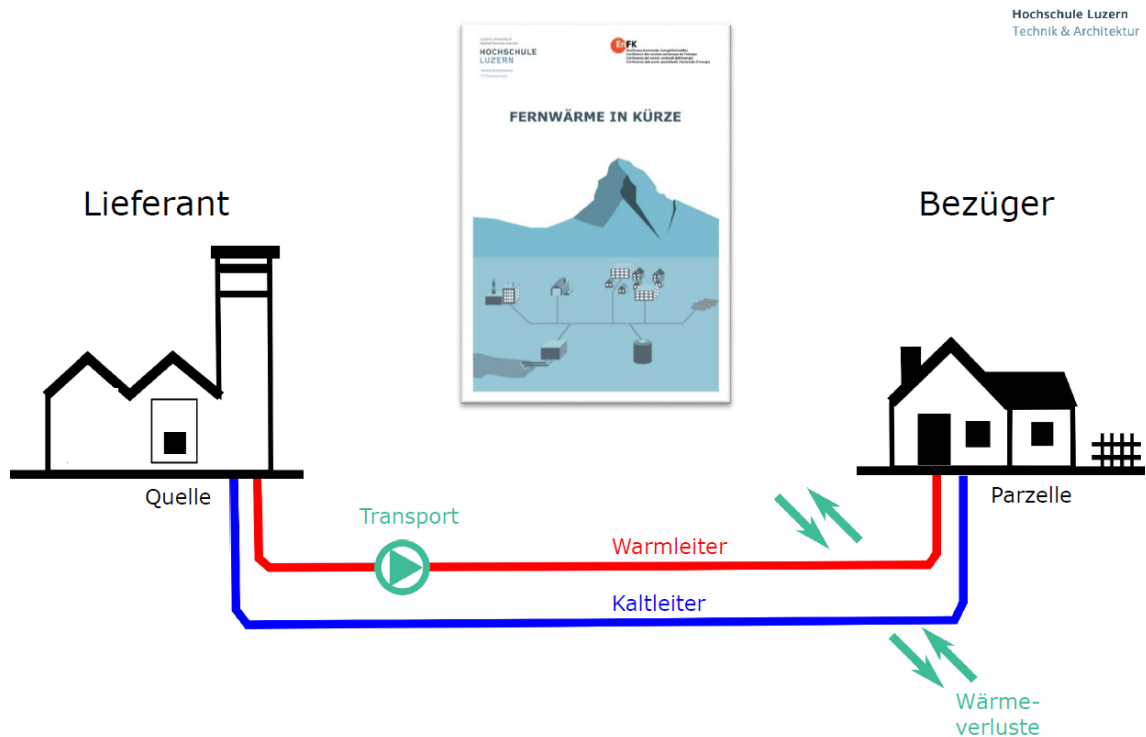


Bericht

Seite 1/19

Abschlussbericht NaGeFa

Untersuchung zu den Nationalen Gewichtungsfaktoren von Thermischen Netzen



Impressum

Auftraggeber

AG MuKE n der EnFK

3000 Bern

Auftragnehmer

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut Gebäudetechnik | Energie
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Verfasser

Thomas Schluck Hochschule Luzern
Stefan Mennel Hochschule Luzern

Verteiler

AG MuKE n Kantone
Olivier Brenner EnDK

SAP-Nr.

1122268-00

Dateiname

D_20210323_Schlussbericht_NaGeFa.docx

Änderungsverzeichnis

<i>Version</i>	<i>Datum</i>	<i>Status</i>	<i>Bemerkungen</i>	<i>Bearbeitet</i>
00	02.11.2020	Draft	Erster Wurf	Mes
01	24.11.2020	Entwurf	Rücksprache CG	Mes
02	16.02.2021	Vorabzug	Ext. Feedback	Mes
03	26.02.2021	Schlussversion	Input AG MuKE n	Sae/Sts/Mes
04	23.03.2021	Finalversion	Entscheid AG MuKE n	Brenner/Mes

Zusammenfassung

Die Hochschule Luzern (HSLU) hat im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz (EnFK) eine Untersuchung zu den Nationalen Gewichtungsfaktoren von Thermischen Netzen durchgeführt. Dazu wurden drei Temperaturbereiche Thermischer Netze und ihre exemplarische Versorgungskonstellationen definiert und mit Parameterstudien untersucht. Eine «Versorgungskonstellation» umfasst alle zur Deckung des Energiebedarfs eines Thermischen Netzes notwendigen Quellen und Umwandlungstechnologien sowie deren Eigenschaften.

Die Beurteilung angemessener Nationaler Gewichtungsfaktoren geschieht dabei mit einer von der HSLU bereits früher publizierten Methode. Die Untersuchung bietet dabei auch Antworten darauf, wie diese Methode vereinfacht und zur Beurteilung von Thermischen Netzen verwendet werden kann.

Ausserdem wird in diesem Schlussbericht eine Antwort auf die Doppelung der Systemgrenzen geboten. Einerseits existiert die Systemgrenze «Thermisches Netz» (resp. «Fernwärme») und andererseits die Systemgrenze der daran angeschlossenen «Gebäude».

Für insgesamt 22 Versorgungskonstellationen wurden Parameterstudien durchgeführt. In Kapitel 5 werden Empfehlungen zu Systemgrenzen, Methodik und den Umgang mit Thermischen Netzen mit einer Betriebstemperatur unter 60 °C formuliert. Eine wichtige Erkenntnis ist hier, dass für eine schnelle und hinreichend genaue Berechnung im Rahmen der Betrachtungsgenauigkeit die beiden Faktoren, Transport und Wärmeverluste, vernachlässigt werden können.

In Kapitel 6 werden auf der Basis der Datenanalyse der Parameterstudien für gängige, relativ einfache Versorgungskonstellationen konkrete Empfehlungen für Nationale Gewichtungsfaktoren formuliert. Am Ende wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie komplexere, multivalente Versorgungskonstellationen mit Hilfe des Formulars EN 101b berechnet werden können. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die aktuell gültigen Gewichtungsfaktoren für Fernwärme (> 60 °C) plausibel sind. Für viele Versorgungskonstellationen in Niedertemperaturnetzen (40 °C resp. 10 °C) dürfte ein Nationaler Gewichtungsfaktor von 0.4 anwendbar sein.

In Kapitel 7 wird die Berechnungsmethodik anhand von drei Beispielen dargestellt. Darauf wird in Kapitel 8 ein Fazit gezogen und im Anhang (Kapitel 9) eine Hilfstabelle für bivalente WP-Erdgas resp. WP-Holz-Versorgungskonstellationen angeboten.

