

Bericht

Horw, 13. März 2018
Seite 1/37

Grundlagen und Erläuterungen zu Thermischen Netzen



Impressum

Verfasser Diego Hangartner HSLU
Joachim Ködel HSLU
Stefan Mennel HSLU
Matthias Sulzer HSLU, Empa

Feedback Rückmeldungen bitte per E-Mail an stefan.mennel@hslu.ch

Verteiler Daniel Binggeli z.Hd. BFE
Olivier Brenner z.Hd. EnDK
Christoph Gmür, Jules Gut z.Hd. EnFK
Viktor Dorer z.Hd. FEED&D
Andreas Meyer | Robert Minovsky z.Hd. Minergie
Nathalie Spiller | Elisabetta Carrea z.Hd. SVGW
Thomas Nussbaumer z.Hd. QM Fernwärme
Jérôme Faessler z.Hd. UniGE
Andreas Hurni z.Hd. VFS
Begleitgruppe «Thermische Netze»

SAP-Nr. 1121499

Dateiname d_20180304_GL-Papier_Thermische_Netze_v1-1.docx

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Status	Änderungen und Bemerkungen	Bearbeitet
1	02.11.2016	Entwurf	Erstausgabe	Had
2	30.03.2017	Draft	Zwischenstand	Mes
3	27.04.2017	Draft	Reflexion	Sum
4	09.06.2017	Draft	Interne Vernehmlassungsausgabe	Mes
5	26.07.2017	Draft	Vernemlassungsausgabe für Expertenpool	Mes
6	13.03.2018	V1.0	Schlussfassung inkl. Vernehmlassung	Mes/Sum

Zusammenfassung

Die Energiedirektorenkonferenz hat anlässlich der Plenarversammlung vom 9. Januar 2015 die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich verabschiedet [MuKE, 2014]. Dabei wurde eine Anpassung des nationalen Gewichtungsfaktors für Holz aus [BFE, 2009] in den Erläuterungen von [MuKE, 2014] in Aussicht gestellt. Ausgelöst durch diese Diskussion wurde auch der nationale Gewichtungsfaktor für Fernwärme in Frage gestellt. Für die Beurteilung von Fernwärmenetzen zeigte sich, dass verschiedene Fälle zu unterscheiden sind – die Diskussion konnte jedoch nicht zielgerichtet geführt werden, weil die Definitionen von Begriffen wie «Nahwärme» und «Fernwärme» nicht vorliegen.

Für die grundlegenden Diskussionen zum Thema «Thermische Netze» wird mit dem vorgelegten Bericht im Sinne eines Grundlagenpapiers eine Auslegeordnung der verschiedenen möglichen «Arten» von Thermischen Netzen bezüglich Systemgrenzen und damit der energetischen Bilanzierung vorgenommen. Es werden Grundlagen für ein gemeinsames Verständnis leitungsgebundener Wärmeversorgung geschaffen. Es werden technische Begriffe geklärt, mögliche Topologien von Netzen erörtert und verschiedene Betriebsfälle analysiert. Anschliessend folgt die Analyse der Elemente eines Thermischen Netzes und Anforderungen an den Betrieb. Als Synthese wird die Typisierung, die Begrifflichkeit für Thermische Netze und die Bilanzierungsmethode vorgeschlagen.

Die Analyse und das Literaturstudium führen abschliessend zur Erkenntnis, dass die Typisierung und die Begrifflichkeit von Thermischen Netzen auf der Basis der Betriebstemperatur des Leiters mit der höheren Temperatur (Warmleiter) zu erfolgen hat. Daraus ergeben sich vier Hauptfälle (Kategorien), welche über typisierte Schemata, Technologien für die Energiebereitstellung beim Bezüger (Gebäude) und Kennzahlen charakterisiert werden.

Résumé

Lors de la séance du 9 janvier 2015, la Conférence des directeurs de l'énergie a adopté le modèle de prescription énergétique des cantons [MoPEC, 2014]. Un ajustement du facteur de pondération national pour le bois [OFEN, 2009] a été sollicité dans les explications de [MuKE, 2014]. Déclenché par cette discussion, le facteur de pondération national pour le chauffage à distance a également été remis en question. Pour l'évaluation des chauffages à distance, il convient de distinguer différents cas. Cependant, la discussion n'a pas pu être menée à bout de manière ciblée car les définitions de termes tels que "chauffage en commun" et "chauffage à distance" ne sont pas exhaustifs.

Ce rapport fournit une interprétation des différents "types" possibles de réseaux thermiques par rapport aux limites des systèmes et donc au bilan énergétique. Les bases sont lancées pour une compréhension commune de l'approvisionnement en chaleur par réseau. Le document clarifie systématiquement les concepts, discute des topologies possibles des réseaux, analyse les différents cas d'exploitation et, après avoir analysé les éléments d'un réseau thermique et les exigences opérationnelles, effectue une classification par type et établit le calcul du bilan énergétique.

L'analyse et l'étude bibliographique aboutissent à la conclusion que le type et la "dénomination" des réseaux thermiques se basent sur la température du réseau. Il en résulte quatre cas, qui sont en outre caractérisés par des schémas types, dans lesquels les technologies nécessaires à l'approvisionnement énergétique du bâtiment (consommateurs) et les paramètres caractéristiques sont présentés.

Horw, 13. März 2018
Seite 4/37
Bericht – Grundlagenpapier Thermische Netze

Acknowledgements

Diese Forschungsergebnisse wurden mit finanzieller Unterstützung der Innosuisse im Rahmen des SCCER FEEB&D erarbeitet.



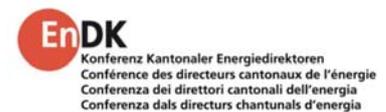
In cooperation with the CTI



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Innosuisse – Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung

Ferner beteiligte sich verdankenswerterweise die EnFK an der finanziellen Deckung dieser Forschungsergebnisse.



Inhalt

1. Abkürzungsverzeichnis	6
2. Einleitung.....	7
2.1. Zielsetzung.....	7
2.2. Zielpublikum.....	7
3. Ausgangslage	8
4. Begriffe.....	9
4.1. Fernwärme und Thermische Netze	9
4.2. Topologie von Thermischen Netzen.....	12
4.3. Betriebsweise von Thermischen Netzen	14
5. Analyse	16
5.1. Elemente von Thermischen Netzen	16
5.2. Bedürfnisse der Gebäude (Bezüger).....	22
5.3. Ausblick nach Europa	24
5.4. Typisierung Thermischer Netze aufgrund von Betriebstemperaturen	25
5.5. Begrifflichkeit für Thermische Netze	27
6. Interaktion Thermisches Netz – Gebäude, Falluntersuchung.....	28
6.1. Fall 1 – Hochtemperaturnetz	28
6.2. Fall 2 – Niedertemperaturnetz Heizen	29
6.3. Fall 3 – Niedertemperaturnetz Vorwärmen.....	30
6.4. Fall 4 – Niedertemperaturnetz Kühlen.....	31
7. Definition Bilanzierung.....	32
7.1. Bilanzierung Lieferant Heizung	32
7.2. Bilanzierung Lieferant Kühlung.....	33
7.3. Bilanzierung Speicher	33
7.4. Netz-Belastungsgrad durch Transport	33
7.5. Bilanzierung Bezüger.....	34
8. Fazit	35
9. Literaturverzeichnis	36

1. Abkürzungsverzeichnis

MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
BFE	Bundesamt für Energie
AT	Aussentemperatur
WL	Warmleiter
KL	Kaltleiter
FBH	Fussbodenheizung
HK	Heizkörper
WW	Warmwasser
e_p	Pumpenstrombedarf bzw. Hilfsenergiebedarf für den Transport von thermischer Energie in Thermischen Netzen in % der gelieferten Energie an die Gebäudegrenze.
q_v	Wärmeverluste von Thermischen Netzen in % der gelieferten Energie (Gebäudegrenze).

2. Einleitung

Die Energiedirektorenkonferenz hat anlässlich der Plenarversammlung vom 9. Januar 2015 die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich verabschiedet [MuKE, 2014]. Die neue Bestimmung in [MuKE, 2014] über die Berechnung der Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten (Basismodul Teil D) verwendet die nationalen Gewichtungsfaktoren, welche bei der bis dahin geltenden Bestimmung des «Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien» in [MuKE, 2008] teilweise ebenfalls verwendet wurden.

Eine Anpassung des nationalen Gewichtungsfaktors für Holz aus [BFE, 2009] wurde in den Erläuterungen von [MuKE, 2014] in Aussicht gestellt. Ausgelöst durch diese Diskussion wurde auch der nationale Gewichtungsfaktor für Fernwärme in Frage gestellt. Für die Beurteilung von Fernwärmenetzen zeigte sich, dass verschiedene Fälle zu unterscheiden sind – die Diskussion konnte jedoch nicht zielgerichtet geführt werden, weil grundlegende Definitionen von Begriffen wie «Nahwärme» und «Fernwärme» nicht vorliegen.

Gleichwohl wurden von der EnDK und dem BFE auch für Fernwärme am 4. Februar 2016 neue Faktoren eingeführt [BFE, 2016]. Diese Festsetzung von fixen Faktoren ist nur für «klassische Fernwärmenetze» möglich. Sobald «kalte Fernwärme» zur Diskussion steht, sind andere Ansätze nötig und werden im vorliegenden Bericht diskutiert.

2.1. Zielsetzung

Für die Diskussion von Thermischen Netzen ist im Sinne eines Grundlagenpapiers eine Auslegung der verschiedenen möglichen «Arten» von Thermischen Netzen bezüglich Systemgrenzen und damit der energetischen Bilanzierung vorzunehmen. Es sollen Grundlagen für ein gemeinsames Verständnis leitungsgebundener Wärmeversorgung geschaffen werden. Dazu gehört auch, in der Branche Klarheit über die Begriffe zu schaffen.

2.2. Zielpublikum

Dieses vorgelegte Grundlagenpapier wendet sich in erster Linie an wissenschaftlich interessierte Ingenieurinnen und Ingenieure, welche für die Planung von Thermischen Netzen verbindliche Begriffsdefinitionen und Bilanzgrenzen suchen. Zudem soll das Papier die Fachleute der Energiefachstellen der Kantone dabei unterstützen, Bilanzgrenzen darzustellen und mittels Bildmaterial nachvollziehbar zu kommunizieren.

3. Ausgangslage

Ausgangslage für die Darstellung und die in diesem Grundlagenpapier vorgenommenen Betrachtungen bildet die Anwendungshilfe von Minergie® [Minergie, 2013], vgl. Abbildung 1. Im Kapitel 2.5 [Minergie, 2013] «wird beschrieben, wie die Energiebilanz von Anergienetzen [...] zu berücksichtigen [...] und wie Gewichtungsfaktoren festgelegt werden». Diese Anwendungshilfe wurde überarbeitet, vgl. [Minergie, 2017] – der Rechenansatz bleibt unverändert.

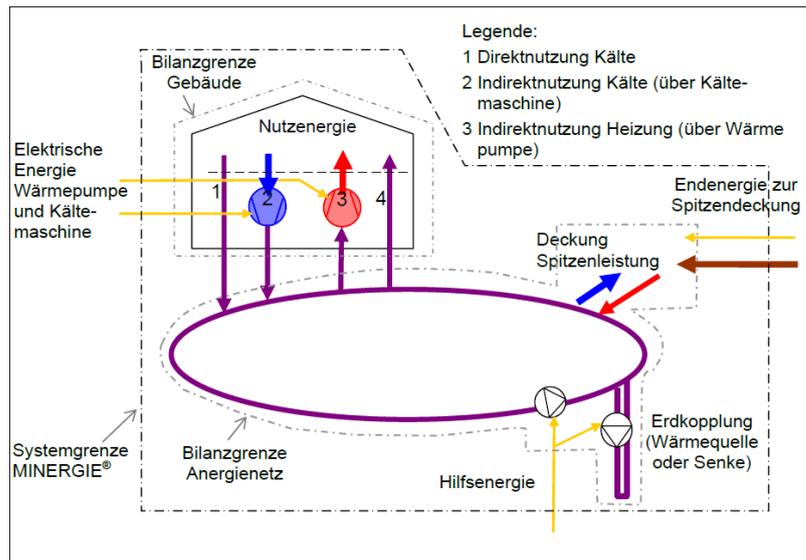


Abbildung 1: Prinzipskizze Anergienetz gemäss [Minergie, 2013]¹.

Diese Ausgangslage wird im Verlauf des vorliegenden Papiers weiterentwickelt. Einerseits ist der Begriff «Anergienetz» aus thermodynamischer Sichtweise unglücklich gewählt, vgl. [Sulzer, 2014]. Andererseits ergeben sich je nach Temperaturbereich Fälle, welche nur ungenügend abgebildet werden. Deshalb werden in diesem Grundlagenpapier technische Begriffe geklärt, mögliche Topologien von Netzen erörtert und verschiedene Betriebsfälle analysiert. Anschliessend folgt die Analyse der Elemente eines Thermischen Netzes und der Anforderungen an den Betrieb. Als Synthese wird die Typisierung, die Begrifflichkeit für Thermische Netze und die Bilanzierungsmethode vorgeschlagen.

¹ Der Bezug von Nutzenergie Nr. 4 ist in der Legende nicht aufgeführt, stellt aber den direkten Bezug von Niedertemperaturwärme dar.

