



Umsetzungsprojekt: Integrale Planung und Steuerung der nachhaltigen Modernisierung des Gebäudebestands und der Energieversorgung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode

Bericht

Untersuchungen zur "kalten" Nahwärme

Der Bericht wurde erstellt von /
Das Projekt wurde bearbeitet von:

Datenstand: 01.08.2010

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Dr.-Ing. Kati Jagnow, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel
B. Eng. Michael Krendel, Wolfenbüttel
B. Eng. Rene Brandes, Wolfenbüttel

Inhalt

1	Überblick	3
1.1	Aufgaben- und Problemstellung.....	3
1.2	Wichtige Erkenntnisse	5
2	Allgemeine Vorgaben	6
2.1	Untersuchtes Gebiet	6
2.2	Vorgaben und Datenbeschaffung.....	6
2.3	Technische Beschreibung der Verbraucher	8
2.3.1	Heizung	8
2.3.2	Warmwasserbereitung	8
2.4	Außen- Erdreich- und Kellertemperatur	10
2.5	Variantenbeschreibungen.....	10
3	Leistungs- und Temperaturberechnung	11
3.1	Leistung für Heizung.....	11
3.2	Leistung für Warmwasser.....	11
3.3	Betriebsverhalten der Warmwasserbereitung	12
3.4	Vorlauftemperatur	17
3.5	Rücklauftemperatur	18
3.5.1	Rücklauftemperatur für Heizung	18
3.5.2	Rücklauftemperatur für Warmwasser	21
3.5.3	Mittlere Rücklauftemperatur im Netz.....	24
4	Wirtschaftlichkeit "kalter Nahwärme"	26
4.1	Leitungslängen und Dämmstandard des Netzes	26
4.2	Berechnung der Netzverluste	26
4.3	Mögliche Energie- und Kostenersparnis im Netz	28
4.4	Notwendige Nachheizung in den Gebäuden.....	29
4.5	Fazit zur Wirtschaftlichkeit bei reiner Stromnachheizung	31
4.6	Solarthermie und "kalte Nahwärme"	31
5	Fazit.....	35
6	Anhang	37
6.1	Quellen	37

1 Überblick

1.1 Aufgaben- und Problemstellung

Als Vorarbeit zur Erstellung des Gesamtenergiekonzeptes für Neuerkerode soll geklärt werden, inwieweit es möglich ist, die heutigen Nahwärmeleitungen mit verminderten Temperaturen zu betreiben, um so Energiekosten zu sparen. Man spricht bei solchen Netzen - zumindest im Sommer – von "kalter Nahwärme".

Eine Regelung der Nahwärmetemperatur wäre aus Sicht der Raumheizung der Gebäude sinnvoll und machbar. Allerdings werden die Netztemperaturen heute deshalb so hoch gewählt und nicht bzw. kaum heruntergeregelt, weil in den Gebäuden damit Trinkwarmwasser (mit 65°C) bereitet wird. Die aufgrund verminderter Netztemperaturen ggf. nicht oder nicht ausreichend mögliche Trinkwarmwasserbereitung aus der Nahwärme könnte durch Einsatz von z.B. elektrischer Nachheizung ergänzt werden. Alternativ bzw. ergänzend kann auch Solarthermie verwendet werden.

In diesem Bericht werden daher zwei generelle Fragen eines Systems "kalter Nahwärme" beantwortet:

1. Mit welcher Energiemenge für Nachheizung muss bei der Trinkwarmwasserbereitung gerechnet werden? Wieviel Energie lässt sich mit verminderter Netztemperatur im Rohrnetz sparen? Rechnet sich eine elektrische Nachheizung als Ersatzwärmelieferant allein aus den vermiedenen Nahwärmeverlusten heraus?
2. Kann in diesem System eine Solarthermie sinnvoll eingebunden werden?

Diese Fragen werden beispielhaft anhand des westlichen Teils des Nahwärmestranges "Zentralgebiet" (Krankenhaus bis Kegelbahn) beantwortet. Außerdem werden ein heutiges (85/70°C) und ein künftig vermindertes (60/40°C) Temperaturniveau in der Nahwärme untersucht.

Teilaspekte des Berichtes sind:

- die Berechnung der monatlichen Vorlauftemperaturen bei "kalter Nahwärme",

Dies ist unproblematisch lösbar. Die Vorlauftemperatur richtet sich allein nach dem Heizwärmebedarf der Gebäude. Die Temperatur selbst wird witterungsabhängig anhand der üblichen Heizkurvengleichung aus der Außentemperatur bestimmt. Es wird unterstellt, dass die Vorlauftemperatur, welche heute innerhalb des Gebäudes durch die dortige Regelung eingestellt wird, bei einer "kalten Nahwärme" bereits im Nahwärmenetz bereitgestellt wird.

- die Bestimmung des Betriebsverhaltens der heute vorhandenen Warmwasserbereiter bei veränderten Vorlauftemperaturen mit Ermittlung der monatlich an das Trinkwasser übertragbaren Wärmeleistung,

Da für die Warmwasserbereiter überhaupt keine Produktdaten verfügbar sind, ist das Wärmeübertragungsverhalten der heute installierten Warmwasserbereiter unbekannt. Es kann daher nur anhand von thermodynamischen Grundregeln bestimmt werden, was sich bei der Bearbeitung als schwierig erwiesen hat. Ziel ist die Ermittlung der Wärmeleistung bei anderen als den heutigen Netztemperaturen.

- die Bestimmung einer mittleren Rücklauftemperatur in der Nahwärme als Mitteltemperatur für Heizung und der Trinkwarmwasserbereitung,

Die Rücklauftemperatur im Nahwärmenetz ergibt sich als Mittelwert der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Sie ist maßgeblich für die Netzverluste der Rücklaufleitung. Die Ermittlung kann näherungsweise erfolgen, wenn die Leistungsabnahme der Gebäude bekannt ist. Der monatliche Heizleistungsbedarf wird dafür geschätzt, die über Nahwärme mögliche Trinkwarmwasservorwärmung resultiert aus dem Aufgabenpunkt zuvor.

- die Bestimmung der monatlichen Netzverluste der Nahwärmeleitungen bei verminderten Netztemperaturen,

Es wird dabei zurückgegriffen auf die bekannten Längen der bereits heute in Neuerkerode verlegten Leitungen, deren Dämmstandard und die künftig niedrigeren Netztemperaturen im Vor- und Rücklauf. Die Berechnung erfolgt wie alle vorherige auch in monatlicher Auflösung.

- die Berechnung der monatlich notwendigen (elektrischen) Nachheizung wegen fehlender Nahwärmelieferung,

Dieser Punkt hängt unmittelbar mit der Frage der möglichen Wärmenutzung der Nahwärme zusammen. Wenn die Vorlauftemperatur nicht mehr hoch genug ist, reicht die "kalte Nahwärme" nur noch zur Vorwärmung von Trinkwarmwasser. Den Rest muss eine andere Energiequelle liefern. Im – aus Sicht der Investitionskosten – günstigsten Fall ist dies eine Nachheizung mit einem Elektroheizstab.

- eine Wirtschaftlichkeitsbewertung.

Für die Solarthermie werden technische Fragestellungen einer Einbindung beleuchtet.

Die Grunddaten für die Gebäude entstammen den Gebäudeberichten des Grundlagenprojektes [1]. Sofern darüber hinaus eine bessere Datenlage vorhanden war, wurde diese selbstverständlich verwendet. Außerdem werden die Vorüberlegungen zur Solarthermie [4] weiter verfolgt.

Die Erkenntnisse dieses Berichtes ergeben sich jedoch hauptsächlich in Weiterverwendung zweier Bachelorarbeiten an der Ostfalia Hochschule in Wolfenbüttel. Es handelt sich um die Arbeiten von Rene Brandes [2] und Michael Krendel [3]. Daher weist dieser Bericht eine große technische Detailtiefe auf, die für spätere Überlegungen hinsichtlich der Nahwärme bzw. für die Warmwasserbereitung im Allgemeinen weiter genutzt werden können.

1.2 Wichtige Erkenntnisse

Da die Untersuchungen hinsichtlich des Betriebsverhaltens von Wärmeübertragern bzw. der Trinkwarmwasserbereitung sehr umfangreich und technisch detailreich sind, sollen die wichtigsten Ergebnisse zuvor genannt werden:

- die "kalte Nahwärme" bewirkt wegen der an die Außentemperatur angepassten, zu geringen Vorlauftemperaturen, dass die in den Gebäuden benötigte Warmwasserleistung nicht übertragen werden kann; vorausgesetzt, dass das Netz witterungsgeführt mit einer Auslegungstemperatur von 85/70°C betrieben wird, muss bereits in den kältesten Monaten nachgeheizt werden
- etwa 35 % des Trinkwarmwasserbedarfs können aus der Nahwärme im Sinne einer Vorwärmung gedeckt werden, der Rest muss nachgeheizt werden (der Anteil der Nachheizung steigt, wenn die Netztemperaturen abgesenkt werden)
- das einzige Nachheizsystem, welches aus Sicht der Investitionskosten und ohne Totalumbau der vorhandenen Warmwasserbereitung kostengünstig nachrüsten ließe, wäre eine elektrische Nachheizung
- die elektrische Nachheizung ist jedoch wegen der zu hohen Betriebskosten unwirtschaftlich, auch wenn die verminderten Nahwärmeverluste an das Erdreich (etwa ein Drittel so hoch wie heute) gegengerechnet werden

Die Einbindung der Solarthermie zusammen mit der "kalten Nahwärme" wurde nicht detailliert untersucht. Jedoch wurden optimale Betriebsbedingungen zusammengestellt bzw. auch Punkte, in denen beide Systeme sich ausschließen. Wichtige Erkenntnisse:

- Solarthermie und "kalte Nahwärme" haben gegenläufige Betriebsoptima; die Solarthermie ist im Winter leistungsstärker, die Solarthermie im Sommer
- beide Systeme sind jedoch Vorwärmssysteme, die eine lokale Nacherwärmung benötigen, welche entweder Strom oder ein anderes lokales Erzeugungssystem sein kann
- unter Weiterverwendung der heutigen Warmwasserbereiter und einer "kalten Nahwärme" mit 85/70°C Auslegung kann von jeweils 1/3 Deckungsrate für die drei Erzeuger (Solar, Nahwärme, Strom) ausgegangen werden
- dies ist nicht wirtschaftlich bzw. besser ausgedrückt: eine Solarthermie allein ohne die "kalte Nahwärme" wäre wirtschaftlicher

Daher gilt: die "kalte Nahwärme" egal ob mit oder ohne Solarthermie führt – da der Trinkwarmwasserbedarf in Neuerkerode hoch ist und sein Anteil künftig noch zunehmen wird – zu nicht wirtschaftlich optimalen Lösungen. Die lokale Nachheizung ist in ihrem Anteil zu hoch.

Das Nachheizsystem wird – sofern nicht Strom verwendet wird – sondern lokale Wärmeerzeuger (Holz, Öl, Wärmepumpe) sehr teuer, weil es eine große Leistung aufweisen muss. Prinzipiell wird es fast so teuer wie eine komplett autarke Versorgung. Es ist dann wirtschaftlicher, ganz auf die Nahwärme und ihre Netzverluste zu verzichten. Daher wird dieser Ansatz ("entweder – oder") im Energiekonzept weiterverfolgt.

Ob dann lokal die Solarthermie eingebunden wird, ist eine Frage der Wirtschaftlichkeit der Solarthermie selbst.

2 Allgemeine Vorgaben

In diesem Kapitel werden die Grunddaten der untersuchten Gebäude und Netzabschnitte zusammengestellt.

Es handelt sich bei den Daten für die Gebäude um die Angaben zu Leistungs- und Energiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung. Außerdem werden weitere Annahmen hinsichtlich des monatlichen Verlaufs von Temperaturen und Bedarfswerten erläutert. Da die Problematik "kalter Nahwärme" von der Funktion der Wärmeübergabestationen und Warmwasserbereiter in den Gebäuden abhängt, werden diese ebenso vorgestellt.

2.1 Untersuchtes Gebiet

Die Potentiale "kalter Nahwärme" könnten prinzipiell in ganz Neuerkerode untersucht werden. Da die dazu notwendigen Berechnungen recht umfangreich sind, beschränkt sich dieser Bericht auf einen Teil der Liegenschaft: den westlichen Teil des Nahwärmestranges "Zentralgebiet".

Dieser Teilstrang enthält verschiedene in Neuerkerode übliche Verbraucher: Wohnnutzung, Pflegenutzung verschiedener Größe, Werkstätten, den Kindergarten und die Kegelbahn als Nichtwohnnutzer.

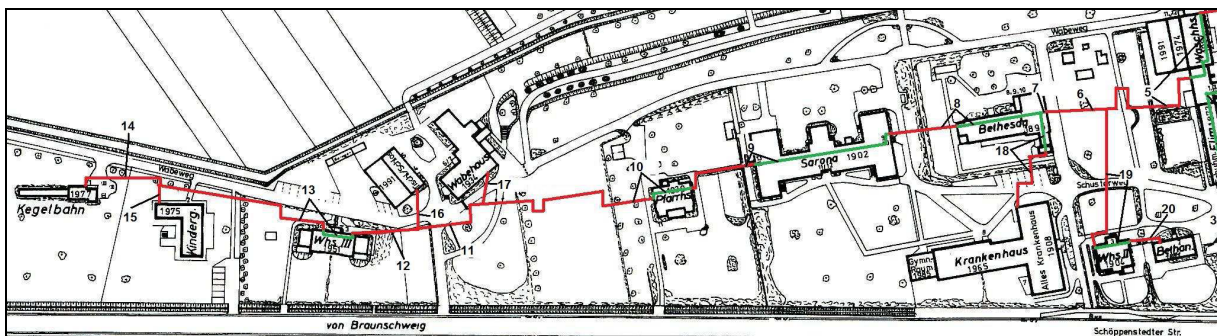


Bild 1 Nahwärmenetzstrang "Zentralgebiet"

Das Nahwärmenetz verläuft einerseits durch den Erdboden und andererseits durch die einzelnen Gebäude. Bild 1 zeigt den gesamten Strang „Zentralgebiet“ mit den Nahwärmenetzleitungen, dessen einzelne Teilstücke zum besseren Verständnis durchnummeriert sind. Alle Leitungen, die im Erdboden verlaufen, sind rot und diejenigen, die in Gebäuden installiert sind, grün gekennzeichnet.

Untersucht werden die Teilstrecken 5 bis 20 mit den daran angeschlossenen 11 Gebäuden (Wohnhaus 2, Bethanien, Krankenhaus, Bethesda, Sarona, Pfarrhaus, Wabehaus, Tischlerei/Schlosserei, Wabeweg 3 / 3a, Kindergarten und Kegelbahn)

2.2 Vorgaben und Datenbeschaffung

Aus den vorhanden anderen Teilberichten werden diverse Daten übernommen. Die wichtigsten Datenquellen sind nachfolgend zusammengestellt.

Leistungsprofil Heizung und Warmwasser

Für alle Gebäude in dem Teilgebiet Neuerkerodes werden Grunddaten zur Heizung und zum Warmwasserbedarf benötigt. Es handelt sich um die Jahresenergiemengen sowie das monatliche Leistungsabnahmeprofil. Es wird in der Regel zurückgegriffen auf die "Energieanalyse aus dem Verbrauch" des Grundlagenprojektes [1], welches für alle Gebäude vorliegt.

