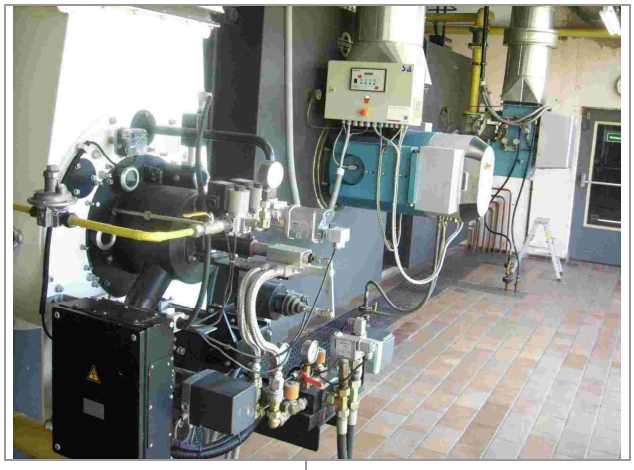
mit Korrekturen von Juli 2009



Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes

Abschlussbericht 05:
Nahwärmeerzeugung und Netz

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

Cand.-Ing. Renke Wirdemann, Wolfenbüttel
Dipl.-Ing. (FH) Alex Hübener, Athenstedt
Dr.-Ing. Kati Jagnow, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

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

Inhalt

1 Vorwort und Einleitung 4

1.1 Aufgaben des Teilprojektes 4
1.2 Mitarbeiter und Bearbeiter 4
1.3 Überblick der Ergebnisse 5

2 Bestandsaufnahme 9

2.1 Netz 9
2.1.1 Prinzipieller Aufbau 9
2.1.2 Alter der Netztrasse 10
2.1.3 Netzlänge 11
2.1.4 Dimensionierung der Leitungen 13
2.1.5 Abschätzung des Wasserinhalts der Anlage 16
2.1.6 Rohrwerkstoffe und Schadensfälle 16
2.1.7 Medienverluste des Nahwärmenetzes 17
2.1.8 Dämmstandard 18
2.1.9 Leistungstransport und Leistungsdichte 18
2.2 Erzeuger 22
2.2.1 Prinzipieller Aufbau 22
2.2.2 Schema der Wärmezentrale 24
2.2.3 Warmwasserkessel 24
2.2.4 Brenner und Brennstoffzufuhr 26
2.2.5 Hydraulik und Pumpen 28
2.2.6 Regelung und Parameter der Kesselanlage 30
2.3 Biowärmeeinspeisung 31
2.4 Übergabestationen 33
2.5 Strömungsverhältnisse im Netz 35

3 Energetische Bewertung 37

3.1 Netz 37
3.1.1 Wärmezu- und Abfuhr laut Messung 37
3.1.2 Rechnerische Rohrnetzverluste 38
3.2 Erzeuger 39
3.2.1 Verluste der Zentrale 39
3.2.2 Bereitschafts- und Strahlungsverluste der Kessel 40
3.2.3 Abgasverluste 41
3.3 Gesamtbilanz und Nutzungsgrad 44
3.4 Hilfsenergie 44

4 Nahwärmekosten 46

4.1 Brennstoff- und Biowärmekosten 46
4.2 Hilfsenergiekosten 46
4.3 Hilfsstoffkosten 46
4.4 Wartungs- und Reparaturkosten 47
4.4.1 Kosten für die Zentrale 47
4.4.2 Kosten des Nahwärmenetzes 47
4.5 Lohnkosten 48
4.6 Zusammenfassung aller Kostenstellen 48

5 Verbesserungsmöglichkeiten 49
5.1 Verbesserung des Netzes 49
5.1.1 Einordnung der Kennwerte 49
5.1.2 Verteilverluste 49
5.1.3 Maßnahmen 50
5.2 Verbesserung der Kessel 50
5.3 Verbesserung der Biowärmeeinspeisung 51
5.4 Verbesserung der Hilfsenergien 51
5.5 Sonstiges 51
6 Ausblick und Anhang 52
6.1 Ausblick auf die anderen Teilberichte 52
6.2 Überblick über die Anlagen zu diesem Teilbericht 52

1 Vorwort und Einleitung

1.1 Aufgaben des Teilprojektes

Im Rahmen des Grundlagen-Projektes der DBU ist eine Bestandsaufnahme der Anlagentechnik des Nahwärmenetzes in der Evangelischen Stiftung Neuerkerode anzufertigen. Ausgehend von der Wärmeerzeugung über die Verteilung bis hin zur Übergabe der Wärme an die Verbraucher sollen dabei Effizienzkennziffern wie: der Jahresnutzungsgrad, die Verteilverluste, die Kosten für die Nahwärmeerzeugung u. ä. herausgearbeitet werden.

Die energetische Bewertung der Nahwärmeversorgung basiert auf Messungen der an die Abnehmer gelieferten Nahwärmemengen sowie der aus der Zentrale in das Netz eingespeisten Wärmemenge. Beide Mengen sind ebenso wie die Zufuhr der Abwärme einer Biogasanlage per Wärmemengenzähler erfasst.

Darüber hinaus muss die Kesselzentrale anhand der festzustellenden technischen Eigenschaften der Komponenten bewertet werden. Es werden vor Ort u. a. erfasst: Kesselleistungen und Gehältergröße, Oberflächenverluste und Abgasverluste, Hilfsenergieverbraucher, Medienverluste. Die messtechnischen Verteilverluste werden anhand der Leitungslängen und deren Dämmstandards überprüft.

Basierend darauf sollen Ansätze für Einsparmaßnahmen erarbeitet und vorgestellt werden.
Es soll aus der erreichbaren Einsparung abgeschätzt werden, wie umfangreich Sanierungsmaßnahmen ausgeführt werden können.

Die Arbeit ist in vier Abschnitte gegliedert. Die Bestandsaufnahme gibt einen Überblick über den Betrieb. Die Erzeuger, das Netz und die Abnehmer werden beschrieben. Es werden Kennwerte gebildet und die Anlage in Neuerkerode mit anderen verglichen.

Der zweite Abschnitt umfasst die energetische Bewertung der Zentrale und des Netzes. Alle Verlustposten werden ausgewertet und ein Gesamtenergieflussbild erstellt. Aus dieser Bilanz ergeben sich die Nahwärmekosten bzw. der Nahwärmepreis im dritten Schritt. Hierin sind jedoch nicht nur energetische Kostenanteile enthalten, sondern auch Investitionskosten, Hilfsstoffkosten, Wartungskosten und Lohnkosten.

Der letzte Abschnitt fasst mögliche Verbesserungsansätze zusammen und bewertet deren Einsparerfolg. Daraus kann im Einzelfall bereits eine grobe Wirtschaftlichkeit abgeleitet werden.

Alle Arbeiten setzten eine intensive Auswertung und Vervollständigung der vorhandenen Bestandsunterlagen voraus. Zudem wurden viele Gespräche mit den Mitarbeiter der Stiftung zur Betriebsweise und zu Problemen mit der Anlage geführt.

1.2 Mitarbeiter und Bearbeiter

Dieses Teilprojekt wurden bearbeitet von:

- Renke Wirdemann im Rahmen seiner Diplomarbeit
- Alexander Hübener zur Unterstützung der Datenauswertung, Thermographie
- Kati Jagnow zur Unterstützung der Energiebilanz

Für alle Projekte wurde auf die Hilfe von Mitarbeitern der Stiftung Neuerkerode zurückgegriffen, insbesondere sei gedankt den Herren Hennebichler, Meyer und Everling.

1.3 Überblick der Ergebnisse

In der Diplomarbeit von Renke Wirdemann wurde die Nahwärmeversorgung der Stiftung Neuerkerode aufgenommen und energetisch bewertet.

Zentrale und Biogasabwärme

Die Aufnahme liefert folgende wichtige Erkenntnisse für die Zentrale:

- die drei Warmwasserkessel mit je 4,6 MW sind Baujahr 1986/1988/1992 und als Niedertemperaturkessel ausgeführt
- es sind drei modulierende Zweistoffbrenner (Gas, Heizöl) vorhanden mit zwei mal 4,6 und ein mal 4,5 MW Leistung; (gleiche Baujahre wie die Kessel)
- die Erzeugerbetriebsweise wechselt wöchentlich zwischen Grundlastkessel, Spitzenlastkessel und Reservekessel – wobei eigentlich ein Kessel für die Versorgung der ganzen Stiftung ausreicht
- es ist immer nur ein Kessel gleichzeitig in Betrieb, die anderen sind komplett aus
- das Netz ist auf Temperaturen von 110°C/60°C ausgelegt, die minimale Sommervorlauftemperatur liegt bei 85°C
- das Netz verfügt weiterhin über zwei Doppelpumpen mit je ca. 8 kW Leistung, von denen eine für den Netzbetrieb in der Regel ausreicht (und im Sommer um ein Vielfaches zu hohe Drücke liefert)

Zusätzlich wird die Abwärme einer Biogasanlage eingespeist (mittlere Einspeiseleistung 300 kW). Allerdings ist der Einspeisepunkt ungünstig gewählt, weil nur wenige Abnehmer in Fließrichtung folgen. Die Einspeisung könnte nach ersten Abschätzungen bedeutend höher sein.

Die Wärmeerzeuger sind in einem sehr guten Zustand und weisen – für Niedertemperaturkessel – extrem gute Wirkungsgrade und geringe Oberflächenverluste auf.

Verteilnetz

Das Netz wurde 1973 erstellt, seitdem ständig erweitert, so dass derzeit je etwa 40 % der Leitungen aus den 1970er und 1980er Jahren stammen. Etwa 20 % sind seit 1990 erstellt. Das Netz weist drei Heizkreise auf, wobei der Kreis "Kaiserwald" in punkto Anschlussdichte bedeutend schlechter ausfällt als die beiden Kreise "Zentralgebiet" und "Nördlich der Wabe".

Die Verteilung verläuft größtenteils im Erdreich, teils in Kellerräumen. Die Gesamtleitungslänge von Vor- und Rücklaufleitungen beträgt 7164 m (Trassenlänge 3582 m). Nach Informationen der Mitarbeiter der Stiftung ist die größte Schwachstelle des Netzes die Außenkorrosion an den Erdleitungen, die vermutlich auf Schäden in der Außenhaut der Dämmung zurückzuführen ist. Es gibt im Schnitt pro Jahr 2 schwere Rohrbrüche.

Der durchschnittliche Nenndurchmesser des gesamten Nahwärmenetzes liegt bei 87,4 mm und ist damit verhältnismäßig groß, da Großverbraucher wie die Schule mit Schwimmbad, das Haus Zoar, das Emmaus und das Haus Sarona relativ weit vom Kesselhaus entfernt liegen. Die Rohre verjüngen sich daher erst zum Ende der Trasse. Rohre der Nenndurchmesser DN 150, DN 100, DN 80 und DN 65 machen zusammen etwa die Hälfte aller Rohrabschnitt aus.

Der Dämmstandard der Rohre ist als gut einzustufen. Die im Erdreich verlegten Rohrwerkstoffe und Dämmstoffe würden heute fast identisch immer noch zum Einsatz kommen.

Abnehmer

Die Übergabestationen sind bis auf eine Ausnahme direkte Stationen. Es sind Gebäudepumpen installiert, die zusätzliche Druckerhöhungen erreichen. Die Warmwasserbereitung der Gebäude erfolgt mit indirekt beheizten Speichern, teilweise Rohrbündelwärmeübertragern oder einer Kombination aus beidem.

Energiebilanz und Nahwärmekosten

Die Bewertung der Komplettanlage führt zu einem Energiebilanzflussbild. Dieses wurde anhand von Nahwärmemessungen geprüft.

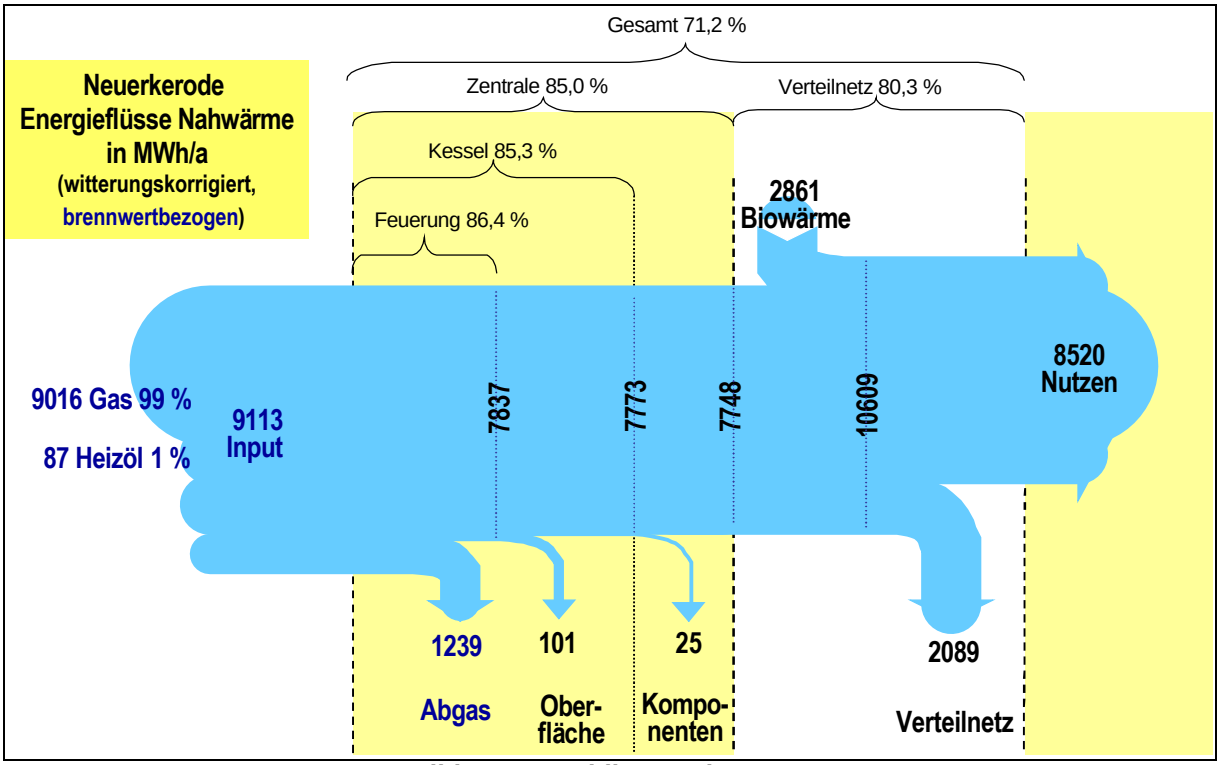


Bild 1 Gesamtbilanz Nahwärme

Die Auswertung aller Zählereinzelwerte über der Außentemperatur liefert einen typischen Jahresverlauf, Energiesignatur genannt, siehe Bild 37. Die mittlere Verlustleistung des Netzes hängt nur unwesentlich von der Außentemperatur ab. Sie beträgt ca. 250 kW. Die Abnahmeleistung der Gebäude ist im Sommer mit knapp unter 400 kW so niedrig, dass der Verteilungsnutzungsgrad im Sommer nur noch 61 % beträgt.

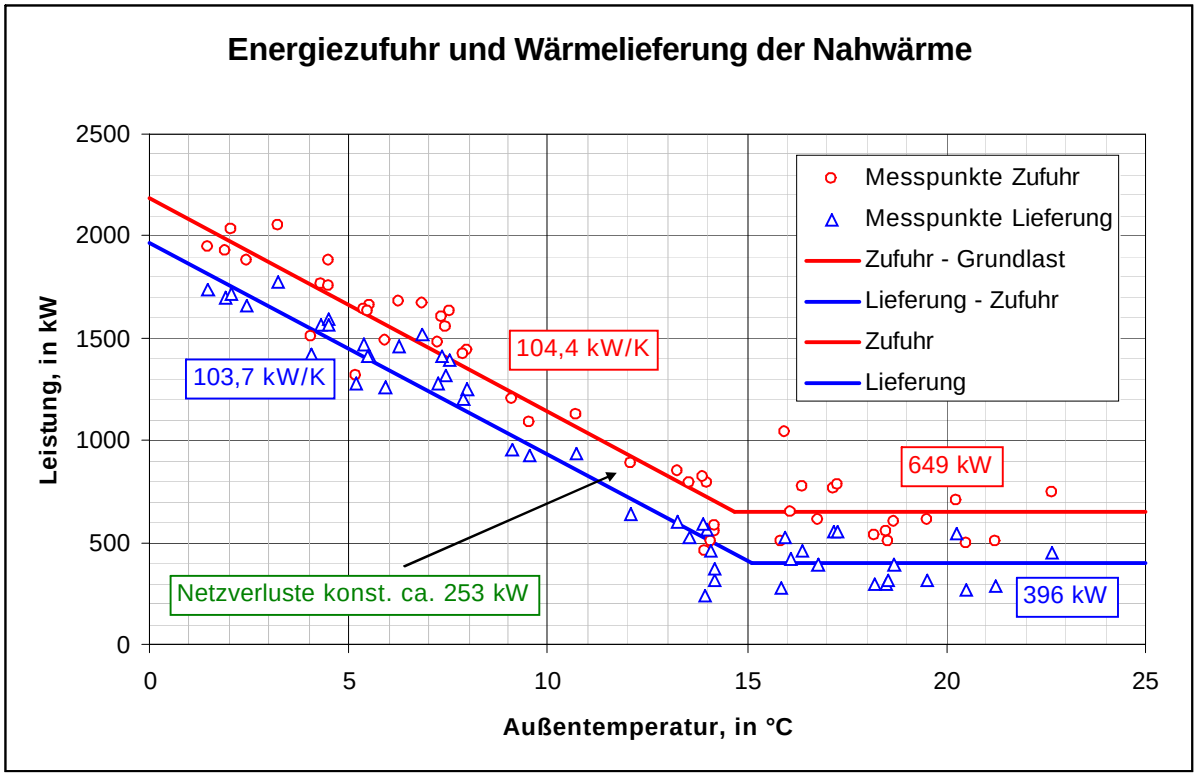


Bild 2 Verteilverlustleistung im Jahresgang

Anhand des Bilanzflussbildes kann ein Nahwärmepreis als Vollkostenpreis incl. Energiekosten, Hilfsstoffkosten, Wartungs- und Reparaturkosten sowie der Gehälter bestimmt werden.

Dieser Preis liegt bei 0,072 €/kWh. Die Kostenanteile zeigt nachfolgende Grafik.