4. Begriffe

4.1. Fernwärme und Thermische Netze

4.1.1. Definitionen der Fernwärme im deutschsprachigen Raum

Verschiedene Definitionen von Fernwärme wurden bereits früher formuliert:

- a. **Fernwärmeversorgung (Schweiz):** «System, das Wärme für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung von Haushalten, gewerblichen und industriellen Bezüglern, sowie auch Prozesswärme für Spitäler, Industrie und Gewerbe erzeugt und den Verbrauchern über ein Verteilnetz in Form von Heizwasser oder Dampf zuführt.» [Scheller, 1980]
- b. **Planungshandbuch Fernwärme (Schweiz):** «Als Fernwärme gilt eine Wärmeversorgung, [...] in der Wärme an Dritte verkauft wird.» [Thalmann, 2017] basierend auf [BFE, 2014]
- c. **Verband Fernwärme Schweiz:** «Fernwärme bedeutet, dass die Wärmeerzeugung nicht unmittelbar am Ort des Verbrauchs geschieht und die vom Endkunden genutzte Wärme angeliefert wird.» [VFS, 2017]
- d. **Energiestatistik, BFE (Schweiz):** «Als Fernwärme gilt dabei jene Wärmeversorgung, in der für das Haupttransport- und Verteilnetz öffentlicher Boden beansprucht wird und in der die Wärme an Dritte verkauft wird. » (S. 36) [BFE, 2014]
- e. **AGFW² (Deutschland):** «Fernwärme ist Wärme beliebiger Herkunft, die mit Hilfe eines Trägermediums (meistens Heizwasser oder Dampf) gewerblich aufgrund eines Vertrages gegen Entgelt geliefert wird und mit deren Lieferung keine eigenen mietrechtlichen Nebenverpflichtungen erfüllt werden.» [AGFW, 2017]
- f. **Vollzugshilfe EN-101 (Schweiz):** «Als Fernwärme gelten in der Regel Wärmenetze, die gleichzeitig mehrere der folgenden Bedingungen erfüllen:
 - Die Wärme wird über geeichte Wärmezähler an die Endverbraucher zu im Voraus bestimmten Tarifen verkauft.
 - Es sind mehrere und unterschiedliche Bauten angeschlossen.
 - Das Fernwärmenetz ist im Eigentum der öffentlichen Hand.
 - Das Haupttransport- und Verteilnetz beansprucht öffentlichen Boden, resp. das Netz führt über mehrere Parzellen.
 - Das Fernwärmenetz ist in Energie(richt)plänen oder ähnlichen aufgeführt.

Nicht als Fernwärmenetze gelten Wärmenetze, welche typischerweise eine der folgenden Bedingungen erfüllen.

- Der Betrieb erfolgt im Sinne einer gemeinsamen Heizung, das heisst z.B., dass Eigentümer Einfluss auf die Art der Wärmeproduktion nehmen können («Heizungsbetriebsgemeinschaft»), z.B. fünf EFH mit einer gemeinsamen Heizung.
- Die Abrechnung erfolgt über eine verbrauchsabhängige Heizkostenverteilung (VHKA).
- Die Wärmeproduktionsanlage versorgt nur ein Gebiet mit definierten Verbrauchern wie z.B. Gebäudekomplexe, Einkaufszentrum, Gewerbegebäude, Messengelände, Industriebetrieb, Schulanlage oder eine Wohnsiedlung.» [EN-101, 2017]

² Der Effizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. – www.agfw.de

4.1.2. Fernwärme und Fernkälte

Unter dem Begriff «Fernwärme» werden heute auch Netze im Niedertemperaturbereich verstanden («kalte Fernwärme» oder gar «Fernkälte»). In diesen Fällen kann die Infrastruktur für Kühlzwecke direkt genutzt werden. Damit scheint der Begriff «Fernwärme» für diesen Anwendungsfall inadäquat. Vielmehr empfiehlt sich, statt von «Fernwärme» von «Thermischen Netzen» zu sprechen, um dem Sachverhalt gerecht zu werden, dass solche Netze für Heiz- UND Kühlzwecke genutzt werden können.

4.1.3. Fernwärme und Nahwärme

[Thalmann, 2017] analysiert die Situation: «Für kleinere Netze wird zum Teil auch der Begriff «Nahwärme» verwendet. [...] Da der Übergang zwischen Nahwärme und Fernwärme fließend ist, wird in den folgenden Kapiteln des vorliegenden Handbuchs nur der Begriff Fernwärme verwendet. In Deutschland gilt ausserdem nur der Begriff Fernwärme als technisch und juristisch korrekt [...], vgl. [BGH, 1990]. Physikalisch gibt es ausserdem keinen Unterschied zwischen Nah- und Fernwärme. Diese Einschätzung teilen auch [AGFW, 2017] sowie [Isoplus, 2017].

Die Autoren dieses Grundlagenpapiers empfehlen deshalb, auf die Unterscheidung zwischen Nah- und Fernwärme zu verzichten und stattdessen nur von Thermischen Netzen zu sprechen.

4.1.4. Differenzierung von Thermischen Netzen bezüglich Betriebsmodell

Die in [EN-101, 2016] vorgenommene Abgrenzung von «gemeinsamen Heizungen» beschreibt den Versuch, eine Differenzierung bezüglich der Betriebsmodelle von Thermischen Netzen vorzunehmen. Es werden zwei verschiedene Betriebsmodelle einander gegenübergestellt:

- Werden die gesamten anfallenden Kosten *verteilt* (Jahreskosten geteilt durch Jahresverbrauch), so *teilen* sich die Betreiber der «Heizungsbetriebsgemeinschaft» auch solidarisch das Betriebsrisiko (Leckage, allfällig frühzeitiger Ausfall etc.).
Kostenverteilung: Es handelt sich damit um eine «gemeinsame Heizungsanlage».
- Wird dagegen *verrechnet*, so muss der Betreiber der Dienstleistung «Thermisches Netz» das Risiko *einrechnen*, indem er bereits vorab verbindliche Preise formuliert (bezogen auf Leistung, auf Energie, auf Wassermenge etc.) und damit das volle Risiko des Anlagenbetriebes trägt.

Bei Kostenverrechnung: Hier handelt es sich damit um ein Dienstleistungsangebot, das allgemein als «Fernwärme» beschrieben werden kann.

4.1.5. Definition von Thermischen Netzen (Fernwärme)

Zur Definition von Thermischen Netzen sollten die grundsätzlichen physikalischen Rahmenbedingungen dienen. Immanent zeichnen sich Thermische Netze durch drei Charakteristika aus:

- **Die Energiebereitstellung (*Lieferant*) und der Energiebezug (*Bezüger*) finden räumlich getrennt statt.** Hierfür kann beispielsweise der EGID (eidgenössischer Gebäudeidentifikator) herangezogen werden. [BFS, 2017]
- **Durch die räumliche Trennung ist ein Transport notwendig. Zwingend beim Transport ist ein gewisser Energieverlust** (im Sinne einer Energienutzung kann ein Energieverlust auch ein Energieeintrag ins Verteilnetz sein). Die Förderenergie ist in jedem Fall ein Energieeintrag (Wärme) bzw. ein Energieverlust (Druck).
- Um Thermische Netze von anderen Netzformen abzugrenzen, kann die Definition präziser gefasst werden, **indem bei Thermischen Netzen von einem leitungsgebundenen Energietransport mittels Fluid zur direkten oder indirekten Nutzung ausgegangen wird.**

Die Autoren postulieren deshalb als Definition von Thermischen Netzen folgende Formulierung:

«Ein Thermisches Netz (umgangssprachlich «Fernwärme») dient der leitungsgebundenen Übertragung thermischer Energie mittels Fluid zur direkten oder indirekten Nutzung. Durch die räumliche Trennung von Lieferant und Bezüger ist ein Transport notwendig, der in der Regel einen Verlust der übertragenen thermischen Energie nach sich zieht. Die räumliche Trennung liegt vor, wenn sich die EGID-Standorte von Wärmequelle/-senke und mindestens einem Wärmebezüger unterscheiden.»

4.2. Topologie von Thermischen Netzen

Unter der Topologie von Thermischen Netzen verstehen die Autoren die räumliche und hydraulische Bauweise, welche von der Betriebsweise (vgl. Kapitel 4.3) abzugrenzen ist.

4.2.1. Strahlen-, Ring-, Maschennetze

Die Literatur kennt verschiedene Möglichkeiten, wie man die Topologie von Thermischen Netzen kategorisieren kann. Dabei wird teilweise auch die zeitliche Entwicklung der Netze einbezogen oder es wird die räumliche Setzung betrachtet. [Scheller, 1980] beschreibt dies zum Beispiel wie folgt: «Beim Aufbau eines Fernheiznetzes ergibt sich zunächst ein Strahlennetz, welches die Zentrale mit den Wärmebezügern verbindet. Aus Gründen der Versorgungssicherheit werden möglichst bald die Strahlen miteinander verbunden und so das Strahlennetz in ein Maschennetz umgewandelt.»

Auch [Glück, 1985] unterscheidet grundsätzlich das Strahlen- vom Maschennetz und führt bei beiden je einen Spezialfall auf: das Liniennetz als Unterkategorie des Strahlennetzes und das Ringnetz als Unterkategorie des Maschennetzes. [Frederiksen, 2013] unterscheidet Entwicklungsstadien (Baumstruktur, vernetzte Baumstruktur, Ringnetz und Maschennetz) sowie Netzwerkstrukturen (vor allem bezogen auf die räumliche Setzung von Grundlast- und Spitzenlastdeckung).

Unabhängig von der zeitlichen Entwicklung und auch der räumlichen Setzung der Energiedeckung unterscheidet [Dötsch, 1998] drei grundsätzliche Typen von Thermischen Netzen (vgl. Abbildung 2). «Bei kleinen und mittleren Fernwärmenetzen sind Strahlennetze vorzuziehen, da diese die geringste Trassenlänge haben. Ringnetze ermöglichen die Einbindung mehrerer Erzeuger an unterschiedlichen Standorten; sie sind jedoch teurer, da die Trassenlänge und der Nenndurchmesser der Ringleitungen grösser sind. Diesem Nachteil steht der Vorteil der höheren Versorgungssicherheit und einfacheren Erweiterbarkeit gegenüber. Maschennetze, die optimale Versorgungssicherheit und bessere Erweiterungsmöglichkeiten bieten, werden wegen hoher Investitionskosten nur für grosse Wärmeverteilnetze eingesetzt.»

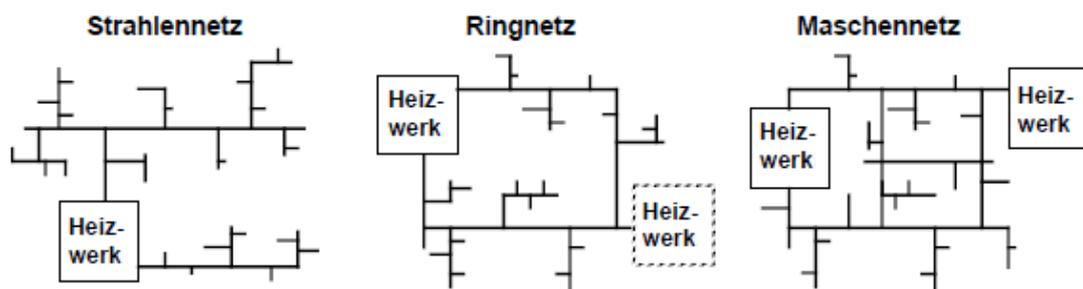


Abbildung 2: Übersicht über die verschiedenen Netzformen. [Dötsch, 1998]

Hier die typischen Eigenschaften der Netzeinteilung zusammengefasst:

- **Strahlennetz:** Zwischen Lieferant und Bezüger existiert ein eindeutiger hydraulischer Fliessweg für das versorgende Fluid.
- **Ringnetz:** Zwischen Lieferant und Bezüger existieren zwei mögliche hydraulische Fliesswege für das versorgende Fluid. Die Druckverhältnisse im Netz gleichen sich aus.
- **Maschennetz:** Zwischen Lieferant und Bezüger existieren mehr als zwei mögliche hydraulische Fliesswege für das versorgende Fluid. Die Druckverhältnisse im Netz gleichen sich aus.

4.2.2. Anzahl Leiter

Folgend werden die prägnantesten Eigenschaften der 1-Leiter- bis zu den 4-Leitersystemen beschrieben, wobei Netzsysteme aus einer beliebigen Anzahl Leiter bestehen können:

- **1-Leiter:** Ein Leiter wird zum Bezüger geführt. Vom Bezüger fliesst das Fluid zurück in die Umwelt – es handelt sich hierbei um ein offenes System
- **2-Leiter:** Ein warmer und ein kalter Leiter mit identischen Massenströmen bilden ein geschlossenes System zwischen Lieferant und Bezüger.
- **3-Leiter:** Früher oftmals ein System mit zwei warmen Vorläufen (einmal mit konstanter Liefertemperatur, einmal mit gleitender, variabler Liefertemperatur) plus ein kalter Rücklauf. (Vergleiche hierzu auch [Dötsch, 1998] und [Glück, 1985].)