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Ausgangslage.....	5
3. Aufgabe	5
4. Die zwei Systemgrenzen in Thermischen Netzen	6
5. Belastungen im Thermischen Netz	6
5.1. Transport und Wärmeverluste	7
5.2. Gewichtungsfaktoren der Umwandlungstechnologien.....	7
5.3. Bidirektionale Thermische Netze	8
6. Analyse Thermischer Netze – Beispiele und Erkenntnisse	8
6.1. Hochtemperaturnetze.....	8
6.2. Reiner Wärmepumpenbetrieb.....	8
6.3. Bivalenter Betrieb Wärmepumpe/Feuerung	9
6.4. Bivalenter Betrieb Umweltwärme/Wärmepumpe	9
6.5. Bivalenter Betrieb Umweltwärme/Feuerung	9
6.6. Bidirektionaler Betrieb	9
6.7. Komplexe, multivalente Betriebsweise	9
6.8. Rechenbeispiel zur Berechnung Thermischer Netze	10
7. Fallbeispiele zur Anwendung in Gebäuden	13
7.1. Beispiel 1: Mitteltemperatur	13
7.2. Beispiel 2: Niedertemperatur.....	15
7.3. Beispiel 3: Niedertemperatur/Solar	16
8. Fazit und Empfehlungen.....	18
9. Anhang	19

Verwendete Literatur

[NaGeFa] Nationale Gewichtungsfaktoren für die Beurteilung von Gebäuden, online: <https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/20160204-nationalegewichtungsfaktorenfrdiebeurteil.pdf>

[FW kurz] Fernwärme in Kürze, online: https://www.endk.ch/de/ablage/energieberatung/Merkblatt%20Fernwaerme%20in%20Kuerze%2020190502_d.pdf

[GL FW] Grundlagen und Erläuterungen zu Thermischen Netzen, online: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9311>

[ME Rgmt] Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A® (Version 2020.1), online: https://www.minergie.ch/media/200210_produkreglement_minergie_p_a_v2020.1_de.pdf

1. Einleitung

Im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz (EnFK) hat die Hochschule Luzern eine Untersuchung zu den Nationalen Gewichtungsfaktoren von Thermischen Netzen durchgeführt. Dazu wurden exemplarische Versorgungskonstellationen anhand von Parameterstudien untersucht. Als «Versorgungskonstellation» werden alle zur Deckung des Energiebedarfs eines Thermischen Netzes notwendigen Quellen und Umwandlungstechnologien bezeichnet.

Die wesentlichen Erkenntnisse werden in diesem Abschlussbericht zusammengefasst. Sie sollen (i) Vollzugsbehörden, (ii) Planende und (iii) Betreibende von Thermischen Netzen bei der Frage unterstützen, wie konkrete Versorgungskonstellationen im Kontext der Nationalen Gewichtungsfaktoren zu beurteilen sind und welcher Faktor für «Fernwärme» angewendet werden kann.

2. Ausgangslage

Die nationalen Gewichtungsfaktoren für die Beurteilung von Energie sind ein Spiegel der Energiepolitik im Gebäudebereich [NaGeFa]. Die gelieferte Wärme durch Thermische Netze wird aktuell allein aufgrund des Anteils fossil bereitgestellter Wärme beurteilt. Eine systematisierte Bilanzierung der Energieströme des Thermischen Netzes auch in Abhängigkeit der verwendeten Versorgungskonstellationen sowie der Betriebstemperaturen fehlt [FW kurz]. Es stellt sich deshalb die Frage, wie eine einheitliche Gewichtung bei Fernwärme gelingt, welche auf Versorgungskonstellationen wie zum Beispiel Wärmepumpen, Umweltwärme, Holzfeuerungen etc. basiert.

Ein Lösungsansatz zur Bilanzierung der Endenergie von Thermischen Netzen wurde erstmals im Grundlagenpapier des BFE-Programms «Thermische Netze» vorgestellt [GL FW]. Dieser sogenannte Belastungsgrad bewertet die verschiedenen Dienstleistungen des Thermischen Netzes. Die Berechnungsweise erfasst dabei alle Energieströme und ist für die Beurteilung eines konkreten Netzes hilfreich. Für eine allgemeine, rasche Beurteilung ist die Methode nicht geeignet.

3. Aufgabe

Die Untersuchung widmete sich folgenden Fragestellungen. Diese werden unten zusammengefasst und jeweils mit einer Empfehlung kommentiert.

- Wie bilanziert man den Anteil der Energieträger eines Thermischen Netzes?
- Welche Systemgrenzen werden betrachtet, welche Hilfsenergien berücksichtigt?
- Wie gelingt eine unkomplizierte, jahresunabhängige, jedoch hinreichend genaue Bestimmung?
- Welcher Nationale Gewichtungsfaktor kommt für die konkrete Versorgungskonstellation eines Thermischen Netzes zur Anwendung?

4. Die zwei Systemgrenzen in Thermischen Netzen

Thermische Netze besitzen die Eigenschaft, dass zwei Systemgrenzen unterschieden werden müssen.

- Systemgrenze Thermisches Netz: Was wird dem Netz für die Bereitstellung der Energiedienstleistung zugeführt?
- Systemgrenze Gebäude: Welche «Belastung» besitzt die bezogene Energiedienstleistung?

Ausgehend von der Nutzenergie im Raum können damit zwei verschiedene Bezugssysteme zur Endenergie hergestellt werden (vgl. Abbildung 1). Für das Gebäude ist die vom Thermischen Netz gelieferte Energie die Endenergie (Gebäude). Für das Thermische Netz wiederum ist die zugeführte Energie die Endenergie (Netz), welche anschliessend verlustbehaftet an die Gebäude verteilt wird.

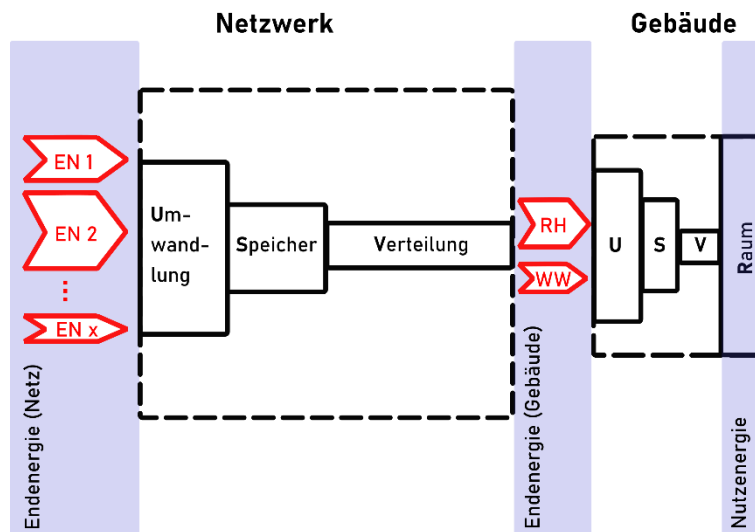


Abbildung 1 Zwei Systemgrenzen bei Thermischen Netzen mit zwei möglichen Bezugssystemen zur Endenergie

5. Belastungen im Thermischen Netz

Das Thermische Netz erfährt «Belastungen» im Sinne von Energieaufwänden für Transport und bei Wärmeverlusten sowie durch die eingesetzten Umwandlungstechnologien (Quelle beim Lieferanten), vgl. Abbildung 2. Im Rahmen der Untersuchung wurden der Aufwand für Transport und Verluste sowie typische Umwandlungstechnologien und deren Effizienzen in verschiedenen Versorgungskonstellationen untersucht.