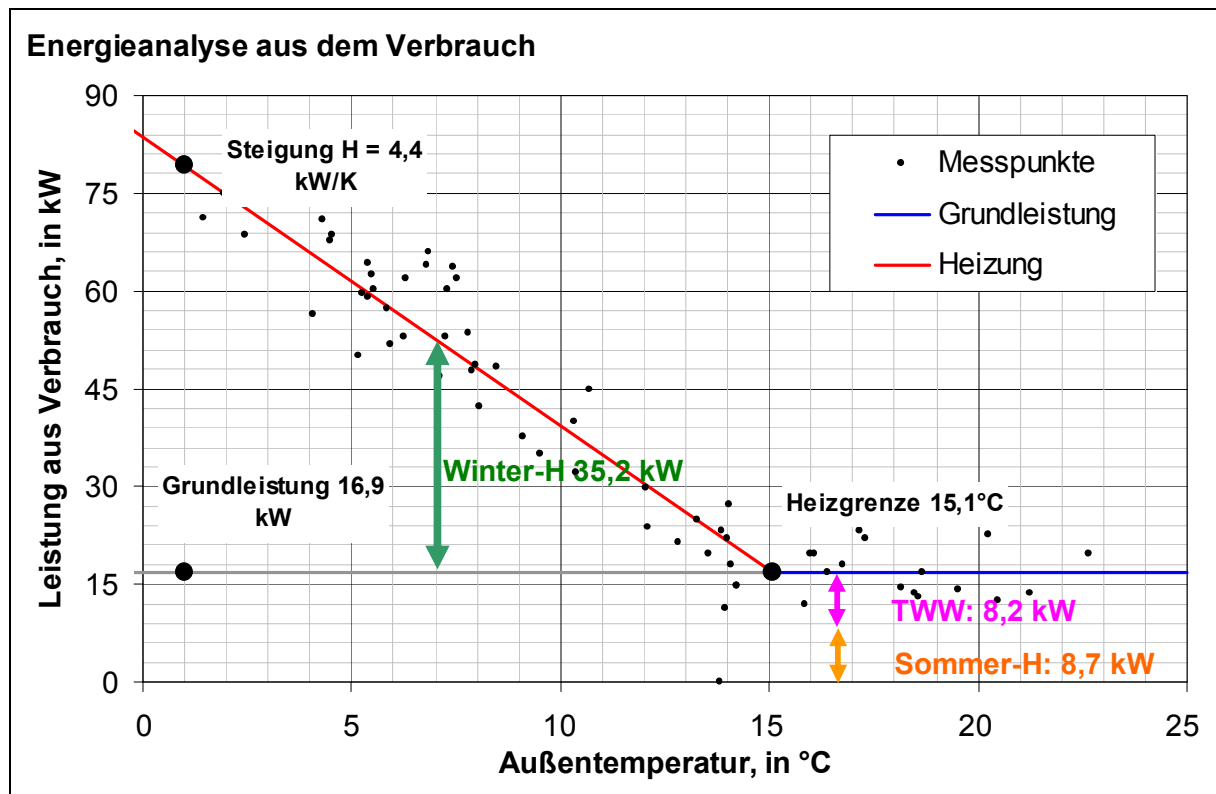


Bild 2 Energieanalyse aus dem Verbrauch für das Krankenhaus

Aus dieser Grafik kann entnommen werden, wo in etwa der Umschlagpunkt zwischen Heiz- und Sommerbetrieb liegt. Dies ist die Heizgrenze, im Krankenhaus 15,1°C. Außerdem können dem Bild drei Leistungen entnommen werden.

- Winterheizungsprofil (grüner Pfeil): es gibt an welche Heizleistung bei jeder beliebigen Außentemperatur benötigt wird. Beispiel: bei +7°C Außentemperatur werden für die Heizung etwa 35 kW mittlere Leistung benötigt.
- Sommerleistungsprofil (oranger Pfeil): ein Teil des heutigen Wärmeverbrauchs entfällt unnötigerweise auf Sommerbeheizung, welche künftig nicht mehr vorhanden sein soll [5]. Der Anteil liegt beim Krankenhaus bei 8,7 kW. Dieser Anteil wird nicht weiter betrachtet, weil davon ausgegangen wird, er ist künftig nicht mehr vorhanden
- Trinkwasserprofil (pinkfarbener Pfeil): der Rest des in der Grafik erkennbaren Leistungssockels entfällt tatsächlich auf die Trinkwasserbereitung. Im Krankenhaus 8,7 kW [5]. Dieser Anteil wird in den weiteren Betrachtungen benötigt.

Aus den Leistungen für Winterheizung und Trinkwarmwasserbereitung ergeben sich im Folgenden die Netztemperaturen in der Nahwärme.

Verluste und Nutzen Trinkwarmwasser

Weiterhin wird davon vereinfacht davon ausgegangen, dass sich die Leistung für die Trinkwarmwasserbereitung auf 61 % Wasserzapfung und 39 % Zirkulationsverluste aufteilt. Dieser Ansatz wird für alle Gebäude gleich gewählt, obwohl detaillierte Daten bekannt sind. Es handelt sich um den Mittelwert für die Gebäude in Neuerkerode [5].

Preise und Preissteigerungen für Energie

Für die Berechnung von Energiekosten, Preissteigerungen etc. gelten die Vorgaben des aktualisierten Berichtes über die Mediengrunddaten [6].

2.3 Technische Beschreibung der Verbraucher

Die Netzurücklauftemperatur in der Nahwärme hängt von den Rücklauftemperaturen im Gebäude ab. Es gibt innerhalb des Gebäudes 2 Hauptabnehmer: die Heizung und die Trinkwarmwasserbereitung mit je verschiedenen Rücklauftemperaturen. Die in den Gebäuden installierten Übergabesysteme und deren Funktion bzw. energetische Beschreibung werden nachfolgend erläutert.

2.3.1 Heizung

Hinsichtlich der Heizung sind alle Gebäude in dem westlichen Zentralgebiet gleich ausgestattet: es sind direkte Übergabestationen installiert. Es besteht über Dreiwegeventile bzw. Durchgangsventile die Möglichkeit, die Vorlauftemperatur im Gebäude ($t_{V, \text{gebäude}}$) durch Beimischung von Rücklaufwasser unter die Nahwärmevorlauftemperatur ($t_{V, \text{nah}}$) zu senken. Die Rücklauftemperatur für die Nahwärme ist die des Gebäudes ($t_{R, \text{gebäude}} = t_{R, \text{nah}}$).

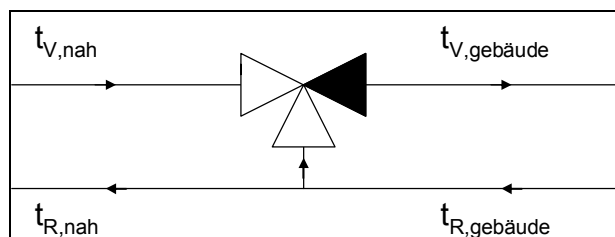


Bild 3 Direkte Heizungsübergabe, schematisch

Es wird empfohlen, bei einem Umbau des Gebäudes auf eine Übergabestation mit Wärmeübertrager umzustellen (indirekte Übergabe).

2.3.2 Warmwasserbereitung

Für die Warmwasserbereitung sind verschiedene Systeme installiert, siehe Tabelle 1.

Gebäude	TWW-System	Hersteller, Fabrikat
Kegelbahn	Kein TWW	-
Kindergarten	Elektrisch	-
Tischlerei / Schlosserei	Elektrisch	-
Bethanien	Elektrisch	-
Wabeweg 3, 3a	Durchflusssystem	Cetetherm, Cetecoil R 2150 M
Sarona	Durchflusssystem	Cetetherm, Cetecoil R 2150 M
Wabehaus	Speicherladesystem	Cetetherm
Bethesda	Speicherladesystem	Cetetherm, Cetecell
Krankenhaus	Speicherladesystem	Cetetherm, Cetecoil R 3300 H
Pfarrhaus	Speichersystem	Viessmann, VertiCell
Wohnhaus 2	Speichersystem	Buderus

Tabelle 1 Systeme der TWW-Erwärmung

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, gibt es in der Kegelbahn keine TWW-Erwärmung. In den Gebäuden Kindergarten, Bethanien und Tischlerei/Schlosserei wird das Trinkwarmwasser elektrisch bereitet. Diese werden jedoch nicht weiter betrachtet, d.h. sie werden nicht geändert.

Für diesen Bericht interessieren jeweils nur die zentralen System und die Frage, welche Leistung diese bei geänderten Nahwärmemperaturen liefern können. Grundsätzlich lässt sich die TWW-Erwärmung in drei Systeme gliedern:

- Durchflusssystem
- Speicherladesystem
- Speichersystem

Fehlende Angaben über das Wärmeübertrager-Fabrikat bei den Gebäuden Wabehaus und Wohnhaus 2 lassen sich auf Unleserlichkeiten der fotografierten Typenschilder zurückführen. Da aber angeforderte Datenblätter der übrigen Wärmeübertrager und Warmwasserspeicher auch keinen Aufschluss über deren Leistung geben, wird dies nicht weiter beachtet.

Alle zentralen Trinkwassersysteme werden – da technische Daten der Hersteller fehlen - anhand gesicherter Kenntnisse der Strömungslehre als Wärmeübertrager behandelt. Das Wärmeübertragungsverhalten wird also nicht Katalogen entnommen, sondern physikalisch berechnet.

Vorerst folgt ein Überblick über die hydraulische Einbindung der Wärmeübertrager und die bereits gewonnenen Erkenntnisse.

Speichersystem

Die Gebäude Pfarrhaus und Wohnhaus 2 sind mit einem Speichersystem ausgestattet, dessen prinzipielle hydraulische Einbindung die folgende Skizze zeigt.

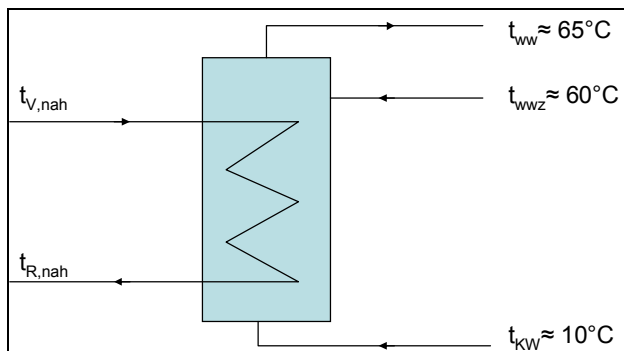


Bild 4 Speichersystem

Durchflusssystem

Dieses System findet sich in den Gebäuden Wabeweg 3 / 3a und Sarona.

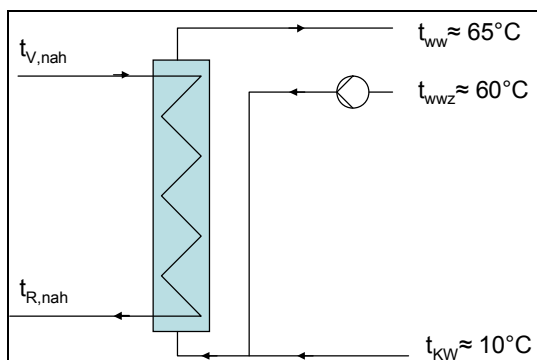


Bild 5 Durchflusssystem

Speicherladesystem

Das Speicherladesystem ist in den Gebäuden Wabehaus, Bethesda und Krankenhaus vorzufinden. Auch hier soll eine Skizze Aufschluss über die hydraulische Einbindung geben.

Es lässt sich feststellen, dass in allen Gebäuden Gegenstromwärmeübertrager, meist als Rohrbündelwärmeübertrager installiert sind. Außerdem sind in allen Gebäuden Zirkulationsleitungen eingebunden. Es ist aber in keinem System klar, mit welcher Temperatur der Nahwärmerücklauf ($t_{R,nah}$) das System verlässt.

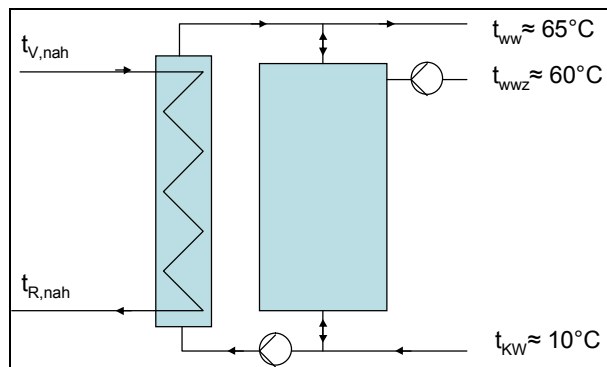


Bild 6 Speicherladesystem

Aus dem „Kurzbericht Temperaturmessungen in der Nahwärme“ [7] ergibt sich eine Abschätzung über die Auskühlung der Nahwärme in dem Wärmeübertrager. Folgender Zusammenhang lässt sich daraus unter heutigen Betriebsbedingungen übernehmen:

TWW-System	Mittlere Auskühlung Primärseite $t_{V,nah} - t_{R,nah}$
Speichersystem	7 K
Durchflusssystem	10 K
Speicherladesystem	10 K

Tabelle 2 Auskühlung des Nahwärmenetzes

Mit diesen Grundbeschreibungen der Übergabesysteme können die Leistungen und Temperaturen in einer "kalten Nahwärme" geschätzt werden.

2.4 Außen- Erdreich- und Kellertemperatur

Die für den Jahresverlauf zugrunde gelegten monatlichen Durchschnittstemperaturen sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen. Es wird ein typisches Jahr nachgebildet.

Monat	Mittlere Außentemperatur in [°C]	Mittlere Erdreichtemperatur in [°C]	Mittlere Kellertemperatur in [°C]
Januar	1,3	5	11,3
Februar	-1,2	4	10,6
März	5,6	3	11,7
April	9,0	6	13,0
Mai	14,1	9	14,6
Juni	18,7	12	16,1
Juli	19,5	15	16,9
August	20,2	16	17,2
September	14,5	17	16,3
Oktober	6,2	15	14,2
November	7,7	13	14,1
Dezember	3,1	9	12,4
Mittel	9,9	10,3	14,0

Tabelle 3 Monatliche Durchschnittstemperaturen

2.5 Variantenbeschreibungen

Untersucht werden zwei Szenarien kalter Nahwärme. Für den heutigen Zustand der Gebäudeheizung die Netztemperaturpaarung 85/70°C. Außerdem die Paarung 60/40°C, welche nach einer Modernisierung aller Gebäude ausreichend sein dürfte.

Es wird eine monatliche Betrachtung vorgenommen, wobei eine Sommerabschaltung vorgesehen wird. Bei der Auslegungsspreizung 85°C/70°C erfolgt diese in den Monaten Juli und August. Bei der Auslegungsspreizung 60°C/40°C nach einer Modernisierung in den Monaten Juni, Juli und August.

3 Leistungs- und Temperaturberechnung

Dieses Kapitel erläutert detailliert die Vorgehensweise bei der Berechnung der monatlichen Leistungen für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung sowie der Vor- und Rücklauftemperaturen in der Nahwärme. Der Rechengang ist deshalb sehr aufwändig, weil für die Trinkwarmwasserbereitung zunächst das Betriebsverhalten geklärt werden muss. Es handelt sich um die Frage, welche Wärmeenergie kann durch ein Nahwärmenetz auf das Trinkwasser übertragen werden, wenn die Nahwärmetemperatur eigentlich nicht ausreichend groß ist.

3.1 Leistung für Heizung

Die Leistungen für Wärme interessieren in der Untersuchung nur indirekt. Die Gesamtproblematik "kalte Nahwärme" beschäftigt sich mit der Frage der Trinkwarmwasserbereitung bei abgesenkten Nahwärmemperaturen. Sofern Daten für die Heizung benötigt werden, sind sie der folgenden Tabelle entnommen.