Heutige Systeme werden oft mit zwei Vorläufen auf verschiedenen Temperaturniveaus und einem gemeinsamen Rücklauf ausgeführt. Der Bezug erfolgt aus dem temperaturmässig günstigsten Vorlauf. Neuere Konzepte nutzen alle drei Leiter mit unterschiedlichen Temperaturen. Der Bezug erfolgt aus dem temperaturmässig günstigsten Leiter (d.h. aus jenem, bei welchem der minimale exergetische Verlust resultiert). Die Rückgabe erfolgt ebenfalls in den temperaturmässig günstigsten Leiter (mit dem tiefsten resultierenden Exergieverlust). Der Lieferant muss den Massenstromausgleich und die Temperaturunterschiede zwischen den Leitern sicherstellen.

- **4-Leiter:** Üblicherweise ist ein 4-Leitersystem als ein doppeltes 2-Leitersystem aufgebaut. Bei einem gerichteten Netz kann man vom warmen Vorlauf/Rücklauf und dem kalten Vorlauf/Rücklauf sprechen. Möglich ist aber auch ein Betrieb gemäss «günstigster Temperatur» analog dem oben beim 3-Leiter beschriebenen Vorgehen (mit dem Ziel eines minimalen exergetischen Verlusts).

Faktisch basiert jeder Bezug bei geschlossenen Systemen auf einem 2-Leiter-System mit einem beziehenden und einem einspeisenden³ Massenstrom mit einer Temperaturdifferenz. Die dadurch gelieferte Energie⁴ wird vom Bezüger verwertet. Dabei sollten Bezugs- und Rückspeisetemperatur möglichst nahe an den Betriebstemperaturen der vorhandenen Leiter des Thermischen Netzes gewählt werden, um exergetische Verluste zu minimieren.

³ Auch z.T. rückspeisender oder liefernder Massenstrom genannt.

⁴ [SIA 380, 2015] «Gesamte Endenergie, welche während der Berechnungsperiode über den Bilanzperimeter geliefert wird.»
Dies umfasst die gelieferte Heizenergie wie Kühlenergie.

4.3. Betriebsweise von Thermischen Netzen

Bei der Betriebsweise der Thermischen Netze wird die Beziehung zwischen dem Netz und dem Bezüger untersucht. Hier ergeben sich relevante Unterschiede, welche alle auf die letzten Meter Leitungsanschluss (Gebäudeanschluss) bezogen werden.

4.3.1. Fluidströmung: gerichtet und ungerichtet

Wenn Netze als gerichtet oder ungerichtet bezeichnet werden, wird die Richtung der Fluidströmung zwischen dem Thermischen Netz und dem Bezüger betrachtet.

- **Gerichtete Netze: Es existiert nur eine Richtung der Fluidströmung zwischen Netz und Bezüger.**

Bei einem gerichteten Netz wird eine zentrale Hauptpumpe beim Lieferanten installiert, um das Fluid zu den einzelnen Bezüger zu fördern. Damit ist für alle Bezüger die Richtung der Fluidströmung in den jeweiligen Leitern bestimmt. In diesem Fall ist die Bezeichnung Vorlauf (VL) und Rücklauf (RL) sinnvoll.⁵

- **Ungerichtete Netze: Es existieren beide Richtungen der Fluidströmung zwischen Netz und Bezüger.**

In einem ungerichteten Netz wird bei jedem Bezüger eine dezentrale Förderpumpe installiert, um das Fluid zu beziehen. Hierbei bestimmt der Einbau bzw. die Umschaltung der Pumpe die Richtung der Fluidströmung in den jeweiligen Leitern zwischen Bezüger und Thermischem Netz. Die dezentrale Pumpe kann das Fluid aus jedem vorhandenen Leiter beziehen bzw. einspeisen.

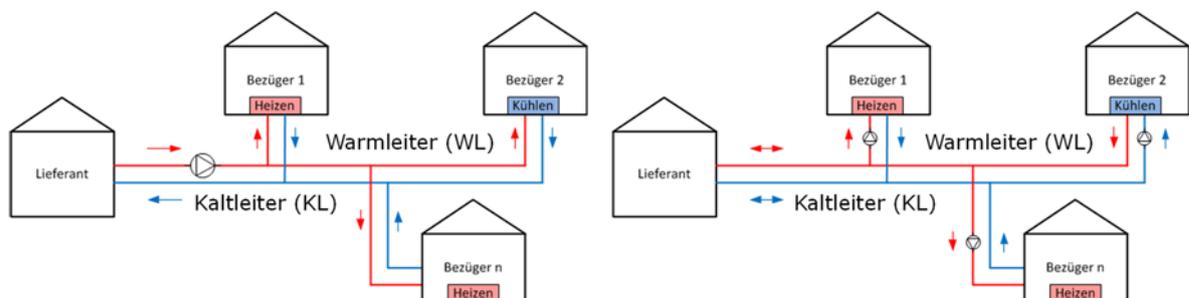


Abbildung 3: Unterschied zwischen einem gerichteten (links) und einem ungerichteten Netz (rechts) – Bezugsgrösse Fluidströmung.

⁵ Damit ist aber immer noch keine Aussage zu den Temperaturen möglich (so existiert beispielsweise ein gerichtetes Netz, bei dem der Wärmebezug aus dem Vorlauf erfolgt, aber gleichzeitig die Rückspesung der Rückkühlung in den Rücklauf geschieht; vgl. Abbildung 3 links mit einer Warmleitertemperatur $t_{WL} < t_{RK}$ (= Temperatur Kaltleiter Bezüger 2) und Mischverlust im Kaltleiter).

4.3.2. Energiefluss: unidirektional und bidirektional

Wenn Netze als unidirektional oder bidirektional bezeichnet werden, wird die Richtung des Energieflusses zwischen dem Thermischen Netz und dem Bezüger betrachtet.

- **Unidirektionale Netze: Es existiert nur eine Richtung des Energieflusses zwischen Netz und Bezüger.**
Ein unidirektionales Netz ist dadurch bestimmt, dass die Richtung des Energieflusses im Heizfall immer von der Wärmequelle (Lieferant) zu den Wärmesenken (Bezügern) oder im Kühlfall von den Wärmequellen (Bezüger) zur Wärmesenke (Lieferant) verläuft.
- **Bidirektionale Netze: Es existieren beide Richtungen des Energieflusses zwischen Netz und Bezüger.**
In einem bidirektionalen Netz kann der Bezüger sowohl Wärmequelle als auch Wärmesenke sein. Der Energiefluss zwischen dem Thermischen Netz und dem Bezüger kann in beide Richtungen erfolgen.

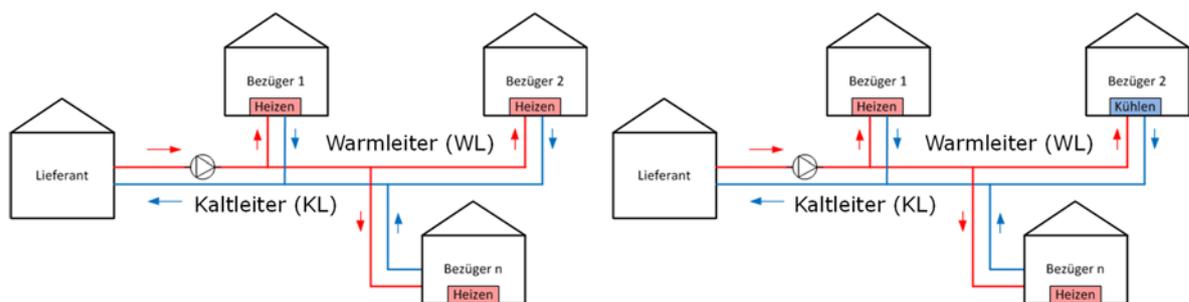


Abbildung 4: Unterschied zwischen einem unidirektionalen (links) und einem bidirektionalen Netz (rechts) – Bezugsgrösse Energiefluss.

4.3.3. Zusammenfassung Betriebsweisen

Mit den oben präsentierten Definitionen lassen sich die Thermischen Netze bezüglich ihrer Betriebsweise kategorisieren. Dabei ist ausschliesslich die Richtung der Fluidströmung bzw. des Energieflusses zwischen dem Thermischen Netz und dem Bezüger relevant. Die Fliessrichtung des Fluids innerhalb des Thermischen Netzes werden damit nicht beschrieben (vgl. unten). Auch sind nicht alle Kombinationen möglich, vgl. nachfolgende Abbildung 5.

		Richtung des Energieflusses	
		unidirektional	bidirektional
Richtung der Fluidströmung	gerichtet	Heiz- ODER Kühlbetrieb, zentrale Pumpe (Vor- und Rücklauf sowie WL und KL sinnvoll)	Heiz- UND Kühlbetrieb, zentrale Pumpe (Vor- und Rücklauf sinnvoll; WL/KL ändert ja nach Betriebsart)
	ungerichtet	nicht anwendbar (unidirektional fordert eine Richtung des Energieflusses, ungerichtet zwei Richtungen der Fluidströmung)	Heiz- UND Kühlbetrieb, dezentrale Pumpe (nur Bezeichnungen Wärml eiter und Kaltleiter sinnvoll)

Abbildung 5: Kategorisierung der verschiedenen Betriebsweisen von Thermischen Netzen.

5. Analyse

5.1. Elemente von Thermischen Netzen

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente von Thermischen Netzen in einer allgemeinen, abstrakten Form diskutiert. Nicht alle Thermischen Netze verfügen über alle Elemente, die Aufzählung berücksichtigt die Hauptelemente. Ferner werden die Schnittstellen und allfällige Systemgrenzen dieser Elemente untersucht. Die Darstellung (vgl. Abbildung 6) weicht absichtlich von [Minergie, 2013] ab, um Klarheit zu schaffen.

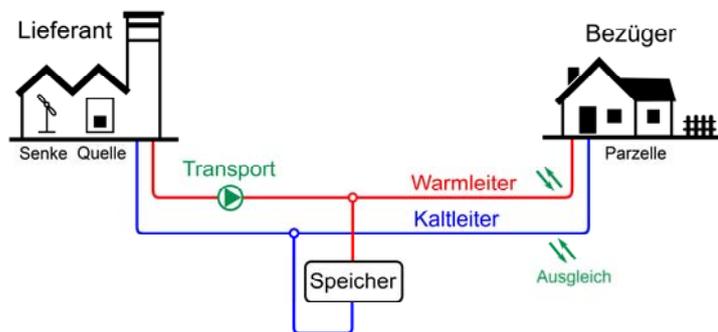


Abbildung 6: Wesentliche Elemente von Thermischen Netzen, Darstellung berücksichtigt die Hauptelemente; Schnittstellen und Systemgrenzen werden weiter unten detailliert analysiert.

5.1.1. Vorlauf/Rücklauf bzw. Warmleiter/Kaltleiter

Die vorgenommenen Definitionen im Kapitel 4.3 zeigen bereits, dass die übliche Bezeichnungen «Vorlauf» und «Rücklauf» mit der Erweiterung der Betriebsweisen Thermischer Netze bei einer allgemeinen Betrachtung an Bedeutung verlieren. Insbesondere lassen sie keine Aussage zu den Betriebstemperaturen des entsprechenden Leiters zu – dies ist allerdings insbesondere bei Niedertemperatur-Netzen eine der wichtigsten Charakteristika und beschreibt die ‚Qualität‘ der gelieferten Energie. Findet ein bidirektionaler Betrieb statt, so werden gewisse Bezüger Energie aus dem Thermischen Netz beziehen, während andere Energie einspeisen. Vor allem bei ungerichteten Netzen sind die Begriffe «Vorlauf» und «Rücklauf» unzureichend (vgl. Abbildung 7).



Abbildung 7: Die Bezeichnungen Vorlauf und Rücklauf werden durch Warmleiter und Kaltleiter abgelöst.

Bei gerichteten, bidirektionalen Netzen kann die klare Zuordnung Warm- und Kaltleiter verloren gehen. In solchen Netzen ist im Heizbetrieb, d.h. wenn die Bezüger vornehmlich Wärme entziehen, der Vorlauf auch der Warmleiter. Im Kühlbetrieb, d.h. wenn die Bezüger vornehmlich Wärme abgeben, ist der Vorlauf kühler und der Warmleiter wäre in diesem Fall der Rücklauf.

Trotz dieses Spezialfalles eines gerichteten, bidirektionalen Netzes, lautet die Empfehlung stets und ausschliesslich von Warmleiter und Kaltleiter zu sprechen. Ändert sich der WL und KL aufgrund der Betriebsart, ist in solchen Fällen die dazugehörige Betriebsart (Heizfall/Kühlfall) anzumerken.

Damit sind die Temperaturverhältnisse definiert und die Fluidströmung wird nachrangig. Bei einem 3-Leiter-System könnte von «Warmleiter», «Mittelleiter» und «Kaltleiter» gesprochen werden. Beim 4-Leiter-System wäre die konsequente Umsetzung der Warmleiter, der warme Mittelleiter, der kalte Mittelleiter und der Kaltleiter.

5.1.2. Quelle und Senke

Auch wenn Thermische Netze sowohl für den Heiz- als auch den Kühlfall verwendet werden, so sind die Begriffe «Quelle» und «Senke» physikalisch stets unverändert bezogen auf den Energiefluss definiert. Eine Abfuhr von Wärmeenergie aus dem Thermischen Netz qualifiziert den entsprechenden Agenten als «Senke», während umgekehrt ein Eintrag von Wärme einen Agenten als «Quelle» identifiziert.