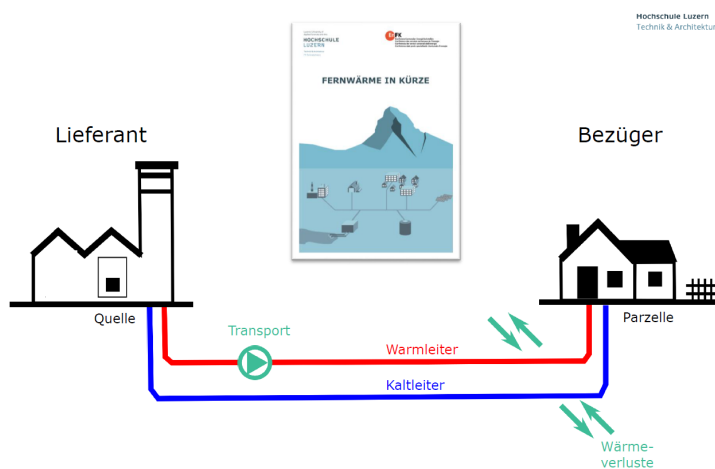


Abbildung 2 Schematische Darstellung für Thermische Netze mit den relevanten Elementen [GL FW]

5.1. Transport und Wärmeverluste

Voran gegangene Arbeiten zeigen, dass sowohl der Aufwand für den Transport als auch die Wärmeverluste massgeblich vom Temperaturniveau des Thermischen Netzes abhängen [GL FW]. Deshalb wurde vorgeschlagen, Thermische Netze je nach Betriebstemperatur zu kategorisieren (vgl. Abbildung 3). Die Aufwände für den Transport sind umso höher, je tiefer das Temperaturniveau des Thermischen Netzes liegt (kleinere Temperaturdifferenzen im Netz, grösserer Volumenstrom). Bei einem Betrieb unter 20 °C beträgt der Aufwand für den Transport etwa 2–3 % der an die Gebäude gelieferten Energie. Umgekehrt sind die Wärmeverluste umso höher, je höher das Temperaturniveau des Thermischen Netzes liegt (höhere Temperaturdifferenzen zum Untergrund). Bei einem Betrieb über 60 °C liegen die Verluste bei 7–13 % der an die Gebäude gelieferten Energie.

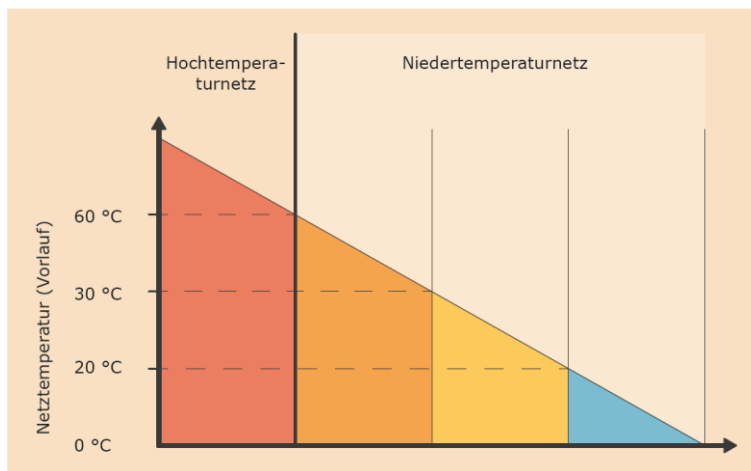


Abbildung 3 Unterteilung von Thermischen Netzen nach Betriebstemperatur [FW kurz]

Empfehlung: Die Analyse der Versorgungskonstellationen hat gezeigt, dass weder Transport noch Wärmeverluste einen massgeblichen Einfluss auf die Gewichtung besitzen. Für eine schnelle und hinreichend genaue Berechnung im Rahmen der Betrachtungsgenauigkeit können deshalb beide Faktoren, Transport und Wärmeverluste, vernachlässigt werden.

5.2. Gewichtungsfaktoren der Umwandlungstechnologien

Das Produktreglement zu den Minergie-Gebäudestandards [ME Rgmt] beschreibt die Gewichtung der Umwandlungstechnologien für die Energiebereitstellung in Gebäuden. Analog können zugeführte Energieträger auch in Thermischen Netzen gewichtet werden. Bei Verbrennungstechnologien sind – neben dem Gewichtungsfaktor für den Energieträger selbst – typischerweise die Wirkungsgrade (bezogen auf den unteren Heizwert) massgeblich. Bei Wärmepumpen wird die Jahresarbeitszahl verwendet. Bei Wärme-Kraft-Kopplung (BHKW) darf zudem die erzeugte elektrische Energie abgezogen werden.

Empfehlung: Zur Beurteilung der Gewichtungsfaktoren für die Wärmelieferung eines Thermischen Netzes an ein Gebäude sollen alle dem Netz zugeführten Energieträger gewichtet werden, wie in der Minergie-Anwendungshilfe beschrieben.

Damit bildet die Systemgrenze «Endenergie Netz» die Basis für die Beurteilung des Thermischen Netzes. Werden Transport und Wärmeverluste vernachlässigt, so entspricht dies auch der an die Bezüger gelieferten «Endenergie Gebäude» (vgl. zu den Systemgrenzen oben Abbildung 1).

5.3. Bidirektionale Thermische Netze

In bidirektionalen Thermischen Netzen können Gebäude entweder Energie aus dem Netz beziehen (Heizfall) oder in dieses einspeisen (Kühlfall). Damit wird eine zirkuläre Energiewirtschaft (Energie-«Recycling») angestrebt.

Empfehlung: Die Einspeisung von nicht für andere Zwecke nutzbarer Wärme soll wie eine Abwärmennutzung behandelt werden. Für die Systemgrenze Endenergie (Gebäude) findet keine Vergütung statt, die Wärmeströme werden wie Sonne, Umweltwärme oder Geothermie behandelt.

6. Analyse Thermischer Netze – Beispiele und Erkenntnisse

Für die Untersuchung wurden verschiedene Temperaturbereiche (Hochtemperatur > 60 °C, Mitteltemperatur 40 °C, Niedertemperatur < 20 °C) untersucht. Für alle Temperaturbereiche wurden typische Versorgungskonstellationen abgeleitet. Die Untersuchung basiert damit auf insgesamt 20 verschiedenen Versorgungskonstellationen. Zudem wurden zwei konkrete Beispiele aus dem Kanton Bern in die Untersuchung aufgenommen. In diesem Kapitel werden die allgemein ableitbaren Erkenntnisse auf der Basis der Untersuchung (22 Versorgungskonstellationen) als Empfehlungen dokumentiert.

