugung-in-KWK-Anlagen-und-Biomasse-Heizsystemen.pdf. [Zugegriffen: 3. Juli 2025]
- [19] „Ermittlung anwendungsspezifischer PER-Faktoren [Passipedia DE]“. Verfügbar unter: [https://passipedia.de/grundlagen/nachhaltige_energieversorgung_mit_passivhaeusern/passivhaus_-_das_naechste_jahrzehnt/ermittlung_anwendungsspezifischer_per-faktoren?s\[\]=biomasse#biogas_brennholz_und_die_biomasse-budgetierung](https://passipedia.de/grundlagen/nachhaltige_energieversorgung_mit_passivhaeusern/passivhaus_-_das_naechste_jahrzehnt/ermittlung_anwendungsspezifischer_per-faktoren?s[]=biomasse#biogas_brennholz_und_die_biomasse-budgetierung). [Zugegriffen: 3. Juli 2025]
- [20] C. Drexel, „Limitierungen für den Einsatz von Brennholz in der Raumwärme“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2025. Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/media/limitierungen-fuer-brennholz-in-der-raumwaerme.pdf>. [Zugegriffen: 5. November 2025]
- [21] M. Schaeede und M. Großklos, *Passivhäuser mit Energiegewinn - Begleitung Cordierstraße 4 in Frankfurt am Main*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt, 2013. Verfügbar unter: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/cordier/bericht_cordier_teil_1_planungsbegleitung.pdf. [Zugegriffen: 7. Juli 2025]
- [22] Z. W. E. Staff, „Understanding the carbon impacts of Waste to Energy Incineration“, *Zero Waste Europe*, 18. März 2020. Verfügbar unter: <https://zerowasteurope.eu/2020/03/understanding-the-carbon-impacts-of-waste-to-energy/>. [Zugegriffen: 14. Juli 2025]
- [23] „Incineration in the EU emission trading system: a set of suggestions for its inclusion“, *Zero Waste Europe*. Verfügbar unter: <https://zerowasteurope.eu/library/incineration-in-the-eu-emission-trading-system-a-set-of-suggestions-for-its-inclusion/>. [Zugegriffen: 12. September 2025]
- [24] *Delegierte Verordnung (EU) 2023/2104 der Kommission vom 4. Juli 2023 zur Änderung der Delegierten Verordnung (EU) 2015/2402 hinsichtlich der Überarbeitung der harmonisierten Wirkungsgrad-Referenzwerte für die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme gemäß der Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates*. 2023. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2104/oj/deu. [Zugegriffen: 10. Juli 2025]
- [25] R. Büchele, M. Ploss, und T. Roßkopf-Nachbaur, „Nahwärme als Option für die Südtiroler-Siedlung in Bludenz“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, 2025.