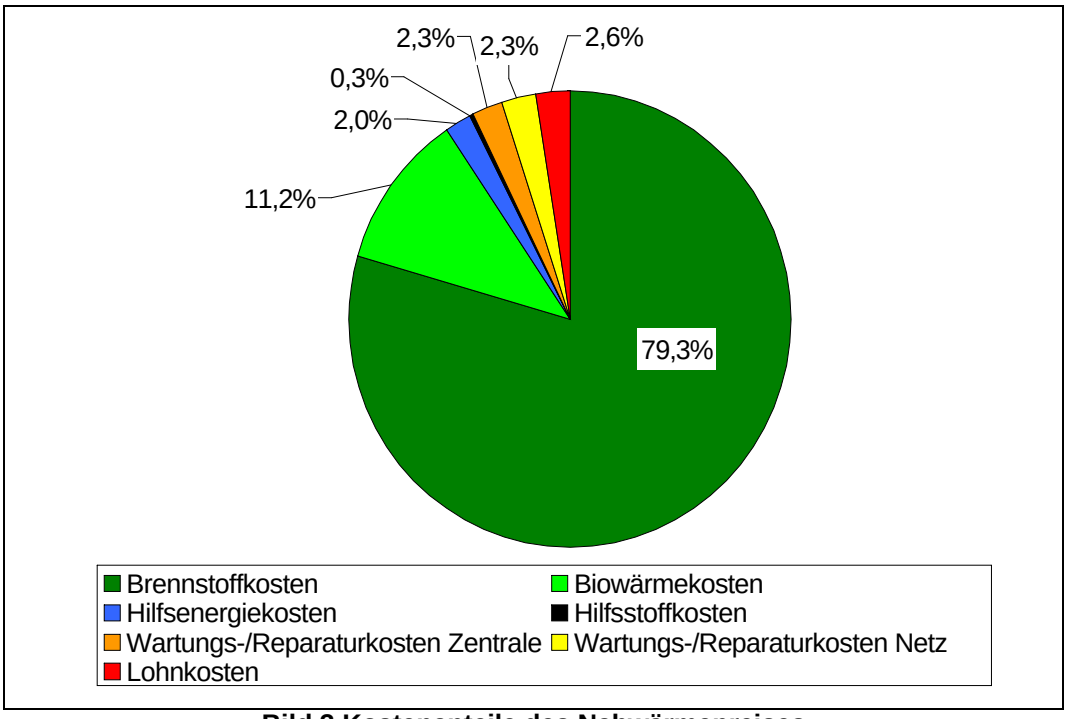


Bild 3 Kostenanteile des Nahwärmepreises

Anschlussdichte

Das generelle Problem der Nahwärme in Neuerkerode ist die heute schon sehr geringe Anschlussdichte und die damit verbundenen hohen (relativen) Verteilnetzverluste.

Die Anschlussdichte in Kilowatt Anschlussleistung (für Heizung und Warmwasser) je m² Umgebungsfläche liegt im Durchschnitt in Neuerkerode bei 56 W/m². Dabei ist das Zentralgebiet mit 76 W/m² noch verhältnismäßig gut aufgestellt. Im Gebiet Kaiserwald beträgt der Wert lediglich 30 W/m².

Die durchschnittlichen gemessenen Verteilverluste des Nahwärmenetzes bezogen auf m² Nutzfläche (hier beheizte Gebäudefläche) betragen 46 kWh/(m²a). Stellt man diesem Wert den Heizwärmebedarf eines Niedrigenergie- oder Passivhauses gegenüber, stellt man fest, dass die Verlustwärme ausreichen würde, um diese Gebäude mit Heizwärme zu versorgen. Durchschnittliche Nahwärme-Verteilnetze erreichen hier Werte von weniger als 20 kWh/m²a.

Das Problem wird sich mit allen Verbesserungsmaßnahmen an den Gebäuden verschärfen. Als Beispiel: das in derzeit modernisierte Gebäude "Elm" hat nach der Modernisierung nur noch einen Energiekennwert von ca. 100 … 120 kWh/(m²a) für Heizung und Warmwasser. Hierauf sind die fast 50 kWh/(m²a) noch zu addieren! Dieser Wert ist bereits heute höher als ein langfristig für Deutschland flächendeckend mögliches Endenergiepotenzial durch Biomasseeinsatz anstelle fossiler Energieträger in Höhe von 30 kWh/(m²a).

Verbesserungen

Kurzfristig sind am Verteilnetz keine investiven Maßnahmen denkbar, denn der Dämmstandard des Netzes ist ausreichend gut. Es kann hier nur die Empfehlung gegeben werde, dass alle Fehlstellen in der Dämmung, welche zugänglich sind, umgehend mit Dämmung versehen werden. Langfristig können die Verteilverluste vermindert werden, indem:

- das Netz ganz oder in Teilen komplett abgeschaltet wird
- das Netz ganz oder in Teilen bei der Sanierung geringer dimensioniert und besser gedämmt wird
- die Netztemperatur gesenkt wird

Für die Kessel kommen keine gering investive. Maßnahmen in Betracht.

Der Ersatz eines Kessels durch Brennwerttechnik (bei feuerungstechnischen Wirkungsgraden von ca. 92 % statt 86 %), in Verbindung mit einer Umstellung auf Grundlast mit Brennwerttechnik und Spitzenlast sowie Notbetrieb mit einem der beiden alten Kessel brächte ca. 600 MWh/a Ersparnis. Soll diese Maßnahmen umgesetzt werden, so muss die Rücklauftemperatur so niedrig wie möglich sein. Es sind vermutlich zunächst Gebäude zu modernisieren, um die Netzrücklauftemperatur senken zu können.

Generell kann selbstverständlich über eine komplett andere Art der Versorgung nachgedacht werden. Das ist Ziel eines Nachfolgeprojektes. Es sind darüber hinaus in diesem Zuge Maßnahmen zu erarbeiten, die Biowärmeeinspeisung insgesamt zu erhöhen, jedoch nicht um Verluste auszugleichen, die ansonsten gar nicht vorhanden wären. Im Rahmen der Bestandsaufnahme konnte dieses Problem noch nicht gelöst werden.

Letztlich kann kurzfristig die Hilfsenergie, insbesondere der Netzpumpen vermindert werden. Der Einbau hocheffizienter Pumpen reduziert den Stromverbrauch im Schnitt um 60 … 70 % und ist in Neuerkerode denkbar.

2 Bestandsaufnahme

Dieser Abschnitt gibt die Erkenntnisse der Bestandsaufnahme für das Netz und die Erzeuger wieder. Die Anlage wird anhand ihrer Kennwerte für die Anschlussdichte mit anderen Anlagen verglichen.

2.1 Netz

2.1.1 Prinzipieller Aufbau

Das Heizwassernetz der Stiftung Neuerkerode unterteilt sich in drei Abnehmerheizkreise, die von einem zentralen Verteiler im Kesselhaus bedient werden. Die Namen der Heizkreise "Kaiserwald", "Zentralgebiet" und "Nördlich der Wabe" sind den örtlichen Gegebenheiten angepasst.

Die Leitungsführung ist aus dem im Anhang beigefügten Trassenplan zu entnehmen. In der folgenden Abbildung sind die Gebäude des Heizkreises "Kaiserwald" in grün, die Gebäude des "Heizkreises "Zentralgebiet" in blau und die Gebäude des Heizkreises "Nördlich der Wabe" in rot dargestellt.

Bild 4 Trassenplan, verkleinert dargestellt)

Der Heizkreis "Kaiserwald" ist nach dem im Süden der Stiftung liegendem gleichnamigem Wald benannt. Von diesem Heizkreis aus, werden unter anderem der Dorfkrug, der Mühlenhof, das Haus Asse, das Haus Zoar, die Weidenweghäuser und das Emmaus mit Wärme versorgt.

Am Heizkreis "Zentralgebiet" sind die meistens Abnehmer angeschlossen, zu ihnen gehören das Zentrallager, die Küche, das Frauenhaus, das Männerhaus, das Haus Elm, das Waschhaus, die Verwaltung, der Kiosk, das Handwerkerhaus, das alte Schulhaus, das Haus Elm, das Haus Bethesda, das Krankenhaus, das Wohnhaus II, das Haus Bethanien, das Haus Sarona, das Pfarrhaus, das Wohnhaus III, das Wabehaus, die Tischlerei/Schlosserei, der Kindergarten und die Kegelbahn.

Der dritte Heizkreis der seinen Namen dem durch die Stiftung verlaufenden Bach "Wabe" verdankt, versorgt das nördliche Gebiet der Stiftung. Angeschlossen sind die Gebäude Lindenplatz und Sundern, mehrere Gewächshäuser, die Gärtnerei, das Haus Sonnenschein, das Haus Ohe, das Haus Gartenweg 10, die Werkstätten Lindenweg/Gartenweg, das Therapiehaus, die Schule und das Schwimmbad.

Für den Überblick ist im Anhang ein Trassenplan beigefügt, der bei einer Ortsbesichtigung mit Hilfe des zuständigen Personal der Stiftung, um Erweiterungen und Änderungen vervollständig wurde. Es konnten aber nicht alle Leitungen in den Gebäuden besichtigt und vermessen werden. Obwohl versichert wurde, dass die Leitungsführung sehr genau mit dem Plan übereinstimmt, sind kleinere Fehler und Unstimmigkeiten nicht auszuschließen.

2.1.2 Alter der Netztrasse

Da die Nahwärmenetz ständig erweitert und saniert wurde und nicht mehr für jede Baumaßnahme Unterlagen vorhanden sind, basiert die Auswertung größtenteils auf den Aussagen des mit dem Nahwärmenetz beauftragtem Personals der Stiftung.

Die ältesten Trassenabschnitte stammen demnach aus dem Jahr 1973, da im diesem Jahr das gesamte Nahwärmenetz saniert bzw. überhaupt eingebaut worden ist.

Seitdem wurden aber schon ganze Streckenabschnitte saniert, wie z. B. im Heizkreis "Kaiserwald" 1980, als die Leitungen zwischen dem T-Stück beim Haus Asse, bis hin zum T-Stück bei den Weidenweghäusern erneuert wurden. Außerdem wurde 1994 dieser Heizkreis um die sechs damaligen Neubauten hinter dem Haus Asse erweitert. So beschränkt sich der alte Teil von ca. 1973 auf das Stück zwischen Kesselhaus und dem T-Stück beim Haus Asse, einschließlich aller Anschlüsse und dem Stück zwischen dem Haus Zoar und dem Haus Emmaus.

Bild 5 Nahwärmeleitungen vor und nach der Sanierung

Beim Heizkreis "Zentralgebiet" hingegen ist immer noch der größte Teil des Netzes von 1973. Das einzig Erwähnenswerte ist, dass erst 1987 alle Gebäude der Stiftung, die hinter dem Haus Sarona liegen, an das Nahwärmenetz angeschlossen wurden.

Der Heizkreis "Nördlich der Wabe" hat dagegen viele modernere Streckenabschnitte, um die das Netz erweitert worden ist. Die Hauptleitungen, wie die Leitung zur Schule, stammen aus dem Jahr 1973. Die größte Erweiterung kam dann im Jahr 1980, als die Gebäude Lindenweg und Sundern an den Heizkreis angeschlossen wurden. Weiterhin kamen in den 1990er Jahren viele kleine Erweiterungen dazu, dabei wurden z. B. einige Gewächshäuser und Gebäude der Gärtnerei angeschlossen.

Auch ist aus den Schilderungen der zuständigen Mitarbeiter hervorgegangen, dass einige Leckstellen in der Hauptleitung aufgetreten sind, so dass an mehreren Stellen jeweils Strecken von ca. 6 Meter Länge ausgebessert wurden.

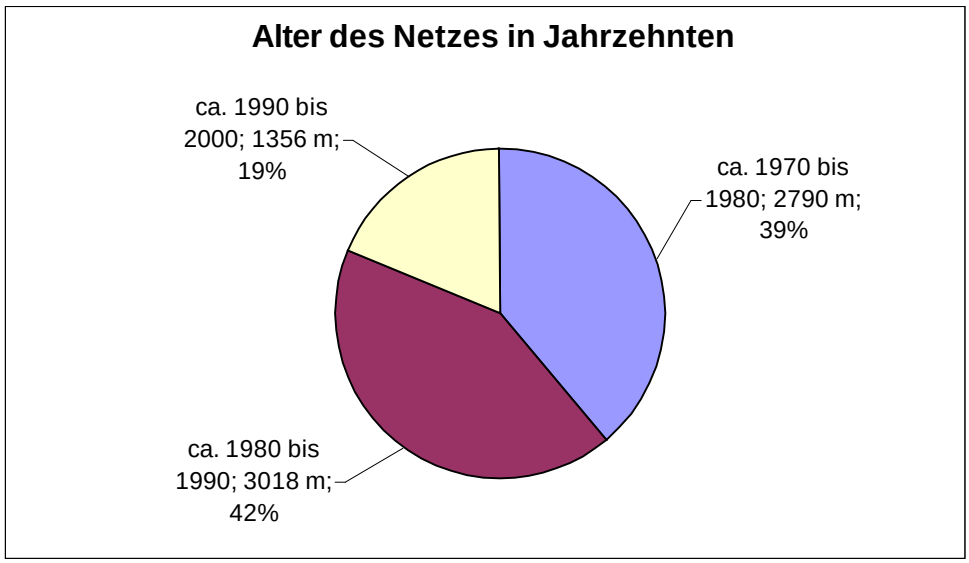


Bild 6 Diagramm über das Alter und die Menge der verbauten Nahwärmeleitungen)

Wie in Bild 6 zu erkennen, stammt der größte Teil des Nahwärmenetzes mit 42 %, aus den achtziger Jahren. Dies begründet sich anhand der zahlreichen Erweiterungen in dieser Zeit und beruht nicht auf Sanierungen.

Der Anteil der in den neunziger Jahren verlegten Leitungen ist mit 19 % eher gering, da dort schon fast alle bestehenden Gebäude der Stiftung am Netz angeschlossen waren. Trotzdem ist der Anteil wieder hauptsächlich auf die in dieser Zeit errichteten Neubauten zurückzuführen, nicht auf Sanierungen.

In dem jetzigen Jahrzehnt sind keine Erweiterungen und umfangreichen Sanierungen am Nahwärmenetz bekannt, deshalb wurde die Zeit seit dem Jahr 2000 nicht gesondert ausgewertet.

Die Altersbeständigkeit der Rohrleitungen ist als normal einzustufen. Wenn Schäden auftraten, sind diese überwiegend auf Korrosion von außen oder auf mangelnde Verarbeitung während der Bauphase zurückzuführen.

2.1.3 Netzlänge

Die Leitungsführung**,** die aus dem Trassenplan zu entnehmen ist, wurde für die einzelnen Heizkreise separat ausgewertet. Dabei ist zu erwähnen, dass bei einigen Nennweiten, bei Streckenlängen und weiteren Eigenschaften Annahmen getroffen werden mussten, weil keine Begehung oder Besichtigung möglich war. Für den größten Teil der Trasse waren aber detaillierte Daten vorhanden.

Die Gesamtlänge des Nahwärmenetzes kann nachfolgender Tabelle entnommen werden. Bild 7 zeigt die Aufteilung auf die drei Heizkreise.

Gesamtlänge	7164 m	
Davon im Erdreich	5966 m	83 %
Davon im Gebäude	1198 m	17 %

Tabelle 1 Gesamtlänge des Nahwärmenetzes

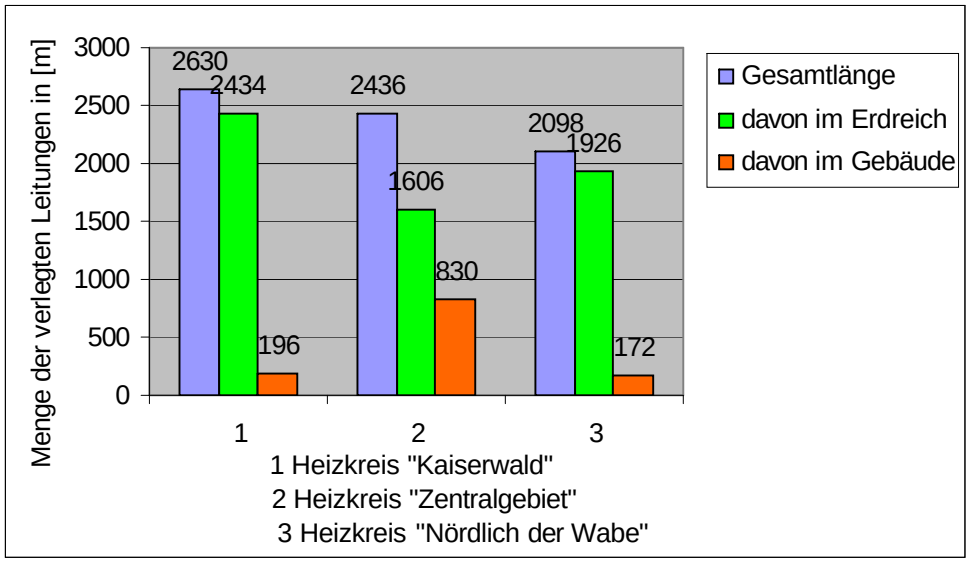


Bild 7 Darstellung der Leitungslängen in den drei Nahwärmeheizkreisen

Die Auswertung der einzelnen Streckenlängen ergibt, dass im Heizkreis "Kaiserwald" mit 2630 Metern am meisten Fernwärmerohr verbaut ist, Der Grund hierfür ist die lange Versorgungsleitung vom Kesselhaus bis zum T-Stück bei den Weidenweghäusern. Die Leitungen sind bei diesem Heizkreis fast ausschließlich im Erdreich verlegt (93%). Die 196 Meter die im Gebäude verlegt sind, dienen überwiegend als Anschlussleitungen der Übergabestationen.

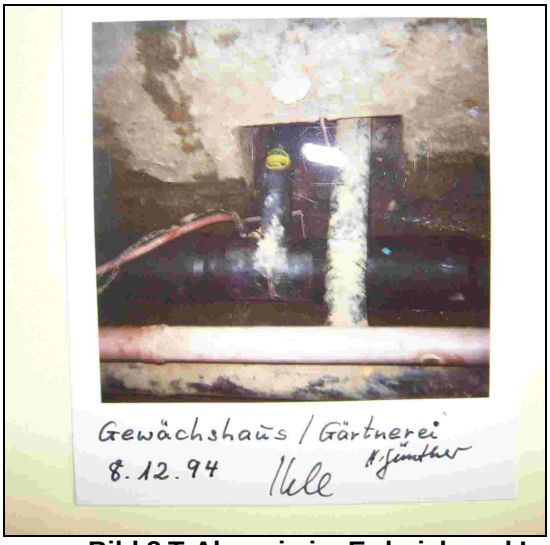
Beim Heizkreis "Zentralgebiet" ergab die Auswertung eine Gesamtlänge von 2436 Metern. Davon sind jedoch 34 % in Gebäuden verlegt, mehr als bei jedem anderen Heizkreis. Dies hat den Grund, dass im Zentralgebiet die Gebäude dichter zusammenstehen und ganze Trassenabschnitte in den Kellern der Gebäude verlaufen – insbesondere im Wirtschaftshof. Durch die Ortsbesichtigungen konnten die meisten Leitungen zugeordnet und nachträglich in den Trassenplan eingezeichnet werden.

Der Heizkreis "Nördlich der Wabe" ist der kleinste Heizkreis mit 2098 Metern. Ähnlich wie beim Heizkreis "Kaiserwald" verlaufen die Trassenabschnitte fast ausschließlich im Erdreich. Einzig durch die Schule zum Schwimmbad verläuft ein Trassenabschnitt im Gebäude. Erwähnenswert ist auch, dass in diesem Trassenabschnitt die Fremdwärme der Biogasanlage eingespeist wird.

Ingesamt sind im gesamten Nahwärmenetz 7164 Meter Rohr verlegt. Bei der Leitungsführung wurde auf Dehnungsausgleicher, nach stichprobenartiger Überprüfung, ausreichend geachtet. Die meisten sind als Dehnungsbögen im Trassenplan eingezeichnet. Es gibt aber auch einige, die nur in den Detailplänen der Erweiterungen oder gar nicht eingezeichnet wurden. Die Dehnungsbögen sind überall dort zu finden, wo eine kritische gerade Rohrlänge überschritten ist.

Ansonsten wurden zwingend notwendige Bögen mit Dehnungspolstern versehen. Diese Polster sind hinter den Bögen installiert und geben den Rohrleitungen dadurch Beweglichkeit. Die Dehnungsmöglichkeiten sind als ausreichend anzusehen, da dem Personal keine diesbezüglichen Probleme bekannt sind.