In der Folge wird ein Vorgehen skizziert, wie die Begriffe unabhängig von ihrer Einbindung in das Thermische Netz als Agent betrachtet werden können. Das Thermische Netz wird als Dienstleister für thermische Energie verstanden. Der Bezüger, der die Dienstleistung des Thermischen Netzes nutzt und der Lieferant, der dafür besorgt sein muss, dass das Thermische Netz seine Dienstleistung zu jedem Zeitpunkt erfüllt. Ein «Verlust/Gewinn» mindert/verbessert in diesem Sinne die Fähigkeit des Thermischen Netzes, die gewünschte Dienstleistung zu erbringen (vgl. Abbildung 8). Dieser «Verlust/Gewinn» muss immer in der Bereitstellung der gewünschten Dienstleistung berücksichtigt werden und fliesst in die Bilanz ein. Statt Verlust/Gewinn kann als allgemeiner Begriff «Ausgleich» verwendet werden.

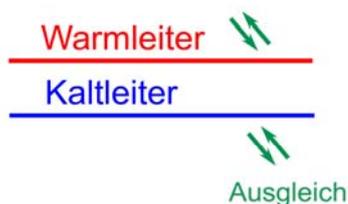


Abbildung 8: Ein «Ausgleich» mindert oder steigert die Fähigkeit des Thermischen Netzes, die gewünschte Dienstleistung zu erbringen – und ist damit unabhängig von der Fließrichtung der Wärme zu betrachten.

5.1.3. Bezüger

Der Begriff «Bezüger» muss im Kontext Thermischer Netze etwas differenzierter betrachtet werden. Es wird damit nicht der Bezug von Energie aus dem Thermischen Netz (also die Funktion «Senke») beschrieben, sondern der Bezug der Dienstleistung des Thermischen Netzes, welche den benötigten Energiefluss bereit stellt (vgl. Abbildung 9).

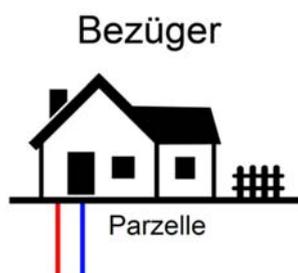


Abbildung 9: Der Bezüger und seine Beziehung zum Thermischen Netz.

5.1.4. Lieferant

Analoges gilt für den Begriff «Lieferant» im Kontext Thermischer Netze. Es wird damit nicht die Lieferung von Energie ans Thermische Netz («Quelle») beschrieben, sondern die Dienstleistung für das Thermische Netz, den notwendigen Energiefluss für eine ausgeglichene Energiebilanz bereit zu stellen. Im Weiteren muss der Lieferant dafür sorgen, dass die notwendigen Betriebstemperaturen in den vorhandenen Leitern im Rahmen der zulässigen Temperaturbänder jederzeit zur Verfügung stehen.

Für einen robusten Betrieb auf Seite Lieferant werden oftmals verschiedene Quellen und Senken eingebunden (vgl. Abbildung 10). Eine klassische Luft-Sole-Rückkühleinheit kann beispielsweise im Herbst als Wärmequelle funktionieren (Zufuhr von Wärme in das System «Thermisches Netz», z.B. für die Regeneration des Erdwärmespeichers) oder auch im Frühling als Wärmesenke dienen (Kühlung) – dieses Element erfüllt damit beide Funktionen als Quelle und Senke (zeitverschoben) in einem.

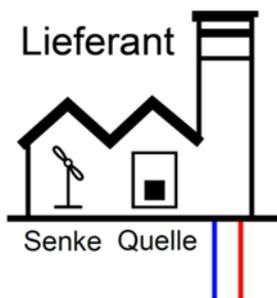


Abbildung 10: Der Lieferant hat ggf. Quellen und Senken vorzusehen für die Bereitstellung der Dienstleistung.

5.1.5. Speicher

Thermische Speichersysteme können Lastspitzen bzw. Bedarfsspitzen glätten und damit die Versorgungskapazität erhöhen. Ausserdem können Speichersysteme ausserhalb der Bedarfszeiten anfallende Wärme einlagern und zeitverschoben, bedarfsgerecht wieder abgeben. Speichersysteme können örtlich so positioniert werden, dass die Übertragungsleistung der Thermischen Netze geglättet werden kann. Eine zentrale Position eignet sich bei diskontinuierlicher Energiebereitstellung und eine dezentrale Position bei diskontinuierlichem Energiebedarf. Durch dezentrale Speichersysteme kann damit die Versorgungskapazität der Thermischen Netze erhöht werden.

Ausführungen von Speichern richten sich nach dem Zweck als Kurzzeitspeicher mit vielen Ladezyklen (> 20 pro Jahr) oder als Langzeitspeicher mit wenig Ladezyklen (1 bis 20 pro Jahr), wobei ein Speicher mit einem einzigen (idealisierten) Ladezyklus pro Jahr als saisonaler Speicher gilt [Ködel, 2017]).

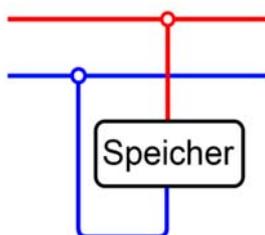


Abbildung 11: Speichersysteme können örtlich getrennt vom Lieferanten realisiert werden.

Der Spezialfall der Thermischen Netze mit Heiz- und Kühlbetrieb basiert auf dem Prinzip, dass Abwärme aus dem Sommer, saisonal verschoben, im Winter genutzt werden kann. Dabei werden heutzutage vorwiegend Erdwärmespeicher (Erdsondenfelder) verwendet. Zukünftig können auch chemische und ggf. thermomechanische Speicher die Langzeitspeicherung übernehmen.

5.1.6. Transport des Fluides

Wie bereits ausgeführt finden die Energiebereitstellung (Lieferant) und der Energiebezug (Bezüger) räumlich getrennt statt. Der notwendige Transport des Fluides kann je nach Betriebsweise zentral (gerichtete Netze) oder dezentral (ungerichtete Netze) geschehen. Für die Systemgrenze des Thermischen Netzes ist es unerheblich, an welcher Position im Netz die Transportenergie zugeführt wird (vgl. Abbildung 12). Der Aufwand für den Transport ist immer ein Teil der Bilanzierung des Thermischen Netzes.



Abbildung 12: Der Aufwand für den Transport ist immer dem Thermischen Netz zuzuordnen.

5.1.7. Systemgrenzen Thermischer Netze

Mit den oben ausgeführten Begrifflichkeiten müssen bei der Bilanzierung Thermischer Netze andere Grenzen angelegt werden, als diese bei der physischen Realisierung üblich angenommen werden. Die Installations-Schnittstelle definieren Netzbetreiber in der Regel als «Gebäudeanschluss» direkt nach oder vor dem Durchbruch der Aussenwand. Diese Schnittstelle ist für die Bilanzierung Thermischer Netze ungeeignet.

Bezüger, welche mit einer Netztrennung (Wärmeübertrager) angeschlossen werden, sind bezüglich Systemgrenze am einfachsten zu behandeln. Der Wärmeübertrager resp. mehrere Wärmeübertrager bilden die Systemgrenze zwischen Gebäudeinstallation (Bezüger) und Thermischem Netz. Dies gilt für gerichtete wie ungerichtete Netze. In beiden Fällen wird die zentrale/dezentrale Pumpe des Primärkreislaufes (Thermisches Netz) in der Bilanzgrenze des Netzes erfasst (vgl. Abbildung 13).

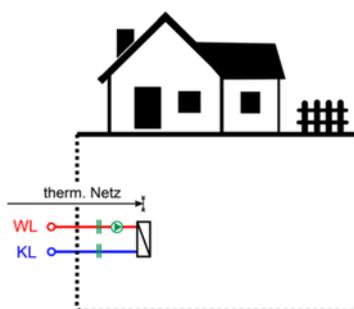


Abbildung 13: Gebäudeanschluss mit Wärmeübertrager, der als Systemgrenze zwischen Thermischem Netz und Gebäudeinstallation dient.

Bezüger, welche ohne Netztrennung (direkt) angeschlossen werden, sind schwieriger abzugrenzen. Wird das Thermische Netz gerichtet betrieben, so liegt eine druckbehaftete Verteilung vor und das Regulierventil für die Heiz-/Kühlkurve⁶ bzw. das Auf/Zu-Ventil der Warmwasser-Bereitstellung⁷ kann als Systemgrenze definiert werden (vgl. Abbildung 14).

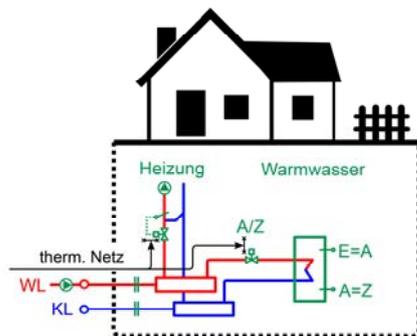


Abbildung 14: Direkter Gebäudeanschluss: Bei einem druckbehafteten Verteiler (gerichtetes Netz) dienen die Regelventile als Systemgrenze.

Wird das Netz ungerichtet betrieben⁸, so muss die Druckseite der Pumpe (wegen der drucklosen Verteilung im Thermischen Netz) als Systemgrenze definiert werden (vgl. Abbildung 15). Mit dieser Definition sind bei allen Fällen die für den Transport im Thermischen Netz verantwortlichen Pumpen auf der Netzseite. Mit dieser Abgrenzung wird zudem berücksichtigt, dass die dezentralen Pumpen in einer Wechselwirkung zueinander stehen. Wird das Netz durch mehrere Bezüger belastet, müssen die dezentralen Pumpen den erhöhten Druckverlust im Netz kompensieren. Die dezentralen Pumpen müssen folglich durch den Betreiber des Thermischen Netzes geregelt werden.

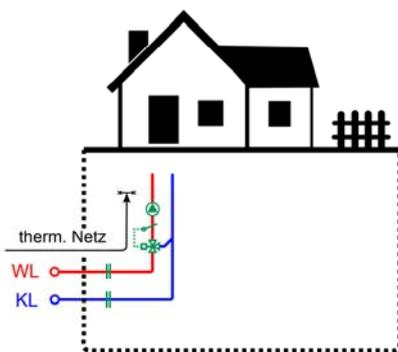


Abbildung 15: Direkte Gebäudeanbindung: Bei einem drucklosen Verteiler (ungerichtetes Netz) muss die Systemgrenze druckseitig der gebäudeinternen, dezentralen Versorgungspumpe angesetzt werden.

⁶ Druckbehaftete Verteilung: Mögliche hydraulische Schaltung für Heizkurve: Einspritzschaltung (Umlenkschaltung und Drosselschaltung sind technisch denkbar, führen aber zu einer unerwünschten Anhebung der Temperatur des Kaltleiters).

⁷ Ohne Auf/Zu-Ventil fände eine kontinuierliche Ladung statt resp. würde bei geladenem Warmwasser-Speicher die Rücklauf-der Vorlauf-temperatur entsprechen, was nicht gewünscht ist.

⁸ Drucklose Verteilung: Mögliche hydraulische Schaltungen für Heizkurve: Beimischschaltung (mit/ohne feste Beimischung).

Mit den oben beschriebenen, drei verschiedenen Anschlussvarianten ergeben sich folgende Schnittstellen zwischen dem Thermischen Netz und der Gebäudeinstallation (vgl. Abbildung 16). Diese sind nur auf die Richtung der Fluidströmung bezogen. Alle Varianten können bezogen auf die Richtung des Energieflusses auch bidirektional betrieben werden, wobei die Varianten ohne Wärmeübertrager mit ihrem erzwungenen Bezug aus dem Warmleiter das weiter erwärmte Fluid in den Kaltleiter führen (vgl. Kapitel 5.1.1).

		Gebäudeanschluss	
		mit Netztrennung	ohne Netztrennung
Netz- betrieb	gerichtet	Wärmeübertrager	Regelventile
	ungerichtet	Wärmeübertrager	Druckseite Pumpe

Abbildung 16: Systemgrenzen zwischen Thermischem Netz und Gebäudeinstallation je nach Netzbetrieb und Gebäudeanschluss.

5.1.8. Einfluss Betriebsweise

Die Bilanzierung von Thermischen Netzen mit den oben vorgenommenen Systemgrenzen ist unabhängig von der Topologie (vgl. Kapitel 4.2) wie auch von der Betriebsweise (Kapitel 4.3) – sie wirkt sich lediglich auf die Gesamt-Energiebilanz aus, was für die Beurteilung gewünscht wird. Die zu beachtenden Elemente für die Bilanzierung bleiben stets dieselben.

5.2. Bedürfnisse der Gebäude (Bezüger)

5.2.1. Wärmebedarf Heizung

Wärmebezüger in Gebäuden können Heizsysteme oder auch Lüftungssysteme für Komfort- oder Prozesszwecke umfassen. Jedes Wärmeabgabesystem besitzt eine definierte Massenstrom- und Temperaturanforderung – bei Heizsystemen in der Regel als Funktion der Aussentemperatur, Lüftungssysteme normalerweise mit konstanter Temperaturanforderung. Die Temperaturanforderungen in Kombination mit der Grädigkeit der eingesetzten Wärmeübertrager (Netztrenner) entscheiden über die direkte Verwendbarkeit der Warmleiter-Temperatur. In der Folge sind allgemeine Aussagen angegeben, welche jeweils detailliert auf die konkreten Anlagenspezifikationen geprüft und angepasst werden müssen.