6.1. Hochtemperaturnetze

Die Untersuchung von Hochtemperaturnetzen (Betriebstemperatur > 60 °C) hat gezeigt, dass die aktuell gültigen Gewichtungsfaktoren plausibel sind. Biomasse (mind. 75 % sowie mit als auch ohne fossile Spitzendeckung) erhält dabei einen kleinen Bonus (rechnerische Werte etwa 0.67 bis 0.78). Wärme-Kraft-Kopplungssysteme (BHKW) schneiden je nach elektrischem Wirkungsgrad noch etwas schlechter ab. Die Anwendung der publizierten Gewichtungsfaktoren scheint damit sinnvoll (vgl. Abbildung 4).

Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA, ARA, Industrie):		
Anteil fossil erzeugte Wärme	≤ 25%	0,4
	≤ 50%	0,6
	≤ 75%	0,8
	> 75%	1,0

Abbildung 4 Nationale Gewichtungsfaktoren für Hochtemperaturnetze nach [NaGeFa]

Empfehlung: Die bestehende Einteilung von Gewichtungsfaktoren bei Thermischen Netzen mit einer Betriebstemperatur > 60 °C konnten – mit leichten Abweichungen – durch die Untersuchung bestätigt werden. Im Sinne einer langjährigen Konstanz drängt sich hier keine Änderung auf.

6.2. Reiner Wärmepumpenbetrieb

Bei einer Wärmebereitstellung mit monovalentem Wärmepumpen-Betrieb ist die resultierende Netzbelastung sehr stark abhängig von der erreichten Jahresarbeitszahl. Grundsätzlich gilt, dass tiefere Betriebstemperaturen der Thermischen Netze und höhere Quellentemperaturen das Erreichen einer höheren Jahresarbeitszahl begünstigen.

Empfehlung: Mit einer Jahresarbeitszahl > 4.0 kann ein Gewichtungsfaktor von 0.4 empfohlen werden. Bei Systemen mit tieferen Jahresarbeitszahlen sollte als Gewichtungsfaktor 0.6 verwendet werden.

6.3. Bivalenter Betrieb Wärmepumpe/Feuerung

Bei einem bivalenten Betrieb von Wärmepumpe mit Feuerung ist ebenfalls die Jahresarbeitszahl entscheidend – gleichzeitig beeinflusst der verwendete Brennstoff das Resultat. Kombinationen von Wärmepumpen mit hohen Jahresarbeitszahlen (6.0) und einem Spitzenlastanteil von 24 % (Erdgas) ergeben einen Gewichtungsfaktor, der bereits über 0.5 liegt (vgl. für mehr Details Kapitel 0, Anhang).

Empfehlung: Kombinationen von Wärmepumpen und Feuerungssystemen für Spitzenlastdeckung sollten im Zweifelsfall mit einem Gewichtungsfaktor von 0.6 bewertet werden. Bei Spitzenlastabdeckung durch Biomasse kann ein Gewichtungsfaktor von 0.4 als Anreizsystem sinnvoll sein.

6.4. Bivalenter Betrieb Umweltwärme/Wärmepumpe

Wird als Primärquelle Umweltwärme (z. B. Grund- oder Oberflächenwasser) verwendet und dieses bei der Fassung mit einer Wärmepumpe teilveredelt (leichte Anhebung der Temperatur), so resultieren durch den kleinen Temperaturhub hohe Jahresarbeitszahlen und tiefe Belastungsgrade.

Empfehlung: Reine Umweltwärme bzw. reine Abwärme in Kombination mit Wärmepumpen mit Jahresarbeitszahlen > 4.0 dürfen bedenkenlos mit 0.4 bewertet werden.

6.5. Bivalenter Betrieb Umweltwärme/Feuerung

Wird dasselbe System wie oben (Primärträger Umweltwärme oder Abwärme) mit einer befeuerten Spitzenlastdeckung kombiniert (Erdgas oder Holz), so ergeben sich Gewichtungsfaktoren von etwa 0.3.

Empfehlung: Bei Umweltwärme (resp. Abwärme) in Kombination mit einer Spitzenlastdeckung durch ein Feuerungssystem kann bedenkenlos mit einem Gewichtungsfaktor von 0.4 gerechnet werden.

6.6. Bidirektionaler Betrieb

Die Sachlage beim bidirektionalen Betrieb von Thermischen Netzen, wo Wärme aus dem Netz bezogen (Heizbedarf) oder eingespiessen (Kühlbedarf) werden kann, ist in der Beurteilung recht komplex. Die Resultate der Untersuchung hängen stark davon ab, welche Energiemenge wieder-verwendet werden kann, entweder zum selben Zeitpunkt oder via Speichersystem zeitverschoben. Zudem können diese Netze theoretisch sowohl durch Wärmepumpen als auch Feuerungssysteme versorgt werden, um das typischerweise bestehende Wärmedefizit auszugleichen. Die Untersuchung zeigt, dass Systeme mit Defizitdeckung durch Wärmepumpen auch in Extremfällen einen Gewichtungsfaktor von 0.4 nicht überschreiten. Dagegen erreichen Systeme mit Defizitdeckung durch Feuerungssysteme bestenfalls 0.4.

Empfehlung: Ein Gewichtungsfaktor von 0.4 scheint bei bidirektionalen Systemen mit Deckung des Wärmedefizits durch Wärmepumpen jederzeit gerechtfertigt. Bei Systemen mit Spitzendeckung durch Feuerungen könnte ein Faktor von 0.6 langfristig sinnvoller sein.

6.7. Komplexe, multivalente Betriebsweise

In der Untersuchung wurden auch komplexere, multivalente Versorgungskonstellationen mit mehr als drei Umwandlungstechnologien untersucht. Bei diesen ist die Möglichkeit zur Verallgemeinerung der Empfehlungen aufgrund zahlreicher Eingabeparameter schwierig. Zwei konkrete Systeme aus Bern wurden detailliert analysiert. Dabei konnte in der Untersuchung gezeigt werden, dass sich selbst komplexere, multivalente Versorgungskonstellationen im Rahmen der bestehenden Energienachweisformulare abbilden lassen. Beispielhaft wird für ein bekanntes Thermisches Netz die Wärmebereitstellung ins Nachweisformular EN-101b eingegeben, wie in folgendem Kapitel illustriert.

6.8. Rechenbeispiel zur Berechnung Thermischer Netze

Sollen komplexere, multivalente Thermische Netze berechnet werden, so kann dazu, wie beim Energienachweis von Gebäuden, das Nachweisformular EN-101b verwendet werden. Mit folgendem Beispiel werden die notwendigen Eingaben und die mögliche Vorgehensweise erläutert.

Ausgangslage: Es soll ein Netz mit einer multivalenten Energiebereitstellung durch 60 % Fernwärme, 12 % Wärmepumpe, 15 % BHKW und 13 % Spitzenlastdeckung durch Erdgas bewertet werden. Die notwendigen Energiemengen können nachfolgender Abbildung 5 entnommen werden. Über die zur Produktion zugeführte Endenergien liegen keine weiteren Informationen vor. Die absolute Energiemengen werden nur für die Berechnung notwendiger Kennwerte verwendet und sind im Nachweisformular EN-101b nicht abgebildet.