Die Ausführung von Abzweigen im Rohrsystem wurde in fast allen Fällen in Form von T-Abzweigen realisiert. Dies geht aus den Aufmasslisten der ausführenden Firmen, die mit den Ausbau und der Sanierung des Rohrnetzes beauftragt waren, hervor. Typische Beispiele zeigt nachfolgendes Bild.



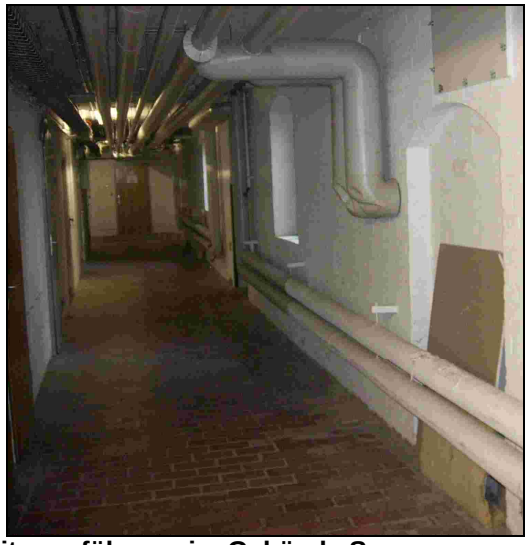


Bild 8 T-Abzweig im Erdreich und Leitungsführung im Gebäude Sarona

2.1.4 Dimensionierung der Leitungen

Die Daten für die Dimensionierung der Rohrabschnitte stammen zum Großteil aus dem Tressenplan. Ergänzt wurden sie mit Erkenntnissen der Begehung. Als schwierig stellten sich die zahlreichen Erweiterungen heraus, da nicht für alle ein Leitungsplan vorhanden war. Es wurden deshalb sinnvolle Annahmen für diesen (geringen) Teil der Nahwärmeleitungen getroffen.

Ingesamt sind im gesamten Rohrnetz zehn verschiedene Nennweiten verbaut, wenn der Kesselkreis im Kesselhaus, der mit DN 250 ausgeführt ist, mitgezählt wird. Aus dem Kesselhaus heraus sind die drei Heizkreise in DN 150 ausgeführt. Dann verringert sich die Nennweite, je nach Leistung der angeschlossenen Verbraucher, auf bis zu DN 32 oder DN 25.

Da dabei auch verschiedene Rohrsysteme, wie z. B. PEX – Rohr bei Erweiterungen, eingesetzt wurden, können die Nennweiten durch das Rohrsystem bedingt, geringfügig abweichen.

In den folgenden Grafiken wurden das gesamte Rohrnetz und die drei Heizkreise zusätzlich separat ausgewertet. Dabei sind alle Teilstrecken der einzelnen Heizkreise mit Hilfe einer Exceltabelle aufgenommen und ausgewertet worden.

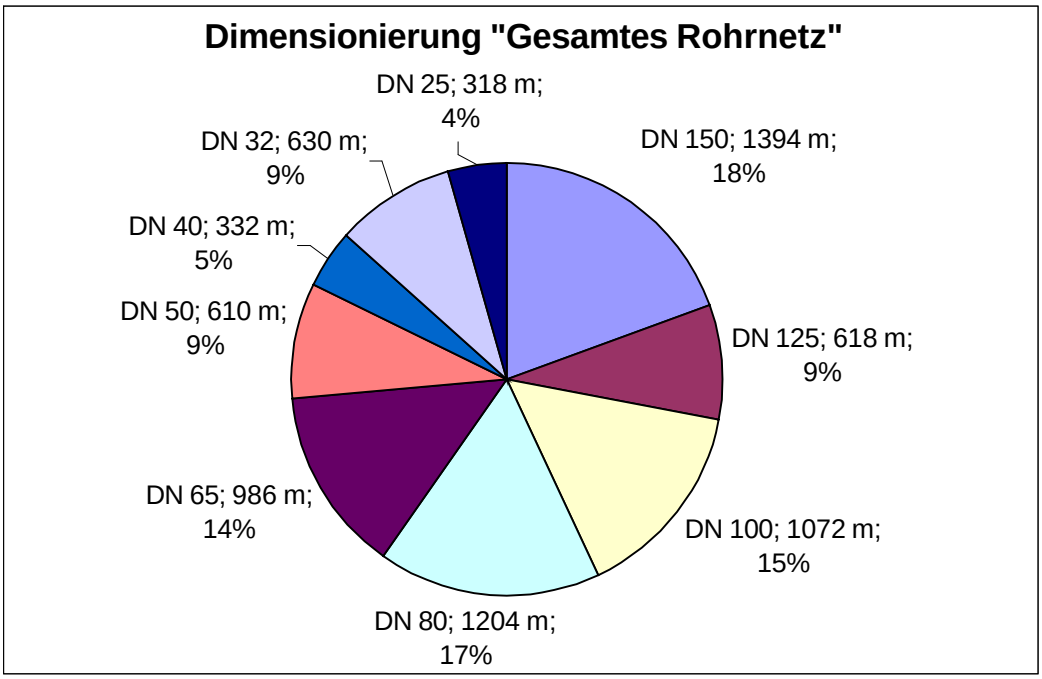


Bild 9 Dimensionierung der Nennweiten des gesamten Nahwärmenetzes

Rohre der Nenndurchmesser DN 150, DN 100, DN 80 und DN 65 machen zusammen etwa die Hälfte aller Rohrabschnitt aus.

Beachtlich ist das insgesamt ein großer Teil des Nahwärmenetzes in der Nennweite 100 und größer ausgeführt ist. Dieser Anteil beträgt 42 % und ist damit zu begründen, dass große Verbraucher, wie z.B. beim Heizkreis "Kaiserwald" relativ weit vom Kesselhaus entfernt liegen. Daher verjüngen sich die Rohrabschnitte erst auf den letzten Metern.

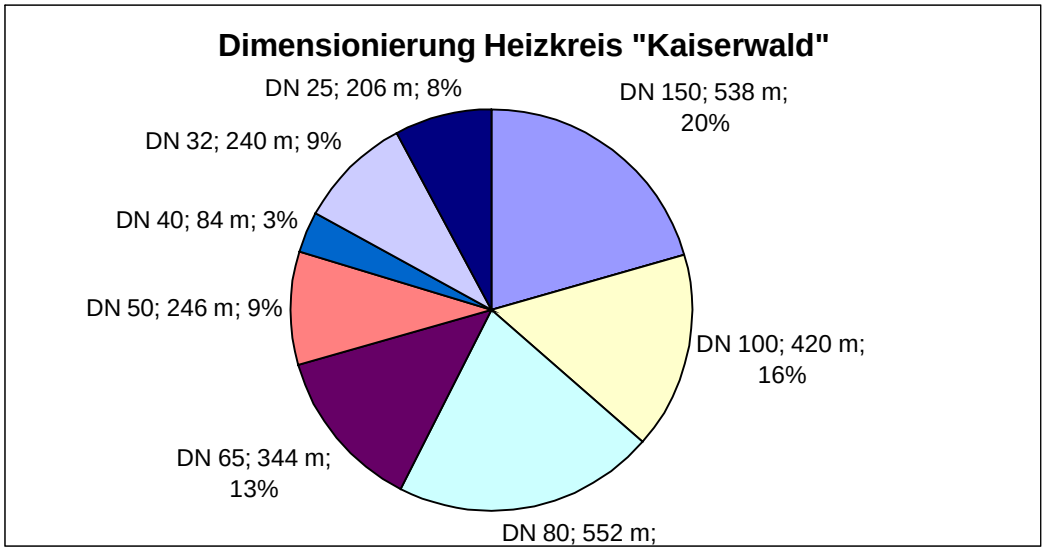


Bild 10 Dimensionierung der Nennweiten für den Heizkreis I: "Kaiserwald"

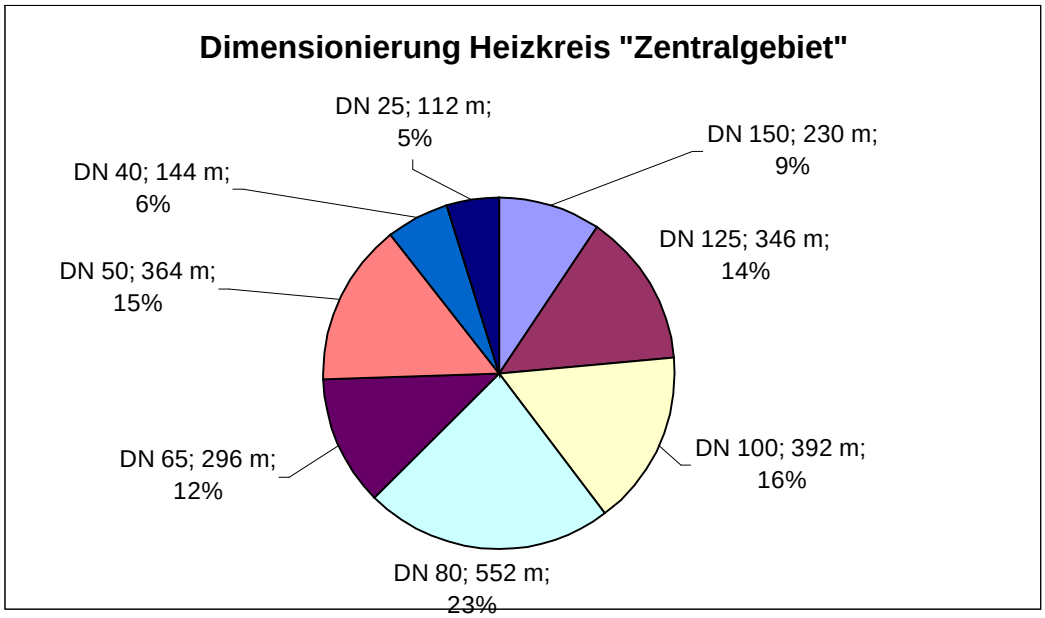


Bild 11 Dimensionierung der Nennweiten für den Heizkreis II: "Zentralgebiet"

Beim Heizkreis "Zentralgebiet" ist auffallend, dass sehr wenig Leitungen in DN 150 ausgeführt sind und dafür relativ viele in DN 80 bis DN 125. Dieses begründet sich damit, dass sich das Rohrsystem beim T-Stück in der Nähe der Küche in zwei Hauptäste aufteilt und so viele mittlere Nennweiten verbaut wurden.

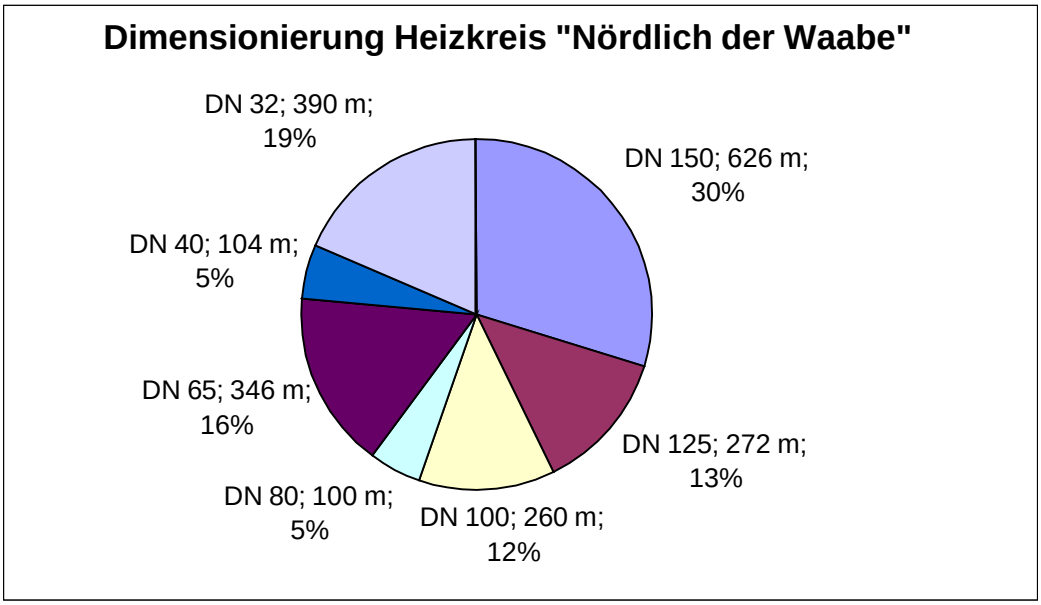


Bild 12 Dimensionierung der Nennweiten für den Heizkreis III: "Nördlich der Wabe"

Wie aus der Grafik zu entnehmen ist, wurde beim Heizkreis "Nördlich der Wabe" sehr viel Rohr der Größe DN 150 verbaut. Beide Hauptäste zur Schule und zum Lindenplatz/Sundern sind in dieser Nennweite ausgeführt.

Mittlerer Durchmesser

Aus den Einzelkennwerten können längengewichtete mittlere Durchmesser für das Netz bestimmt werden.

- Gesamtes Rohrnetz: 87,4 mm
- Heizkreis I: "Kaiserwald": 82,8 mm
- Heizkreis II: "Zentralgebiet": 85,0 mm
- Heizkreis III: "Nördlich der Wabe": 95,8 mm

Die beiden Heizkreise "Kaiserwald" und "Zentralgebiet" liegen mit durchschnittlichen Nenndurchmesser von 82,8 und 85,0 mm dicht beieinander. Beim Heizkreis "Nördlich der Wabe" hingegen ist, bedingt durch die Ausführung der beiden Hauptäste in DN 150, ein größerer mittlerer Nenndurchmesser festgestellt worden.

Der durchschnittliche Nenndurchmesser des gesamten Nahwärmenetzes liegt bei 87,4 mm und ist damit verhältnismäßig groß, da Großverbraucher wie die Schule mit Schwimmbad, das Haus Zoar, das Emmaus und das Haus Sarona relativ weit vom Kesselhaus entfernt liegen.

2.1.5 Abschätzung des Wasserinhalts der Anlage

Der Wasserinhalt der Gesamtanlage kann nur grob geschätzt werden. Für die Trasse werden die Gesamtlänge und der mittlere Durchmesser herangezogen.

$$V_{WN} = \frac{0{,}874^2\,\mathrm{m} \cdot \pi \cdot 7164\mathrm{m}}{4} = \underline{4298\mathrm{m}^3}$$

Da es sich bei den in der Stiftung Neuerkerode eingesetzten Übergabestationen um direkt ausgeführte handelt, muss das Füllmedium in den Gebäudeheizungen auch berücksichtigt werden.

Da es sehr aufwendig wäre, die Wassermenge in jedem Gebäude zu bestimmen, wird von einem Schätzwert von ca. 1/3 des Gesamtvolumens ausgegangen. Es ergibt sich damit ein Gesamtvolumen von fast 6500 m³.

$$V_W = 4298\mathrm{m}^3 + 2148\mathrm{m}^3 = \underline{6447\mathrm{m}^3}$$

2.1.6 Rohrwerkstoffe und Schadensfälle

Der größte Anteil der Nahwärmeleitungen sind Erdleitungen, welche sich in einer durchschnittlichen Tiefe von 1,6 bis 1,8 Meter befinden.

Das am häufigsten verwendete Rohrsystem im Nahwärmenetz ist das Kunststoffmantelrohrsystem (KMR). Dieses Rohrsystem besteht im Aufbau aus einem in der Mitte befindlichen Stahlmediumrohr, umgeben von einer Wärmedämmung aus Polyurethan oder FCKW-freiem PUR-Schaum. Gegen äußere Einflüsse schützt ein Kunststoff-Mantelrohr.

Bestückt ist diese Art Rohr mit einem Leckwarnsystem. Dieses besteht aus einem dünnen Draht, der am Rohr befestigt ist und seinen Widerstand verändert, sobald durch einen Rohrbruch Heizwasser austritt.

Die Gebäudeleitungen, insbesondere der alten Trassenabschnitte bestehen aus individuell mit Stein- oder Glaswolle gedämmten Stahlleitungen im Gips- oder seltener Stahlblechmantel.

Die aufgetretenen Schäden beim Rohrnetz sind so gut wie immer auf Korrosion von außen oder nicht fachgerechte Montage zurückzuführen. Die Schäden treten fast ausschließlich bei den Erdleitungen auf.

Bild 13 Typischer Rohbruch aufgrund Korrosion von außen

Nach Erfahrungswerten des zuständigen Personals treten die meisten Schäden in den ersten 15 Jahren nach der Installation auf. Danach fällt die Schadensanfälligkeit bis zu einem gewissen Alter wieder ab. Insgesamt gibt es ein bis zwei schwere Rohrbrüche pro Jahr.

Es kann jedoch abschließend festgestellt werden, dass das Nahwärmenetz in gutem Zustand ist. Es wird regelmäßig durch das zuständige Personal auf Schäden überprüft und in Stand gehalten.

2.1.7 Medienverluste des Nahwärmenetzes

Die Medienverluste sind zum einen Teil auf Schadensfälle, in der Regel Rohrbrüche sowie auf ständige Leckmengen, durch z. B Diffusion von Wasser durch Gummidichtungen in den Gebäuden zurückzuführen. Durch die Rohrverbindungen, die auch bei Heizkörpern und diversen Armaturen anzutreffen sind, entweicht täglich auch ein gewisser Anteil der Medienverluste.

Bild 14 Typischer Verteiler mit einigen Flanschverbindungen mit Gummidichtungen

Ausschlaggebend sind jedoch die Rohrbrüche. Erkannt werden schwere Schadensfälle an der Druckhaltestation, da die Nachspeisung von aufbereitetem Wasser ins Nahwärmenetz dann drastisch zunimmt. In der Regel gehen jeden Tag 0,6 m³/d Wasser als Medienverlust verloren.

Im Falle eines schweren Rohrbruchs kann diese Menge durchaus auf 40 m³/d und mehr sprunghaft ansteigen. Größere Leckstellen werden in der Regel schnell gefunden, kleinere fast nur im Winter mit Hilfe von Thermographieuntersuchungen.

Ingesamt beträgt der durchschnittliche Medienverlust ca. 1 m³ pro Tag. Dies ergibt bezogen auf den Wasserinhalt der Anlage eine prozentuale Leckrate von 0,016 % pro Tag.

$$P_L = \frac{1m^3}{6447m^3 \cdot d} = \underline{\underline{\frac{0,016\%}{d}}}$$

2.1.8 Dämmstandard

Da es sich bei dem eingesetzten Rohrsystem des Rohrnetzes überwiegend (ca. 90 %), um das Kunststoffmantelrohrsystem (KMR) handelt, wurde dies als maßgeblich für das gesamte Rohrnetz angesetzt.

Die Dämmstandards wurden stichprobenhaft bei einer Begehung erfasst. Bei den Erdleitungen konnte nur auf die Aussagen der Stiftungsmitarbeiter zurückgegriffen werden. Ingesamt wurde überall ein vergleichbarer Dämmstandard festgestellt. Unisolierte oder mangelhaft isolierte Teilabschnitte wurden nicht vorgefunden.

Der Wärmeverlust ist im Einzelnen für jede Teilstrecke schwer einschätzbar. Der Grund dafür ist, dass der Wärmeleitwert der PUR-Dämmung mit zunehmender Alterung ansteigt und damit seine Dämmwirkung sinkt. Außerdem gibt es z. B. Teilstrecken im Erdreich, die teilweise mit Grundwasser in Kontakt treten und sich dadurch die Wärmeverluste vergrößern. Auch herrscht in den Kellerräumen nicht immer die gleiche Temperatur.