Die Daten sind kompatibel zu der in Bild 2 für das Krankenhaus grafisch dargestellten Energieanalyse aus dem Verbrauch.

Gebäude	Grundleistung [kW]	Steigung [kW/K]	Heizgrenze [°C]
Kegelbahn	0,95	0,440	14,7
Kindergarten	0,73	0,678	14,8
Wabehaus 3, 3a	4,30	1,300	14,4
Tischlerei / Schlosserei	1,00	0,900	14,9
Wabehaus	8,60	2,000	15,4
Pfarrhaus	2,80	0,940	15,7
Sarona	22,40	5,300	15,7
Bethesda	28,90	6,300	15,0
Krankenhaus	16,90	4,400	15,1
Bethanien / Wohnhaus 2	5,50	1,600	15,0

Tabelle 4 Leistungen für die Heizung vor einer Modernisierung [1]

Nach einer Modernisierung wird von einer Verminderung der Wärmeverluste ausgegangen. Es wird angenommen, die Steigung halbiert sich, aber die Heizgrenze bleibt.

Da die Heizwärme direkt – ohne Wärmeübertrager – an das Gebäude übergeben wird, ergeben sich keine Leistungs- oder Temperaturverluste. Sofern künftig die Nahwärmetemperatur zentral witterungsgeführt geregelt wird, muss dies nicht mehr innerhalb des Gebäudes erfolgen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Vorlauftemperatur der Nahwärme auch die Vorlauftemperatur für das Gebäude ist, gleiches gilt für die Rücklauftemperaturen.

3.2 Leistung für Warmwasser

Für die Trinkwarmwasserbereitung wird von den in Tabelle 5 genannten Leistungen ausgegangen. Die Grundleistung enthält neben der Trinkwasserleistung noch die künftig zu vermeidende Sommerheizung. Relevant für die weiteren Ausführungen sind nur die Werte für Trinkwassernutzen und -verluste in der rechten Spalte.

Gebäude	Grundleistung [kW]	TWW (Nutzen +Verluste) [kW]
Wabehaus 3, 3a	4,30	3,01
Wabehaus	8,60	6,15
Pfarrhaus	2,80	1,18
Sarona	22,40	15,19
Bethesda	28,90	5,34
Krankenhaus	16,90	8,17
Wohnhaus 2	4,02	1,91

Tabelle 5 Trinkwasserleistungen [5]

3.3 Betriebsverhalten der Warmwasserbereitung

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt in Wärmeübertragern verschiedener Bauformen, siehe Kapitel 2.3. Es soll nachfolgend erläutert werden, wie ein Wärmeübertrager mit unbekanntem Typenschild (und damit unbekanntem Wärmeübertragungsverhalten) mathematisch beschrieben werden kann. Die Beschreibung dient zwei Zielen:

1. die übertragene Leistung bei unterschiedlicher Vorlauftemperatur in der Nahwärme soll berechnet werden,
2. die Rücklauftemperatur der Nahwärme soll bestimmt werden.

Aus dem Lehrbuch „Technische Thermodynamik“ [8] lässt sich für Gegenstromwärmeübertrager (im Folgenden WÜT) folgender Zusammenhang für die Berechnung des Wärmestromes entnehmen.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta t_m \quad \text{bzw.} \quad U \cdot A = \dot{Q} / \Delta t_m$$

mit:

$\dot{Q}$:	über den WÜT übertragener Wärmestrom bzw. übertragene Leistung
U :	Wärmedurchgangskoeffizient des WÜT
A :	Wärmeübertragungsfläche des WÜT
Δt_m :	mittlere logarithmische Temperaturdifferenz der beiden Medien

Das Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient U und Wärmeübertragungsfläche A spiegelt das Verhalten des Wärmeübertragers wider und liefert den gesuchten Kennwert. Dieser muss für jeden Wärmeübertrager einmalig bestimmt werden und kann dann auf andere Temperaturverhältnisse übertragen werden.

Da keine Produktdaten bekannt sind, wird der Kennwert $U \cdot A$ aus Messwerten abgeschätzt. Dafür wird ein Wertepaar von Wärmestrom und Temperaturen benötigt. Verwendet werden Daten des heutigen Betriebs, so wie sie im Sommer 2009 gemessen wurden [7].

Die eigentliche Berechnung erfolgt in einer Exceltabelle und soll hier exemplarisch für ein Durchflusssystem erläutert werden. Falls Zahlenwerte benötigt werden, wird auf die Daten des Krankenhauses zurückgegriffen.

Logarithmische Temperaturdifferenz

Eine der beiden Eingangsgrößen zur Beschreibung der Wärmeübertragung ist die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz Δt_m . Es gilt:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}}$$

Die benötigten Temperaturen erläutert die Skizze eines Gegenstromwärmeübertragers in Bild 7. Der in der Abbildung verwendete Index a steht für die Primärseite des Wärmeübertragers, also den Anschluss des Nahwärmenetzes, der Index b für die Sekundärseite, d.h. den Anschluss der Trinkwassererwärmung.

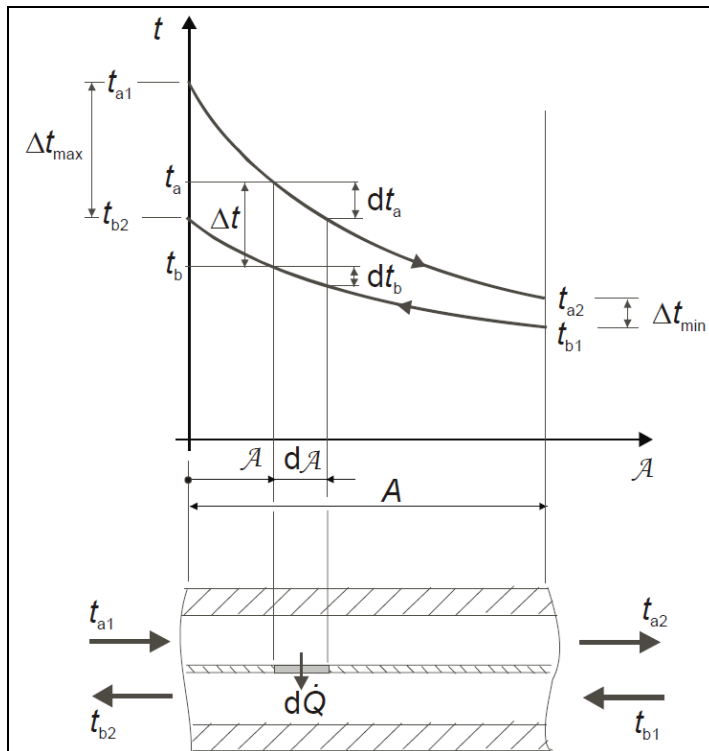


Bild 7 Temperaturen am Gegenstromwärmeübertrager

Benötigt werden 4 Temperaturwerte, um die o. g. Gleichung zu lösen: die Ein- und Austrittstemperaturen für die beiden Wasserströme.

Temperaturen auf der Nahwärmeseite

Für die Nahwärmeseite wird auf die Messwerte des Sommers 2009 zurückgegriffen [7]. Es wird von einer Vorlauftemperatur in der Nahwärme von 85°C ausgegangen.

Da die Auskühlung der Primärseite der Wärmeübertrager je nach System zwei unterschiedliche Werte annimmt, ist es erforderlich, auch zwei mittlere logarithmische Temperaturdifferenzen zu bestimmen. Eine bezieht sich dabei auf das Speichersystem mit einer angenommenen Auskühlung auf der Nahwärmeseite von 7 K, die Andere auf das Durchfluss- und Speicherladesystem mit einer Auskühlung von jeweils 10 K – siehe Tabelle 2 auf Seite 10.

Für das Speicherladesystem im Krankenhaus ergeben sich damit folgende Temperaturen der Nahwärme:

- $t_{a1} = t_{V, \text{nah}} = 85^\circ\text{C}$
- $t_{a2} = t_{R, \text{nah}} = 75^\circ\text{C}$

Temperaturen auf der Warmwasserseite

Es wird bei allen Systemen von einer Austrittstemperatur des Warmwassers aus der Warmwasserbereitung von 65°C ausgegangen. Dies ist durch Messungen bestätigt.

Die Eintrittstemperatur des Trinkwassers in den Wärmeübertragungsprozess ist nicht so einfach zu bestimmen, weil jeweils einerseits Kaltwasser (mit 10°C) und andererseits der Zirkulationsrücklaufwasser aus dem Gebäude (geschätzt 60°C) in einem unbekannten Verhältnis gemischt werden. Beim Durchfluss- und Speicherladesysteme lässt sich feststellen, dass es dafür unmittelbar vor dem Sekundäreingang der Wärmeübertrager einen Mischpunkt gibt. Das Speichersystem hat zwei Speicheranschlüsse, an denen prinzipiell dasselbe passiert.

Allerdings funktioniert die Warmwasserbereitung nicht stetig, sondern in Intervallen. Während der Zapfung von Warmwasser strömt ein großer Kaltwassermassenstrom in den Warmwasserbereiter. Er wird gemischt mit dem vergleichsweise kleinen Zirkulationsvolumenstrom. Während der Zapfpausen fließt nur der Zirkulationsvolumenstrom. Es ergibt sich also keine konstante Mischtemperatur, sondern eine schwankende: zwischen fast 10°C Kaltwassertemperatur bei großen Zapfmengen und der Zirkulationstemperatur 60°C, wenn nicht gezapft wird.

$$t_{\text{Misch}} = \underline{\underline{10 \dots 60^\circ\text{C}}} \text{ (Bandbreite)}$$

Im Jahresmittel erfolgt die Mischung nach den Randdaten in Bild 8. Der Zapfvolumenstrom $\dot{m}_{\text{Kalt=Warm}}$ wird als ein jährlich konstanter, sehr geringer Volumenstrom definiert. Er wird mit dem Zirkulationsvolumenstrom $\dot{m}_{\text{Zirkulation}}$ gemischt (Hauptbedingung in Bild 8).

Hinsichtlich der Wärmemengen ist bekannt, dass einerseits dem Speicher Wärme für die Deckung der Zirkulationsverluste entnommen wird. Andererseits wird der eigentliche Nutzen gedeckt, welcher aus der Zapfung von Warmwasser besteht. Für diese beiden Wärmemengen ist aus der Energiebilanz [5] ein Verhältnis bekannt. Im Mittel stehen 61 % Nutzen 39 % Zirkulationsverluste gegenüber. Dies ist die Nebenbedingung in Bild 8.

Die beiden Gleichungen nach Bild 8 können umgestellt werden und ineinander eingesetzt. Für die Mischtemperatur ergibt sich:

$$t_{\text{Misch}} = \underline{\underline{53,8^\circ\text{C}}} \text{ (Jahresmittelwert)}$$

Nach der Energiebilanz oben ist der Zirkulationsvolumenstrom im Jahresmittel 7 Mal so groß wie der mittlere Kaltwasservolumenstrom. Im Jahresmittel trifft im Warmwasserbereiter ein sehr großer Zirkulationsvolumenstrom mit vergleichsweise hoher Temperatur auf einen sehr kleinen Kaltwasservolumenstrom. Die mittlere Mischtemperatur liegt dann bei knapp 54 °C.

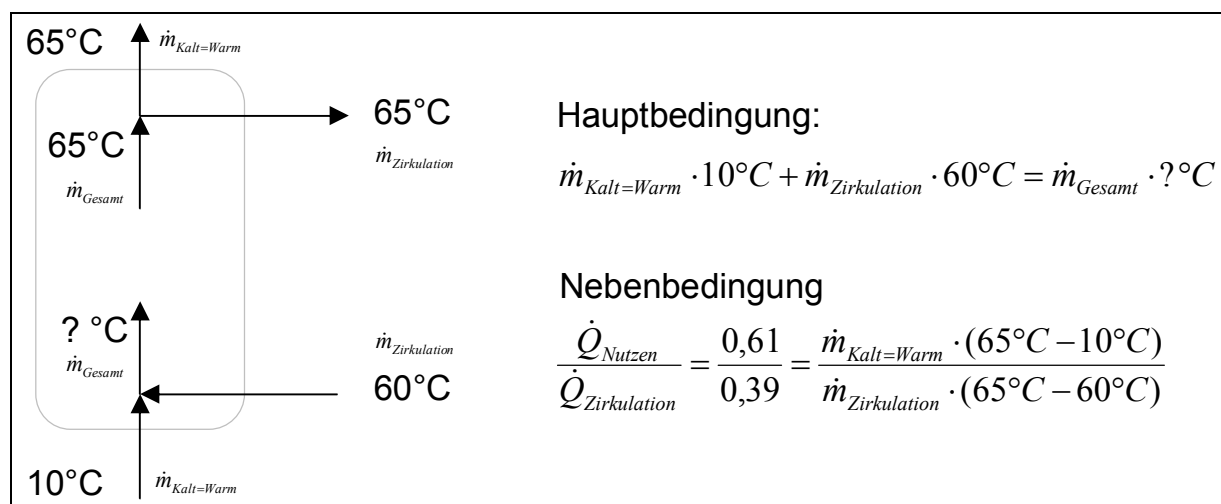


Bild 8 Mischungsgleichung für die Warmwasserbereitung

Je nach Zulaufteperatur des Wassers in die Wärmeübertragung hat der Übertrager mehr oder weniger Wärmeübertragungsleistung. Ist die Zulaufteperatur niedrig, kann viel Wärme übertragen werden und umgekehrt.

Für den Fall, der hier untersucht werden soll, wird von Folgendem ausgegangen: während der Leistungsübertragung auf das gezapfte Wasser strömt dieses mit 10°C zu, während der Leistungsübertragung auf die Zirkulation strömt es mit 60°C zu. Diese Phasen treten im Verhältnis 61 : 39 auf (siehe Energie- bzw. Leistungsbilanz in Bild 8). Dann ergibt sich die Mischtemperatur zu:

$$\begin{aligned} t_{\text{Misch}} &= 0,61 \cdot t_{\text{KW}} + 0,39 \cdot t_{\text{Zirk}} \\ t_{\text{Misch}} &= 0,61 \cdot 10^\circ\text{C} + 0,39 \cdot 60^\circ\text{C} \\ t_{\text{Misch}} &= \underline{\underline{29,5^\circ\text{C}}} \text{ (rechnerischer Mittelwert)} \end{aligned}$$

Das Mischungsverhältnis ist in der Realität unbekannt! Es wird vereinfacht von 61 : 39 ausgegangen. In der Realität wird die Zuströmmenge von Kaltwasser die Zirkulation sicherlich deutlich übersteigen, was die Mitteltemperatur drückt. Für die Abschätzungen, die hier erfolgen, wird der Ansatz als hinreichend genau angesehen.