Produktion/Input	Energieproduktion		Stromverbrauch	
		thermisch	elektrisch BHKW	EWP
Fernwärme	60%	6'720'000 kWh		
Grundwasser-Wärmepumpe	12%	1'344'000 kWh		395'000 kWh
Erdgas-BHKW	15%	1'797'000 kWh	1'149'000 kWh	
Erdgas-Spitzenkessel	13%	1'456'000 kWh		
Gesamt	100%	11'317'000 kWh	1'149'000 kWh	395'000 kWh

Abbildung 5 Bereitgestellte Energiemengen thermisch und elektrisch sowie Stromverbrauch Wärmepumpe

Vorgehen – Register Eingaben: Die meisten Eingabeparameter in diesem Register sind für die Berechnung des Thermischen Netzes nicht von Bedeutung. Folgende Abbildung 6 zeigt einen pragmatischen Ansatz mit einer beliebigen Gebäudekategorie ohne Warmwasser und einem Quadratmeter Energiebezugsfläche. In der Folge empfehlen wir, auf die Angaben bei der Lüftung zu verzichten und einen effektiven Heizwärmebedarf von 100 kWh/m² zu verwenden (Abbildung 7).

E13	Gebäudedaten	Gebäudestandort:	500	m.ü.M.	Kanton:	Bern
E14	(aus SIA 380/1)	Art des Nachweises:	behördlicher Nachweis		Klimastation:	Bern Liebefeld
	Zone		1	2	3	4
						Summe
E16	Gebäudekategorie		Schule			(Mittel)
E17	Mit Warmwasser ?		Nein			
E19	Energiebezugsfläche EBF	A _E	m ²	1		1
E21	Neubau		Ja			

Abbildung 6 Register Eingabe, Gebäudedaten (Formular EN-101b)

E44	Qh mit effektivem, thermisch wirksamem Aussenluftvolumenstrom					
E45	Therm. wirksamer Aussenl.-Volumenstr.	V'/A _E	m ³ /hm ²	0.70		0.70
E46	eff. Heizwärmebedarf mit Lüftungsanlage	Q _{h,eff}	kWh/m ²	100.0		100.0

Abbildung 7 Register Eingabe, Lüftungsanlage und Heizwärmebedarf (Formular EN-101b)

Vorgehen – Register Nachweis: Hier können die Umwandlungstechnologien für das betrachtete Thermische Netz einzeln eingegeben werden. Liegen keine besseren Informationen über Nutzungsgrade vor, so können die Standardwerte Hilfestellung bieten.

Bei der Fernwärme im Beispiel handelt es sich um Abwärme einer Kehrlichtverbrennungsanlage (KVA) mit weniger als 25 % fossiler Spitzlastendeckung – der Beitrag für das Thermische Netz beträgt 60 %, als Nutzungsgrad wird der Standardwert verwendet (vgl. Abbildung 8)

N7	Wärmeerzeugung A	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
N8	Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=25% nicht erneuerbar	1.00	1.00	60.0	
	Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=25% nicht erneuerbar				
	Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=50% nicht erneuerbar				
	Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=75% nicht erneuerbar				
	Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), >75% nicht erneuerbar				

Abbildung 8 Register Nachweis, Wärmeerzeugung A: Fernwärme (Formular EN-101b)

Bei der Wärmepumpe (WP) wird Grundwasser als Quelle verwendet. Aus der Datenlage ergibt sich als Quotient von bereit gestellter thermischer Energie und aufgewendeter Elektrizität eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von $1'344 \text{ MWh} \div 395 \text{ MWh} = 3.4$. Der Beitrag für das Thermische Netz beträgt 12 % und als JAZ wird der Standardwert mit dem berechneten Wert überschrieben (vgl. Abbildung 9).

N11	Wärmeerzeugung B	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
N12	Wasser-Wärmepumpe, nur Heizung	3.40	3.40	12.0	
	Wasser-Wärmepumpe, nur Heizung				
	Wasser-Wärmepumpe, nur Warmwasser				
	Wärmepumpe, Abwasser, nur Heizung				
	Wärmepumpe, Abwasser, nur Warmwasser				

Abbildung 9 Register Nachweis, Wärmeerzeugung B: Wärmepumpe (Formular EN-101b)

Beim Erdgas-BHKW kann die elektrische Effizienz mit den bekannten Energiemengen berechnet werden: $1'149 \text{ MWh} \div (1'149 + 1'797) \text{ MWh} = 39 \%$. Das Formular bezieht den elektrischen Nutzungsgrad allerdings auf die zugeführte Endenergie bei einem Standard-Nutzungsgrad von 0.9. Dafür muss der elektrische Nutzungsgrad für die Eingabe mit dem Standard-Nutzungsgrad multipliziert werden. Es ergibt sich ein elektrischer Nutzungsgrad von $0.39 \cdot 0.9 = 0.35$ und ein Wärmeanteil von $0.9 - 0.35 = 0.55$ (vgl. Abbildung 10). Der Beitrag für das Thermische Netz beträgt 15 %.

N15	Wärmeerzeugung C	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
N16	WKK (fossil) - thermischer + elektrischer Anteil	0.90	0.55	15.0	
N17	Nutzungsgrad elektrisch (Berechnung beilegen)	0.35			
N18					

Abbildung 10 Register Nachweis, Wärmeerzeugung C: Erdgas-BHKW (Formular EN-101b)

Beim Erdgas-Spitzenlastkessel mit einem Beitrag von 13 % wird der Standard-Nutzungsgrad eingesetzt, weil keine besseren Informationen vorliegen (vgl. Abbildung 11). Damit sind alle Wärmeerzeugungen erfasst, der Deckungsgrad beträgt 100 %. Durch den Verzicht auf den Einbezug von Warmwasser werden alle Berechnungen deutlich leichter und es muss nur eine Spalte ausgefüllt werden.

N19	Wärmeerzeugung D	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
N20	Gasfeuerung kondensierend nur Heizung	0.90	0.90	13.0	
N21					
N22					
N23	Übertrag weitere Wärmeerzeugungen				
N24					
N25	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet) kWh				
N27	Zugeführte Energie (ohne Strom, gewichtet) kWh			Deckungsgrad total:	100.0

Abbildung 11 Register Nachweis, Wärmeerzeugung D: Erdgas-Spitzenlastkessel (Formular EN-101b)

Resultat: In der Zeile «Erfüllung der Anforderungen» fällt auf, dass diese nicht erreicht werden. Weil ein Thermisches Netz und nicht ein Gebäude berechnet wird, sind jedochgar keine Anforderungen gestellt. Von alleinigem Interesse ist das Resultat des berechneten Wertes in Zelle I58 (vgl. Abbildung 12, Position Cursor in grün). Für einen Nutzenergiebedarf von 100 kWh/m² werden demnach 53.7 kWh/m² mit nationalen Gewichtungsfaktoren gewichtete Endenergie berechnet.