Um realistische Aussagen über die λ-Werte der verwendeten PUR-Dämmung zu erhalten, wurde von Renke Wirdemann zum einen bei der Forschungsabteilung der Herstellerfirma und zum anderen beim Fernwärmeforschungsinstitut in Hannover angefragt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Max λ In W/(m*K)	**Min λ In W/(m*K)**	**Heute λ In W/(m*K)**
Logstor (Tarco Rohr)	0,033	0,029	0,025
Fernwärmeforschungsinstitut Hannover	0,035	0,028	0,025

Tabelle 2 Wärmeleitfähigkeiten der Trassenabschnitte

In der Tabelle sind die maximalen und minimalen λ-Werte der PUR-Dämmung des Rohrnetzes angegeben. Als Vergleich rechts in der Tabelle, die heute am Markt üblichen λ-Werte. Die Alterung ist hierbei berücksichtigt worden.

Bei der Verlegung der meisten Trassenabschnitte ist nach Aussage der Firma Logstor, ein λ-Wert von max. 0,029 W/(mK) vorhanden gewesen, jedoch durch die Alterung kann dieser Wert sich bis max. 0,033 W/(mK) verschlechtert haben. Für die weiteren Berechnungen wird von einem λ Wert von 0,030 W/(mK) ausgegangen. Die Begründung hierfür ist, dass die Dämmung des Rohrnetzes sich in einem verhältnismäßig guten Zustand befindet und viele neue Rohrabschnitte den Standard ebenfalls anheben.

Die Liste der Dämmstandards und Wärmeverluste der einzelnen Rohrabschnitte ist im Kapitel 3.1.2 zu finden.

2.1.9 Leistungstransport und Leistungsdichte

Die durch das Nahwärmenetz bei Auslegung zu transportierende Leistung (Nennleistung) ist aus der folgenden Tabelle bzw. für die drei Heizkreise aus der Grafik zu entnehmen.

Gesamtleistung:	10488 kW	Anteil
Davon Heizlast:	5935 kW	57 %
Davon Brauchwasserbedarf:	4553 kW	43 %

Tabelle 3 Gesamtleistung des Nahwärmenetzes)

Dabei sind die Anschlussleistungen der einzelnen Gebäude den Strangschemen bzw. dem Netztrassenplan im Anhang zu entnehmen. Die Anschlussleistungen der Erweiterungen seit 1990 sind berücksichtigt worden. Für kleinere Erweiterungen im Heizkreis "Nördlich der Wabe" wurden sinnvolle Annahmen getroffen, wenn die Werte nicht dokumentiert wurden.

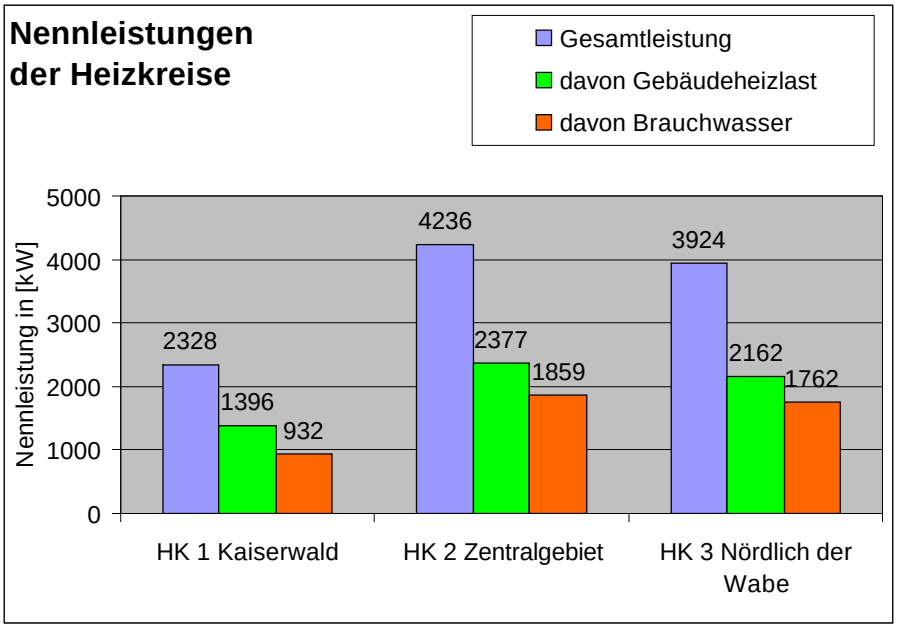


Bild 15 Diagramm über die Nennleistungen der drei Nahwärmeheizkreise

Aus der Zusammenstellung lässt sich ersehen, dass der Heizkreis "Zentralgebiet" die größte Nennleistung ausweist. Dicht gefolgt, der Heizkreis "Nördlich der Wabe", mit seinen zahlreichen Erweiterungen. Beim Heizkreis "Kaiserwald" liegt dagegen die niedrigste angeschlossene Nennleistung vor, obwohl dieser Heizkreis über das längste Rohrnetz verfügt.

Die Nennleistung für Brauchwasser liegt beim gesamten Netz bei ca. 43 %, der Rest entfällt auf die Gebäudeheizlast.

Nach stichprobenartiger Überprüfung der Auslegung kann davon ausgegangen werden, dass das Nahwärmenetz auf die maximale Nennleistung der Heizlast von ca. 6 Megawatt und auf maximale Fließgeschwindigkeiten bis ca. 1,5 m/s ausgelegt worden ist.

Jedoch werden diese Werte in der Praxis nicht erreicht. Nach Erfahrungswerten der Kesselwärter werden auch im tiefsten Winter, wenn die Außentemperatur über einige Tage bis Wochen im zweistelligen Minusbereich liegt, höchstens 4 bis maximal 5 Megawatt an Wärme durch das Nahwärmenetz transportiert.

Die Jahresenergiebilanz ergibt eine durch das Netz transportierte Wärmemenge von 10.552 MWh/a (2861 MWh/a Biowärmeeinspeisung, 7691 MWh/a Wärmezufuhr der Kesselzentrale). Die mittlere Leistung für ein Jahr liegt daher nur bei 1200 kW. Das entspricht bezogen auf die projektierte Gesamtleistung von 10488 kW einer Auslastung von 11 %.

Anschlussdichte

Die Anschlussdichte gibt Aufschluss darüber, wie effizient ein Wärmenetz tatsächlich ist. Das Neuerkeröder Wärmenetz ist relativ weit ausgedehnt und hat dadurch lange Leitungswege.

In Summe sind 7.640 Meter Rohr auf einer Fläche von 188.000 m² (18,8 ha) verlegt. Die zugrunde gelegten Flurstücksflächen der drei Heizkreise sind Bild 16 zu entnehmen. Die Umrisse wurden mit Hilfe eines Flächenermittlungsprogramms in der Karte abgefahren und

somit die Flurstücksfläche anhand des Kartenmaßstabs bestimmt. Die Umrisse wurden so gewählt, dass nur alle versorgten Gebäude sich innerhalb der jeweiligen Fläche befinden. Nicht mit versorgte Gebäude sollen außerhalb liegen.

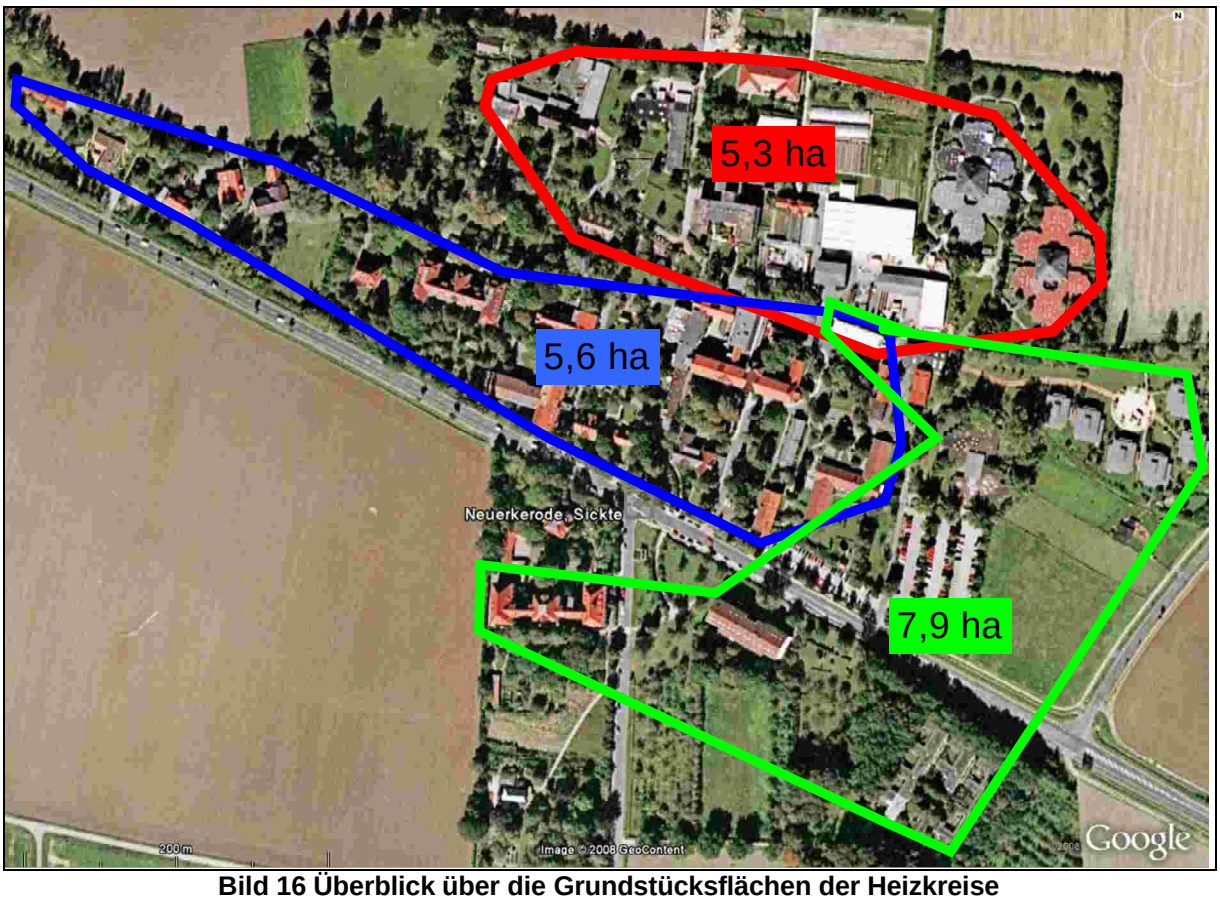


Bild 16 Überblick über die Grundstücksflächen der Heizkreise

Gebiet	Einheit	Kaiserwald	Zentralgebiet	Nördlich der Wabe	Gesamt-gebiet
Umgebungsfläche	m²	79.000	56.000	53.000	188.000
Nutzfläche	m²	12.457	18.534	14.849	45.840
Trassenlänge	m	2.630,0	2.436,0	2.098,0	7.164,0
Gesamtleistung	kW	2.328	4.236	3.924	10.488
Heizlast	kW	1.396	2.377	2.162	5.935
Warmwasserleistung	kW	932	1.859	1.762	4.553
Gesamtleistung, flächenbezogen	W/m²	187	229	264	229
Heizlast, flächenbezogen	W/m²	112	128	146	129
Warmwasserleistung, flächenbezogen	W/m²	75	100	119	99
Anschlussleistung je m² Umgebungsfläche	W/m²	29,5	75,6	74,0	55,8
Warmwasser	W/m²	11,8	33,2	33,2	24,2
Heizung	W/m²	17,7	42,4	40,8	31,6

Tabelle 4 Zusammenfassung der Anschlusskennwerte

Die Anschlussdichte in Watt je m² Umgebungsfläche sollte einen möglichst hohen Wert annehmen. Im Durchschnitt liegt die Anschlussdichte in Neuerkerode bei 56 W/m². Dabei ist das Zentralgebiet mit 76 W/m² noch verhältnismäßig gut aufgestellt. Im Gebiet Kaiserwald beträgt der Wert lediglich 30 W/m². Dies ist bei allen künftigen Überlegungen mit einzubeziehen.

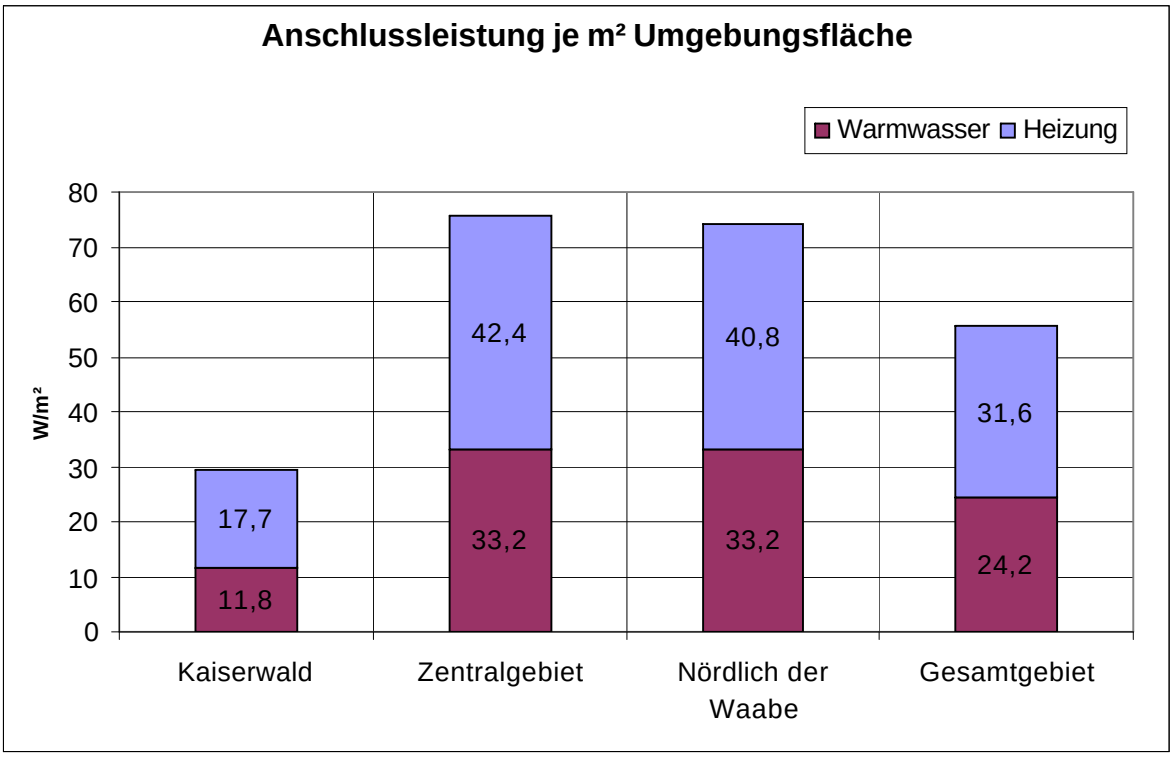


Bild 17 Anschlussdichte nach Umgebungsfläche

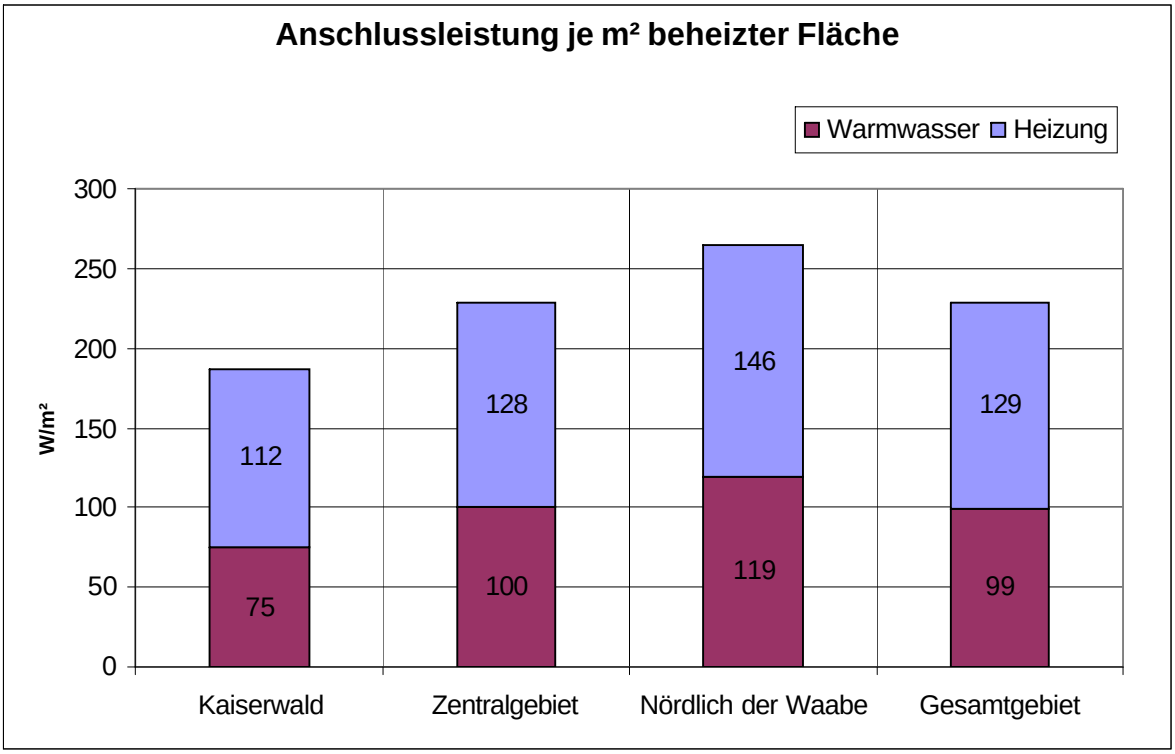


Bild 18 Anschlussleistung nach beheizter Fläche

2.2 Erzeuger

2.2.1 Prinzipieller Aufbau

Die Wärmeerzeugung findet mit Ausnahme der Biowärmeerzeugung ausschließlich im Kesselhaus statt. Das Kesselhaus ist zentral in der Stiftung gelegen, direkt neben dem kleinen Bach Wabe. Dort befindet sich neben der Wärmeerzeugung für das Nahwärmenetz, auch die Dampferzeugung der Stiftung.

Die beiden Schornsteine links im Bild gehören zu den beiden Dampfkesseln, die anderen drei hingegen zu den Warmwasserkesseln der Nahwärmeversorgung.

Bild 19 Kesselhaus der Stiftung Neuerkerode

Die gesamte Wärmeerzeugung im Kesselhaus wurde vom Ingenieurbüro Meyer aus Braunschweig geplant. Auch der im Anhang beigefügte Funktionsplan wurde von diesem Planungsbüro erstellt.

Bild 20 Gasübergabe im Gebäude

Neben den Warmwasserkesseln, die im Kesselhaus und allen Unterlagen die Bezeichnungen "Kessel 3 bis 5" tragen, sind auch noch zwei Dampfkessel mit den Bezeichnungen "Kessel 1 und 2". Diese Bezeichnungen werden im Folgenden weiter verwendet.

Jeder der drei Kessel hat eine Nennwärmeleistung von 4,6 MW und ist mit einem modulierenden Zweistoffbrenner für Erdgas L und Heizöl EL ausgestattet. Die Anlage wird überwiegend mit Erdgas (99 %) betrieben. Die Druckregulierung und Filterung des Erdgases findet in der Gasübergabestation statt.