- **Neubau | Heizkörper:** Gemäss [MuKE, 2008] sowie [MuKE, 2014] max. 50 °C bei Auslegungstemperatur der entsprechenden Meteostation – Heizkurve wird über gebäudeinterne Regelung realisiert.
- **Neubau | Fussbodenheizung:** Gemäss [MuKE, 2008] sowie [MuKE, 2014] max. 35 °C bei Auslegungstemperatur der entsprechenden Meteostation – Heizkurve wird über gebäudeinterne Regelung realisiert.
- **Neubau | Lüftungsanlagen:** Gemäss [MuKE, 2008] sowie [MuKE, 2014] max. 50 °C bei Auslegungstemperatur der entsprechenden Meteostation, heute oftmals max. 40 °C, üblicherweise konstante Temperatur, variabler Massenstrom.
- **Altbau | Heizkörper:** Je nach Bestand und energetischen Erneuerungsmassnahmen – differenzierte Betrachtung und Auslegung notwendig. Vorlauftemperaturen von über 60 °C waren noch in den 1980er-Jahre weit verbreitet.
- **Altbau | Lüftungsanlagen:** Oftmals 50 °C und teilweise sogar mehr, Regelung ähnlich wie oben Neubau | Lüftungsanlagen.
- **Prozesswärme:** abhängig vom nachfolgenden Prozess; es sind Temperaturen bis 105 °C möglich (Heizwasseranlagen).

5.2.2. Wärmebedarf Warmwasser

Die Temperaturanforderungen für den Wärmebedarf Warmwasser werden, im Falle einer thermischen Desinfektion, durch die Vorgaben zum Legionellenschutz bestimmt [BAG, 2009]. Unabhängig von der Risikostufe besteht dort die Empfehlung, das genutzte Warmwasser während mindestens einer Stunde pro Tag auf 60 °C aufzuheizen. Dies ist eine Verschärfung gegenüber älteren Quellen [Suissetec, 2001]. In naher Zukunft könnte sich gemäss [prSIA 385/1, 2016] die Situation dahingehend verschärfen, dass bereits am Übergang des Warmwassers vom Speicher ins Warmwasserverteilnetz eine konstante Temperatur von 60 °C gefordert wird (selbst für Risikostufe «gering», da für die Alternative – eine tägliche thermische Desinfektion – aktuell technisch noch keine marktfähigen Lösungen zur Verfügung stehen).

- **Neubau (und Altbau) | Warmwasser:** Es ist von einer Temperaturanforderung von 60 °C mit kleiner Schwankungsbreite auszugehen.

5.2.3. Kühlbedarf Klimatisierung

Die notwendigen resp. zulässigen Systemtemperaturen für Klimatisierung sind in [SIA 382/1, 2014] festgehalten und haben sich damit seit der Vorgänger-Version [SIA 382/1, 2007] nicht verändert. Die davorliegenden Ausgaben kannten diesbezüglich keine Anforderungen, vgl. [SIA V382/1, 1992] und [SIA V382/2, 1992]. Tiefere Temperaturen für Prozesse sind denkbar.

Diese Temperaturanforderungen in Kombination mit der Grädigkeit der eingesetzten Wärmeübertrager (Netztrenner) entscheiden über die direkte Verwendbarkeit der Kaltleiter-Temperatur. In der Folge sind allgemeine Aussagen angegeben, welche jeweils detailliert auf die konkreten Anlagenspezifikationen geprüft und angepasst werden müssen.

- **Klimaanwendung ohne Entfeuchtung:** Kaltleitertemperatur ≥ 14 °C.
- **Klimaanwendung mit Teilentfeuchtung:** Kaltleitertemperatur ≥ 10 °C.
- **Klimaanwendung mit kontrollierter Entfeuchtung:** Kaltleitertemperatur ≥ 6 °C.

5.2.4. Rückkühlung

Kann der Kaltleiter nicht direkt für die Kühlung genutzt werden, muss eine Kältemaschine oder reversible Wärmepumpe eingesetzt werden. In diesem Fall stellt sich die Frage, ob die Kondensationswärme in einen geeigneten Leiter (meist den Warmleiter) eingespiessen anstelle über ein Rückkühlwerk abgeführt werden soll. Auch hier sind Temperaturbetrachtungen anzustellen analog den oben ausgeführten Überlegungen. Die in der Regel anzusetzenden Rückkühltemperaturen basieren auf der Richtlinie «Rückkühlung» [SWKI 2003-3, 2005]. Sie werden unterschieden je nach Rückkühlsystem:

- **Trockenrückkühlsysteme:** Richtwert Medium Austrittstemperatur (Sole): 37–41 °C.
- **Trockenrückkühlsysteme mit Benetzung resp. Verdunstungsrückkühlsysteme:** Richtwert Medium Austrittstemperatur (Sole): 25–29 °C (mit kleinen Schwankungen von min. 24 C bis max. 31 °C).

5.2.5. Zusammenstellung Temperaturanforderungen

Es resultiert damit, mit gewissen Unsicherheiten resp. Einschränkungen vgl. oben, eine Übersicht über die zu erwartenden Temperaturanforderungen der Bezüger (vgl. Abbildung 17).

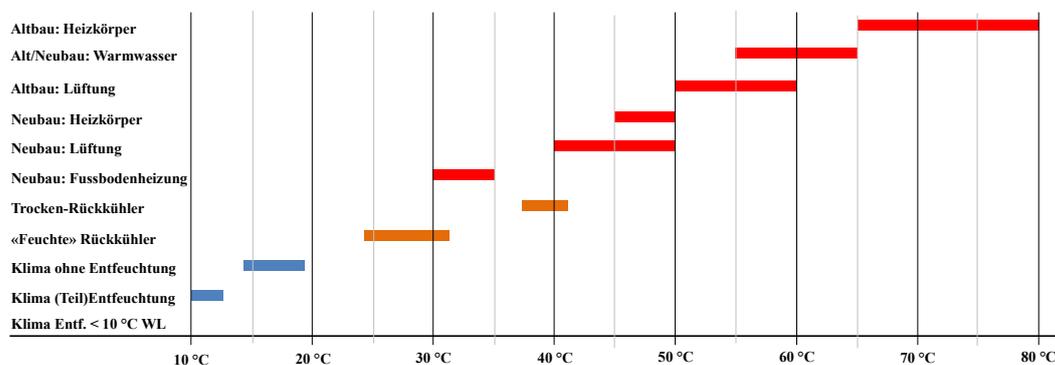


Abbildung 17: Zu erwartende Temperaturanforderungen durch die Bezüger – rot: Bezug aus Warmleiter / orange: Einspeisung in Warmleiter / blau: Bezug aus Kaltleiter (ohne Prozesswärme/-kälte).

5.3. Ausblick nach Europa

In Rahmen der Europäischen Kommission wurde die Energiestrategie 2020 skizziert [EC, 2011], welche «höchst effiziente Thermische Netze für Heizung und Kühlung» fordert (S. 8) und explizit auf «intelligente Heiz- und Kühl-Netze» setzt (S. 16). Daraus entwickelte sich eine internationale Forschungsgruppe unter Leitung dänischer Kollegen zur vierten Generation von Thermischen Netzen [4DH, 2017]. Der «Head of 4DH research Centre» umreisst in [Lund, 2014] die vierte Generation in Abgrenzung zu den ersten drei. Dabei klassifizieren die Autoren die erste Generation als jene, welche Dampf als Fluid verwendet (ab 1880), vor allem in den Vereinigten Staaten. Die zweite Generation benutzt Wasser unter Druck mit Temperaturen über 100 °C (ab 1930 bis ca. 1970), vor allem in der Sowjetunion. Die dritte Generation arbeitet ebenfalls mit Wasser, jedoch mit Temperaturen unter 100 °C (ab 1980), vor allem in Europa. In der vierten Generation sollen vermehrt erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen und die Temperaturen auf 45–50 °C sinken. Die folgende von den Autoren dieses Grundlagenpapiers postulierte Unterteilung nach Temperaturen geht hier sogar noch etwas weiter.

Abgrenzung: Die im folgenden Kapitel 5.4 vorgenommene Typisierung konzentriert sich auf die vierte Generation Thermischer Netze. Für die ersten drei Generationen existiert an anderen Orten ausreichend Standardliteratur wie [Thalmann, 2017], [Glück, 1985] oder [Frederiksen, 2013], um nur einige zu nennen.

5.4. Typisierung Thermischer Netze aufgrund von Betriebstemperaturen

Die vorgehende Betrachtung in Kapitel 5.3 zeigt, dass die Typisierung von Thermischen Netzen deshalb insbesondere dann Sinn macht, wenn die Betriebstemperaturen der Netze herangezogen werden.

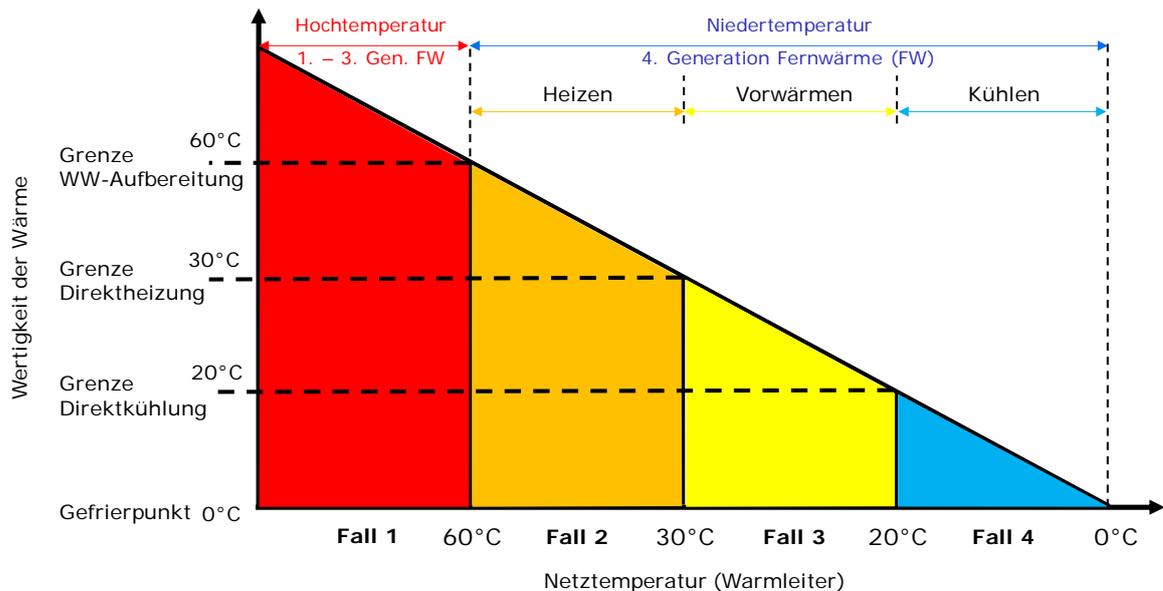


Abbildung 18: Einteilung Thermischer Netze aufgrund der Warmleiter-Temperatur.

	Thermische Netze			
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Temperatur Warmleiter	$\geq 60^{\circ}\text{C}$	60 °C bis inkl. 30 °C	30 °C bis inkl. 20 °C	20 °C–0 °C
Bezeichnung	Hochtemperatur (HT)	Niedertemperatur (NT)		
		Heizung	Vorwärmen	Kühlen
Bestimmungskriterium	Grenze Warmwasser-Aufbereitung ca. 60 °C	Grenze Direkt-Heizung ca. 30 °C	Grenze Direkt-Kühlung ca. 20 °C	Gefrierpunkt Wasser 0 °C
Thermisches Potential des Netzes	Heizen und Warmwasser direkt	Heizen direkt, Warmwasser vorwärmen	Heizung und Warmwasser vorwärmen, Abwärmenutzung Rückkühlung	Wärmequelle für Heizung & Warmwasser, Kühlen direkt
Nötiger Energiebedarf im Gebäude	Kühlung aufbereiten und Rückkühlung	Kühlung aufbereiten und Rückkühlung, Warmwasser nachwärmen	Kühlung aufbereiten, Heizung nachwärmen, Warmwasser nachwärmen	Heizung und Warmwasser aufbereiten

	Thermische Netze (Fortsetzung)			
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Temperatur Warmleiter	$\geq 60^{\circ}\text{C}$	60 °C bis inkl. 30 °C	30 °C bis inkl. 20 °C	20 °C–0 °C
Nötige Technologie im Gebäude	Kältemaschine und Rückkühler ev. Abwärmenutzung aus Kältemaschine für Warmwasser-Vorwärmung	Kältemaschine und Rückkühler ev. Abwärmenutzung aus Kältemaschine für Warmwasser und/oder Einspeisung ins Thermische Netz Warmwasser Nachwärmung, z.B. mit Wärmepumpe	Kältemaschine Abwärmenutzung aus Kältemaschine für Heizung, Warmwasser und/oder Einspeisung ins Thermische Netz Heizung und Warmwasser Nachwärmung, z.B. mit Wärmepumpe	Heizung und Warmwasser Aufbereitung, z.B. mit Wärmepumpe ev. Kältemaschine für tiefere Temperaturen, Abwärmenutzung für Heizung, Warmwasser und/oder Einspeisung ins Thermische Netz

Abbildung 19: Charakterisierung der in diesem Papier behandelten vier Fälle Thermischer Netze.