Für das Speicherladesystem im Krankenhaus (sowie vereinfacht alle anderen Systeme) ergeben sich damit folgende Temperaturen auf der Abnehmerseite:

- $t_{b1} = t_{\text{Misch}} = 29,5^\circ\text{C}$
- $t_{b2} = t_{\text{WW}} = 65^\circ\text{C}$

Temperaturdifferenz im Wärmeübertrager

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse zu den 4 Wärmetauschertemperaturen wird die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz berechnet. Dies erfolgt hier beispielhaft für das Speicherladesystem im Krankenhaus:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\min} &= t_{a2} - t_{b1} = 75^\circ\text{C} - 29,5^\circ\text{C} && \text{(Temperaturdifferenz Ladesystem unten)} \\ \Delta t_{\max} &= t_{a1} - t_{b2} = 85^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C} && \text{(Temperaturdifferenz Ladesystem oben)} \end{aligned}$$

$$\Delta t_{m,10K} = \frac{(t_V - t_{\text{WW}}) - (t_R - t_{\text{Misch}})}{\ln\left(\frac{t_V - t_{\text{WW}}}{t_R - t_{\text{Misch}}}\right)} = \frac{(85^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) - (75^\circ\text{C} - 29,5^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{85^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}}{75^\circ\text{C} - 29,5^\circ\text{C}}\right)} = \underline{\underline{31,02\text{K}}}$$

Im unteren Teil des Wärmeübertragers treffen 29,5°C kaltes Trinkwasser und das bereits auf 75°C abgekühlte Nahwärmewasser aufeinander. Im oberen Teil das 85°C warme Vorlaufwasser der Nahwärme auf das dort bereits auf 65°C aufgewärmte Trinkwarmwasser. Im Mittel ist die Nahwärme 31 K wärmer als das Trinkwasser.

Dieser Zusammenhang lässt sich auch für die Wärmeübertrager in den anderen Gebäuden berechnen.

Wärmeübertragerkennwert

Mit der Temperaturdifferenz und der übertragenen Leistung lässt sich jeder einzelne Wärmeübertrager, wie oben beschrieben, charakterisieren. Wiederum wird die Rechnung am Beispiel Krankenhaus, ausgestattet mit einem Speicherladesystem, verdeutlicht.

$$(U \cdot A)_{\text{WUT}} = \frac{\dot{Q}}{\Delta t_m} = \frac{8,17\text{kW}}{31,02\text{K}} = \underline{\underline{263,36 \frac{\text{W}}{\text{K}}}}$$

Berechnungsgrundlage für die Gleichung:

- $\dot{Q}$: über den WÜT übertragene Leistung, nach Tabelle 5
 Δt_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (hier des Speicherladesystems)
 $(U \cdot A)_{WÜT}$: Wärmeübertragerkennwert

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Wärmeübertragerkennwerte für alle Gebäude.

Gebäude		t_{a1} ($t_{V,nah}$)	t_{a2} ($t_{R,nah}$)	t_{b1} (t_{Misch})	t_{b2} (t_{WW})	Δt_m in [K]	$(U \cdot A)_{WÜT}$ in [W/K]
Bethesda	Speicherladesystem	85°C	75°C	29,5°C	65°C	31,02	172,13
Krankenhaus	Speicherladesystem	85°C	75°C	29,5°C	65°C	31,02	263,36
Pfarrhaus	Speichersystem	85°C	78°C	29,5°C	65°C	32,17	36,68
Sarona	Durchflusssystem	85°C	75°C	29,5°C	65°C	31,02	489,64
Wabehaus	Speicherladesystem	85°C	75°C	29,5°C	65°C	31,02	198,24
Wabeweg 3, 3a	Durchflusssystem	85°C	75°C	29,5°C	65°C	31,02	97,03
Wohnhaus 2	Speichersystem	85°C	78°C	29,5°C	65°C	32,17	59,37

Tabelle 6 Wärmeübertragerkennwert

Wie sich der Tabelle entnehmen lässt, sind die Kennwerte sehr unterschiedlich und weisen eine große Streuung auf. Besonders auffällig sind die sehr voneinander abweichenden Werte Saronas und des Gebäudes Wabeweg 3 / 3a. Dies überrascht, weil die Häuser mit dem gleichen Wärmeübertrager ausgerüstet sind und beide nach dem Durchflusssystem Trinkwasser erwärmen. Das lässt sich auf eine mögliche Überdimensionierung einzelner Wärmeübertrager zurückführen, zumal die Warmwasserleistung Saronas mit 13,89 kW im Vergleich zu der des Wabewegs 3 / 3a mit 2,67 kW mehr als fünfmal so groß ist. Überdimensionierte Wärmeübertrager benötigen nicht die gesamte Wärmeübertragungsfläche, sondern nur einen Teil. Der Kennwert aus Wärmedurchgangskoeffizient und Fläche der Wärmeübertragung wird somit geringer.

Die Werte lassen sich nicht mit Herstellerunterlagen vergleichen oder überprüfen. Die Firma, welche die Geräte hergestellt hat (fast ausschließlich Cetetherm) ist unterdessen nicht mehr am Markt. Typenschilder sind an den Übertragern nicht vorhanden und die äußere Größe lässt keine Rückschlüsse auf das Innenleben der Tauscher zu. In der Stiftung sind keine Produktunterlagen vorhanden.

Es ist klar, dass diese Vorgehensweise der Reproduktion von Produktdaten nur eine Annäherung sein kann. Der Fehler der hier gemacht wird, ist Folgender: es wird davon ausgegangen, dass egal wie überdimensioniert ein Wärmeübertrager ist, die Temperaturen auf der Nahwärmeseite immer 10 K bzw. 7 K betragen. Das stimmt natürlich nicht, jedoch sind keine besseren Daten vorhanden.

Dimensionslose Kennzahlen

Um im weiteren Verlauf die noch zu erreichende Übertragungsleistung der Wärmeübertrager in den einzelnen Monaten bestimmen zu können, werden zwei dimensionslose Kennzahlen für Wärmeübertrager herangezogen:

- eine Kennzahl für die Nahwärmeseite, welche von der Art des Trinkwassersystems abhängt und
- eine Kennzahl für die Trinkwarmwasserseite, welche für alle Gebäude gleich ist.

Wiederum soll das Krankenhaus mit einer Nahwärmeauskühlung von 10 K als Beispiel zur Berechnung beider Werte dienen.

$$P_{\text{Netz}} = \frac{t_{V,nah} - t_{R,nah}}{t_{V,nah} - t_{\text{Misch}}} = \frac{85^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}}{85^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}} = \underline{\underline{0,18}}$$

$$P_{\text{TWW}} = \frac{t_{\text{WW}} - t_{\text{Misch}}}{t_{V,nah} - t_{\text{Misch}}} = \frac{65^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}}{85^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}} = \underline{\underline{0,64}}$$

mit:

P_{Netz} : Dimensionslose mittlere Temperaturdifferenz der Nahwärmenetzseite

P_{TWW} : Dimensionslose mittlere Temperaturdifferenz der Trinkwarmwasserseite

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die dimensionslosen Kennwerte der drei Systeme.

TWW-System	$\Delta t_{\text{Primär}} [\text{K}]$	$P_{\text{Netz}} [-]$	$P_{\text{TWW}} [-]$
Durchflusssystem	10	0,18	0,64
Speicherladesystem	10	0,18	0,64
Speichersystem	7	0,13	0,64

Tabelle 7 Übersicht Kennzahlen TWW-Systeme

Mit den Wärmeübertragerkennwerten $(U \cdot A)_{\text{WÜT}}$ sowie den dimensionslosen Kennzahlen P_{Netz} und P_{TWW} lässt sich das Betriebsverhalten der Warmwasserbereitung auch bei veränderten Nahwärmenetztemperaturen beschreiben.

3.4 Vorlauftemperatur

Das Prinzip der "kalten Nahwärme" ist eine angepasste Vorlauftemperatur im Netz, so dass die Gebäude ausreichend beheizt werden – und ohne Beachtung der Warmwasserbereitung. Die Vorlauftemperatur wird der Außentemperatur anhand einer Heizkurve angepasst.

Die in Bild 9 gezeigten Heizkurven – vereinfacht als lineare Geradengleichungen – werden angenommen. Bei der minimalen Außentemperatur von -14°C wird Nahwärme mit 85 bzw. 60°C geliefert. Im nicht modernisierten Gebäude beträgt die Vorlauftemperatur noch 35°C bei 20°C Außentemperatur. Nach der Modernisierung sinkt der Wert auf 25°C .

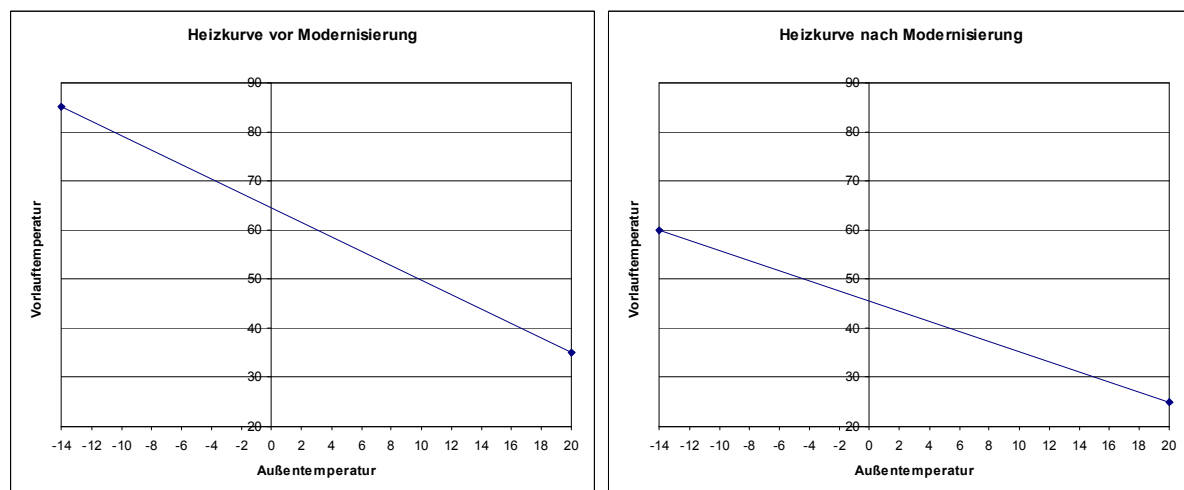


Bild 9 angenommene Heizkurven

Aus den Heizkurven lassen sich die Vorlauftemperaturen der einzelnen Monate errechnen.

Monat	Mittlere Außentemperatur, in [°C]	Vorlauftemperatur vor Modernisierung, in [°C]	Vorlauftemperatur nach Modernisierung, in [°C]
Auslegung min	-14	85	60
Auslegung max	20	35	25
Januar	1,3	62,5	44,3
Februar	-1,2	66,2	46,8
März	5,6	56,2	39,8
April	9,0	51,2	36,3
Mai	14,1	43,7	31,1
Juni	18,7	36,9	Sommerabschaltung
Juli	19,5	Sommerabschaltung	Sommerabschaltung
August	20,2	Sommerabschaltung	Sommerabschaltung
September	14,5	43,1	30,7
Oktober	6,2	55,3	39,2
November	7,7	53,1	37,7
Dezember	3,1	59,9	42,4

Tabelle 8 Monatliche Durchschnittstemperaturen und Vorlauftemperaturen

3.5 Rücklauftemperatur

Um die Wärmeverlustleistungen für Vor- und Rücklaufleitungen bestimmen zu können, ist es nötig, zunächst die Rücklauftemperatur der einzelnen Monate zu ermitteln.

Die Rücklauftemperatur gliedert sich in zwei Teilbereiche: Einerseits die Rücklauftemperatur des Heizkreises und andererseits die der Warmwasserbereitung. Aus diesen wird dann anteilig die Gesamttemperatur ermittelt.

3.5.1 Rücklauftemperatur für Heizung

Voraussetzung für die Berechnung der monatlichen Rücklauftemperatur des Heizkreises ist die Kenntnis der in dem Monat zu deckenden Gesamtheizleistung. Es werden dazu die Daten der Energieanalyse aus dem Verbrauch verwendet, siehe Tabelle 4 in Kapitel 3.1.

Beispielhaft wird die Heizleistung des Krankenhauses im Monat Januar berechnet:

$$\dot{Q}_{KH, Jan} = -H \cdot (-t_{HG} + t_a) = -4,4 \frac{kW}{K} \cdot (-15,1 + 1,3) K = \underline{\underline{60,72 kW}}$$

Berechnungsgrundlagen für die Gleichung:

$$H = 4,4 \frac{kW}{K} : \quad \text{Steigung aus der EAV, siehe Tabelle 4}$$

$$t_{HG} = 15,1^\circ C : \quad \text{Heizgrenztemperatur aus der EAV, siehe Tabelle 4}$$

$$t_a = 1,3^\circ C : \quad \text{Mittlere Außentemperatur Januar, siehe Tabelle 3.}$$

In nachfolgender Tabelle sind die Gesamtheizleistungen des Auslegungszustandes und aller Monate zusammengefasst. Die Einzelwerte je Gebäude sind in einer Exceltabelle berechnet und sollen hier der Übersichtlichkeit halber jedoch nicht abgedruckt werden.

Monat	Gesamtheizleistung in [kW] vor der Modernisierung	Gesamtheizleistung in [kW] nach der Modernisierung
Auslegungszustand	696,4	348,2
Januar	331,3	165,7
Februar	391,0	195,5
März	228,7	114,4
April	147,6	73,8
Mai	25,9	13,0
Juni	0	0
Juli	0	0
August	0	0
September	16,5	8,3
Oktober	214,4	107,2
November	178,6	89,3
Dezember	288,4	144,2

Tabelle 9 Monatliche Gesamtheizleistungen

Die Rücklauftemperatur in einem Monat ergibt sich aus der Monatsvorlauftemperatur und der benötigten Heizleistung des Monats. Der Auslegungsfall (-14°C) mit seinen geschätzten Auslegungstemperaturen (85/70°C bzw. 60/40°C) wird dazu auf die Monatsbedingungen umgerechnet.

Es wird eine Innenraumtemperatur von 20°C im Mittel aller beheizten Räume angesetzt.

Mittlere Übertemperatur bei Auslegung

Für den angenommenen Auslegungszustand lässt sich die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz ermitteln.

$$\Delta t_{m,A} = \frac{t_{V,gebäude} - t_{R,gebäude}}{\ln\left(\frac{t_{V,gebäude} - t_i}{t_{R,gebäude} - t_i}\right)} = \frac{85^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{85^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{70^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}\right)} = \underline{\underline{57,2\text{K}}}$$

Berechnungsgrundlagen der Gleichung:

$t_{V,gebäude} = 85^{\circ}\text{C}$: Auslegungsvorlauftemperatur

$t_{R,gebäude} = 70^{\circ}\text{C}$: Auslegungsrücklauftemperatur

$t_i = 23^{\circ}\text{C}$: Rauminnentemperatur

Die Heizkörper sind bei Auslegung 57 K wärmer als die umgebenden Räume.

Mittlere monatliche Übertemperatur

Mit Hilfe der 2. Heizkörpergleichung kann die mittlere logarithmische Übertemperatur für jeden Monat bestimmt werden. Wiederum soll das am Beispiel Januar verdeutlicht werden:

$$\frac{\dot{Q}_{\text{Monat}}}{\dot{Q}_{\text{Auslegung}}} = \left(\frac{\Delta t_{m,\text{Monat}}}{\Delta t_{m,\text{Auslegung}}} \right)^n$$

Die Gleichung ist dann nach der mittleren logarithmischen Übertemperatur des Monats aufzulösen.

$$\Delta t_{m,Jan.} = \Delta t_{m,Auslegung} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{Jan.}}{\dot{Q}_{Auslegung}} \right)^{\frac{1}{n}} = 57,2K \cdot \left(\frac{331,33kW}{696,35kW} \right)^{\frac{1}{1,3}} = \underline{\underline{32,3K}}$$

Berechnungsgrundlage:

$\Delta t_{m,Auslegung} = 57,2K$: Mittlere logarithmische Übertemperatur des Auslegungszustandes,

$\dot{Q}_{Auslegung} = 696,35kW$: Gesamtheizleistung im Auslegungszustand

$\dot{Q}_{Jan.} = 331,33kW$: Gesamtheizleistung im Januar

$n = 1,3$: Heizkörperexponent

Die Heizkörper sind im Mittel im Januar 32 K wärmer als die umgebenden Räume.