Für den Heizölbetrieb sind zwei 100.000 l große Vorratsbehälter außen neben dem Kesselhaus vorhanden. Außerdem befindet sich im Kesselhaus ein Heizöltank für den Tagesbedarf. Der Betrieb mit Heizöl wird einmal im Monat vom Versorgungsunternehmen getestet. Ansonsten tritt dies nur in sehr seltenen Fällen, bei Engpässen der Gasversorgung, auf. Die Umschaltung löst der Versorger (e.on-avacon) aus.

Bild 21 Außenöltanks

Zur Druckerzeugung in der Anlage sind zwei Doppelpumpen im Vorlauf des Kesselkreises installiert. Die drei Kessel sind wasserseitig im Tichelmann-System angeschossen, d. h. jeweils mit gleichen Rohrlängen und damit Druckverlusten. Es gibt drei Heizkreise.

Die beiden Netzpumpen sind parallel geschaltet und so ausgelegt, dass auch der letzte Abnehmer noch durch die Fernleitungen mit Heizwasser bedient werden kann.

Die Funktion des Ausdehnungsgefäßes übernimmt eine Druckhaltestation. Wird ein Anlagendruck von 4 bar überschritten, blasen die eingebauten Sicherheitsventile über Rohrleitungen Wasser ins Freie ab.

Die Verbrennungsluft wird aus einem Nebenraum über Ventilatoren angesaugt. Dann durch die Kessel gedrückt und anschließend als Rauchgas über das Abgassystem in die Umwelt abgeführt.

Geregelt wird die gesamte Anlage mit Hilfe eines Schaltschrankes im Kesselhaus. Tagsüber wird der Betrieb durch das Kesselhauspersonal, das wegen der Dampferzeugung anwesend sein muss, überwacht. Jedoch ist das Personal nur tagsüber vor Ort, nächtliche Störungen werden deshalb oft erst am nächsten Tag bemerkt.

2.2.2 Schema der Wärmezentrale

Um das Prinzip der Wärmeerzeugung aufzuzeigen dient ein ausführlicher Funktionsplan, der im Bild 22 in verkleinerte Form zu finden ist. Es sind eingetragen:

- Schwarz: Kessel und Hauptpumpen
- Braun: Heizölversorgung
- Gelb: Gasversorgung
- Rot: Vorlaufleitung bis zum zentralen Verteiler
- Blau: Rücklaufleitungen ab dem zentralen Sammler
- Rosa: Bypass bei Überdruck öffnend
- Grün: Druckhaltestation

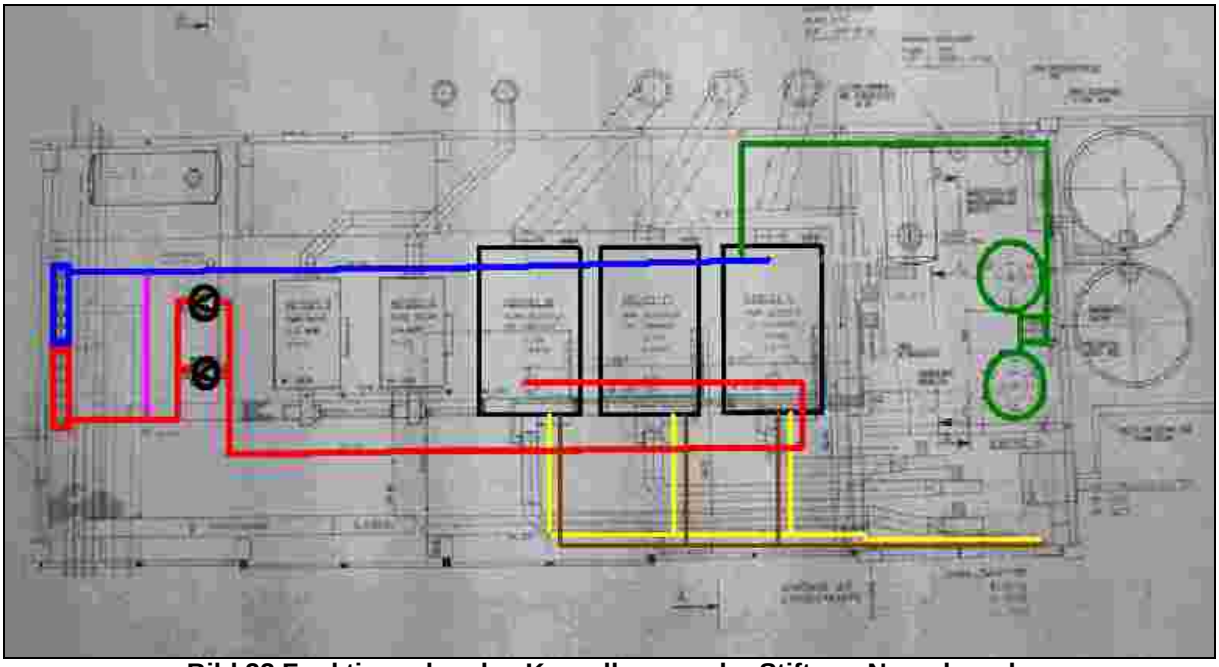


Bild 22 Funktionsplan des Kesselhauses der Stiftung Neuerkerode

2.2.3 Warmwasserkessel

Für die Heizwassererzeugung sind drei Einzelkessel vorhanden. Die Bauart der Niederdruck-Heizwasserkessel ist gleich. In Betrieb genommen wurden die Kessel 1986, 1998 und 1992.

Jeder dieser Kessel wird mit einem nachgeschalteten Rauchgaswärmeübertrager betrieben. Hierdurch ist auch der gute Wirkungsgrad zu erklären, auf den in Kapitel 3.2 noch ausführlich eingegangen wird.

Ein Prinzipschema der in Neuerkerode vorhandenen Kessel zeigt Bild 23. Auf dem dargestellten Kesselschnitt sind die wichtigen Komponenten zu erkennen. Der Brenner feuert in den dargestellten Bennraum. Die Wärmeübertragung findet an das Heizwasser (blau im Bild) statt. In dem gesamten Kessel befinden sich ca. 6000 l Heizwasser, hierbei ist der Abgaswärmeübertrager (nachgeschaltete Tauscherfläche) inbegriffen.

Dieser besteht aus Zusatz-Rippenrohrheizflächen, zu erkennen rechts vor dem Abgassystem. Im ersten Zug werden die Abgase, je nach Klappenstellung, senkrecht nach unten und in dem zweiten Zug, der mit den Rippenrohren bestückt ist, senkrecht nach oben zum Abgasaustritt geführt. Die maximale Wärmeleistung dieser Nachschaltheizfläche beträgt ca. 200 … 300 kW, je nach Rauchgasvolumen und Lastfall.

Die vor dem Wärmeübertrager befindliche Rauchgas-Drosselklappe wird über einen eigenen Regler geregelt. Die Klappe regelt die Abgastemperatur (an der Messstelle) auf 110°C. Eine Optimierung in Richtung auf Erdgas- oder Heizölbetrieb ist nicht erkennbar.

Rauchgase werden dann über ein Abgassystem (separat je Kessel) aus Edelstahl abgeführt.

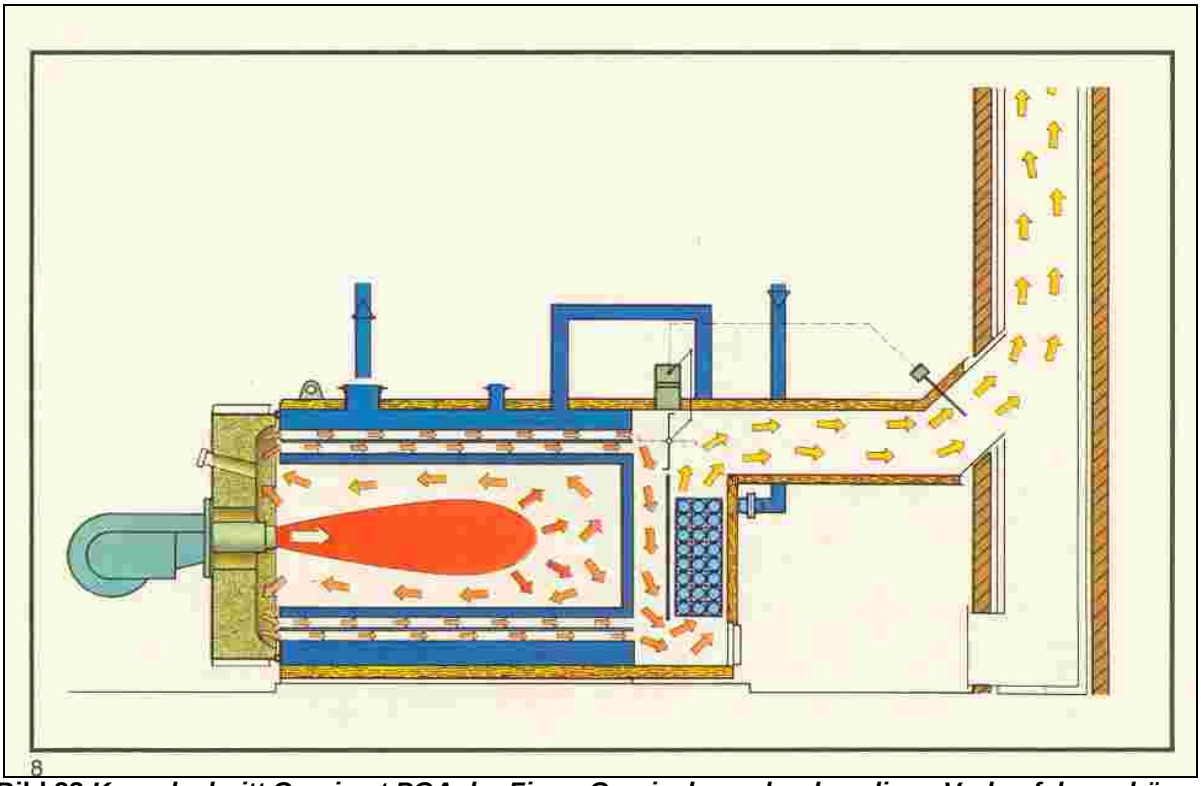


Bild 23 ***Kesselschnitt Omnimat PGA der Firma Omnical aus der damaligen Verkaufsbroschüre:***

Daten der Kessel:

- Fabrikat: Omnical Kessel- und Apparatebau der Buderus AG
- Typ: OMNIMAT 15 PGA 460

- Zulässige Vorlauftemperatur: 120 °C
- Vor/Rücklauftemperatur: 100 / 60 °C (Auslegung)
- Sollwert des Rauchgasreglers: 110 °C
- Zulässiger Betriebsüberdruck: 6 bar

- Wärmeleistung: 4,6 MW
- davon Nachschaltheizfläche: max. 200 – 300 kW

Die Kessel sind in gutem Zustand, größere Probleme sind nicht bekannt. Die Bauweise ist sehr solide und der später noch ausführlich beschriebene Bereitschaftsverlust ist prozentual sehr gering.

Bild 24 Warmwasserkessel 3, seitlicher Blick

Die energetische Bewertung hinsichtlich des Strahlungs- und Bereitschaftsverlustes folgt im Kapitel 3.2.2.

2.2.4 Brenner und Brennstoffzufuhr

Es sind drei Industrie-Zweistoffbrenner als vollautomatische Gebläsebrenner für Heizöl El und Erdgas L vorhanden. Der älteste wurde 1986 zusammen mit dem dazu gehörigem Kessel in Betrieb genommen (Brenner zu Kessel 5). Danach wurden im Jahr 1988, d er Brenner des Kessels Nummer 4 wurde 1988, der Brenner des Kessels 3 im Jahr 1992 erneuert.

Die gesamte Erneuerung wurde über 6 Jahre verteilt, da sie mit hohen Investitionskosten verbunden war.

Bild 25 Brenner 3

Daten Brenner 3:

Fabrikat:	ELCO
Typ:	RPD 30 GLEY
Nr.	30/009/92
E.NL:	4600 kW
Baujahr:	1992
Regulierung:	modulierend
Gasvordruck:	90 mbar

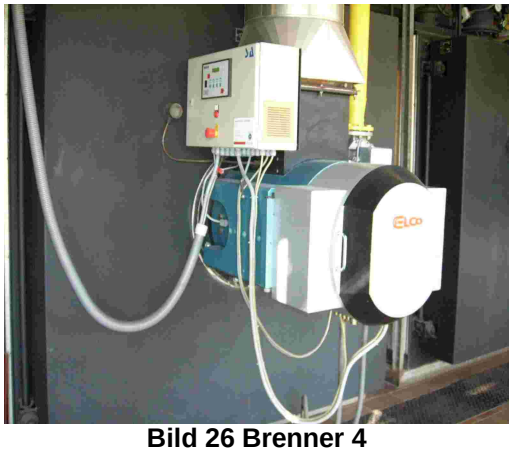


Bild 26 Brenner 4

Daten Brenner 4:

Fabrikat:	ELCO
Typ:	ELRG 1 R-P
Nr.	01493518
E.NL:	4500 kW
Baujahr:	1988
Regulierung:	modulierend

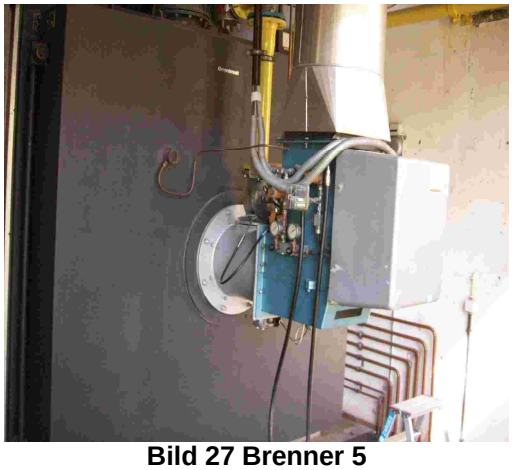


Bild 27 Brenner 5

Daten Brenner 5:

Fabrikat:	ELCO
Typ:	EKLG 1400 R-P
Nr.	01490896
E.NL:	4600 kW
Baujahr:	1986
Regulierung:	modulierend

Das eingesetzte Erdgas L wird unter dem Namen "Britta" mit ca. 8,3 kWh/m³ Heizwert geliefert. Das Heizöl entspricht DIN 51603. Die Umschaltung von Gas- auf Heizölbetrieb erfolgt automatisch, ausgelöst vom Versorgungsunternehmen. Eine Testumschaltung findet regelmäßig einmal im Monat statt, ansonsten ist der Heizölbetrieb zu vernachlässigen.

Da bei den Zweistoffbrennern der Hauptbrennstoff Erdgas ist, sind die Brenner hierfür optimal eingestellt. Der Ausweichbrennstoff kann nur nachgeführt eingestellt werden. Dies bedeutet, dass bei Betrieb mit Heizöl nicht die Werte erreicht werden können, wie bei Heizölmonobrennern.

Die Aufgabe des Führungskessels wird nach der Reihenfolge ebenfalls monatsweise getauscht. So dass es bei jedem Brenner und Kessel zu einer gleichmäßigen Auslastung kommt.

Die Brenner sind alle modulierend, d. h. Brennstoff und Verbrennungsluft werden ständig in entsprechendem Verhältnis der geforderten Brennerleistung gemischt und verbrannt.

Der Kessel 5 ist mit einem Brenner der ELCO Typenreihe EKLG 1.400 R-P mit ungeregeltem Ventilator und nach geschalteter O^2 - Regelung bestückt. Die Kessel 3 und 4 sind mit Brennern der Typenreihe RPD 30 GLEY und ELRG 1 R-P mit geregeltem Ventilator und O^2-Überwachung bestückt. Diese Brenner sind für eine Abgasrückführung vorgerüstet. Durch die O^2 - Regelung und O^2 - Überwachung wird ein besonders guter feuerungstechnischer Wirkungsgrad erzielt.

Auch sind die Brenner in einen guten Zustand. Störungen treten bei den Brennern, nach Befragung des Kesselhauspersonals, selten auf. Auch werden die Brenner alle drei Jahre durch die Firma ELCO umfassend gewartet und überprüft. Es kann jetzt schon gesagt werden, dass das Einsparpotential durch Optimierung der Brenner eher als gering einzustufen ist.

Die energetische Bewertung hinsichtlich des Wirkungsgrades und Abgasverlustes folgt im Kapitel 3.2.3.

2.2.5 Hydraulik und Pumpen

Die Hydraulik der Nahwärmeversorgung ist relativ einfach aufgebaut. Es gibt einen Kesselkreis sowie drei Abnehmerkreise. Alle vier sind angeschlossen an einen zentralen Verteiler und Sammler, siehe Bild 28. Von oben angeschlossen ist die Zentrale (sowie Blindabgänge), nach unten gehen die drei Heizkreise ab.

Bild 28 zentraler Verteiler und Sammler

Im Kesselkreis selbst sind die Warmwasserkessel wasserseitig im Tichelmann-System angeschlossen, dies bedeutet, dass jeder Kessel mit gleichen Rohrlängen bis zum Verteiler/Sammler versehen ist und damit den gleichen Druckverlust aufweist. Der Kesselkreis ist mit einem gemeinsamen Dreiwegeventil zur Rücklauftemperaturanhebung ausgestattet.

Bei den Abnehmerkreisen wurde ebenfalls darauf geachtet, jeden der drei am Verteiler angeschlossenen Heizkreise in etwa mit dem gleichen Druckverlust zu belasten.

Pumpen

Das Kernstück der Hydraulik sind zwei Doppelpumpen, die parallel zueinander im Vorlauf montiert sind. Da im Normalbetrieb jede der vier einzelnen Pumpe den gesamten Druckverlust des Nahwärmenetzes abdecken kann, sind die anderen nur für die Spitzenlast vorhanden.

Alle Pumpen sind in Inline-Bauform ausgeführt. Bei dieser Bauart sind Motor und Pumpe konstruktiv voneinander getrennt, jedoch mit gemeinsamer Welle. Im folgenden Bild links sind die beiden Doppelpumpen dargestellt. Im Bild rechts ist nur eine Doppelpumpe, aufgenommen mit einer Wärmebildkamera, zu sehen. Deutlich zu erkennen sind die heizwasserdurchflossenen Bauteile der Pumpe (ca. 80 … 90°C warm).

Bild 29 Netzpumpen der Wärmeerzeugung, Foto und Thermografiebild

Daten der Doppelpumpen:

- Typ: CNP 102
- Förderstrom einer Pumpe: 75 m³/h
- Förderhöhe: 40 m
- Laufraddurchmesser: 194 mm
- Fördermedium: Wasser
- Max. Betriebstemperatur: 120 Grad C
- Max. Betriebsdruck: 10 bar
- Nennweite Saugseite: 100 mm
- Nennweite Druckseite: 100 mm

Die Doppelpumpen sind wegen der ständig bewegten Bauteile reparaturintensiv. Jedoch sind auch sie in gutem Zustand und werden regelmäßig gewartet. Die Leistung selbst ist nicht angegeben. Nach ausführlicher Informationsbeschaffung im Internet wurde ein elektrischer Pumpenwirkungsgrad von ca. 60 % für die Bauform der eingesetzten Pumpenbaureihe ermittelt. Mit dieser Angabe wurde eine Leistungsaufnahme von ca. 8 KW, für jede der vier Pumpen, abgeschätzt.