Die Thermischen Netze werden aufgrund des Temperaturniveaus des Warmleiters unterteilt, da dieser definiert, welche Technologien für die restliche Energiebereitstellung im Gebäude erforderlich sind.

Aus heutiger Sicht sind Netze $\geq 60^{\circ}\text{C}$ Hochtemperaturnetze (verschiedener Generation) und unter 60°C Niedertemperaturnetze. Diese Grenztemperatur gewährleistet in den Gebäuden die Wärmeversorgung für Heizen und Warmwasser (WW)⁹.

⁹ Ausnahme bilden andere Konzepte für den Legionellenschutz im Warmwassersystem, z.B. die Frischwasserstation für die Aufbereitung des Warmwassers.

5.5. Begrifflichkeit für Thermische Netze

Name	Warmleiter (± 5 K)	Fall
Hochtemperaturnetz	$T_{WL} \geq 60$ °C	Fall 1
Niedertemperaturnetz	60 °C > $T_{WL} \geq 30$ °C	
Heizen	60 °C > $T_{WL} \geq 30$ °C	Fall 2
Vorwärmen	30 °C > $T_{WL} \geq 20$ °C	Fall 3
Kühlen	20 °C > $T_{WL} \geq 0$ °C	Fall 4

Abbildung 20: Übersicht über die verschiedenen Netzbezeichnungen aufgrund der Warmleiter-Temperatur. Die Temperaturangaben sind mit einer Abweichung von ± 5 K zu verstehen.

Hochtemperaturnetz: Besitzt die Fähigkeit, alle Dienstleistungen für Heizzwecke (Heizung, Warmwasser) direkt zu bedienen.

Niedertemperaturnetz | Heizen: Für die meisten Heizanwendungen (Neubau) geeignet, direkt die Anforderungen zu bedienen, Warmwasser muss noch weiter aufbereitet werden (Legionellenschutz), eine Rückkühlung ins Netz muss bezogen auf die konkrete Situation geprüft werden.

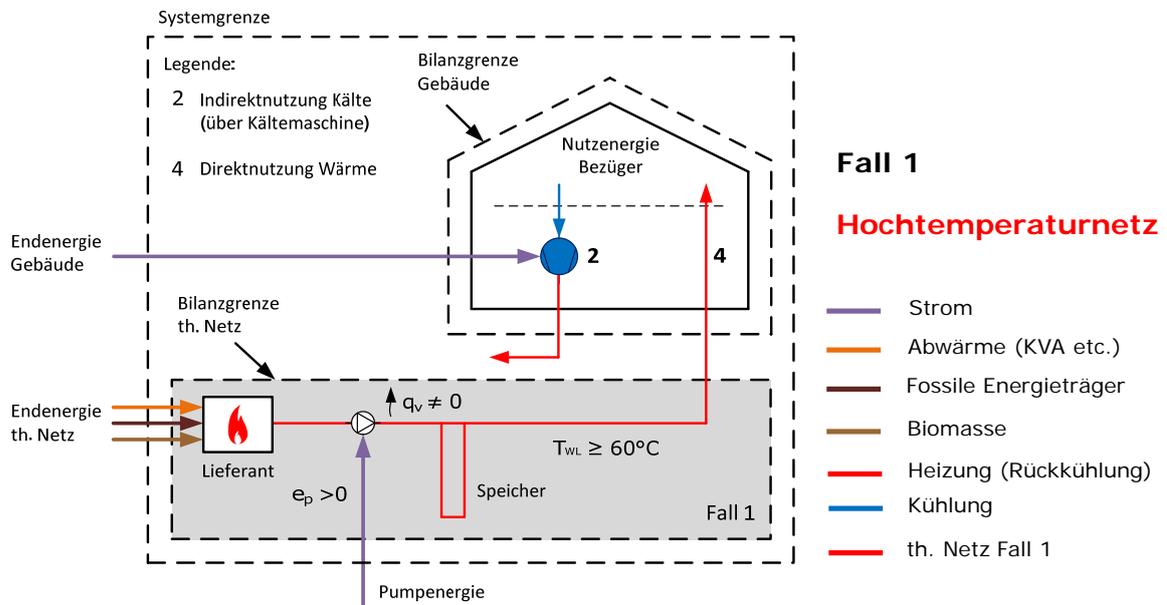
Niedertemperaturnetz | Vorwärmen: Für alle Heizanwendungen muss eine weitere Aufbereitung erfolgen, in der Regel kann die Rückkühlung direkt ins Netz erfolgen.

Niedertemperaturnetz | Kühlen: Für alle Heizanwendungen muss eine weitere Aufbereitung erfolgen, in der Regel kann die Kälteanwendung direkt bereitstellen (oder bei Spezialanforderungen die notwendige Rückkühlung aufnehmen).

In Kapitel 6 folgt die graphische Darstellung der vier oben erwähnten Fälle. Die Kriterien, die Kennwerte und der Einfluss auf die Technologien im Gebäude werden ebenfalls im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

6. Interaktion Thermisches Netz – Gebäude, Falluntersuchung

6.1. Fall 1 – Hochtemperaturnetz



Ebene Netz

Charakteristik	Typische Grössen	Randbedingungen	
Temperatur WL	≥ 60°C	Spreizung > 20K	T _{KL} = ca. T _{WL} /2+AT [°C]
Energieverluste q _v	7–13%*	f (Dämmstärke)	f (T _{WL} , T _{KL})
Pumpenergie e _p	0,6–1,3%*	D _p ≤ 250 Pa/m	Q ≥ 2'000 MWh/km _{Trasse} ·a
Quellen	KVA, Holzfeuerung, WP	T _{WL} ≥ 60°C	auch BHKW, auch fossil
Bemerkungen	Pumpenergie gering (unbedeutend, da kleiner 1.5%), Wärmeverluste relativ hoch (um 10%)		

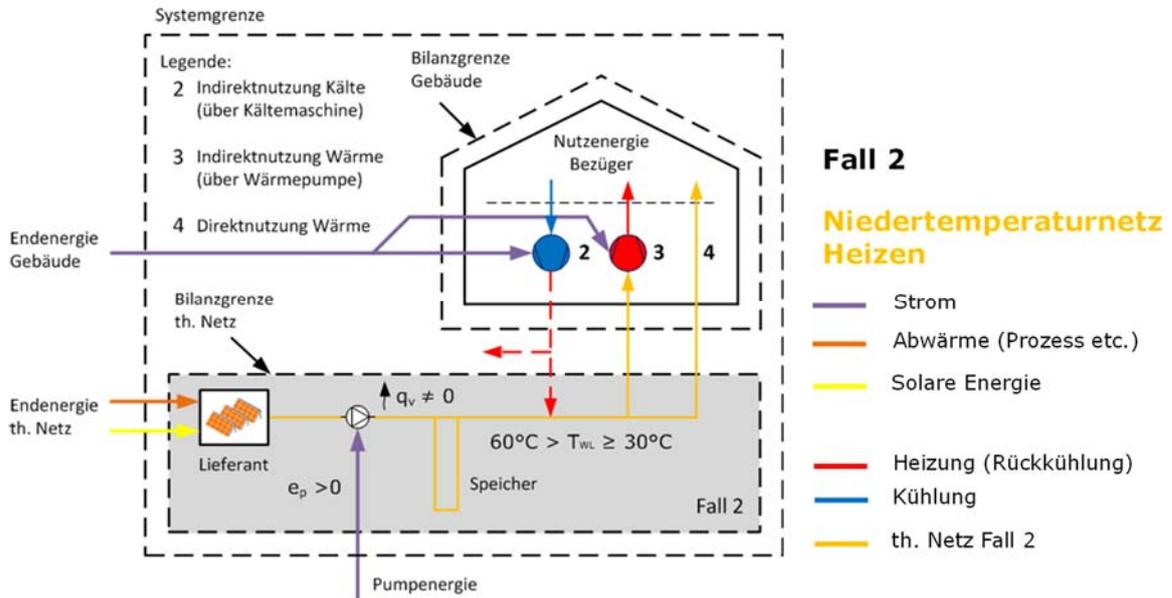
* bezogen auf die an die Bezüger gelieferte, thermische Energie

Die zugeführte Endenergie ist in diesem Fall mit Abwärme, Biomasse und/oder fossilen Energieträgern dargestellt. Selbstverständlich können auch Hochtemperatur-Wärmepumpen eingesetzt werden. In diesem Fall wird Strom und Umweltwärme dem Lieferanten als Endenergie zugeführt und entsprechend bilanziert.

Ebene Gebäude

2. Kältemaschine und Rückkühler
4. Direktnutzung Wärme für Heizen und Warmwasser über Wärmeübertrager

6.2. Fall 2 – Niedertemperaturnetz | Heizen



Ebene Netz

Charakteristik	Typische Grössen	Randbedingungen	
Temperatur WL	$\geq 30^\circ\text{C}$	$30\text{ C} \leq T_{\text{WL}} < 60^\circ\text{C}$	$T_{\text{KL}} = \text{ca. } T_{\text{WL}}/2 + \Delta T [^\circ\text{C}]$
Energieverluste q_v	3–7%*	f (Dämmstärke)	$f(T_{\text{WL}}, T_{\text{KL}})$
Pumpenergie e_p	1,3–2%*	$D_p \leq 250\text{ Pa/m}$	$Q \geq 2'000\text{ MWh/km}_{\text{Trasse}} \cdot a$
Quellen	Prozess-Abwärme, solar	$T_{\text{WL}} < 60^\circ\text{C}$	auch Geothermie
Bemerkungen	Pumpenergie mässig hoch (wenig bedeutend, da um 2%), Wärmeverluste relativ gering (da unter 10%), JAZ Warmwasser indirekt = 5–7, JAZ Kühlung indirekt = 4–7 (Angaben indikativ, können in spezifischen Fällen abweichen)		

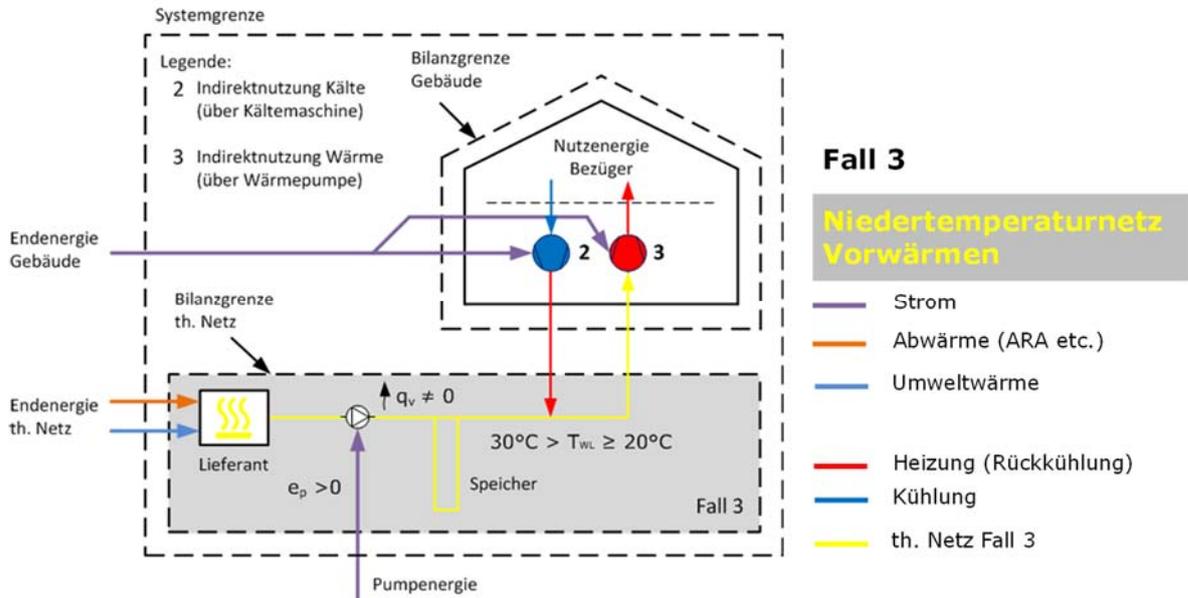
* bezogen auf die an die Bezüger gelieferte, thermische Energie

Die zugeführte Endenergie zum Lieferanten wird als Abwärme dargestellt. Selbstverständlich kann auch Umweltwärme aus Luft, Erdwärme, Grundwasser etc. und Strom dem Lieferanten zugeführt und über Wärmepumpen (Einsatz Strom) aufbereitet sowie bilanziert werden.

Ebene Gebäude

2. Kältemaschine, Rückkühler oder Einspeisung direkt ins Netz
3. Indirektnutzung Wärme für Warmwasser, z.B. mit Wärmepumpen.
4. Direktnutzung Wärme für Heizen über Wärmeübertrager.