Erfüllung der Anforderungen:		Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?
N58	Grenzwert	28.1 kWh/m ²	53.7 kWh/m ²	Nein

Abbildung 12 Register Nachweis, Resultat der Berechnung (Formular EN-101b)

Fazit: Mit diesem Vorgehen erhält man mit einer Eingabe von 100 kWh/m² als Heizwärmebedarf und unter Vernachlässigung von Warmwasser direkt den nationalen Gewichtungsfaktor für das Thermische Netz in Prozent resp. als Ergebnis: $53.7 \text{ kWh/m}^2 \div 100 \text{ kWh/m}^2 = 0.53$. Hier sollte demnach der Gewichtungsfaktor 0.6 verwendet werden (max. 50 % fossiler Anteil, vgl. Abbildung 4).

Ausblick: Dieses Vorgehen wurde auf verschiedene Thermische Netze und Kombinationen von multivalenten Versorgungskonstellationen angewendet. Manchmal bedarf es sinnvoller Vereinfachungen, weil das Formular auf maximal fünf Wärmeerzeugungen beschränkt ist. In der Untersuchung hat sich aber gezeigt, dass stets ein Weg gefunden werden konnte, wie das Thermische Netz hinreichend genau und in kurzer Zeit abgebildet werden kann.

Empfehlung: Komplexe, multivalente Versorgungskonstellationen von Thermischen Netzen sollen vorgelagert (durch den Energiedienstleister) per EN-101b berechnet werden. Dafür eignen sich Dimensionierungs- oder Mehrjahreswerte. Der später effektiv für Gebäude eingesetzte Gewichtungsfaktor des Thermischen Netzes darf nicht jährlichen Schwankungen unterworfen sein und soll eine langfristige Stabilität aufweisen (Stichworte wie Ausbau/Rückbau oder neue Kunden/Verlust von Schlüsselkunden). Wir empfehlen, das Resultat (ggf. nach Rücksprache mit den zuständigen Stellen) sinnvoll zu runden.

7. Fallbeispiele zur Anwendung in Gebäuden

Wird die Fernwärme direkt im Gebäude genutzt (Betriebstemperaturen über 60 °C), dann kann gemäss [ME Rgmt] die Nutzenergie – unter Vernachlässigung der Verteilverluste und des Transportaufwands – direkt mit dem Gewichtungsfaktor von Fernwärme verrechnet werden. In Analogie zu diesem Vorgehen können auch Gebäude berechnet werden, welche an Thermische Netze mit tieferen Betriebstemperaturen angeschlossen sind und zusätzliche Umwandlungstechnologien nutzen.

Grundsätzlich muss dazu immer zuerst der Gewichtungsfaktor des Netzes festgelegt werden. Die oben in Kap. 6.1 bis 6.6 dargelegten Empfehlungen können bei der Wahl des quasi «fossilen Anteils» des Fernwärmenetzes hilfreich sein. Danach erfolgt in einem zweiten, separaten Berechnungsgang (nach EN-101b oder ähnlich) die Gewichtung der Wärmebereitstellung für das Gebäude.

Empfehlung: Für multivalente Versorgungskonstellationen von Thermischen Netzen legt der Energiedienstleister den einzusetzenden Gewichtungsfaktor des Thermischen Netzes fest. Er ist für die Wärmelieferung verantwortlich und der Faktor muss eine langfristige Stabilität aufweisen (vgl. Kap. 6.7f).

7.1. Beispiel 1: Mitteltemperatur

Das Thermische Netz liefert in diesem Beispiel eine Temperatur von 40 °C. Diese kann damit direkt für die Fussbodenheizung verwendet werden. Zur Bereitstellung des Warmwassers muss vor Ort ein Temperaturhub auf die geforderten 60 °C vorgenommen werden. Betrachtet wird ein Schulhaus mit Warmwasser. Die Versorgung geschieht mit dem oben in Kapitel 6.8 berechneten Wärmeverbund (Gewichtungsfaktor 0.6, d. h. ein «fossiler Anteil» von < 50 %). Der Heizwärmebedarf Q_H beträgt 30 kWh/m² (A_{th}/A_E ca. 1.0, Neubau). Warmwasser wird ebenfalls betrachtet (vgl. Abbildung 13).

Gebäudedaten		Gebäudestandort:	500	m.ü.M.
(aus SIA 380/1)		Art des Nachweises:	behördlicher Nachweis	
Zone			1	2
Gebäudekategorie			Schule	
Mit Warmwasser ?			Ja	
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m ²	1000	
Neubau			Ja	
<i>Q_h mit effektivem, thermisch wirksamem Aussenluftvolumenstrom</i>				
Therm. wirksamer Aussenl.-Volumenstr.	V/A_E	m ³ /hm ²	0.70	
eff. Heizwärmebedarf mit Lüftungsanlage	$Q_{h,eff}$	kWh/m ²	30.0	

Abbildung 13 Register Eingabe, Warmwasser, natürliche Lüftung und Heizwärmebedarf (Formular EN-101b)

Am anschaulichsten ist die Darstellung in einem Energieflussdiagramm (vgl. Abbildung 14). Die Deckung der Raumwärme erfolgt direkt via Wärmeübertrager (100 % Fernwärme). Zur Berechnung wird für die Warmwasser-Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 5.0 verwendet. Der Anteil der Wärmepumpe für die Deckung des Warmwassers beträgt « $1 \div JAZ \cdot 100$ » und der Beitrag aus dem Netz ist « $100 - \text{Anteil WP}$ ». Damit stammen 20 % der Wärmeenergie vom Kompressor (Elektrizität, Gewichtungsfaktor 2) und 80 % aus dem Netz (Gewichtungsfaktor von 0.6).

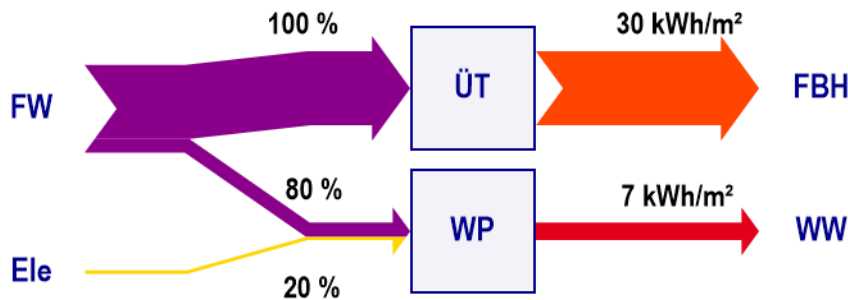



Abbildung 14 Energieflussdiagramm für das Rechenbeispiel 1: Mitteltemperatur

Die oben beschriebene Versorgungskonstellation und das daraus abgeleitete Energieflussdiagramm lassen sich im Anschluss sehr einfach im Nachweisformular abbilden. Zuerst muss als Wärmeerzeugung A die entsprechende Fernwärme-Versorgung gewählt werden. Danach wird die Wärmepumpe als Wärmeerzeugung B abgebildet. In Abbildung 15 ist zur Veranschaulichung auch die beschriebene Formel für den Prozentsatz der Deckung durch die Wärmepumpe dargestellt.

Es ergibt sich für die totale gewichtete Energie ein Wert von knapp 22 kWh/m², die energetischen Anforderungen sind erfüllt. Wer sich dafür interessiert, kann den gesamten Gewichtungsfaktor für Heizung und Warmwasser im Kommentarfeld berechnen (vgl. Abbildung 16 mit Resultat daneben).