Hydraulische Sicherheitsgruppe

Die Sicherheitsgruppe befindet sich im Vorlauf der Anlage zwischen den Kesseln und den Netzpumpen.

Die erste Sicherheitseinrichtung im Vorlauf ist der Temperaturwächter. Der Ansprechbereich liegt bei ca. 112 … 114°C. Kommt es zu einer Überschreitung dieses Wertes, wird die Beheizung bzw. Brennstoffzufuhr unterbrochen. Wird wieder ein Wert unterhalb des Ansprechbereiches gemessen, schaltet das Bauteil die Feuerung frei.

Dahinter geschaltet ist der Sicherheitstemperaturbegrenzer. Der Ansprechbereich liegt bei 120°C und ist damit höher gewählt als beim Temperaturwächter. Tritt dieses Bauteil in Aktion, wird ebenfalls die Feuerung unterbrochen. Jedoch lässt sich der Sicherheitstemperaturbegrenzer nur von Hand wieder entriegeln.

Weiterhin ist ein Sicherheitsdruckbegrenzer vorhanden. Diese Einrichtung schaltet bei Überschreitung des maximal zulässigen Drucks die Beheizung bzw. Brennstoffzufuhr ab. Der eingestellte maximale Druck liegt hierbei unter dem Ansprechdruck der eingesetzten Sicherheitsventile von 4 bar. Nach dem Ansprechen kann der Sicherheitstemperaturbegrenzer ebenfalls nur von Hand wieder entriegelt werden.

Die Wassermangelsicherung soll verhindern, dass die Kessel bei Wasserverlust ausglühen können. Die hier eingesetzte Wassermangelsicherung hat eine elektrische und eine mechanische Prüfeinrichtung. Tritt Wassermangel auf, wird die Feuerung unterbrochen. Die Entriegelung erfolgt nur von Hand.

2.2.6 Regelung und Parameter der Kesselanlage

Die Kessel werden in Kaskade geregelt. Wird die Nennleistung eines Kessels von der angeforderten Heizleistung übertroffen, wird der nächste Kessel zugeschaltet. Dass ein zweiter Kessel läuft, ist sehr selten. In den letzten Jahren kam dies nicht vor, da die Winter recht mild waren. Nach Erfahrungswerten der Kesselwärter schaltet erst dann ein zweiter Kessel zu, wenn die Temperatur einige Tage hintereinander im zweistelligen Minusbereich liegt. Der Dritte Kessel ist zur Sicherheit vorhanden, falls ein anderer Kessel ausfällt.

Die 3er-Kesselkaskade wird nach der Außentemperatur geregelt. Die Regelkurve ist Bild 30 zu entnehmen.

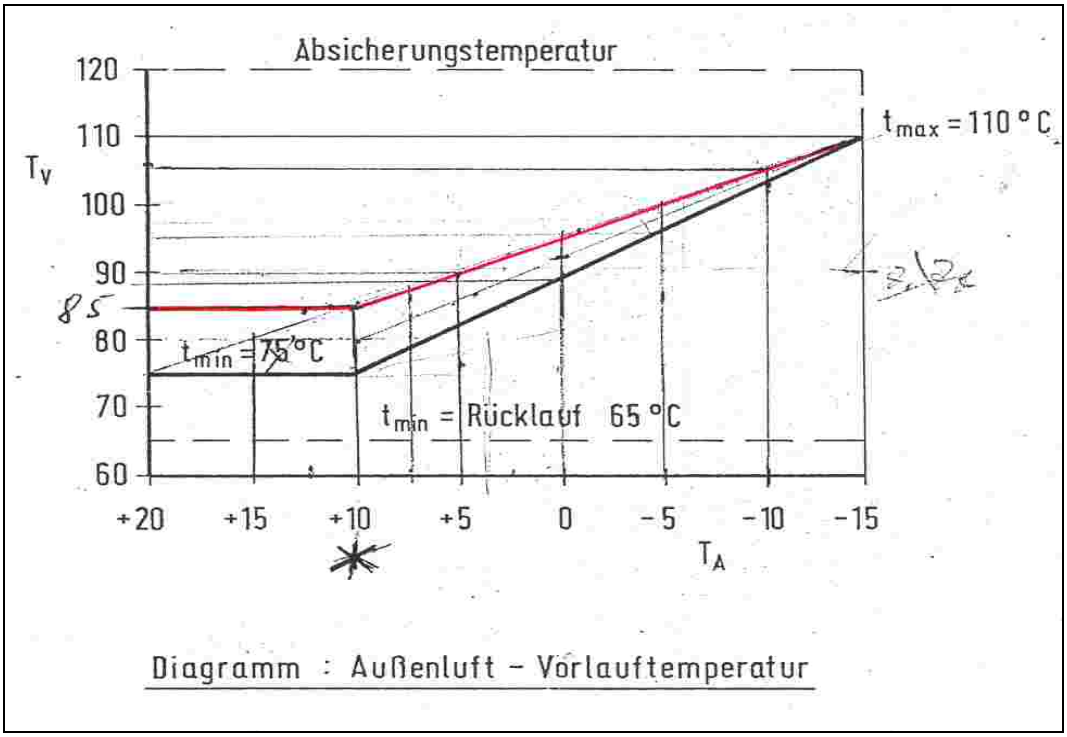


Bild 30 Außenluft – Vorlauftemperatur Diagramm

Die mit der breiten schwarzen Linie dargestellte Funktion, war die geplante Heizkurve. Die Warmwasserbereitung an entfernten Verbrauchern konnte mit dieser Kurve jedoch nicht sichergestellt werden. Es wurden bei 75°C Vorlauftemperatur ab Kessel an den entfernten Verbrauchern keine 70°C Vorlauftemperatur erreicht. Die Mindestvorlauftemperatur wurde so auf 85 °C erhöht, derzeit ist die im Diagramm rot markierte Kurve maßgeblich.

Temperaturen des Fernwärmesystems:

t min. Rücklauf	= 65 °C	Tiefste zul. Rücklauftemperatur für die Kessel
t min.	= 85 °C	Tiefste zul. Vorlauftemperatur für Brauchwasser
t max.	= 110 °C	Maximale Vorlauftemperatur
t ab	= 120 °C	Absicherungstemperatur

Erreicht ein Kessel die geforderte Vorlauftemperatur nicht, wird über die Temperaturabweichung (Regelabweichung) der Folgekessel angefordert. Die Anforderung wird jedoch nicht sofort freigegeben, sondern es müssen folgende drei Bedingungen erfüllt sein:

1. Das Zeitrelais muss durchschalten (36 min).
2. Die Absperrklappen müssen auffahren.
3. Der Anfahrthermostat muss die eingestellte Temperatur von 65°C erreichen, um die Feuerung frei zu geben.

Beim Abschalten des Folgekessels überwacht der Überhitzungsthermostat das Schließen der Absperrklappen. Wenn die Kesseltemperaturen unter 90°C abgesenkt sind, werden die Klappen geschlossen.

Bei einer auftretenden Störung wird der Folgekessel automatisch zum Führungskessel und geht ohne Verzögerung in Funktion.

Die Aufgabenverteilung der Kessel: Lastdeckung, Reserve oder Sicherheit wird monatlich getauscht. So soll eine gleichmäßige Abnutzung und Belastung aller vorhandenen Kessel erreicht werden. Zu prüfen wäre eine langfristige Außerbetriebnahme mit Konservierung von einem oder sogar von zwei Kesseln. Die Betriebsbereitschaftsverluste können hierdurch wesentlich reduziert werden.

Bild 31 Schaltschrank der Warmwasserkesselregelung

2.3 Biowärmeeinspeisung

Die Einspeisung der Abwärme der nahegelegenen Biogasanlage erfolgt im Keller des Gebäudes "Schule" zwischen den Übergabepunkten für die Schule selbst und dem Schwimmbad. Als Abnehmer folgt in Fließrichtung an diesem Strang nur noch das Schwimmbad.

Es wird die Abwärme eines biogasbefeuerten Blockheizkraftwerkes genutzt. Die durchschnittliche Einspeiseleistung beträgt etwa 330 kW (laut abgerechneter Menge im Projektjahr 2007/2008). Die Leistung ist im Winter etwas höher als im Sommer.

Das Rücklaufwasser des Schwimmbades wird dem System entnommen, zur Biogasanlage geleitet (ca. 150 … 200 m Streckenlänge), dort im BHKW erwärmt und dann im Vorlauf in Richtung Schwimmbad wieder eingespeist.

Bild 32 Schaltschrank der Warmwasserkesselregelung

Ein wichtiger Hauptabnehmer ist demnach das Schwimmbad. Jedoch benötigt dieses keine 300 kW Dauerleistung. Der Überschuss wird in Richtung Kesselhaus abgeleitet. Über die Pumpe für die Biogaseinspeisung sind keine weiteren Daten bekannt.

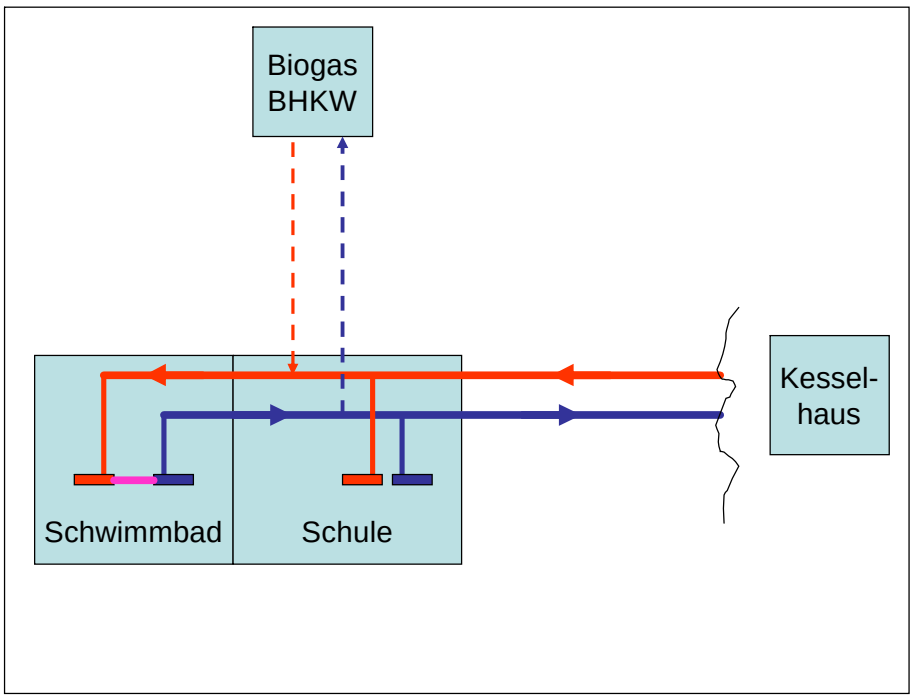


Bild 33 Einspeiseprinzip Biowärme

Versuche der Bauabteilung in der Vergangenheit haben gezeigt, dass die Einspeisung der Biowärme ausreicht, den Streckenabschnitt Schwimmbad/Turnhalle, Schule, Lindenweg/Gartenweg, Ohe/Sonnenschein, Gartenweg 10 eigenständig zu versorgen. Dazu wurde dieser Trassenabschnitt von der Kesselzentrale abgekoppelt und allein von der Biowärme-Einspeisepumpe versorgt. Sowohl deren Pumpenleistung als auch die Wärmeleistung (300 kW) reichten in der Übergangszeit aus. Eine Ausweitung dieses Betriebs auf das gesamte Jahr ist noch zu prüfen.

Bild 34 Übergabepunkt der Biowärme

Die abgenommene Wärme sowie auch die eingespeiste Wärme werden mit zwei Wärmemengenzählern erfasst (je einer für "Vorwärts- und Rückwärtsbetrieb").

Generell ist anzumerken, dass die Biowärmeeinspeisung immer dann sehr gut funktioniert, wenn der Rücklauf hinter dem Schwimmbad kühl ist bzw. kühl am BHKW ankommt. Dies ist der Fall, wenn:

- das Schwimmbad Lastspitzen hat
- die Auskühlung des Wassers während der Durchquerung des Feldes groß ist (Winter)
- die Vorlauftemperatur im Netz insgesamt gering ist

Die Effekte der ersten beiden Punkte können nicht eingeschätzt werden. Es wurde jedoch von der Bauabteilung schon festgestellt, dass die Einspeisung nachts (im Absenkbetrieb der Kessel) hoch ist. Das ist natürlich weniger sinnvoll, weil dann das Netz unnötig auf Temperatur gehalten wird. Es sind künftig unbedingt Maßnahmen zu erarbeiten, diesen Zustand zu ändern und die Biowärmeeinspeisung zwar insgesamt zu erhöhen, aber vor allem zu nutzbringenden Zeiten.

2.4 Übergabestationen

Für die Nahwärmeanschlüsse fast aller Gebäude gibt es im Handwerkerhaus der Stiftung einen Anschlussplan. Die Übergabestationen sind bis auf eine Ausnahme (Nähzentrum) ausschließlich direkt ausgeführt. Das bedeutet dass die Nahwärme nicht durch einen Wärmeübertrager übertragen wird, sondern das Wasser des Nahwärmenetzes direkt mit dem Wasser des Gebäudenetzes in Verbindung kommt.

Bei fast allen Anschlüssen sorgt ein Mischer oder ein geregeltes Durchgangsventil für die Temperaturregelung im Gebäude. Das heiße Nahwärme-Vorlaufwasser wird mit dem Rücklaufwasser des Gebäudeheizkreises gemischt.

Die Heizkreise in den Gebäuden verfügen außerdem jeweils über eigene Umwälzpumpen, die für die Überwindung der Druckverluste in den Gebäudekreisen sorgen sollen, da sonst keine geregelte Beimischung erfolgt. Wegen des direkten Nahwärmeanschlusses ohne Druckreduzierende bzw. besser Druckregelnde Maßnahmen in den Gebäudeübergabestati-

onen könnten die Gebäude bis zu den Heizkörpern auch unplanmäßig von der Zentralpumpe allein versorgt werden. Dies ist insbesondere im Sommer zu spüren, wenn trotz stehender Gebäudepumpen die Zentralpumpe Wasser in und durch die Abnehmer pumpt. Alles trifft beispielsweise auf das Handwerkerhaus zu, dessen Übergabestation in Bild 35 zu sehen ist.

Bild 35 Übergabe nur Heizung: Handwerkerhaus

Die Warmwasserbereitung fast aller Gebäude (und aller Großverbraucher) erfolgt ebenfalls mit Wärme aus dem Nahwärmenetz. Es sind entweder nur Rohrbündelwärmeübertrager installiert (Warmwasser im Durchlaufprinzip) oder indirekt beheizte Speicher (Warmwasser im Speicherprinzip) oder eine Kombination aus beidem. Die letzte Variante findet sich in fast allen großen Pflegeeinrichtungen. Die Kleinzapfmengen werden dem Speicher entnommen, bei größeren Zapfmengen wird der Wärmeübertrager durchströmt.

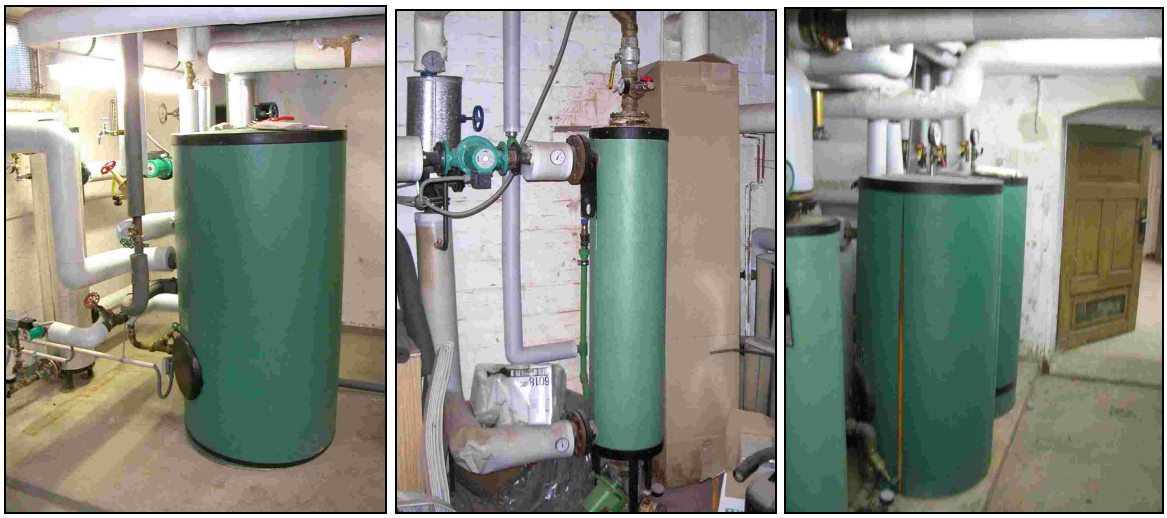


Bild 36 Warmwasserbereitung, Speicher (Elm), Wärmeübertrager (Sonnenschein), beides (Bethesda)

2.5 Strömungsverhältnisse im Netz

In diesem Abschnitt sollen die Strömungsverhältnisse im Nahwärmenetz näher beleuchtet werden. Ziel ist die Abschätzung der Pumpenleistung bzw. die Überprüfung der vorhandenen Leistung. Hintergrund ist die Tatsache, dass im Sommer zu beobachten ist, dass trotz stehender Gebäudepumpen eine Wärmeabnahme in den Gebäuden zu verzeichnen ist. Die Zentralpumpe ist offenbar – zumindest im Sommer – stark überdimensioniert und Regel- bzw. Absperrorgane in den direkten Übergabestationen schließen nicht funktionsmäßig.

Die Volumenstromberechnung sowie die Druckverlustberechung für das Neuerkeröder Wärmenetz können in Gänze nur mit Hilfe von EDV erfolgen. Nachfolgend handelt es sich um eine Näherung-

Ermittelt wurden für die Sonderfälle:

- maximaler Winterbetrieb
- maximaler Sommerbetrieb
- mittlerer Sommerbetrieb

Folgenden Annahmen wurden dabei getroffen:

- Winterbetrieb: 100% benötigte Heizlast und 100% benötigte Wärmeleistung zur Trinkwarmwasserbereitung (maßgeblich sind die Dimensionierungswerte)
- Sommerbetrieb: 0 % Heizlast und 100% benötigte Wärmeleistung zur Trinkwarmwasserbereitung (maßgeblich ist die Dimensionierung)
- mittlerer Sommerbetrieb: mittlere Leistung nach Messung

- Ermittlung der Volumenströme aus der Gesamtleistung unter der Annahme von
    - Vorlauftemperatur Winter 110°C / Sommer 85 °C
    - Rücklauftemperatur 60°C / Sommer 60°C
- Angenommener Pumpengesamtwirkungsgrad 45%

	maximaler Winterfall	**maximaler Sommerfall**	**mittlerer Sommerfall**
Thermische Leistung, in kW	10.488	4.553	649
Heizwasserspreizung, in K	110/60	85/60	85/60
Volumenstrom, in m³/h	181	157	22
Druckgefälle im Rohrnetz, in Pa/m	41	40	10
Druckverlust im Netz, in Pa	107.830	83.920	20.980
Elektrische Leistung, in W	10.416	7.038	251

Tabelle 5 Pumpenleistungsabschätzung

Extremlasten

Es ist festzustellen, dass die Rohrreibung im Sommer und Winter bei jeweiliger Maximalbelastung annähernd gleich groß ist (ca. 40 Pa/m). Dies liegt an der niedrigen Vorlauftemperatur von 85°C im Sommer und den damit verbundenen hohen Volumenströmen. Der Wert ist insgesamt sehr niedrig. Schon in Gebäudeanlagen wären 70 … 100 Pa/m üblich. Grund ist das groß dimensionierte Netz.