6.3. Fall 3 – Niedertemperaturnetz | Vorwärmen



Ebene Netz

Charakteristik	Typische Grössen	Randbedingungen	
Temperatur Netz	< 30°C	$20^\circ\text{C} \leq T_{\text{WL}} < 30^\circ\text{C}$	$T_{\text{KL}} \text{ ca. } (T_{\text{WL}} + AT)/2 \text{ [}^\circ\text{C]}$
Energieverluste q_v	< 3%*	geringe Dämmung	$f(T_{\text{WL}}, T_{\text{KL}})$
Pumpenergie e_p	1,5–2%*	$D_p \leq 250 \text{ Pa/m}$	$Q \geq 2'000 \text{ MWh/km}_{\text{Trasse}} \cdot \text{a}$
Quellen	Abwärme, Umweltwärme < 40°C	$T_{\text{WL}} < 30^\circ\text{C}$	Niedertemperaturwärme
Bemerkungen	Pumpenergie mässig hoch, Wärmeverluste sehr gering (da unter 3%), JAZ Warmwasser: 4–6 JAZ Heizung indirekt = 5–7, JAZ Kühlung indirekt = 5–7 (Angaben indikativ)		

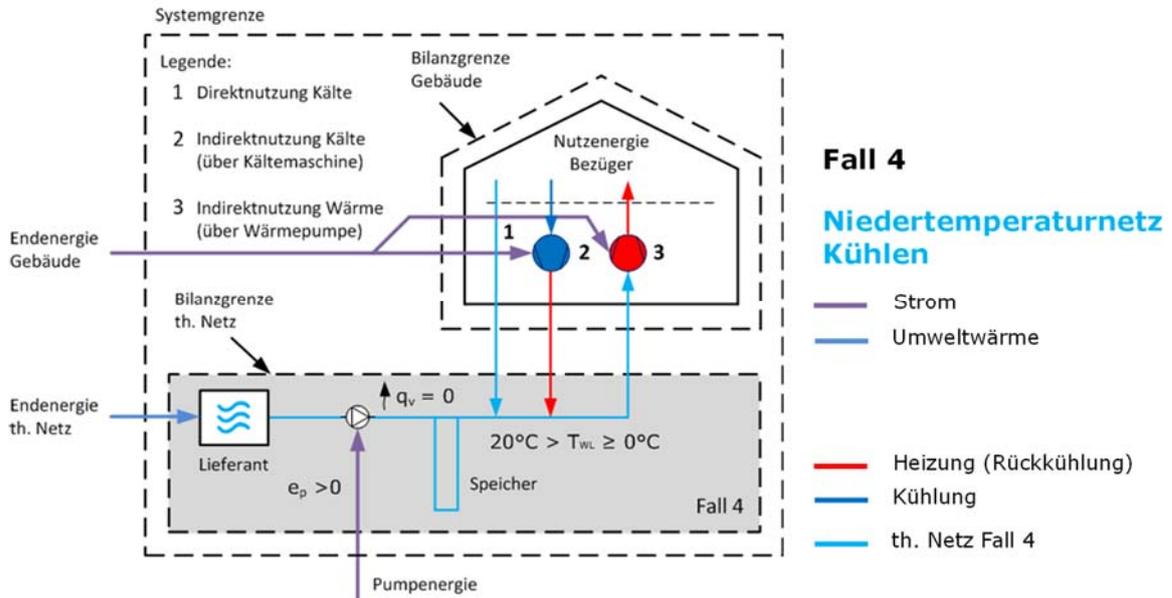
* bezogen auf die an die Bezüger gelieferte, thermische Energie

Die zugeführte Endenergie zum Lieferanten wird als Abwärme dargestellt. Selbstverständlich kann auch Umweltwärme aus Luft, Erdwärme, Grundwasser etc. und Strom dem Lieferanten zugeführt und über Wärmepumpen (Einsatz Strom) aufbereitet sowie bilanziert werden. Die gelieferte Energie an die Bezüger umfasst sowohl die Heiz- wie auch die Kühlenergie.

Ebene Gebäude

2. Direkte Rückkühlung ins Netz
3. Indirektnutzung Wärme für Heizen und Warmwasser, z.B. mit Wärmepumpen.

6.4. Fall 4 – Niedertemperaturnetz | Kühlen



Ebene Netz

Charakteristik	Typische Grössen	Randbedingungen	
Temperatur Netz	< 20°C	0°C ≤ T _{WL} < 20°C	T _{KL} ca. T _{WL} - 6 K
Energieverluste q _v	0%*	Keine Dämmung	Netz für Heizen / Kühlen
Pumpenergie e _p	2–3%*	D _p ≤ 125 Pa/m	Q ≥ 2'000 MWh/km _{Trasse} ·a
Quellen	Umweltwärme, < 25°C	Quelle fungiert als quasiisotherme Masse	
Bemerkungen	Pumpenergie kritisch falls nicht kontrolliert (da über 2%), Wärmeverluste = 0 JAZ Warmwasser 3–5, JAZ Heizung indirekt = 4–7, JAZ Kühlung indirekt = 5–7, JAZ Kühlung direkt = 12–20 (Angaben indikativ)		

* bezogen auf die an die Bezüger gelieferte, thermische Energie

Die zugeführte Endenergie zum Lieferanten wird als Umweltwärme dargestellt. Selbstverständlich kann auch Abwärme zugeführt werden oder das vorhandene Temperaturniveau wird über Wärmepumpen (Einsatz Strom) leicht erhöht. So ist dies entsprechend zu bilanzieren. Die gelieferte Energie an die Bezüger umfasst sowohl die Heiz- wie auch die Kühlenergie.

Ebene Gebäude

1. Direktnutzung Kälte über Wärmeübertrager.
2. Falls noch eine spezielle Aufbereitung erfolgen muss, dann Rückkühlung ins Netz.
3. Indirektnutzung Wärme für Heizen und Warmwasser über Wärmepumpen.

7. Definition Bilanzierung

Wie in Abbildung 21 unten ersichtlich, umfasst die Dienstleistung des Thermischen Netzes vier Komponenten, welche alle in die Bilanzierung einfließen müssen. Untenstehend wird ein Bilanzmodell vorgeschlagen, welches sich stark an [BFE, 2016] orientiert. Die bewertete Endenergie, welche über die «Bilanzgrenze Netz» geführt wird, ist in das Verhältnis zur «gelieferten Energie» zu setzen. Daraus resultiert der Belastungsgrad für die «Bilanzgrenze Gebäude».¹⁰

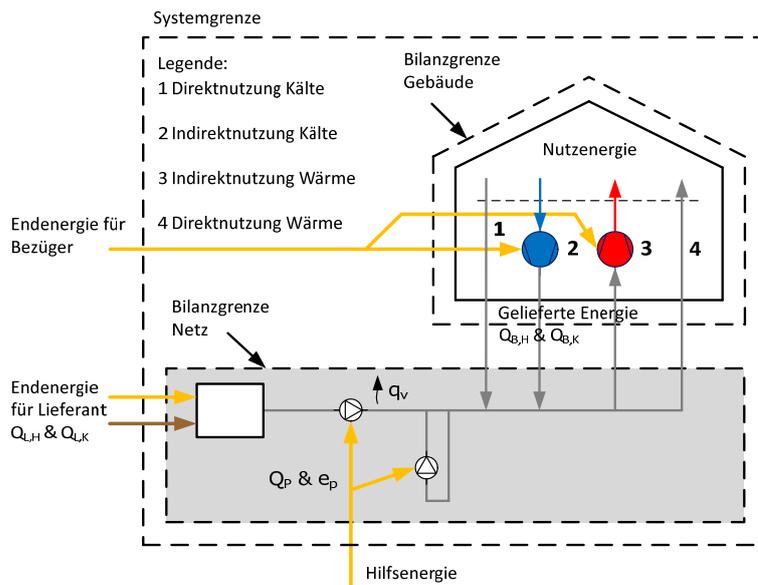


Abbildung 21: Systemabbildung Thermisches Netz für Bilanzierung.

7.1. Bilanzierung Lieferant Heizung

Die gesamte Aufbereitung für die Aufrechterhaltung der Dienstleistung «Heizung» werden über das Jahr bilanziert. Der während der entsprechenden Zeit im Netz anfallende Verlust (Wärmeabfluss) muss durch den Lieferant (Quelle) ebenfalls gedeckt und berücksichtigt werden.

Für die Berechnung des Belastungsgrads werden lediglich die nicht erneuerbaren Anteile der «Endenergie für Lieferant»¹¹ über [BFE, 2016] gewichtet und durch die gesamt an die Bezüger gelieferte Wärmemenge geteilt. Die Abwärme der Bezüger (1 und 2) wird nicht bilanziert, sondern ist indirekt durch die reduzierte Bereitstellung der Endenergie beim Lieferanten berücksichtigt (nutzbare Abwärme für Heizzwecke).

$$BG_H = \frac{\sum_{alle\ i} (Q_{L,H,i} \cdot g_{H,i})}{\sum_{alle\ i} (Q_{B,H,i})}$$

BG_H Belastungsgrad der Dienstleistung Heizung [kWh_{gew}/kWh]

$Q_{L,H}$ Input Energieträger für Bereitstellung Dienstleistung «Heizung» durch Lieferanten [kWh]

g_H entsprechender Gewichtungsfaktor für Energieträger [kWh_{gew}/kWh]

$Q_{B,H}$ Über die Bilanzgrenze Gebäude gelieferte Wärmemenge («Heizung») [kWh]

¹⁰ Das Modell lässt sich mit leichter Abwandlung auch mit anderen Quellen für Gewichts- resp. Bewertungsfaktoren anwenden, vgl. [SIA 380, 2015] oder auch [KBOB, 2016].

¹¹ Die Förderenergie für die Umweltenergie, z.B. Grundwasserpumpen, Ventilatorenergie für Luftkühler etc., müssen ebenfalls in der Bilanz berücksichtigt werden. Die Hilfsenergie für Transport wird separat bilanziert.

7.2. Bilanzierung Lieferant Kühlung

Die gesamte Aufbereitung für die Aufrechterhaltung der Dienstleistung «Kühlung» werden über das Jahr bilanziert. Der während der entsprechenden Zeit im Netz anfallende Verlust (Wärmezufluss) muss durch den Lieferant (Senke) ebenfalls gedeckt und berücksichtigt werden.

Für die Berechnung des Belastungsgrads werden lediglich die nicht erneuerbaren Anteile der «Endenergie für Lieferant»¹² über [BFE, 2016] gewichtet und durch die gesamt an die Bezüger aufgenommene Wärmemenge geteilt. Der Wärmeentzug der Bezüger (3 und 4) wird nicht bilanziert, sondern ist indirekt durch die reduzierte Bereitstellung der Endenergie beim Lieferanten berücksichtigt (nutzbarer Wärmeentzug für Kühlzwecke).

$$BG_K = \frac{\sum_{alle\ i} (Q_{L,K,i} \cdot g_{K,i})}{\sum_{alle\ i} (Q_{B,K,i})}$$

- BG_K Belastungsgrad der Dienstleistung Kühlung [kWh_{gew}/kWh]
 $Q_{L,K}$ Input Energieträger für Bereitstellung Dienstleistung «Kühlung» durch Lieferanten [kWh]
 g_K entsprechender Gewichtungsfaktor für Energieträger [kWh_{gew}/kWh]
 $Q_{B,K}$ Über die Bilanzgrenze Gebäude aufgenommene Wärmemenge («Kühlung») [kWh]

7.3. Bilanzierung von Leitungen und Speichern

Ein «Ausgleich» (Gewinn/Verlust von Leitungen oder Speicher) mindert/unterstützt die Fähigkeit des Thermischen Netzes, die gewünschte Dienstleistung zu erbringen. Dieser «Ausgleich» wird deshalb immer bei der Bereitstellung der gewünschten Dienstleistung berücksichtigt und fliesst in die Bilanz der «Endenergie für Lieferanten» ein.

7.4. Netz-Belastungsgrad durch Transport

Der Netz-Belastungsgrad setzt sich zusammen aus den totalen Aufwänden für den Transport («Hilfsenergie», unabhängig von der Betriebsweise «Heizung» oder «Kühlung») gewichtet mit [BFE, 2016] und dividiert durch die gesamte, gelieferte Energie an die Bezüger, d.h. an die Bezüger gelieferte und von den Bezügern aufgenommene Wärmemenge.

$$NBG_T = \frac{\sum_{alle\ i} (Q_{P,i} \cdot g_{P,i})}{\sum_{alle\ i} (Q_{B,H,i} + Q_{B,K,i})}$$

- NBG_T Belastungsgrad für Aufwand Transport [kWh_{gew}/kWh]
 Q_P Aufwand für Transport, «Hilfsenergie» [kWh]
 g_P entsprechender Gewichtungsfaktor für Aufwand Transport [kWh_{gew}/kWh]
 $Q_{B,H}$ Über die Bilanzgrenze Gebäude gelieferte Wärmemenge («Heizung») [kWh]
 $Q_{B,K}$ Über die Bilanzgrenze Gebäude aufgenommene Wärmemenge («Kühlung») [kWh]

¹² Die Förderenergie für die Umweltenergie, z.B. Grundwasserpumpen, Ventilatorenergie für Luftkühler, etc., müssen ebenfalls in der Bilanz berücksichtigt werden. Ohne Hilfsenergie Transportenergie.