Mittlere monatliche Rücklauftemperaturen

Die mittlere Rücklauftemperatur ergibt sich iterativ. Es ist im Januar beispielsweise die Temperatur, bei der die Heizflächen im Mittel 32 K wärmer sind als der Raum, wenn die Vorlauftemperatur 62,5°C beträgt.

$$\Delta t_{m,Jan} = \frac{t_{V,gebäude} - t_{R,gebäude}}{\ln \left(\frac{t_{V,gebäude} - t_i}{t_{R,gebäude} - t_i} \right)} = \frac{62,5^{\circ}C - t_{R,gebäude}}{\ln \left(\frac{62,5^{\circ}C - 20^{\circ}C}{t_{R,gebäude} - 20^{\circ}C} \right)} = \underline{\underline{32,3K}}$$

Es gibt eine Näherungsformel, mit der ohne Iteration ein Ergebnis gefunden werden kann. Für den Januar lautet diese:

$$t_{R,HK,Jan.} = t_{V,Jan.} - \left(3 \cdot \Delta t_{m,Jan.} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot ((t_{V,Jan.} - t_i) - \Delta t_{m,Jan.})}{3 \cdot \Delta t_{m,Jan.}}} - 1 \right] \right)$$

$$t_{R,HK,Jan.} = 62,5^{\circ}C - \left(3 \cdot 32,3K \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot ((62,5^{\circ}C - 20^{\circ}C) - 32,3K)}{3 \cdot 32,3K}} - 1 \right] \right) = \underline{\underline{49,0^{\circ}C}}$$

Berechnungsgrundlage:

$t_{V,Jan.} = 62,5^{\circ}C$: Vorlauftemperatur Januar

$\Delta t_{m,Jan.} = 32,3K$: Mittlere logarithmische Übertemperatur Januar

$t_i = 20^{\circ}C$: Rauminnentemperatur

Die Ergebnisse für alle Gebäude und alle Monate zeigen folgende Tabellen.

Monat	Mittlere Außentemperatur, in [°C]	Rücklauftemperatur vor Modernisierung, in [°C]	Rücklauftemperatur nach Modernisierung, in [°C]
Auslegung min	-14	70	40
Januar	1,3	49,0	35,2
Februar	-1,2	53,9	37,1
März	5,6	40,1	31,6
April	9,0	32,8	28,4
Mai	14,1	24,7	23,6
Juni	18,7	-	-
Juli	19,5	-	-
August	20,2	-	-
September	14,5	25,5	23,6
Oktober	6,2	38,9	31,1
November	7,7	35,6	29,7
Dezember	3,1	45,4	33,7

Tabelle 10 Monatliche Durchschnittstemperaturen und Rücklauftemperaturen

Auch vor der Modernisierung ergibt sich kein Heizbedarf im Juni, daher keine Rücklauftemperatur.

3.5.2 Rücklauftemperatur für Warmwasser

In allen Gebäuden soll das Warmwasser auf eine Temperatur von 65°C geheizt werden, da in der Vergangenheit Probleme mit Legionellen aufgetreten sind.

Da die witterungsgeführte Vorlauftemperatur einer "kalten Nahwärme" die geforderte Warmwassertemperatur von 65°C oft unterschreitet, kann diese nicht durch den Wärmeübertrager erreicht werden. Es muss nachgeheizt werden. Der Wärmeübertrager dient nur der Vorwärmung.

Erreichbare Warmwasservorlauftemperatur

Mit Hilfe der dimensionslosen mittleren Temperaturdifferenz der Warmwasserseite P_{WW} aus Kapitel 3.3 kann die noch zu erreichende Warmwassertemperatur bestimmt werden, indem die Gleichung umgestellt wird. So ergibt sich für den Monat Januar beispielsweise:

$$P_{TWW} = \frac{t_{WW,Jan} - t_{Misch}}{t_{V,nah,Jan} - t_{Misch}} \quad \text{bzw.} \quad t_{WW,Jan} = P_{TWW} \cdot (t_{V,nah,Jan} - t_{Misch}) + t_{Misch}$$

$$t_{WW,Jan} = 0,64 \cdot (62,5^\circ\text{C} - 29,5^\circ\text{C}) + 29,5^\circ\text{C} = \underline{\underline{50,6^\circ\text{C}}}$$

Berechnungsgrundlage für diese Gleichung:

$$P_{TWW} = 0,64: \quad \text{Dimensionslose mittlere Temperaturdifferenz, siehe Tabelle 7}$$

$$t_{V,Jan} = 64,3^\circ\text{C}: \quad \text{Vorlauftemperatur im Januar, siehe Tabelle 8}$$

$$t_{Misch} = 29,5^\circ\text{C}: \quad \text{Mischtemperatur, siehe Kapitel 3.3}$$

Resultierende Nahwärmerücklauftemperatur

Ähnlich lässt sich die zu erwartende Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes ermitteln. Grundlage dafür ist die dimensionslose mittlere Temperaturdifferenz der Nahwärmenetzseite. Es müssen die verschiedenen Auskühlungen der Primärseite beachtet werden. Berechnung am Beispiel des Speicherladesystems mit einer Auskühlung von 10 K und dem Monat Januar:

$$P_{\text{Netz}} = \frac{t_{V,nah,Jan} - t_{R,nah,Jan}}{t_{V,nah,Jan} - t_{\text{Misch}}} \quad \text{bzw.} \quad t_{R,nah,Jan} = t_{V,nah,Jan} - P_{\text{Netz}} \cdot (t_{V,nah,Jan} - t_{\text{Misch}})$$

$$t_{R,nah,Jan} = 62,5^{\circ}\text{C} - 0,18 \cdot (62,5^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}) = \underline{\underline{56,6^{\circ}\text{C}}}$$

Übersicht der Rücklauftemperaturen für alle Systeme

Die beiden nachfolgenden Tabellen stellen die Daten für die drei Trinkwarmwassersysteme jeweils vor und nach der Gebäudemodernisierung zusammen.

Monat	Vorlauftemperatur vor Modernisierung, in [°C]	Erreichbare Warmwasser-vorlauftemperatur t_{WW} , in [°C]	Resultierende Nahwärme-rücklauftemperatur $t_{\text{R,nah}}$, in [°C]	
			Durchlauf/Ladesystem	Speicher
Januar	62,5	50,6	56,6	58,3
Februar	66,2	53,0	59,6	61,6
März	56,2	46,6	51,4	52,8
April	51,2	43,4	47,3	48,4
Mai	43,7	38,6	41,1	41,9
Juni	36,9	34,2	35,6	36,0
Juli	-	-	-	-
August	-	-	-	-
September	43,1	38,2	40,6	41,4
Oktober	55,3	46,0	50,6	52,0
November	53,1	44,6	48,8	50,1
Dezember	59,9	48,9	54,4	56,0

Tabelle 11 Monatliche Warmwasser- und Nahwärmerücklauftemperaturen vor Modernisierung

Monat	Vorlauftemperatur vor Modernisierung, in [°C]	Erreichbare Warmwasser-vorlauftemperatur t_{WW} , in [°C]	Resultierende Nahwärme-rücklauftemperatur $t_{\text{R,nah}}$, in [°C]	
			Durchlauf/Ladesystem	Speicher
Januar	44,3	38,9	41,6	42,4
Februar	46,8	40,6	43,7	44,6
März	39,8	36,1	38,0	38,5
April	36,3	33,9	35,1	35,5
Mai	31,1	30,5	30,8	30,9
Juni	SA	SA	SA	SA
Juli	SA	SA	SA	SA
August	SA	SA	SA	SA
September	30,7	30,2	30,5	30,5
Oktober	39,2	35,7	37,5	38,0
November	37,7	34,7	36,2	36,6
Dezember	42,4	37,7	40,1	40,8

Tabelle 12 Monatliche Warmwasser- und Nahwärmerücklauftemperaturen nach Modernisierung

Damit sind die Rücklauftemperaturen der einzelnen Gebäude bestimmt. Für das Nahwärmenetz und dessen Verluste an das Erdreich soll allerdings eine mittlere Temperatur über den gesamten zu betrachtenden Strang zugrunde gelegt werden. Dazu ist es nötig, für jedes Gebäude die aus der Nahwärme aufgenommene Leistung zur Trinkwarmwassererwärmung zu ermitteln, um damit anteilig eine Gesamtrücklauftemperatur zu bestimmen.

Entnommene Trinkwasserleistung je Gebäude

Basis sind die vier berechneten Werte für Nahwärmeverlauf- und -rücklauf-temperatur sowie Warmwasseraustritts-temperatur und Eintritts-temperatur des WÜT (t_{Misch}). Es wird eine monatliche mittlere logarithmische Temperaturdifferenz für jedes System berechnet. Beispiel Krankenhaus im Januar:

$$\Delta t_{m,Jan} = \frac{(t_{V,nah,Jan} - t_{WW,Jan}) - (t_{R,nah,Jan} - t_{Misch})}{\ln\left(\frac{t_{V,nah,Jan} - t_{WW,Jan}}{t_{R,nah,Jan} - t_{Misch}}\right)} = \frac{(62,5^{\circ}\text{C} - 50,6^{\circ}\text{C}) - (56,6^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C})}{\ln\left(\frac{62,5^{\circ}\text{C} - 50,6^{\circ}\text{C}}{56,6^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}}\right)} = \underline{\underline{19,1\text{K}}}$$

Berechnungsgrundlage:

$t_{V,nah,Jan} = 62,5^{\circ}\text{C}$: Vorlauf-temperatur im Januar, siehe Tabelle 8

$t_{WW,Jan} = 50,6^{\circ}\text{C}$: Warmwassertemperatur Januar, siehe Tabelle 11

$t_{R,nah,Jan} = 56,6^{\circ}\text{C}$: Rücklauf-temperatur primärseitig im Januar, siehe Tabelle 11

$t_{Misch} = 29,5^{\circ}\text{C}$: Mischtemperatur, siehe Kapitel 3.3

Auf der Nahwärmeseite wird das Wasser von $62,5^{\circ}\text{C}$ auf $56,6^{\circ}\text{C}$ abgekühlt, während das Trinkwasser von $29,5^{\circ}\text{C}$ auf $50,6^{\circ}\text{C}$ erwärmt wird. Das Nahwärmewasser im Wärmeübertrager ist im Januar im Mittel ca. 19 K wärmer als das Trinkwasser.

Mit Hilfe des Wärmeübertragerkennwertes nach Tabelle 6 lässt sich die abgegebene Leistung des Nahwärmenetzes an die Trinkwarmwasserbereitung, wie das Beispiel Krankenhaus im Januar zeigt, bestimmen.

$$\dot{Q}_{Jan} = (U \cdot A)_{WÜT} \cdot \Delta t_{m,Jan} = 263,4 \frac{\text{W}}{\text{K}} \cdot 19,1\text{K} = \underline{\underline{4,86\text{kW}}}$$

Berechnungsgrundlage für die Gleichung:

$(U \cdot A)_{WÜT,KH} = 263,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}$: Wärmeübertragerkennwert Krankenhaus, nach Tabelle 6

$\Delta t_{m,Jan} = 19,1\text{K}$: Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz im Januar

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht der Trinkwarmwasserleistungen für alle Gebäude und Monate in kW.

Gebäude	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bethesda	3,18	3,53	2,57	2,09	1,36	0,71	0,00	0,00	1,31	2,48	2,27	2,92
Krankenhaus	4,86	5,40	3,93	3,19	2,09	1,09	0,00	0,00	2,00	3,80	3,47	4,47
Pfarrhaus	0,70	0,78	0,57	0,46	0,30	0,16	0,00	0,00	0,29	0,55	0,50	0,65
Sarona	9,03	10,04	7,30	5,93	3,88	2,03	0,00	0,00	3,72	7,06	6,46	8,31
Wabehaus	3,66	4,06	2,96	2,40	1,57	0,82	0,00	0,00	1,51	2,86	2,61	3,36
Wabeweg 3, 3a	1,79	1,99	1,45	1,18	0,77	0,40	0,00	0,00	0,74	1,40	1,28	1,65
Wohnhaus 2	1,14	1,26	0,92	0,75	0,49	0,26	0,00	0,00	0,47	0,89	0,81	1,04
Summe	24,3	27,1	19,7	16,0	10,5	5,5	0,0	0,0	10,0	19,0	17,4	22,4

Tabelle 13 Mit Nahwärme gedeckte TWW-Leistungen vor der Modernisierung [in kW]

Gebäude	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bethesda	1,42	1,67	0,99	0,66	0,15	0,00	0,00	0,00	0,11	0,93	0,79	1,24
Krankenhaus	2,78	3,27	1,95	1,29	0,30	0,00	0,00	0,00	0,22	1,83	1,54	2,43
Pfarrhaus	0,46	0,54	0,32	0,21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,30	0,26	0,40
Sarona	3,69	4,33	2,58	1,71	0,39	0,00	0,00	0,00	0,29	2,43	2,04	3,23
Wabehaus	1,42	1,66	0,99	0,66	0,15	0,00	0,00	0,00	0,11	0,93	0,78	1,24
Wabeweg 3, 3a	0,71	0,83	0,50	0,33	0,08	0,00	0,00	0,00	0,06	0,47	0,39	0,62
Wohnhaus 2	0,91	1,06	0,63	0,42	0,10	0,00	0,00	0,00	0,07	0,60	0,50	0,79
Summe	11,4	13,4	8,0	5,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,9	7,5	6,3	10,0

Tabelle 14 Mit Nahwärme gedeckte TWW-Leistungen nach der Modernisierung [in kW]

Gemittelte Rücklauftemperatur der Trinkwarmwasserbereitung

Aus den zu erreichenden Trinkwasserleistungen kann nun mit Hilfe der Rücklauftemperaturen die mittlere Gesamtrücklauftemperatur des Warmwasserkreises bestimmt werden. Es wird eine anteilige Mischungsrechnung durchgeführt. Die Ergebnisse stellt nachfolgende Tabelle zusammen.

Monat	Rücklauftemperatur TWW in [°C] vor der Modernisierung	Rücklauftemperatur TWW in [°C] nach der Modernisierung
Januar	56,7	41,7
Februar	59,7	43,8
März	51,5	38,0
April	47,4	35,1
Mai	41,2	30,8
Juni	35,6	-
Juli	-	-
August	-	-
September	40,7	30,5
Oktober	50,8	37,5
November	48,9	36,2
Dezember	54,5	40,2

Tabelle 15 gemittelte Rücklauftemperatur für die Trinkwarmwassererwärmung

3.5.3 Mittlere Rücklauftemperatur im Netz

Für jeden Monat ist die mittlere Rücklauftemperatur der Heizung (als Mittelwert aller Gebäude) bekannt, siehe Tabelle 10. Gleiches gilt für die mittlere Rücklauftemperatur der Trinkwarmwasserbereitung, siehe Tabelle 15.

Somit kann die sich ergebende Gesamtrücklauftemperatur in der Nahwärme anteilig nach den mittleren Leistungen für jeden Monat bestimmt werden. Beispiel für Januar:

$$t_{R,nah,Jan} = \frac{[\dot{Q}_{Jan} \cdot t_{R,nah,Jan}]_{Heizung} + [\dot{Q}_{Jan} \cdot t_{R,nah,Jan}]_{Warmwasser}}{[\dot{Q}_{Jan}]_{Gesamt}}$$

$$t_{R,Jan} = \frac{331,3kW \cdot 49,0^{\circ}C + 24,3kW \cdot 56,7^{\circ}C}{(331,3 + 24,3)kW} = 49,5^{\circ}C$$

Zusammenfassend sollen nachfolgende Tabellen einen Überblick über die Rücklauftemperaturen der Nahwärme vor und nach der Modernisierung verschaffen.