Im Winter ist der Druckverluste im Kreis Kaiserwald am Größten. Im Sommer ist der Druckverlust Nördlich der Wabe am Größten, siehe Berechnungen in der Anlage.
Die berechnete Pumpenleistung im Winter (Auslegungsfall) liegt bei 10 kW, im Sommer (alle Warmwasserbereiter gleichzeitig an!) bei 7 kW. Nur bei Extrembedingungen kommt mehr als eine der 4 vorhandenen Pumpen (8 kW) zum Einsatz. Die Berechnung deckt sich mit den Erkenntnissen der Kesselwärter.

Mittellast im Sommer

Aus den Messungen ergibt sich, dass dem Netz im Mittel eine thermische Dauerleistung von 649 kW zugeführt wird. Die sind Langzeitmittelwerte und in der Praxis sind die täglichen Volumenstromschwankungen sehr viel höher Die Volumenströme können sehr klein werden – 15 % des maximalen Sommerwertes. Rohrreibung ist praktisch nicht vorhanden, weil die Druckverluste quadratisch sinken.

Weil das Netz dann bereits im laminaren Strömungsbereich ist, d.h. zu geringe Strömungsgeschwindigkeiten, werden 10 Pa/m zugrunde gelegt. Es ergibt sich eine notwendige Leistung von 250 W. Eine der Zentralpumpen ist damit 32 Mal zu groß.

Fazit

Der Sommerbetrieb wird sich zwischen den beiden Extremwerten – alle Warmwasserbereiter gleichzeitig an bzw. vollständige Verteilung der Warmwasserbereitung über den Tag - bewegen. Die Tendenz wird sein: morgens/vormittags eher Volllast für max. 3 Stunden, dann 21 Stunden Minimallast.

In den Minimallaststunden ergibt sich praktisch keine Rohrreibung und die Pumpen der Zentrale drücken Wasser in die Hausheizungen – trotz dort stehender Pumpen.

3 Energetische Bewertung

Die energetische Bewertung der Nahwärmeversorgung kann teilweise mit Zählermesswerten, teilweise mit Rechenwerten erfolgen. Da die zugeführte Gas- bzw. Heizölmenge nicht einzeln gezählt wird, sondern zusammen mit der Dampfversorgung, wird folgender Ansatz verfolgt:

1. Auswertung der Summe aller Wärmemengenzähler der Abnehmer sowie der Wärmeeinspeisung in das Netz aus dem Kesselhaus und der Biowärme; die Differenz müssen die Verteilverluste sein, welche rechnerisch überprüft werden
2. Bewertung der Erzeugerwärmeverluste und Bestimmung der gesamten Energiemenge, die für Nahwärme eingesetzt wurde
3. Die Restmenge an Energie muss in die Dampfversorgung eingespeist worden sein; diese wird im Endbericht 06 "Dampf" näher untersucht

Die Bewertung liefert neben der Bewertung der Nahwärme also auch eine Aufteilung des Gesamtgasverbrauchs und Gesamtölverbrauchs auf die Bereiche "Nahwärme" und "Dampf".

3.1 Netz

Das Nahwärmenetz, welches für den Energietransport zuständig ist, hat zwei Energieeinspeisepunkte und etwa 50 Energieabnahmestellen. Die wichtigste Energieeinspeisung findet im Kesselhaus durch die Warmwasserkessel statt. Die zweite Energieeinspeisung befindet sich im Schulgebäude. Dort wird die Abwärme der Biogasanlage eingespeist. Beide Energiemengen werden durch Wärmemengenzähler erfasst. Die aus dem Nahwärmenetz abgegebene Energiemenge wird ebenfalls durch Wärmemengenzähler dokumentiert, welche in den verschiedenen Gebäuden installiert sind. Dadurch sind die energetischern Gesamtverluste des Nahwärmenetzes genau bestimmbar. Die Messwerte werden anhand der Berechnung plausibilisiert.

3.1.1 Wärmezu- und Abfuhr laut Messung

Die Auswertung aller Wärmemengenzähler für das Projektjahr 2007/2008 ist im Endbericht 02 "Mediengrunddaten" beschrieben. Es ergeben sich folgende Eckwerte:

- Summe der vom Kesselhaus eingespeisten Energiemenge: 7748 MWh/a
- Summer der Einspeisung an Biowärme: 2861 MWh/a
- Summe aller an die Verbraucher gelieferten Wärmemengen: 8520 MWh/a

Die gemessenen Netzverluste betragen demnach (7748+2861-8520) MWh/a = 2089 MWh/a. Dieser Messwert wird im nächsten Abschnitt überprüft.

Verteilverluste im Jahresgang

Die Auswertung aller Zählereinzelwerte über der Außentemperatur liefert einen typischen Jahresverlauf, Energiesignatur genannt, siehe Bild 37. Die mittlere Verlustleistung des Netzes hängt nur unwesentlich von der Außentemperatur ab. Sie beträgt ca. 250 kW.

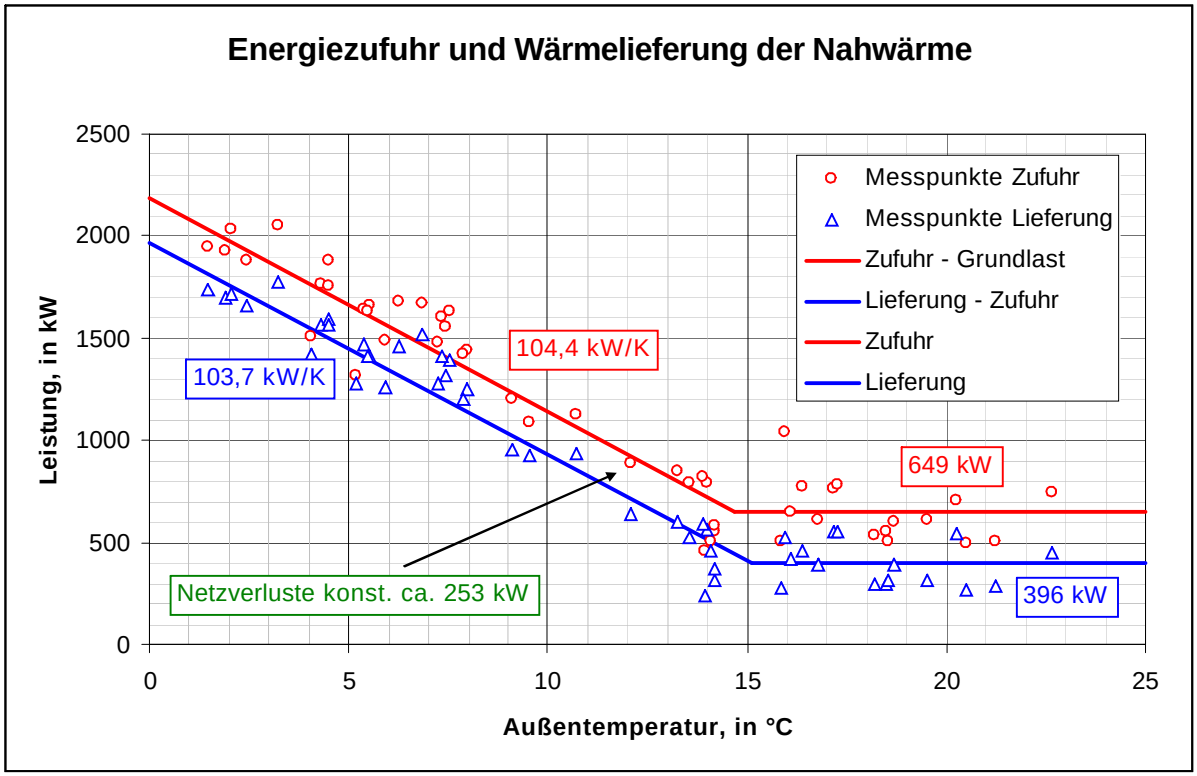


Bild 37 Verteilverlustleistung im Jahresgang

3.1.2 Rechnerische Rohrnetzverluste

Die im Nahwärmenetz entstehenden Rohrnetzverluste sind Wärmeverluste, die in der gesamten Netztrasse aufgrund des Temperaturgefälles zwischen Heizwassertemperatur und der Umgebung entstehen. Außerdem werden rechnerisch Leckverluste abgeschätzt.

Wärmeverlustleistung des Nahwärmenetzes ergibt sich rechnerisch zu ebenfalls angenähert 250 kW. Das sind bei 365 Betriebstagen 2189 MWh/a Verteilverluste.

$$Q = \frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$Q = \frac{0{,}03 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 7164m \cdot (80°C - 10°C)}{\ln \frac{0{,}127m}{0{,}087m}} = \underline{\underline{249{,}9kW}}$$

Berechnungsgrundlagen für die Gleichung (innerer und äußerer Wärmeübergang vereinfacht vernachlässigt):

- $\lambda = 0{,}030 \frac{W}{m \cdot K}$: Durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit des PUR-Dämmstoffs.
- $l = 7164m$: Gesamtlänge des Nahwärmenetzes.
- $r_1 = 87{,}4mm$: Mittlerer Innendurchmesser des Nahwärmenetzes.
- $r_2 = 127{,}4mm$: Mittlerer Außendurchmesser des Nahwärmenetzes.
- $t_1 = 80°C$: Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur des Heizwassers.
- $t_1 = 10°C$: Mittlere Jahreserdreich- bzw. Kellertemperatur

Das rechnerische Ergebnis von ca. 250 kW Wärmeverlustleistung bzw. 2189 MWh/a Verteilverluste innerhalb eines Jahres deckt sich sehr gut mit der Messung bzw. der Einzelauswertung des Netzes im Jahresgang.

Ein weiterer Faktor ist, dass durch die täglich verloren gehende Wassermenge von ca. 1 m³ eine weitere Verlustleistung von ca. 4 kW auf die Wärmeverlustleistung zu addieren ist. Für die in dem folgenden Kapiteln vorhandenen Berechnungen wird eine Verlustleistung des Rohnetzes von 243 kW angesetzt, da dieser Wert durch die Wärmemengenzählermessungen der Realität am nächsten kommt.

Die Leckmengenverluste sind im Grunde vernachlässigbar gering. Verlustwassermenge von durchschnittlich ca. 1 m³ pro Tag muss von der Einspeisetemperatur (ca. 10 °C) auf ca. durchschnittlich 80 °C erwärmt werden. Die sich dadurch ergebene Energieverlustleistung ergibt sich aus folgender Berechnung:

$$\dot{Q}_{LV} = \frac{1000\text{kg} \cdot \text{s}}{24\text{h}} \cdot 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (80 - 10)\text{K} = \underline{3{,}39\text{KW}}$$

Im Verlaufe eines Jahres sind das 30 MWh/a Energieaufwand, der verglichen mit den Verteilverlusten verschwindend gering ist-

3.2 Erzeuger

Im folgenden Abschnitt werden die Energieab- bzw. Energiezuflüsse sowie die wichtigsten energetischen Kennwerte für die Wärmeerzeugung dargestellt werden. Bei der Betrachtung wird die Hilfsenergie zunächst nicht berücksichtigt, auf diese wird später gesondert eingegangen.

Die von der Zentrale an das Netz gelieferte Energiemenge ist bekannt. Im Projektjahr waren dies 7748 MWh/a. Nacheinander werden die einzelnen Verlustkennwerte bestimmt, die bis zur Endenergie führen. Das sind:

- die Wärmeverluste der Zentrale (Verrohrung)
- die Oberflächenverluste der Kessel (Strahlungs- und teilweise Bereitschaftsverluste)
- die Abgasverluste der Kessel

3.2.1 Verluste der Zentrale

Die Rohrleitungsverluste im Kesselhaus sind Wärmeverluste, die zwischen den Warmwasserkesseln und dem zentralen Wärmemengenzähler im Kesselhaus auftreten. Da die Kessel diese Wärme ebenso produzieren, wird sie abgeschätzt.

Mit Hilfe der Funktionszeichnung des Kesselhauses und einer Ortsbesichtigung wurde eine Kesselkreislänge, die nicht vom Wärmemengenzähler berücksichtigt wird, von ca. 53 m festgestellt. Die Rohrleitungen haben überwiegend große Rohrquerschnitte (ca. 25 cm), sind aber gut gedämmt.

Die mittlere Rohrtemperatur wurde anhand der Heizkurve (Bild 30) und für eine jahresmittlere Außentemperatur von 10°C geschätzt. Es ergeben sich 85°C. Im Heizhaus selber werden 35 °C angenommen.

Es ergibt sich eine permanente Verlustleistung von etwa 2 kW, was jährlichen Verlusten von 18 MWh/a entspricht.

$$Q = \frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \underline{2{,}1\text{kW}}$$

$$Q_{VKHK} = 2{,}1\text{kW} \cdot 8760\text{h} = \underline{\underline{18{,}4\text{MWh}}}$$

Die Zuleitung zur Druckhaltung ist nicht immer wärmedurchflossen. Wenn das Heizwasser des gesamten Netzes seine Temperatur annähernd über einen Zeitraum konstant hält, findet in der Leitung keine Durchströmung statt. Wenn sich aber die Temperatur z. B. durch die Nachtabsenkung in den Gebäuden verändert, wird Wasser in die drucklosen Tanks der Druckhaltestation gepumpt oder entnommen. Auch wird immer kaltes Wasser durch die Druckhaltestation nachgespeist und mischt sich dann mit dem Heizwasser in der Rohrleitung.

Allerdings ist die Leitung nicht gedämmt. Wenn die Leitung und die Tanks isoliert wären, dann könnte der hier entstehende Wärmeverlust vernachlässigt werden. In der weiteren Berechnung wird für diese Leitungen, die Behälter und alle anderen sonstigen wärmeabgebenden Teil von einer Verlustleistung von 750 W ausgegangen.

Es ergeben sich nach dem Ansatz oben weitere 6,6 MWh/a. Zusammen also (18,4 + 6,6) MWh/a = 25 MWh/a.

Teilbilanz

Neben den 7748 MWh/a an Energie, die ab Zähler die Kesselzentrale verlassen, werden weitere 25 MWh/a erzeugt, die jedoch schon im Kesselhaus verloren gehen. Es müssen daher von den Kesseln insgesamt 7773 MWh/a bereitgestellt werden.

3.2.2 Bereitschafts- und Strahlungsverluste der Kessel

Zur Ermittlung der Bereitschaftsverluste der Kessel wurden zwei verschiedene Lösungswege eingeschlagen. Zum einen wurden beim Hersteller der Kessel, die für diesen Kesseltyp ermittelten Bereitschaftsverluste angefragt. Zum anderen wurden von Alexander Hübener von jedem Warmwasserkessel Thermographiebilder mit Hilfe einer Wärmebildkamera angefertigt und ausgewertet.

Die Auswertung der Thermografiebilder lieferte jedoch nur Ergebnisse, die nicht die gesamten Bereitschaftsverluste beinhalteten. Der konvektive Wärmeverlust und der Wärmeverlust durch Wärmeleitung an den Fußboden konnten bei dieser Methode nicht eindeutig bestimmt werden. Deshalb wurden für die Berechnung der Bereitschaftsverluste die Werte des Kesselherstellers verwendet.

Laut Hersteller "Omnical" betragen die Bereitschaftsverluste des Kesseltyps Omnimat PGA q_B = 0,0025 bis 0,003. Das entspricht 0,25 … 0,3 % der Feuerungsleistung. Das sind etwa 11,5 … 13,8 kW für einen Kessel (0,0025 … 0,003 · 4600 kW). Es ist jeweils immer nur ein Kessel auf einmal in Betrieb. Nur zu Spitzenlastzeiten, wenige Stunden im Jahr, sind zwei Kessel gleichzeitig in Betrieb. Der geringere Wert von 11,5 kW wird angenommen, weil die Heizzentrale eine sehr hohe Innenraumtemperatur hat, was die Bereitschaftsverluste insgesamt vermindert.

Für ein Jahr werden die Strahlungsverluste (während der Brennerlaufzeit) und die Bereitschaftsverluste (Restzeit) gleich gesetzt. Es ergeben sich daher für diese Verluste:

$$Q_{BV} = 11{,}5\text{kW} \cdot 8760\text{h} = 100{,}7\text{MWh}$$

Teilbilanz

Die Kessel müssen 7773 MWh/a Wärme an das Netz abgeben und haben selbst noch 101 MWh/a Verluste. Die aus dem Brennstoff umgewandelte Energiemenge muss also 7874 MWh/a betragen.

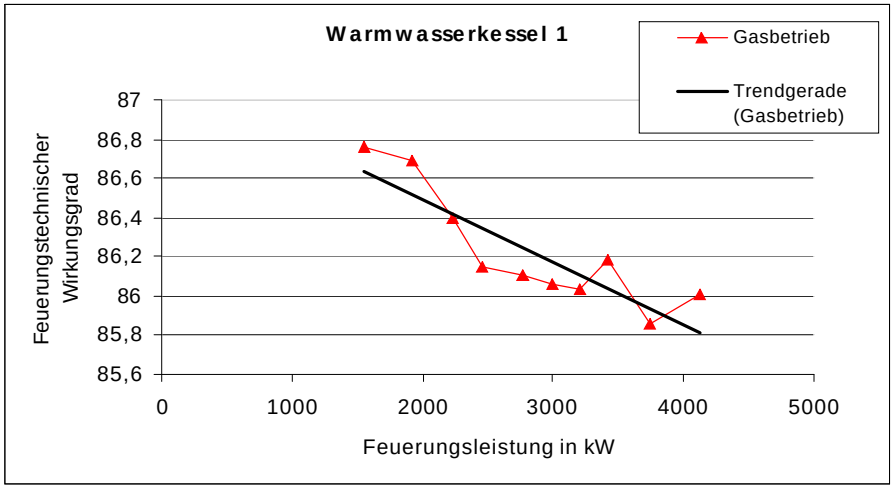
3.2.3 Abgasverluste

Zur Bestimmung der Abgasverluste muss der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Kessel bekannt sein. Es wurde in der Regel alle drei Jahre ein Messprotokoll von jedem der drei Warmwasserkessel durch die Firma ELCO erstellt.

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad wurde bei unterschiedlichen Laststufen für den Gas- bzw. Ölbetrieb auf den Protokollen dokumentiert. Die drei letzten Messprotokolle für den Gas- bzw. Heizölbetrieb für jeden Kessel wurden graphisch ausgewertet, siehe Bild 38 bis Bild 40

Auf Grundlage der Messprotokolle wurden für jeden Kessel zwei Grafiken zum feuerungstechnischen Wirkungsgrad (auf den Brennwert bezogen) als Funktion der Feuerungsleistung erstellt. Die Leistungsstufen in den Grafiken sind in kW angegeben und wurden anhand des Gas- bzw. Öldurchsatzes berechnet. Um die Funktion besser darzustellen, wurde durch die Messpunkte eine Ausgleichsgerade (Trendlinie) gelegt.