 Konferenz Kantonaler Energiefachstellen Conférence des services cantonaux de l'énergie	EN-101b	Energienachweis
		Energiebedarf Rechnerische Lösung

Wärmeerzeugung:	Nutzungsgrad / JAZ		Deckungsgrad [%]	
	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
Wärmeerzeugung A				
Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=50% nicht erneuerbar	1.00	1.00	100.0	80.0
Strom für Wärmepumpen ist doppelt zu gewichten				
Wärmeerzeugung B				
Wasser-Wärmepumpe, nur Warmwasser	5.00	5.00		=1/12*100

Abbildung 15 Abbildung der Energieflüsse des Rechenbeispiels 1 in EN-101b mit Formel für Wärmepumpenanteil

Total:	100%	100%	0.6	21.3	36.9
Erfüllung der Anforderungen:	Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?		
Grenzwert	35.0 kWh/m2	21.9 kWh/m2	Ja		

Beilagen (alle Beilagen der linken Spalte einreichen)	x Zutreffendes ankreuzen	
x Schema Heizung und Lüftung		
x Externe Berechnungen und Datenblätter	=MINERGIE Wert/L54	0.592481203

Abbildung 16 Resultate mit Erfüllung des Gebäudes (Ja) sowie Berechnung des totalen Gewichtungsfaktors (Formel)

7.2. Beispiel 2: Niedertemperatur

Das Thermische Netz liefert in diesem Beispiel eine Temperatur von 10 °C, so dass sowohl für Raumheizung wie für Warmwasser ein Temperaturhub im Gebäude vorgenommen werden muss. Betrachtet wird dasselbe Schulhaus und dasselbe Thermische Netz. Zur Veranschaulichung werden für die Wärmepumpen die Standard-Rechenwerte verwendet. Die Methodik bleibt gleich wie im Beispiel oben. Im Energieflussdiagramm haben beide Energieströme für Heizung und Warmwasser nun einen elektrischen Anteil, der von der eingesetzten Jahresarbeitszahl abhängt.

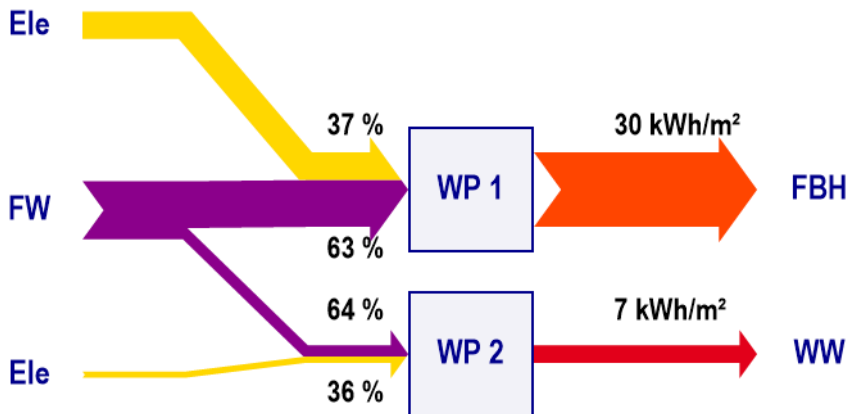


Abbildung 17 Energieflussdiagramm für das Rechenbeispiel 2: Niedertemperatur

Das Resultat ändert sich nur geringfügig (24 kWh/m² statt etwa 22 kWh/m²). Offensichtlicher wird die Differenz beim gesamten Gewichtungsfaktor (0.65 statt 0.59).


 Konferenz Kantonaler Energiefachstellen Conférence des services cantonaux de l'énergie		EN-101b	Energienachweis Energiebedarf Rechnerische Lösung		
Wärmeerzeugung:		Nutzungsgrad / JAZ		Deckungsgrad [%]	
<i>Wärmeerzeugung A</i>		Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=50% nicht erneuerbar		1.00	1.00	63.0	64.3
<small>Strom für Wärmepumpen ist doppelt zu gewichten</small>					
<i>Wärmeerzeugung B</i>					
Wasser-Wärmepumpe, nur Warmwasser			2.80		=1/12*100
<i>Wärmeerzeugung C</i>					
Wasser-Wärmepumpe, nur Heizung			2.70	37.0	
Erfüllung der Anforderungen:		Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?	
Grenzwert		35.0 kWh/m ²	24.0 kWh/m ²	Ja	
Beilagen (alle Beilagen der linken Spalte einreichen)		x Zutreffendes ankreuzen			
x Schema Heizung und Lüftung					
x Externe Berechnungen und Datenblätter		0.650000284			

Abbildung 18 Berechnungen, Erfüllung der Anforderungen sowie Resultate für das Berechnungsbeispiel 2

7.3. Beispiel 3: Niedertemperatur/Solar

Betrachtet wird dieselbe Ausgangslage wie in den Beispielen oben. Als Nutzung wird dagegen ein Mehrfamilienhaus verwendet. Damit erhält der Warmwasser-Bedarf eine höhere Bedeutung. Zudem wird zur Veranschaulichung des Vorgehens als dritte Wärmeerzeugung eine Solaranlage für die Warmwasser-Bereitstellung im Sommer vorgesehen (Standard-Deckungsgrad, hier 30 %).

Dieses System sollte unbedingt in einem Energieflussdiagramm visualisiert werden (vgl. Abbildung 19). Die Wärmeerzeugung bleibt gleich wie im Beispiel 2 (JAZ 2.7, elektrischer Anteil 37 %, 63 % Deckung durch das Thermische Netz).

Beim Warmwasser erfolgt die Deckung zuerst zu 30 % durch die Solaranlage. Der Rest (70 %) wird wieder mit der JAZ der Wärmepumpe auf das Thermische Netz resp. die Elektrizität aufgeteilt. Diese Aufteilung geschieht wie folgt: «**REST = 100 - alle Anteile anderer Wärmeerzeugungen**», danach «**Anteil WP = 1 ÷ JAZ · REST**» und entsprechend «**Anteil Netz = 1 - Anteil WP - REST**» wie unten in der Abbildung 21 bis Abbildung 20 dargestellt.