Monat	Heizleistung, in [kW]	$t_{R,nah,HK}$, in [°C]	TWW- Leistung, in [kW]	$t_{R,nah,TWW}$ in [°C]	Gesamtleistung, in [kW]	$t_{R,nah}$ in [°C]
Jan.	331,3	49,0	24,3	56,7	355,7	49,5
Febr.	391,0	53,9	27,1	59,7	418,0	54,2
März	228,7	40,1	19,7	51,5	248,4	41,0
April	147,6	32,8	16,0	47,4	163,6	34,2
Mai	25,9	24,7	10,5	41,2	36,4	29,4
Juni	-	-	5,5	35,6	5,5	35,6
Juli	-	-	-	-	-	-
Aug.	-	-	-	-	-	-
Sept.	16,5	25,5	10,0	40,7	26,6	31,2
Okt.	214,4	38,9	19,0	50,8	233,5	39,8
Nov.	178,6	35,6	17,4	48,9	196,0	36,8
Dez.	288,4	45,4	22,4	54,5	310,8	46,0
aus	Tabelle 9	Tabelle 10	Tabelle 13	Tabelle 15		

Tabelle 16 Übersicht Rücklauftemperaturen vor der Modernisierung

Die nicht vorhandenen Heiz- und Trinkwasserleistungen und die damit verbundenen Rücklauftemperaturen in den Monaten Juli und August sind auf die Sommerabschaltung des Stranges zurückzuführen.

Da im Juni die mittlere Außentemperatur die Heizgrenztemperatur aller Gebäude überschreitet, ist auch in diesem Monat keine Heizleistung vorhanden. Da für diesen Monat aber keine Sommerabschaltung vorgesehen ist, kann eine Warmwasserleistung bestimmt werden.

Monat	Heizleistung, in [kW]	$t_{R,nah,HK}$, in [°C]	TWW- Leistung, in [kW]	$t_{R,nah,TWW}$ in [°C]	Gesamtleistung, in [kW]	$t_{R,nah}$ in [°C]
Jan.	165,7	35,2	11,4	41,7	177,1	35,6
Febr.	195,5	37,1	13,4	43,8	208,9	37,5
März	114,4	31,6	8,0	38,0	122,3	32,0
April	73,8	28,4	5,3	35,1	79,1	28,8
Mai	13,0	23,6	1,2	30,8	14,2	24,2
Juni	-	-	-	-	-	-
Juli	-	-	-	-	-	-
Aug.	-	-	-	-	-	-
Sept.	8,3	23,6	0,9	30,5	9,2	24,3
Okt.	107,2	31,1	7,5	37,5	114,7	31,5
Nov.	89,3	29,7	6,3	36,2	95,6	30,1
Dez.	144,2	33,7	10,0	40,2	154,1	34,2
aus	Tabelle 9	Tabelle 10	Tabelle 14	Tabelle 15		

Tabelle 17 Übersicht Rücklauftemperaturen nach der Modernisierung

4 Wirtschaftlichkeit "kalter Nahwärme"

Mit den Erkenntnissen, welche Vorlauftemperatur die Nahwärme witterungsgeführt haben könnte und welche Rücklauftemperaturen sich als Mittelwert von Heizung und Warmwasserbereitung einstellen, können das Nahwärmenetz und seine künftigen Verluste bewertet werden. Außerdem werden die Werte der maximal auf das Trinkwarmwasser übertragbaren Wärmeleistung berechnet, so dass die künftig notwendige lokale Nachheizung ebenso bestimmt werden kann.

Beide Aspekte der "kalten Nahwärme" führen in diesem Abschnitt zu einer wirtschaftlichen Bewertung. Darüber hinaus wird die Einbindung von Solarthermie in das System eingeschätzt.

4.1 Leitungslängen und Dämmstandard des Netzes

Die Längen und Dämmstandards der Rohrabschnitte im westlichen Zentralgebiet wurden im Rahmen von Vorarbeiten [2] [3] zusammengestellt. Im Verlaufe der Projektbearbeitung wurden die Daten immer wieder modifiziert, weil neue Erkenntnisse hinsichtlich des Dämmniveaus hinzugekommen sind. Der letzte Datenstand ist im Bericht über die Nahwärmenetz-karten [9] dokumentiert.

Die notwendigen Daten sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Die Längen sind Werte jeweils Trassenlängen, d.h. es gibt jeweils in der aufgeführten Länge einen Vor- und einen Rücklauf, welche separat berechnet werden.

TS: [-]	Baujahr [-]	DN: [-]	di [mm]	da [mm]	λ [W/(m*k)]	U (W/mK)	l _{Erdreich} [m]	l _{Gebäude} [m]
5	ca. 1973	125	139,7	205	0,035	0,573	54	33
6	ca. 1973	125	139,7	205	0,035	0,573	16	4
7	ca. 1973	100	114,3	180	0,035	0,484	0	4
8	1987	100	114,3	180	0,030	0,381	30	30
9	1987	80	88,9	152,5	0,030	0,349	32	58
10	1987	80	88,9	152,5	0,030	0,349	80	16
11	1987	80	88,9	152,5	0,030	0,349	34	0
12	1987	65	76,1	132,5	0,030	0,340	26	4
13	1987	50	60,3	132,5	0,030	0,239	72	16
14	1987	40	48,3	102,5	0,030	0,251	36	4
15	1987	50	60,3	132,5	0,030	0,302	8	4
16	1987	25	33,7	82,5	0,030	0,211	16	4
17	1987	65	76,1	132,5	0,030	0,340	12	4
18	ca. 1973	80	88,9	145	0,035	0,450	38	18
19	ca. 1973	50	60,3	105	0,035	0,397	78	4
20	ca. 1973	40	48,3	95	0,035	0,325	28	4

Tabelle 18 Grunddaten zum Leitungsnetz

4.2 Berechnung der Netzverluste

Anhand der mittleren Vor- und Rücklauftemperaturen des zu betrachtenden Stranges können die monatlichen Wärmeverlustleistungen ermittelt werden. Dies soll für den im Erdreich verlegten Vorlaufabschnitt der Teilstrecke 5 im Monat Januar beispielhaft erfolgen.

$$\dot{Q}_{\text{Verlust}} = \frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_{\text{innen}} - t_{\text{umgebung}})}{\ln \frac{r_{\text{außen}}}{r_{\text{innen}}}}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{Verlust,TS5,V,Erd,Jan} &= \frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_{TS5,Erd} \cdot (t_{V,nah,Jan} - t_{Erd,Jan})}{\ln \frac{d_{a,TS5}}{d_{i,TS5}}} \\ &= \frac{0,035 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 54m \cdot (62,5^{\circ}C - 5^{\circ}C)}{\ln \frac{0,205m}{0,1397m}} = \underline{\underline{1,22kW}}\end{aligned}$$

Berechnungsgrundlage für die Gleichung:

- $\lambda = 0,035 \frac{W}{mK}$: Wärmeleitgruppe des Dämmstoffe, siehe Tabelle 18
 $l_{TS5,Erd} = 54m$: Erdreichanteil von Teilstrecke 5, siehe Tabelle 18
 $t_{V,nah,Jan} = 62,5^{\circ}C$: Vorlauftemperatur im Januar, siehe Tabelle 8
 $t_{Erd,Jan} = 5^{\circ}C$: Erdreichtemperatur im Januar, siehe Tabelle 3
 $d_{a,TS5} = 205mm$: Innendurchmesser des Rohres, siehe Tabelle 18
 $d_{i,TS5} = 139,7mm$: Außendurchmesser des Rohres, siehe Tabelle 18

Diese Rechnung ist jeweils für Vor- und Rücklauf jeder Teilstrecke für alle Monate zu wiederholen.

Aus der Verlustleistung kann nun die Verlustwärmemenge bestimmt werden, die über den gesamten Monat an die Umgebung, in diesem Falle das Erdreich, verloren geht.

$$Q_{Verl,TS5,V,Erd,Jan} = \dot{Q}_{Verl,TS5,V,Erd,Jan} \cdot \frac{24h}{d} \cdot \frac{31d}{a} = 1,22kW \cdot \frac{24h}{d} \cdot \frac{31d}{a} = \underline{\underline{904kWh/a}}$$

Die ausführliche Berechnung für jeden Monat ist in einer Exceltabelle dokumentiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die gesamten Wärmeverluste über die Rohrleitungen für jeden Monat.

Monat	Tage in [d/a]	vor der Modernisierung		nach der Modernisierung	
		Verlustleistung in [kW]	Verlustenergie in [MWh/a]	Verlustleistung in [kW]	Verlustenergie in [MWh/a]
Januar	31	28,3	21,0	19,0	14,2
Februar	28	26,3	17,7	17,6	11,8
März	31	20,9	15,5	14,7	11,0
April	30	16,8	12,1	11,9	8,6
Mai	31	12,6	9,3	8,2	6,1
Juni	30	11,2	8,0	0,0	0,0
Juli	31	0,0	0,0	0,0	0,0
August	31	0,0	0,0	0,0	0,0
September	30	9,9	7,1	5,2	3,7
Oktober	31	15,9	11,8	10,0	7,4
November	30	15,3	11,0	10,0	7,2
Dezember	31	20,8	15,5	13,7	10,2
Σ			129,2		80,1

Tabelle 19 Wärmeverlustleistungen und -mengen

Die heutigen Wärmeverluste der Leitungen betragen: 337 MWh/a, siehe Bericht "Nahwärmenetzkarten" [9].

Der Jahresgang der Verluste – und damit mögliche Einsparungen – zeigt Bild 10.

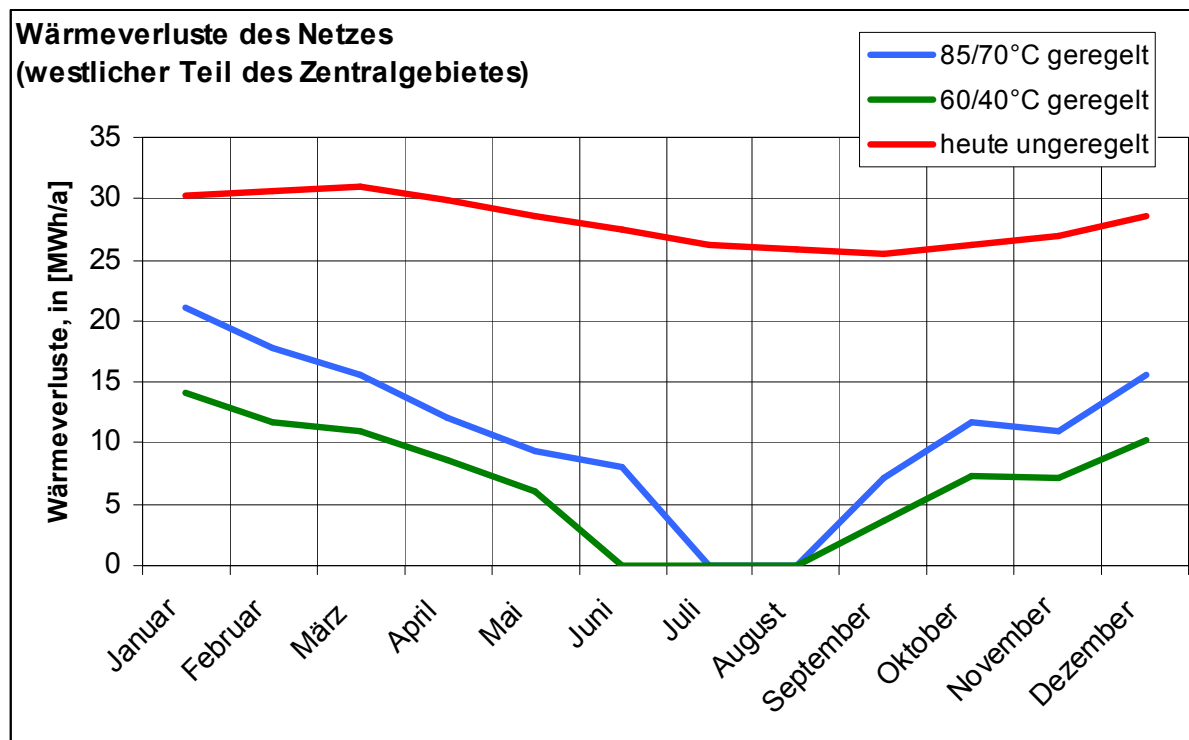


Bild 10 Netzverluste im Jahresgang

4.3 Mögliche Energie- und Kostenersparnis im Netz

Die mögliche Kostenersparnis aufgrund verminderter Netzkosten ergibt sich aus der Energieersparnis und dem Energiepreis.

Die Energieersparnis resultiert durch geringeren Erdgaseinsatz, sofern die heutige Heizzentrale zum Einsatz kommt. Die Randdaten für den Gaspreis sowie den Energiepreis für Nahwärme wurde dem Bericht zu den "Mediengrunddaten 2008" [6] entnommen:

- Energiepreis: 0,061 €/kWh brennwertbezogen
- Kesselnutzungsgrad: 85,3 %

Energiemengen, Energiekosten und Ersparnisse zeigt Tabelle 20.

Monat	heute	"kalte Nahwärme" 85/70°C	"kalte Nahwärme" 85/70°C
Netzverluste, in [MWh/a]	337	129	80
Ersparnis, in [MWh/a]		- 208	- 257
Kesselnutzungsgrad, in [-]	0,853	0,853	0,853
Endenergieaufwand, in [MWh/a]	395	151	94
Ersparnis, in [MWh/a]		- 244	- 301
Energiepreis, in [€/MWh]	61	61	61
Energiekosten, in [€/a]	24.095	9.211	5.734
Ersparnis, in [€/a]		- 14.884	- 18.361

Tabelle 20 Energiemengen- und -kostenersparnis

Mit der Kostenersparnis muss, damit "kalte Nahwärme" wirtschaftlich ist, einerseits die nun notwendige Technik zur Nachheizung finanziert werden, andererseits auch deren zusätzlicher Energieverbrauch.

4.4 Notwendige Nachheizung in den Gebäuden

Die notwendige Nachheizung ergibt sich aus der notwendigen Trinkwasserleistung nach Tabelle 5 und der erreichbaren Deckung durch die Nahwärme nach Tabelle 13 bzw. Tabelle 14.

Die grafische Aufbereitung zeigt nachfolgende Grafik, in der deutlich zu erkennen ist, dass mit "kalter Nahwärme" jeweils nur ein kleiner Anteil des tatsächlichen Warmwasserbedarfs gedeckt werden kann. Dargestellt ist die Summe aller Gebäude des westlichen Zentralgebietes.