7.5. Bilanzierung Bezüger (Bilanzgrenze Gebäude)

Für die Bilanzgrenze zwischen dem Thermischen Netz als Erbringer der Dienstleistung und dem Bezüger sind oben in Abbildung 21 die verschiedenen Schnittstellen dargelegt.

Damit bleibt einerseits für den Bezüger in der Bilanz die Gewichtung der vom Netz bezogenen Energie (s.u.). Wird nach der «Bilanzgrenze Netz» gebäudeintern nochmals eine Umwandlung (Prozess) vollzogen, so ist andererseits diese in der Gesamtbilanz des Gebäudes (Bezüger) entsprechend zu berücksichtigen. Folgende Bilanzierung kann für das Gebäude (Bezüger) erfolgen¹³:

- **Heizenergie** wird mit BG_H (Belastungsgrad der Dienstleistung Heizung) sowie NBG_T (Belastungsgrad für Aufwand Transport) gemäss den Einstufungen von [BFE, 2016] gewichtet.
- **Kühlenergie** wird mit BG_K (Belastungsgrad der Dienstleistung Kühlung) sowie NBG_T (Belastungsgrad für Aufwand Transport) gemäss den Einstufungen von [BFE, 2016] gewichtet.

$$E_B = Q_{B,H} \cdot (BG_H + NBG_T) + Q_{B,K} \cdot (BG_K + NBG_T)$$

E_B	Gewichtete gelieferte Energie [kWh_{gew}]
$Q_{B,H}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude gelieferte Wärmemenge («Heizung») [kWh]
BG_H	Belastungsgrad der Dienstleistung Heizung [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]
NBG_T	Belastungsgrad für Aufwand Transport [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]
$Q_{B,K}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude aufgenommene Wärmemenge («Kühlung») [kWh]
BG_K	Belastungsgrad der Dienstleistung Kühlung [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]

Diese Betrachtung kann durch die Differenzierung nach direkter und indirekter Nutzung noch weiter verfeinert werden. Hier beschrieben wird der übliche Ansatz mit den nationalen Gewichtungsfaktoren [BFE, 2016] wie dieser von Minergie verwendet wird und in [MuKE, 2014] ebenfalls übernommen wurde.

$$E_{\text{nat}} = Q_{B,K,1} \cdot BG_K + Q_{B,K,2} \cdot BG_K \cdot \frac{g_K}{JAZ_K} + Q_{B,H,3} \cdot BG_H \cdot \frac{g_H}{JAZ_H} + Q_{B,H,4} \cdot BG_H + NBG_T \cdot (Q_{B,K,1} + Q_{B,K,2} + Q_{B,H,3} + Q_{B,H,4})$$

E_{nat}	Mit nationalen Gewichtungsfaktoren gewichtete Endenergie [kWh_{gew}]
$Q_{B,K,1}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude aufgenommene Wärmemenge («Kühlung») [kWh], direkt (Energistrom 1)
$Q_{B,K,2}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude aufgenommene Wärmemenge («Kühlung») [kWh], indirekt (Energistrom 2)
$Q_{B,H,3}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude gelieferte Wärmemenge («Heizung») [kWh], indirekt genutzt (Energistrom 3)
$Q_{B,H,4}$	Über die Bilanzgrenze Gebäude gelieferte Wärmemenge («Heizung») [kWh], direkt genutzt (Energistrom 4)
BG_H	Belastungsgrad der Dienstleistung Heizung [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]
BG_K	Belastungsgrad der Dienstleistung Kühlung [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]
JAZ_i	Jahresarbeitszahl des Prozesses (H: Wärmepumpe; K: Kältemaschine) [$\text{kWh}_{\text{Nutz}}/\text{kWh}_{\text{End}}$]
g_i	Gewichtungsfaktor des Prozesses, in der Regel Elektrizität [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]
NBG_T	Belastungsgrad für Aufwand Transport [$\text{kWh}_{\text{gew}}/\text{kWh}$]

¹³ Nutzbare Abwärme für Heizzwecke und nutzbarer Wärmeentzug für Kühlzwecke werden indirekt in der Bilanz Endenergie Lieferant berücksichtigt.

8. Fazit

Das vorliegende Grundlagenpapier stellt den Versuch dar, verschiedene Meinungen und Positionen zu konsolidieren und eine Methode der Begrifflichkeit sowie Begriffe als solche vorzuschlagen. Dabei wurde die Topologie, Betriebsweise, Wirkung der einzelnen Elemente eines Thermischen Netzes sowie Bedürfnisse der Agenten eines Thermischen Netzes berücksichtigt. Es werden ferner Systemgrenzen definiert und die Thermischen Netze auf der Basis ihrer Betriebstemperaturen typisiert. In einer Zusammenfassung werden die verschiedenen Fälle (Hochtemperaturnetz, Niedertemperaturnetz | Heizen, Niedertemperaturnetz | Vorwärmen und Niedertemperaturnetz | Kühlen) mit ihren typischen Kennzahlen und Eigenschaften zusammengestellt.

Zum Abschluss wird in Analogie zu [Minergie, 2013] eine Bilanzierung skizziert, welche auch für die Betrachtungen nach [MuKEn, 2014] von Bedeutung ist. Diese basiert auf dem Ansatz, dass das Thermische Netz als Dienstleister betrachtet wird, welcher die Verbindung zwischen Lieferant und Bezüger herstellt. Damit wird den beiden Bilanzgrenzen (Netz und Gebäude) Rechnung getragen.

Aus der Analyse und dem Literaturstudium (Schweiz und Europa) resultiert, dass die Typisierung und die «Benennung» von Thermischen Netzen sinnvoll auf der Basis der Betriebstemperatur des Leiters mit der höheren Temperatur, dem Warmleiter, erfolgt (vgl. Abbildung 22 unten).

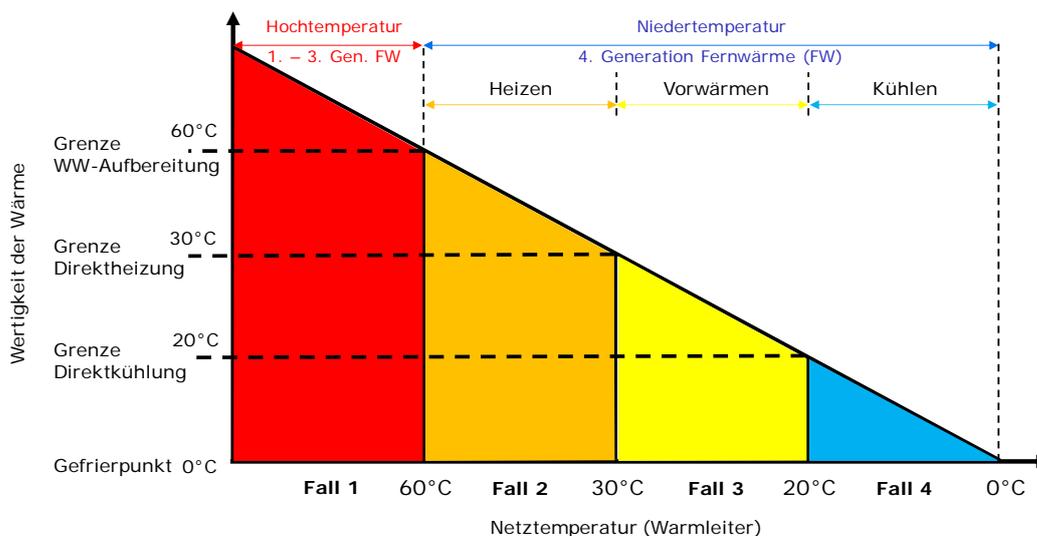


Abbildung 22: Übersicht über die verschiedenen Netzbezeichnungen aufgrund der Warmleiter-Temperatur. Die Temperaturangaben sind mit einer Abweichung von ± 5 K zu verstehen.

Für alle vier Fälle werden typisierte Schemata geliefert und die im Gebäude (Bezüger) noch notwendigen Technologien für die Energiebereitstellung bezeichnet sowie im Anschluss typische Kennzahlen geliefert (vgl. oben Kapitel 6).

9. Literaturverzeichnis

- [MuKEEn, 2014] Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK): *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEEn)*, verabschiedet 09. Januar 2015
- [MuKEEn, 2008] Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK): *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEEn)*, verabschiedet 04. April 2008
- [BFE, 2016] Vonlanthen B, Büchel D: *Nationale Gewichtungsfaktoren für die Beurteilung von Gebäuden*, Hrsg: EnDK und BFE, Bern, 4. Februar 2016
- [BFE, 2009] Engler S, Kaufmann M: *Gebäudeenergieausweis der Kantone – Nationale Gewichtungsfaktoren*, Hrsg: EnDK und BFE, Chur/Bern, 1. Mai 2009
- [Minergie, 2013] Minergie Agentur Bau: *Anwendungshilfe MINERGIE® und MINERGIE-P®*, Muttenz, 2013
- [Minergie, 2017] Minergie Geschäftsstelle: *Anwendungshilfe zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®* – Version 2017.5, Basel, 8. Januar 2018
- [Sulzer, 2014] Sulzer M, Hangartner D: *Kalte Fernwärme – Grundlagen-/Thesenpapier*, Hochschule Luzern, Horw, 2014
- [Scheller, 2014] Scheller H et al: *Fernwärmeversorgung*, in: Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bern, 1980
- [Thalmann, 2017] Thalmann S et al., *Planungshandbuch Fernwärme*, Bundesamt für Energie, Bern 2017, www.qmfernwaerme.ch
- [BFE, 2014] Bundesamt für Energie: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2013, Bern, 2014
- [VFS, 2017] Verband Fernwärme Schweiz (VFS), online www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch/allgemeine-Fragen/Was-ist-Fernwaerme.php, besucht am 19. Januar 2017 (geprüft am 01.03.2018)
- [AGFW, 2017] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., online www.agfw.de/recht/avbfernwaermev/waermecontracting-im-mietwohnungssektor/2-rechtliche-einordnung-des-waermelieferungsvertrages, besucht am 19. Januar 2017 (geprüft 01.03.2018)
- [EN-101, 2017] Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK): *Vollzugshilfe EN-101*, Juni 2017
- [BGH, 1990] Bundesgerichtshof BGH VIII ZR 229/88: *Begriff der Fernwärme*, Urteil vom 25.10.1989, NJW Heft 18/1990, Seite 1181
- [Isoplus, 2017] Isoplus, online www.isoplus.at/tags/nah-fernwaerme/unterscheidung-nah-fernwaerme, besucht am 19. Januar 2017 (geprüft 01.03.2018)
- [BFS, 2017] BFS, 2017: EGID, online www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/register/personregister/registerharmonisierung/minimaler-inhalt-einwohnerregister/egid-ewid.html, besucht am 20. Januar 2017 (geprüft 01.03.2018)
- [Glück, 1985] Glück B: *Heizwassernetze für Wohn- und Industriegebiete*, Berlin, 1984 (online <http://berndglueck.de/heizwassernetze.php>, besucht am 01.03.2018)
- [Frederiksen, 2013] Frederiksen S, Werner S: *District Heating and Cooling*, Studentlitteratur, Lund, 2013
- [Dötsch, 1998] Dötsch C. et al, *Leitfaden Nahwärme*, Fraunhofer Umsicht, Oberhausen, 1998

- [SIA 380, 2015] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*, Zürich, 2015
- [Ködel, 2017] Ködel J.: *Skript nachhaltige Industrie- und Fernheizung*, Horw, 2017
- [BAG, 2009] Bundesamt für Gesundheit (BAG): *Legionellen und Legionellose*, Bern, März 2009
- [SVGW, 2001] Schweizer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW): *Merkblatt «Legionellen in Trinkwasserinstallationen – Was muss beachtet werden»*, Zürich, Juli 2001
- [prSIA 385/1, 2016] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Vernehmlassungsentwurf «SIA 385/1: Anlagen für Trinkwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen»*, Zürich, Juni 2016
- [SIA 382/1, 2014] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*, Zürich, 2014
- [SIA 382/1, 2007] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*, Zürich, 2007
- [SIA V382/1, 1992] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Technische Anforderungen an Lüftungstechnische Anlagen (Empfehlung)*, Zürich, 1992
- [SIA V382/2, 1992] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): *Kühlleistungsbedarf von Gebäuden (Empfehlung)*, Zürich, 1992
- [SWKI 2003-3, 2005] Schweizer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI): *Richtlinie «Rückkühlung»*, Schönbühl, 2005
- [EC, 2011] European Commission, Directorate General for Energy: *Energy 2020 – A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011
- [4DH, 2017] 4th Generation District Heating, online www.4dh.dk/about-4dh besucht am 20. Januar 2017 (geprüft am 01.03.2018)
- [Lund, 2014] Lund H et al: *4th Generation District Heating (4GDH) – Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*, in: Energy 68 (2014), 1–11
- [A+W, 2015] Amstein+Walthert: *Anergienetze im Betrieb*, in: zB, No. 66, Zürich, September 2016
- [KBOB, 2016] KBOB, eco-bau, IPB: *Ökobilanzdaten im Baubereich – Empfehlung 2009/2016*, KBOB, 2016
(online z.B.: <https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=17&ID=46> oder https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html, besucht am 01. März 2018)