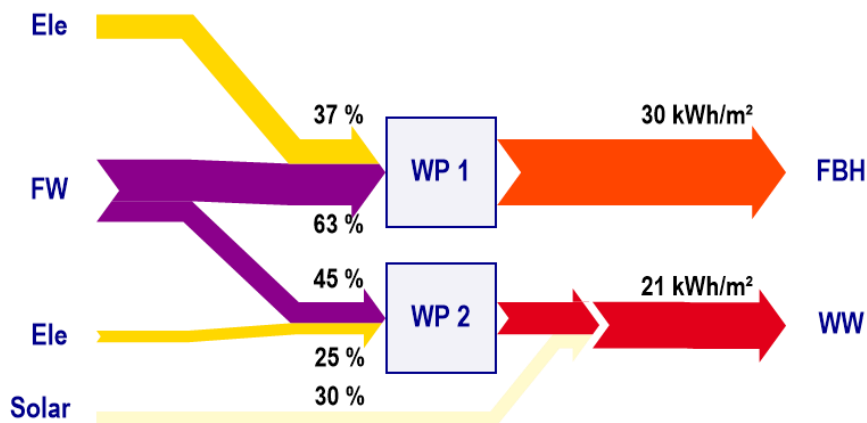


Abbildung 19 Energieflussdiagramm für das Rechenbeispiel 3: Niedertemperatur

Wärmeerzeugung B			
Wasser-Wärmepumpe, nur Warmwasser		2.80	=1/1.2*(100-L20)
Wärmeerzeugung C			
Wasser-Wärmepumpe, nur Heizung		2.70	37.0
Wärmeerzeugung D			
Solarenergie thermisch, nur Warmwasser		1.00	30.0
Absorberfläche [m2]	12		30.0

25.0

Abbildung 20 Berechnung des Deckungsgrades der Wärmepumpe bei Teildeckung durch weitere Erzeugung und Resultat

Wärmeerzeugung:	Nutzungsgrad / JAZ		Deckungsgrad [%]	
	Eingabe	Rechenwert	Heizung	Warmwasser
Wärmeerzeugung A				
Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA,ARA), <=50% nicht erneuerbar	1.00	1.00	=100-L12-L20	
Strom für Wärmepumpen ist doppelt zu gewichten				
Wärmeerzeugung B				
Wasser-Wärmepumpe, nur Warmwasser		2.80		25.0
Wärmeerzeugung C				
Wasser-Wärmepumpe, nur Heizung		2.70	37.0	
Wärmeerzeugung D				
Solarenergie thermisch, nur Warmwasser		1.00		30.0
Absorberfläche [m2]	12			30.0

45.0

Abbildung 21 Berechnung des totalen Deckungsgrades der Fernwärme bei Teildeckung weitere Erzeugung und Resultat

Erfüllung der Anforderungen:	Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?
Grenzwert	35.0 kWh/m2	28.9 kWh/m2	Ja

Beilagen (alle Beilagen der linken Spalte einreichen)	x	Zutreffendes ankreuzen
x Schema Heizung und Lüftung		
x Externe Berechnungen und Datenblätter		0.568702114

Abbildung 22 Schlussergebnis mit totaler Wärme sowie gewichteter Endenergie und totalem Gewichtungsfaktor

8. Fazit und Empfehlungen

Die Untersuchung kommt zum Schluss, dass die bislang verwendeten Gewichtungsfaktoren weiterhin verwendet werden können und dabei insbesondere den mit Biomasse befeuerten Fernwärmenetzen einen gewissen energiepolitischen Bonus gewähren. Ferner zeigt sich, dass die Vernachlässigung von Transportaufwänden und Wärmeverlusten im Kontext der Gewichtungsfaktoren eine zulässige Vereinfachung ist. Damit können die dem Thermischen Netz zugeführten Energieformen gemäss [ME Rgmt] gewichtet und in die Nationalen Gewichtungsfaktoren überführt werden, welche als «Belastung» für die ans Netz angeschlossenen Gebäude verwendet werden.

Für verschiedene, relativ einfache Fälle werden dafür in diesem Bericht Empfehlungen formuliert. Bei komplexen, multivalenten Versorgungskonstellationen konnte gezeigt werden, dass sich diese im Nachweisformular EN-101b abbilden lassen und Energiedienstleister damit auf der Basis von Dimensionierungs- oder Mehrjahreswerten die konkrete Belastung im Netz ausweisen können (Langzeitsicherheit).

Empfehlung zum Berechnungsgang

- Vorliegender Bericht kann für einfachere Versorgungskonstellationen als Richtschnur zur Beurteilung der verwendeten Nationalen Gewichtungsfaktoren bieten. Zudem sind die Berechnungsschritte transparent für Vollzugsbehörden, Planende und Betreibende dokumentiert.
- In der Berechnung wird in einem ersten Schritt das Thermische Netz im Nachweisformular EN-101b abgebildet. Darauf basierend soll die Festlegung des Nationalen Gewichtungsfaktor durch den Energiedienstleister geschehen (Garantiewert, vgl. unten Abbildung 23).
- Anschliessend wird in einem zweiten Schritt für die Gebäudeseite die vordefinierte Variante für Thermische Netze verwendet. Ein Energieflussdiagramm visualisiert die einzelnen Anteile der Energiebereitstellung auch bei multivalenten Versorgungskonstellationen in Gebäuden.

Fernwärme (inkl. Abwärme aus KVA, ARA, Industrie):		
Anteil fossil erzeugte Wärme	≤ 25%	0,4
	≤ 50%	0,6
	≤ 75%	0,8
	> 75%	1,0

Abbildung 23 Nationale Gewichtungsfaktoren für Thermische Netze (Fernwärme) nach [NaGeFa]

9. Anhang

In der folgenden Darstellung sind verschiedene bivalente Kombinationen von Wärmepumpe in Kombination mit einer Spitzenlastdeckung durch Feuerungssysteme aufgeführt. Zur Beurteilung bei fossiler Spitzenlastdeckung wird Abbildung 24 verwendet. Bei der Beurteilung von Spitzendeckung durch Biomasse gilt Abbildung 25. Es ergeben sich damit folgende Entsprechungen in der konkreten Wahl der Gewichtung resp. für die Eingabe ins Formular EN 101b:

- «fossil ≤ 25 %» in **grün, Gewichtung 0.4**,
- «fossil ≤ 50 %» in **gelb, Gewichtung 0.6**, und
- «fossil ≤ 75 %» in **orange, Gewichtung 0.8** und
- «fossil > 75 %» in **braun, Gewichtung 1.0**.

JAZ →		WP 2.5	WP 3.0	WP 3.5	WP 4.0	WP 4.5	WP 5.0	WP 6.0	WP 7.0	WP 8.0	WP 10.0
Fossil bis	5%										
Fossil bis	10%										
Fossil bis	15%									0.4	
Fossil bis	20%										
Fossil bis	25%					0.6					
Fossil bis	30%										
Fossil bis	35%										
Fossil bis	40%			0.8							
Fossil bis	45%	1.0									
Fossil bis	50%										
Fossil grösser	50%										

Abbildung 24 Hilfstabelle für bivalente Versorgung Thermischer Netze mit Wärmepumpe und fossiler Spitzendeckung

JAZ →		WP 2.5	WP 3.0	WP 3.5	WP 4.0	WP 4.5	WP 5.0	WP 6.0	WP 7.0	WP 8.0	WP 10.0
Biomasse bis	5%										
Biomasse bis	10%										
Biomasse bis	15%									0.4	
Biomasse bis	20%										
Biomasse bis	25%										
Biomasse bis	30%										
Biomasse bis	35%			0.6							
Biomasse bis	40%										
Biomasse bis	45%	0.8									
Biomasse bis	50%										

Abbildung 25 Hilfstabelle für bivalente Versorgung Thermischer Netze mit Wärmepumpe und Spitzendeckung Biomasse