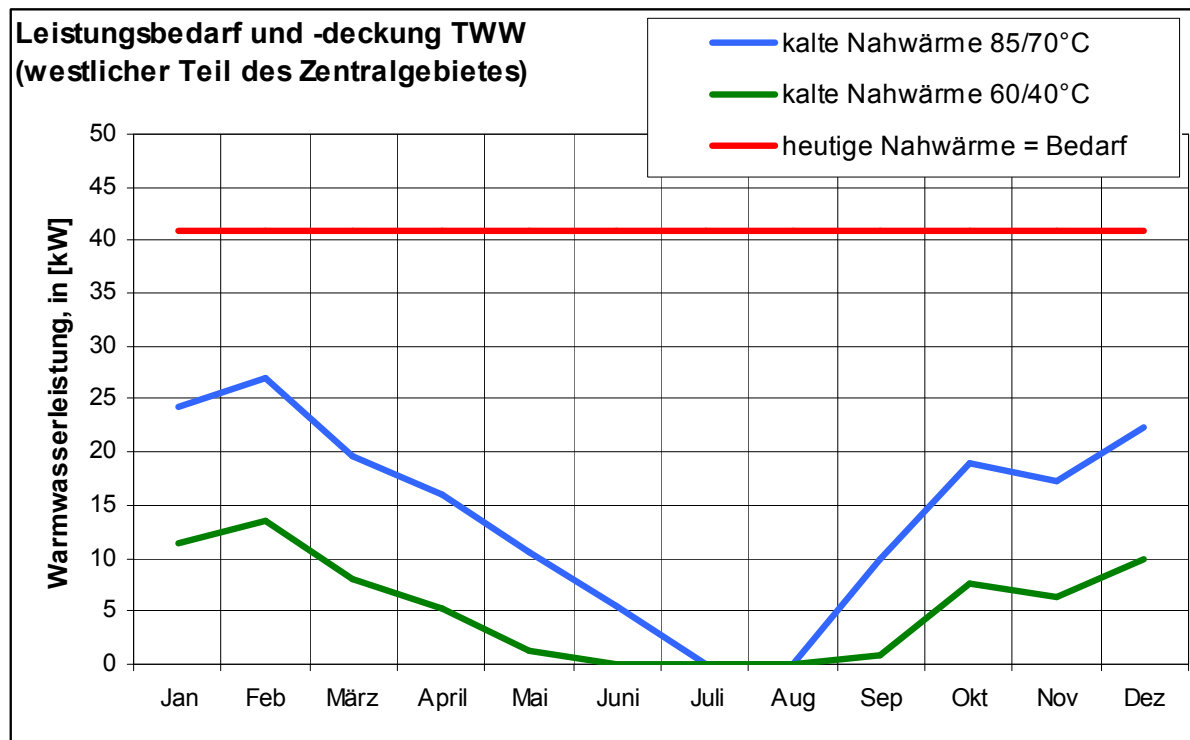


Bild 11 Bedarfsdeckung Trinkwarmwasser durch kalte Nahwärme

Es gilt daher für jedes Gebäude und jeden Monat:

$$\dot{Q}_{\text{Nachheizung}} = \dot{Q}_{\text{TWW}} - \dot{Q}_{\text{TWW, nah}}$$

Für das Krankenhaus und den Monat Januar gilt beispielsweise:

$$\dot{Q}_{\text{Nachheizung}} = 8,17 \text{ kW} - 4,86 \text{ kW} = \underline{\underline{3,31 \text{ kW}}}$$

Die restlichen Ergebnisse für alle Gebäude und alle Monate zeigen Tabelle 21 und Tabelle 22.

Gebäude	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bethesda	2,16	1,81	2,77	3,25	3,98	4,63	5,34	5,34	4,03	2,86	3,07	2,42
Krankenhaus	3,31	2,77	4,24	4,98	6,08	7,08	8,17	8,17	6,17	4,37	4,70	3,70
Pfarrhaus	0,48	0,40	0,61	0,72	0,88	1,02	1,18	1,18	0,89	0,63	0,68	0,53
Sarona	6,16	5,15	7,89	9,26	11,31	13,16	15,19	15,19	11,47	8,13	8,73	6,88
Wabehaus	2,49	2,09	3,19	3,75	4,58	5,33	6,15	6,15	4,64	3,29	3,54	2,79
Wabehaus 3, 3a	1,22	1,02	1,56	1,83	2,24	2,61	3,01	3,01	2,27	1,61	1,73	1,36
Wohnhaus 2	0,77	0,65	0,99	1,16	1,42	1,65	1,91	1,91	1,44	1,02	1,10	0,87
Summe	16,6	13,9	21,3	25,0	30,5	35,5	41,0	41,0	30,9	21,9	23,5	18,6

Tabelle 21 Durch Nachheizung gedeckte TWW-Leistungen vor der Modernisierung [in kW]

Gebäude	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bethesda	3,92	3,67	4,35	4,68	5,19	5,34	5,34	5,34	5,23	4,41	4,55	4,10
Krankenhaus	5,39	4,90	6,22	6,88	7,87	8,17	8,17	8,17	7,95	6,34	6,63	5,74
Pfarrhaus	0,72	0,64	0,86	0,97	1,13	1,18	1,18	1,18	1,14	0,88	0,92	0,78
Sarona	11,5	10,86	12,61	13,48	14,80	15,19	15,19	15,19	14,90	12,76	13,15	11,96
Wabehaus	4,73	4,49	5,16	5,49	6,00	6,15	6,15	6,15	6,04	5,22	5,37	4,91
Wabehaus 3, 3a	2,30	2,18	2,51	2,68	2,93	3,01	3,01	3,01	2,95	2,54	2,62	2,39
Wohnhaus 2	1,00	0,85	1,28	1,49	1,81	1,91	1,91	1,91	1,84	1,31	1,41	1,12
Summe	29,6	27,6	33,0	35,7	39,7	41,0	41,0	41,0	40,1	33,5	34,6	31,0

Tabelle 22 Durch Nachheizung gedeckte TWW-Leistungen nach der Modernisierung [in kW]

Die Leistungen können in Energiemengen umgerechnet werden. Zur Vereinfachung erfolgt dies nur für die Summe aller Gebäude, nicht Gebäudeweise. Es gilt folgender Zusammenhang beispielsweise für den Monat Januar:

$$Q_{\text{Nachheizung}} = \dot{Q}_{\text{Nachheizung}} \cdot \frac{31d}{\text{mon}} \cdot \frac{24h}{d} = 16,6kW \cdot \frac{31d}{\text{mon}} \cdot \frac{24h}{d} = \underline{\underline{12.351kWh/a}}$$

Die restlichen Ergebnisse für alle Gebäude und alle Monate zeigen Tabelle 21 und Tabelle 22.

Gebäude	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
vor der Modernisierung												
Leistung, in [kW]	16,6	13,9	21,3	25,0	30,5	35,5	41,0	41,0	30,9	21,9	23,5	18,6
Energie, in [MWh/a]	12,4	9,3	15,8	18,0	22,7	25,5	30,5	30,5	22,3	16,3	17,0	13,8
nach der Modernisierung												
Leistung, in [kW]	29,6	27,6	33,0	35,7	39,7	41,0	41,0	41,0	40,1	33,5	34,6	31,0
Energie, in [MWh/a]	22,0	18,5	24,5	25,7	29,6	29,5	30,5	30,5	28,8	24,9	24,9	23,1

Tabelle 23 notwendige Energiemengen für die Nachheizung

Für die Nachheizung werden 234 MWh/a Energie bei "kalter Nahwärme" des Temperaturniveaus 85/70°C benötigt. Nach einer Gebäudemodernisierung und damit beim Temperaturniveau von 60/40°C sind es 312 MWh/a.

Der Kostenaufwand ergibt sich abhängig vom lokal eingesetzten Energieträger. Im einfachsten Fall ist dies elektrischer Strom in Form von elektrischen Heizpatronen, welche kostengünstig zu installieren wären. Es entfallen im Gegenzug die Kosten, welche eine zentrale Erzeugung nach sich gezogen hätte. Es gilt also nur die Kostendifferenz zwischen Strom und Nahwärme.

- Energiepreis Strom: 0,014 €/kWh [6]
- Energiepreis Nahwärme: 0,072 €/kWh [6]

Energiemengen, Energiekosten und Ersparnisse zeigt Tabelle 20.

Monat	heute	"kalte Nahwärme" 85/70°C	"kalte Nahwärme" 85/70°C
elektrischer Aufwand, in [MWh/a]	0	234	312
Energiepreis, in [€/MWh]	140	140	140
Energiekosten Strom, in [€/a]	0	32.760	43.680
Nahwärmeaufwand, in [MWh/a]	359	125	46
Energiepreis, in [€/MWh]	72	72	72
Energiekosten Nahwärme, in [€/a]	25.848	9.000	3.312
Energiekosten Summe, in [€/a]	25.848	41.760	46.992
Mehraufwand, in [€/a]		+ 15.912	21.144

Tabelle 24 Energiemengen- und -kostenmehraufwand

4.5 Fazit zur Wirtschaftlichkeit bei reiner Stromnachheizung

Die Temperaturabsenkung in der Nahwärme bewirkt geringere Netzverluste und erlaubt eine Sommerabschaltung des Netzes. Es wird eine deutliche Verminderung der Verluste erreicht. Es ergibt sich eine Kostenersparnis von:

- ca. 15.000 € beim Temperaturniveau 85/70°C
- ca. 18.000 € beim Temperaturniveau 60/40°C

Allerdings muss die fehlende Netztemperatur in der Nahwärme durch lokale Nachheizung des Trinkwarmwassers ausgeglichen werden. Ein Teil der heutigen Nahwärmekosten für die Trinkwarmwasserbereitung entfallen, dafür wird nun Strom eingesetzt. Es ergeben sich Mehrkosten von:

- ca. 16.000 € beim Temperaturniveau 85/70°C
- ca. 21.000 € beim Temperaturniveau 60/40°C

Allein die Betrachtung der Energiekosten ergibt, dass keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann. Kosten für eine Anschaffung der elektrischen Heizstäbe werden nicht weiter ermittelt, da alle Investitionskosten das Ergebnis noch unwirtschaftlicher machen.

Fazit: der Betrieb des Netzes als System "kalter Nahwärme" rechnet sich nicht, wenn das lokale Ersatzheizsystem eine elektrische Nachheizung ist.

Allerdings lässt sich nur die elektrische Nachheizung lokal unter Beibehaltung der jetzigen Übergabestationen einbinden. Alle anderen lokalen Nachheizsysteme bedeuten einen Totalumbau der Warmwasserbereitung und wurden daher gar nicht untersucht.

4.6 Solarthermie und "kalte Nahwärme"

Dieser Abschnitt beleuchtet die technischen Hintergründe der Solarthermie und ihre sinnvolle Einbindung in ein System "kalter Nahwärme" im speziellen. Es werden auch allgemeingültige Punkte angesprochen. Da sowohl die Solarthermie als auch die "kalte Nahwärme" einen ausgeprägten – und gegenläufigen – Jahresgang haben, ist nur eine überschlägige energetische Bewertung möglich. Eine kurze Abschätzung des wirtschaftlichen Erfolgs von Solarthermie erfolgt dennoch.

Die Einbindung von Solarthermie kann unabhängig von der Frage "kalter Nahwärme" erfolgen. In Verbindung mit "kalter Nahwärme" soll auf einige Randdaten hingewiesen werden.

Deckungsraten

In der Voruntersuchung zur solaren Trinkwarmwasserbereitung [4] wurde bereits darauf hingewiesen, dass mit einer Solarthermieanlage in Neuerkerode wegen des ausgeprägten Spitzenzapfprofils (viel Wasser in kurzer Zeit) sowie der hohen Hygieneanforderungen (60 – 65°C) eine eher geringe solare Deckung zu erwarten ist. Nach Rücksprache mit mehreren Fachplanern ist im Jahresmittel eine Deckung von 30 % bezogen auf den Trinkwarmwasserbedarf (Nutzen und Verluste) realistisch.

Positive gegenläufige Tendenzen

Solarthermie ist prinzipiell ein im Jahresgang günstiges System, um die fehlende Leistung einer "kalten Nahwärme" auszugleichen. Sie liefert dann die höchsten Erträge, wenn die Nahwärmeleistung bei an der Heizlast orientierter witterungsgeführter Vorlauftemperaturregelung am geringsten ist.

Vorrangige Nutzung bei drei Energiequellen

Sollte Solarthermie mit in ein System "kalter Nahwärme" eingebunden werden, dann muss entschieden werden, welche Energiequelle erst-, zweit- und drittrangig genutzt wird. Sinnvollerweise wird der kostengünstigste Energielieferant zuerst genutzt, der teuerste zuletzt. Das ergibt die Nutzung von Solarthermie, dann Nahwärme, dann elektrischer Nachheizung.

Nachheizungsproblematik

Wenn Solarthermie der erste Energielieferant für das zu erwärmende Warmwasser ist, ergibt sich hier im besten Fall eine Aufheizung desselben auf die gewünschten 65°C. Dies wird jedoch nur an wenigen Tagen des Jahres im Hochsommer durchgängig der Fall sein.

Es ist davon auszugehen, dass auch in den Sommermonaten eine Nachheizung benötigt wird. Diese kann dann allerdings nur elektrisch erfolgen, weil die "kalte Nahwärme" dann gar nicht verfügbar ist.

In den Übergangsmonaten ist davon auszugehen, dass die Solarthermie zur Trinkwasservorwärmung verwendet wird und dauernd Nachheizung benötigt wird. Diese kann dann wiederum nur überwiegend elektrisch erfolgen, weil die "kalte Nahwärme" selbst nicht genügend Temperatur hat, um bereits vorgewärmtes Wasser nachzuwärmen.

Nur im Winterhalbjahr, wenn der Solarertrag gering ist und das Trinkwasser kaum vorgewärmt wird, also fast kalt ist, kommt die Nahwärme als Nachheizung zum Einsatz. Es wird nun wenig elektrischer Strom benötigt.

Wichtig ist: jegliche Niedertemperatursolarenergie mit Temperaturen unter 60...65°C spart in Neuerkerode nur bedingt fossile Energieträger wie die Nahwärme ein – und sei die Energiemenge noch so groß. Es werden dann für die finale Temperaturerhöhung Strom oder Nahwärme gebraucht.

Das betrifft vor allem die Nachtphasen ohne Solarenergiezufuhr. Sobald der solare Pufferspeicher einmal unter die notwendigen Temperaturen kommt, wird Nachheizung erforderlich.

Berechnung der Einsparmengen

Die beschriebenen Prozesse können nur mit einer Simulation der Anlage berechnet werden. Dies kann nur sehr grob per Excel erfolgen. Wichtig für alle Überlegungen ist: welche Energiemenge kann die Solarthermie liefern und auf welchem Temperaturniveau befindet sich das Trinkwasser nach Durchlauf durch die Solarthermie.

Jahresgang des Ertrags und mögliche Spitzenlastdeckung

Um eine Einschätzung möglicher Spitzenlasterzeuger zu bekommen, soll ein ungefährender Jahresgang des Solarertrags zu Hilfe genommen werden. Zugrunde gelegt werden die Kennwerte nach DIN V 18599-8, der Norm zur energetischen Bewertung von Trinkwasseranlagen in Gebäuden.

Der Jahresgang wurde mit den Kennwerten der Norm erstellt, wobei eine 30%-ige Deckung des Warmwasserbedarfs unterstellt wurde, siehe Bild 12.

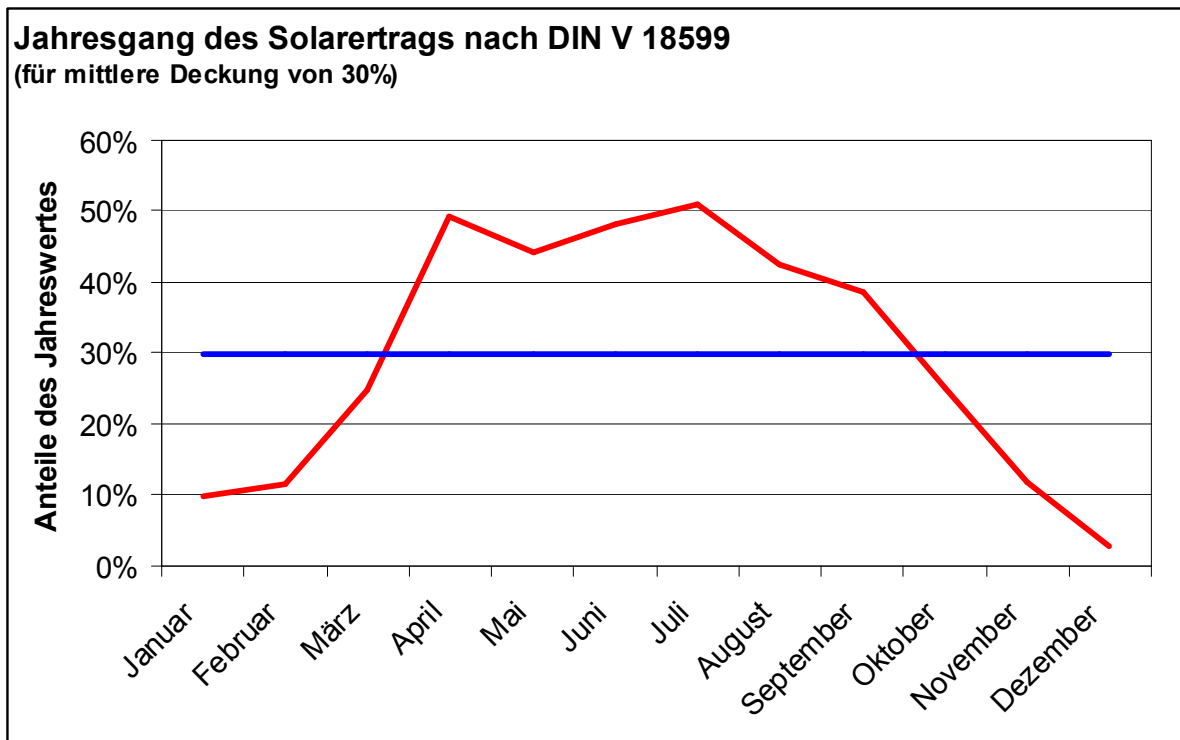


Bild 12 vereinfachter Jahresverlauf des Solarertrags nach DIN V 18599

Die zu 100 % fehlenden Energiemengen – auch im Sommer knapp 50 %! – müssen durch Nachheizung mit einem anderen Erzeuger gedeckt werden. Als Spitzenlasterzeuger kommen alle Erzeuger in Frage, die es ganzjährig problemlos schaffen, eine Temperatur von 65°C im Trinkwarmwasser sicherzustellen.

Nahwärme

- "Kalte Nahwärme" ist als Spitzenlasterzeuger nur bedingt geeignet, weil die Nachheizung im Sommerfall nicht sichergestellt ist
- die heutige Hochtemperaturnahwärme kann technisch eingesetzt werden, weil die Temperaturen hoch genug sind – wobei die Wirtschaftlichkeit im Sommer insgesamt fragwürdig ist, weil die Netzverluste sehr hoch sind und der Nutzen sehr gering (Gesamtnutzungsgrad im Sommer ca. 60 %)

Lokale Erzeuger

- Gas- und Ölkessel sind technisch und wirtschaftlich denkbar, wobei Öl besser als Flüssiggas ist, weil besser und billiger lagerbar und auch besser als lokal eingesetztes Erdgas, weil die teure Leitungsverlegung entfällt
- Holzkessel sind technisch denkbar, wenn auch problematisch im Sommer, da einerseits nur kleine Wärmemengen benötigt werden, andererseits Holzkessel nicht regelbar sind
- Wärmepumpen sind denkbar, wobei zu beachten ist, dass jeweils immer eine Temperatur von 65°C erreicht werden muss, was nicht zu besten Arbeitszahlen der Geräte führt; das Erreichen der Wirtschaftlichkeit kann lange dauern
- eine Elektronacherhitzung ist technisch denkbar, jedoch nur ergänzend zu einem anderen Wärmeerzeuger, weil die Warmwasserbereitung im Winter sonst sehr unwirtschaftlich würde

Ohne eine genaue Reproduktion des Jahresgangs von Solarertrag und notwendiger Nachheizung soll hier keine Empfehlung für den einen oder anderen Erzeuger ausgesprochen werden.

Einschätzung der Wirtschaftlichkeit von Solarthermie und "kalter Nahwärme"

Der Einsatz von Solarthermie in Neuerkerode wird als wirtschaftlich sinnvoll in einem Gesamtkonzept für ein Gebäude eingeschätzt. Der Warmwasserbedarf der meisten Gebäude ist so hoch, dass eine Wirtschaftlichkeit der Solarthermie wahrscheinlich ist [4].

Es gelten folgende Randdaten:

1. Solarthermie als Ersatz für heutige Hochtemperatur-Nahwärme (und ohne einen weiteren lokalen Erzeuger) ist in sich wirtschaftlich.
2. Der Ersatz von Hochtemperatur-Nahwärme durch "kalte Nahwärme" in Kombination mit elektrischer Nachheizung ist aber unwirtschaftlich.
3. Die Kombination von beidem bedeutet hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit eine Lösung dazwischen, die dadurch nicht die wirtschaftlichste Lösung sein kann.

Der Einsatz von Solarthermie mit einem lokalen Erzeuger (Holz, Öl, Wärmepumpe) wird hier nicht weiter untersucht. Es wird auf das Gesamtenergiekonzept verwiesen.

5 Fazit

Die Untersuchungen zu "kalter Nahwärme" am Beispiel des westlichen Zentralgebietes haben Folgendes ergeben:

1. die Einsparungen von Wärmeverlusten im Nahwärmenetz sind beachtlich. Mit "kalter Nahwärme" des Temperaturniveaus 85/70°C lassen sich über 60 % der Verluste vermeiden. Beim Temperaturniveau 60/40°C sind es über 75 %.
2. wegen der vorhandenen Anforderungen an die Warmwasserbereitung mit Temperaturen von 65°C reicht "kalte Nahwärme" ganzjährig nur noch zu Vorerwärmung des Trinkwarmwassers. Beim Temperaturniveau 85/70°C kann im Jahresmittel noch etwa 35 % der Warmwasserenergie gedeckt werden. Beim Temperaturniveau 60/40°C sind es unter 15 %. Die fehlende Energie muss durch Nachheizung geliefert werden.
3. die Nachheizung kann ohne große Umbauten nur elektrisch erfolgen, was jedoch nicht wirtschaftlich ist, weil die Stromkosten für die Nachheizung höher sind als die Ersparnisse der Nahwärme.

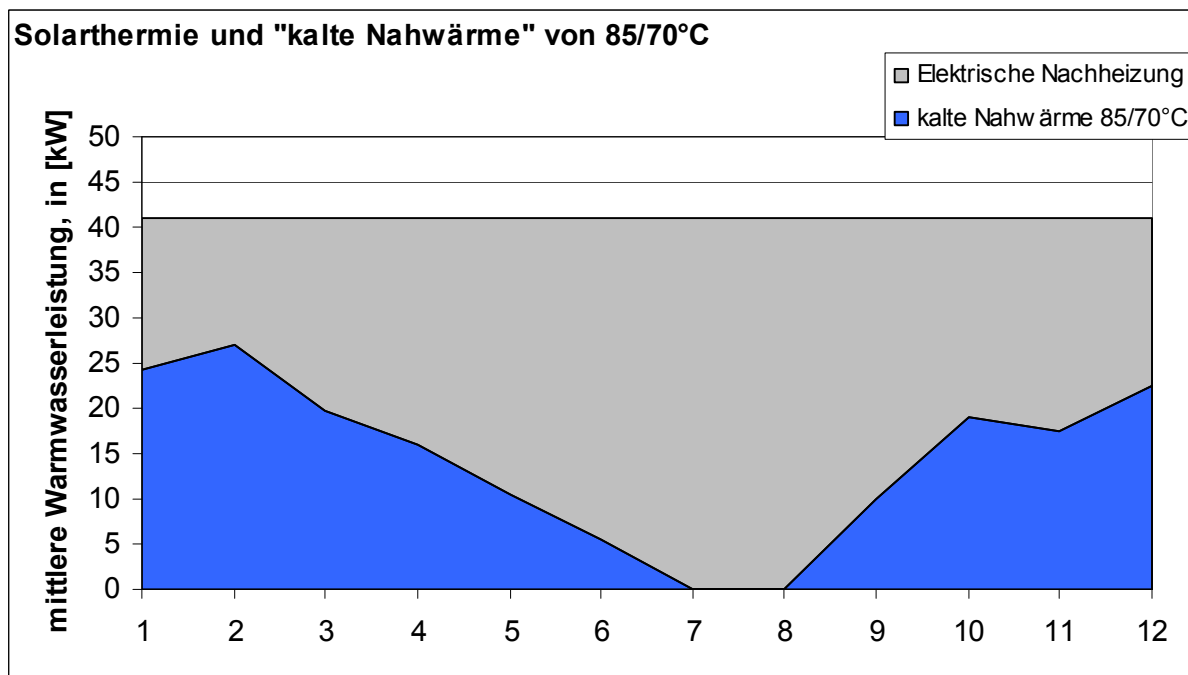


Bild 13 Mögliches Szenario mit "kalter Nahwärme" von 85/70°C

Die Aufrechterhaltung der Nahwärme oder die Komplettabschaltung – insbesondere an der Peripherie Neuerkerodes – wird im Rahmen des Gesamtenergiekonzeptes weiter geprüft.

Es zeichnet sich ab: es ist am günstigsten für die Gebäude der Peripherie ganz auf das Nahwärmenetz zu verzichten. Sollte sich dies als richtig erweisen, dann erübrigt sich die Weiterverfolgung der "kalten Nahwärme".

Einbindung von Solarthermie in ein System "kalter Nahwärme" wurde nicht detailliert untersucht, weil die korrekte Nachbildung der Verhältnisse bei der Trinkwarmwasserbereitung eine Simulation des Jahresgangs erfordert hätte. Jedoch ergeben sich folgende allgemeine Erkenntnisse:

4. Solarthermie wird dann der Grundlasterzeuger, was das Temperaturniveau des Trinkwassers bereits erhöht und den Anteil an "kalter Nahwärme" weiter senkt.

Eine grobe Abschätzung der sich ergebenden Anteile an der Leistungsdeckung für die Trinkwarmwasserbereitung zeigt Bild 14. Die Daten sind sehr grob angenommen und könnten nur in einer Solarsimulation sicherer bestimmt werden.

Vorausgesetzt, es werden neue Speicher und Übergabestationen angeschafft, dann ergäbe sich eine mittlere Deckung des Trinkwasserbedarfs des Gebäudes zu etwa je 1/3 für "kalte Nahwärme", Solarthermie und elektrische Nachheizung.

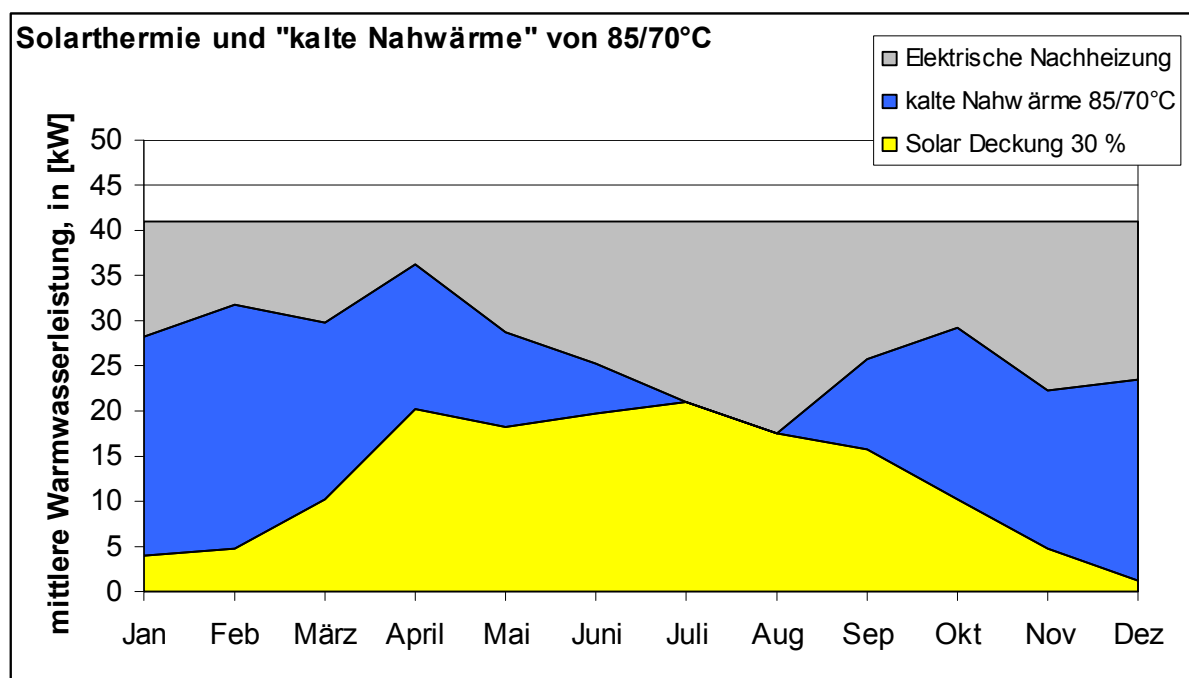


Bild 14 Mögliches Szenario mit "kalter Nahwärme" und Solarthermie

Die Einbindung von Solarthermie in Neuerkerode ist völlig unabhängig vom System "kalter Nahwärme" zu betrachten. Wenn beides für sich wirtschaftlich ist, wird auch die Kombination als sinnvoll erachtet.

Unter derzeitigen Randdaten – und mit lokal elektrischer Nachheizung – ist die "kalte Nahwärme" für sich unwirtschaftlich. Die Solarthermie ist für sich wirtschaftlich und subventioniert somit die "kalte Nahwärme". Dies wird als insgesamt nicht empfehlenswert erachtet.

6 Anhang

6.1 Quellen

- [1] Jagnow/Hübener/Jüttner/Wolff; Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes; Abschlussbericht für die DBU; Teilbericht 04 Gebäude; Wolfenbüttel; 2008.
- [2] Brandes, Rene; "Untersuchung von Versorgungsalternativen für die Nahwärme mit Schwerpunkten: kalte/witterungsgeführte Nahwärme, Solarthermie, Elektroversorgung als Trinkwarmwassersysteme"; Bachelorarbeit an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften; Wolfenbüttel, Oktober 2009.
- [3] Krendel, Michael; "Untersuchung von Versorgungsalternativen für die Nahwärme mit Schwerpunkten: Dezentralisierung und Teilzentralisierung der Versorgung"; Bachelorarbeit an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften; Wolfenbüttel, August 2009.
- [4] Jagnow, Wolff, Li; Bericht "Voranalyse Solarthermie und Photovoltaik"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 06.10.2009.
- [5] Jagnow, Wolff; Bericht "Sommerheizung und Warmwasserleistung"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 06.10.2009.
- [6] Jagnow, Wolff; Bericht "Mediengrunddaten 2008"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 11.09.2009.
- [7] Jagnow; Kurzbericht "Temperaturmessungen in der Nahwärme"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 08.09.2009.
- [8] G. Cerbe / G. Wilhelms; Lehrbuch Technische Thermodynamik; 14. Auflage; Hanser Verlag; 2005.
- [9] Jagnow, Wolff; Bericht "Nahwärmenetzkarten"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 07.07.2010.
- [10] DIN V 18599 "Energetische Bewertung von Gebäuden", Teil 8 "Warmwasserbereitung"; Beuth; Berlin; Februar 2007.