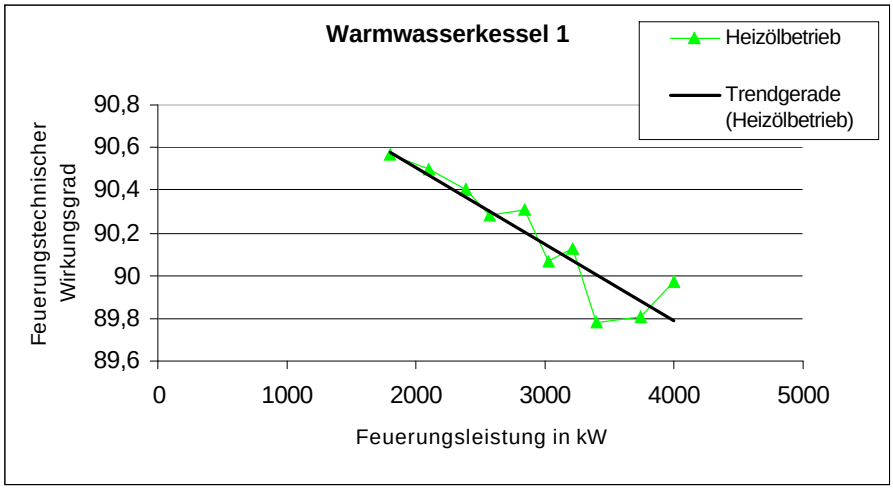


Bild 38 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad des Warmwasserkessels 1 (brennwertbezogen)

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad für Brenner 3 fällt im Erdgasbetrieb von 86,7 % bei 1,5 MW auf 85,8 % bei 4 MW ab. Im Heizölbetrieb liegt er zwischen 90,6 % und 89,8 %. Auf den Heizwert bezogen lägen beide Werte höher (Gas: 1,11 Mal und Heizöl 1,06 Mal höher). Bei den beiden anderen Brennern sieht der Verlauf ähnlich aus.

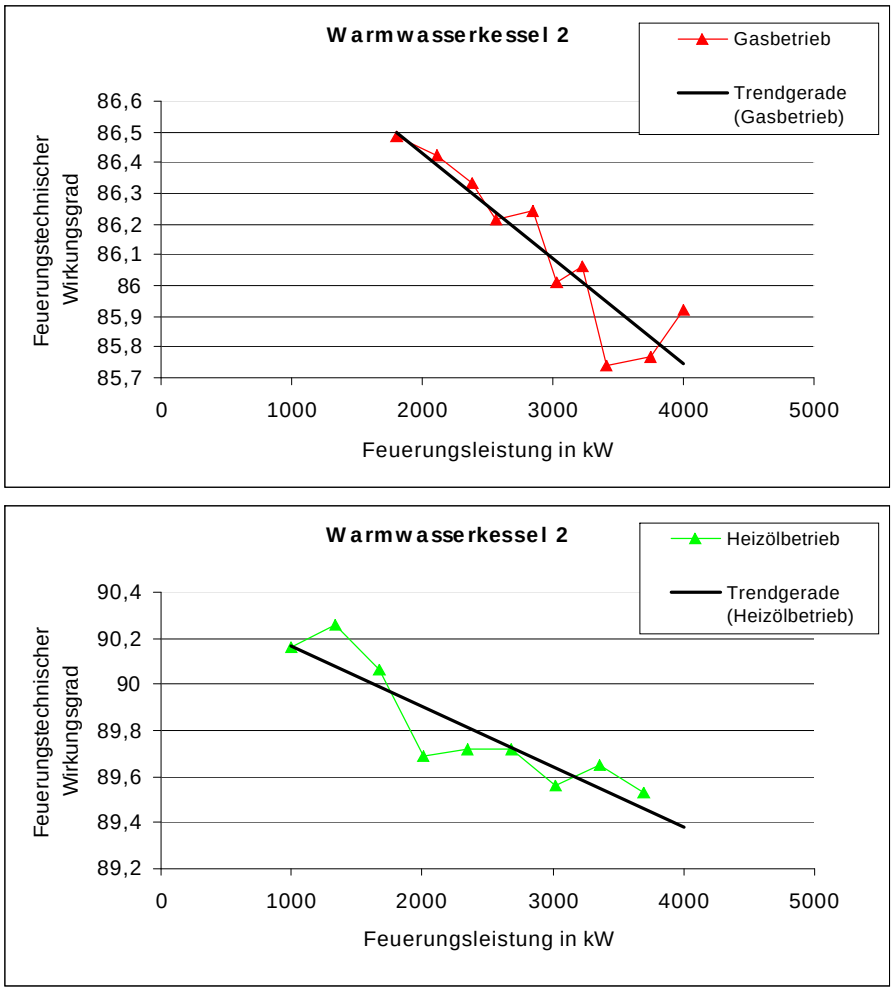
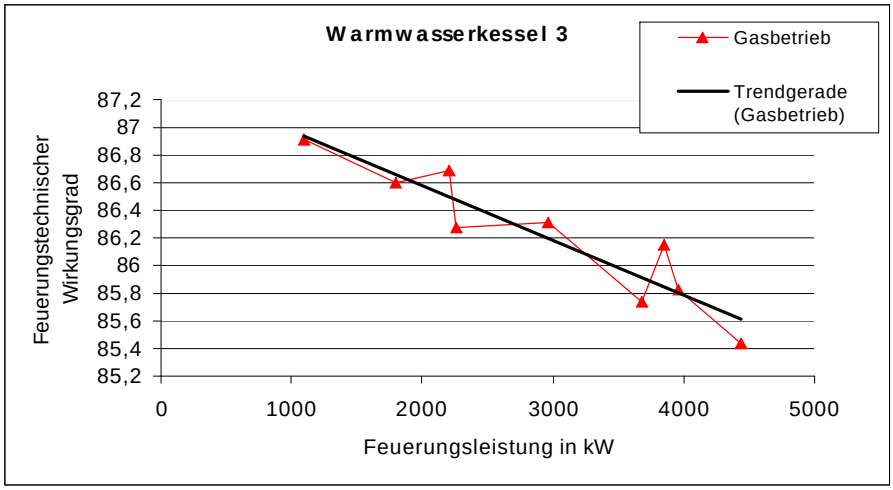


Bild 39 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad des Warmwasserkessels 2 (brennwertbezogen)

Erstaunlich ist, dass sich bei allen Kesseln die annähernd gleichen Ausgleichgeraden bildeten, obwohl sich die Bedingungen bei den Messungen etwas voneinander unterschieden hatten. Beim Warmwasserkessel 3 wurde bei jeder der drei Messungen ein größeres Leistungsniveau durchfahren. Das Verhalten jedoch ist, zwischen dem Leistungsintervall bei dem die anderen beiden Kessel gemessen wurden, trotzdem annähernd gleich. Die Wirkungsgrade sind insgesamt sehr gut. Gründe werden die in jedem Kessel installierten Rauchgaswärmeübertrager und die O_2-Optimierung der Brenner sein.

Der Wirkungsgrad für den Gasbetrieb ist maßgeblich, weil etwa 99 % der zugeführten Energie Erdgas sind. Für weitere Berechnungen wird von einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad der Kesselanlage von 86,4 % ausgegangen. Dieser liegt innerhalb des gemessenen Bereiches und ist eher konservativ gewählt.



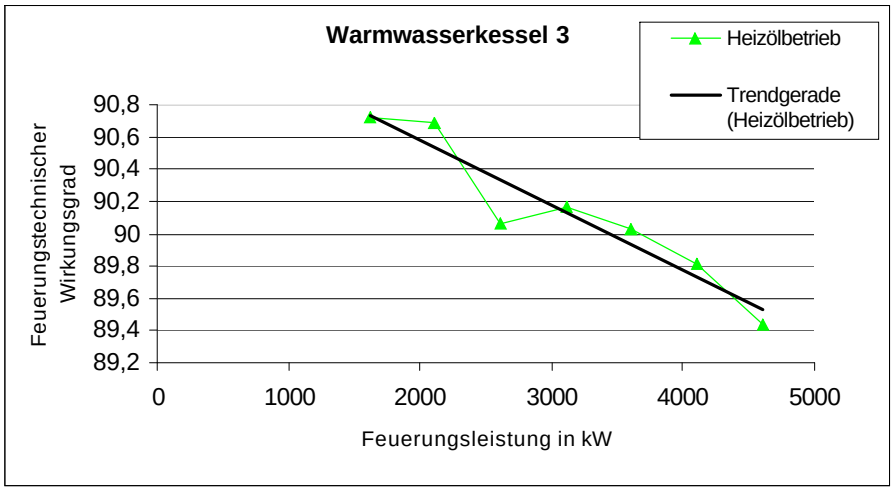


Bild 40 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad des Warmwasserkessels 3 (brennwertbezogen)

Eine Überprüfung dieser Annahme kann anhand der mittleren Kesselauslastung erfolgen. Die aus dem Brennstoff umgewandelte Energiemenge muss 7874 MWh/a betragen. Das bedeutet eine mittlere Leistung von etwa 900 kW (thermisch). Bei einem Wirkungsgrad von ca. 90 % entspricht dies also einer Leistungszufuhr von 1000 kW. Aus den Bildern kann ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad von etwa 86,6% abgelesen werden. Dieser läge jeweils am unteren Messbereich für jeden Kessel, daher wird aus Sicherheitsgründen der Wert 86,4 % bevorzugt.

Abgasverluste der Wärmeerzeugung

Die benötigte Wärmemenge beträgt 7874 MWh/a. Bei einer Effizienz der Energieumwandlung von 86,4 % ergibt sich:

- Energiezufuhr: 7874 MWh/a / 0,864 = 9113 MWh/a
- Abgasverlust: 9113 MWh/a – 7874 MWh/a = 1239 MWh/a

3.3 Gesamtbilanz und Nutzungsgrad

Aus den Teilbilanzen der aller Einzelverlustbewertungen kann eine Gesamtbilanz erstellt werden. Das Bild zeigt zudem alle relevanten Nutzungsgrade.

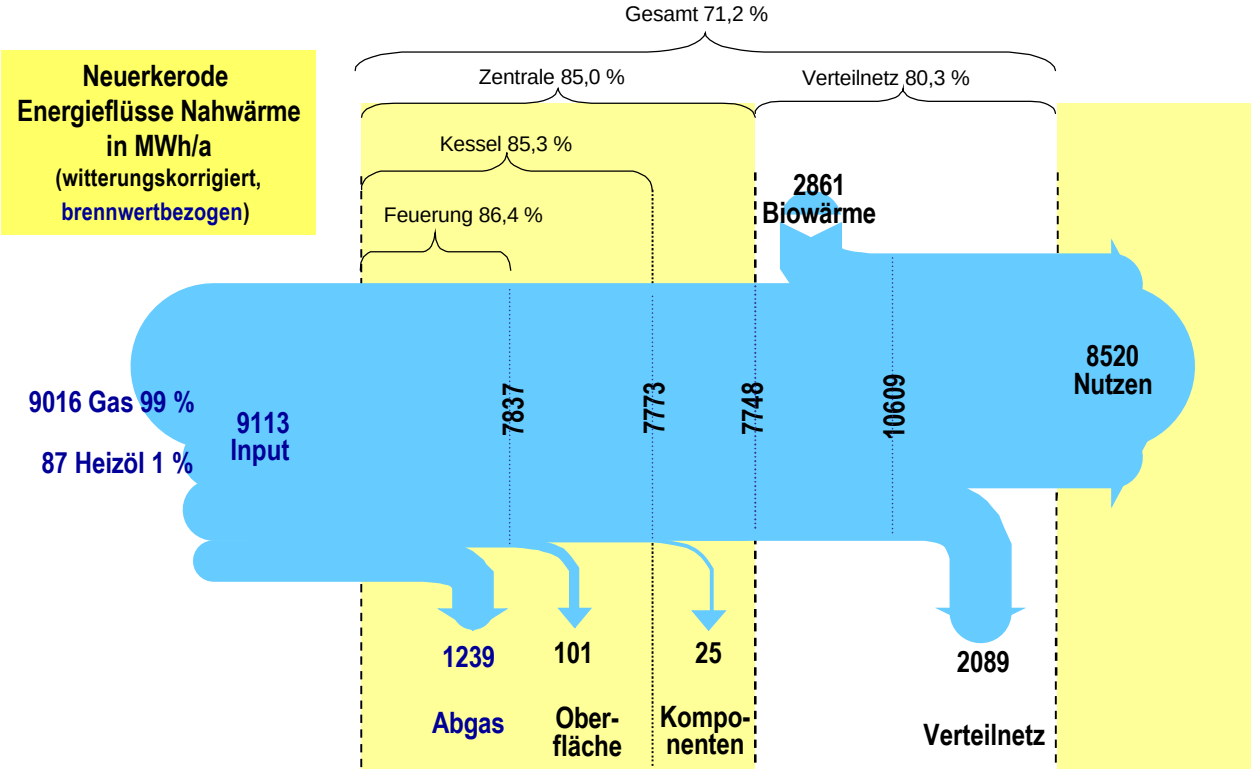


Bild 41 Gesamtbilanz Nahwärme

3.4 Hilfsenergie

Die Hilfsenergieabschätzung für die Nahwärme kann nur gemeinsam mit der Dampfversorgung durchgeführt werden.

Insgesamt werden über den Kesselhauszähler für Hilfsenergie 120,6 MWh/a erfasst. Die ausführliche Bilanz der Pumpen in der Dampfkesselanlage ergibt, dass diese 34,1 MWh/a elektrische Energie benötigen. da die im Kondensatnetz eingesetzten Pumpen fast alle ungeregelt sind, ergeben die Betriebsstundenzähler zusammen mit den Pumpennennleistungen vertrauenswürdige Auswertungen.

Daher bleiben 86,5 MWh/a für den Betrieb der Hilfsenergien im Nahwärmenetz.

Die genaue Bestimmung der Hilfsenergie für die Nahwärmeversorgung gestaltet sich als sehr schwierig. Jedoch lassen sich die wichtigsten Abnehmer anhand der Nennleistung am Typenschild und angenommener Betriebszeiten abschätzen.

So ist, mit höchster Wahrscheinlichkeit, die Netzpumpenstation der Hauptabnehmer der Hilfsenergie. Es kann davon ausgegangen werden, dass praktisch nur eine der vier Pumpen am Netz ist, dafür jedoch ganzjährig. Eine Pumpe hat die Nennleistung von 8 kW. Sie läuft nicht immer auf Volllast. Die mittlere Leistung ist unbekannt. Geht man von 70 % der Maximalleistung aus, ergibt sich eine Jahresenergiemenge von 49 MWh/a. Genauere Aussagen könnten nur mit Messungen bei Sommer- und Winterbetrieb getroffen werden.

Als zweiter erwähnenswerter Hauptabnehmer muss das Gebläse für die Zu- bzw. Abluft erwähnt werden. Aus den Herstellerunterlagen, die im Handwerkerhaus einzusehnen sind, geht eine Nennleistung von 14,6 kW pro Gebläse hervor. Jedoch wird das Gebläse mit

höchster Wahrscheinlichkeit nach den Aussagen der Kesselwärter mit einem Frequenzumformer angesteuert, so dass diese Nennleistung so gut wie nie auftritt. Wie schon bei den Netzpumpen erwähnt, kann nur eine Messung für unterschiedliche Laststufen eine qualitative Aussage liefern. Da immer nur ein Kessel gleichzeitig am Netz ist, die mittlere Kesselbelastung eines Kessels um 20 % liegt, kann auch für die Gebläse von einer geringeren Leistung ausgegangen werden.

Bei ca. 11 kW Durchschnittsleistung und 1644 h/a Betriebsstunden (Vollbenutzungsstunden für einen Kessel bei der Jahresenergiemenge) ergibt sich ein Energieaufwand von 19,2 MWh/a.

Für alle sonstigen Verbraucher, z.B. die Druckhaltung und Regelung verbleiben dann 18,3 MWh/a. Diese Prüfung des Messwertes erscheint hinreichend genau, so dass die Messwerte und insbesondere die Aufteilung auf Nahwärme- und Dampfnetz plausibel sind.

Der spezifische Stromverbrauch der gesamten Wärmeerzeugung bezogen auf die erzeugte Wärme ist ein Kennwert, der gut zur Beurteilung der Hilfsenergie Strom herangezogen werden kann.

- 86.500 kWh/a Strom / 7716 MWh/a erzeugte Wärme = 11,2 $kWh_{el}/MWh_{thermisch}$

Aus Studien der AGFW geht hervor, dass der spez. Stromverbrauch abhängig ist von der Auslastung des Heizwerkes. Gut Dimensionierte Anlagen größer 2 MW Wärmeleistung können Werte von 7,9 $kWh_{elek}/MWh_{therm.}$ erreichen.

Natürlich ist das zu versorgende Wärmenetz von wesentlicher Bedeutung, da der Pumpenstrom einen erheblichen Anteil der gesamten benötigen Hilfsenergie ausmacht. Das Neuerkeröder Wärmenetz ist mit einer Gesamtlänge von 7.164m (entspricht 3.582 m Trassenlänge) bei einer Anschlussleistung von ca. 6 MW relativ weit ausgedehnt und verursacht dadurch einen großen Strombedarf zur Gewährleistung des Wärmetransportes.

Der unter Berücksichtigung aller Annahmen (siehe oben) ermittelte spez. Hilfsenergieverbrauch von 11,2 $kWh_{elek}/MWh_{therm.}$ liegt über den Werten der AGFW.

Gründe dafür **können** sein:

- Weit ausgedehntes Wärmenetz – Folge ist eine hohe Pumpenleistung
- Überdimensionierte Verbrennungsluftversorgung – Begrenzung durch den FU nach unten nicht beliebig, dadurch große Ventilatorleistung
- alte Technik – insbesondere Regelung / Brennersteuerung

4 Nahwärmekosten

Im Rahmen der vorliegenden Auswertung wird nicht nur der energetische Nahwärmepreis (siehe Bericht 02 "Mediengrunddaten"), sondern ein Vollkostenpreis bestimmt. Die Kosten für eine Kilowattstunde Nahwärme setzen sich daher aus den folgenden Kostenstellen zusammen:

- Brennstoffkosten
- Hilfsenergiekosten
- Hilfsstoffkosten
- Wartungs- und Reparaturkosten
- Gehälter

4.1 Brennstoff- und Biowärmekosten

Als Brennstoff wird zu ca. 99 % Erdgas verwendet. Nur ca. 1 % des gesamten Brennstoffaufwandes entsteht durch Heizöl. Weiterhin wird Biowärme eingekauft.

Es ergeben sich folgende Kosten:

- Gas (brennwertbezogen): 9016 MWh/a · 53 €/MWh = 477.848 €/a
- Heizöl (brennwertbezogen): 87 MWh/a · 82 €/MWh = 7134 €/a
- Biowärme: 2861 MWh/a · 24 €/MWh = 68.664 €/a
- Summe: 553.646 €/a

4.2 Hilfsenergiekosten

Mit Hilfsenergiekosten sind die Kosten gemeint, die durch den Betrieb von Hilfsaggregaten zustande kommen. Hilfsaggregate sind z.B. die Brennermotoren, Pumpenmotoren und andere elektrische Geräte, die zum Betrieb der Nahwärmeanlage notwendig sind.

Der Strompreis der Stiftung liegt bei 140 €/MWh. In der Summe ergeben sich bei einem für die Nahwärme abgeschätzten Anteil am Stromverbrauch von insgesamt 86,5 MWh/a Hilfsenergiekosten in Höhe von:

- Strom: 86,5 MWh/a · 140 €/MWh = 12.110 €/a

4.3 Hilfsstoffkosten

Die Verlustmenge an Wasser, welches jeden Tag in der Anlage entweicht, verursacht Nachspeisekosten. Die Kosten für die zugefügten Chemikalien sind schon bei den Kesselhauskosten berücksichtigt worden, jedoch nicht die eingespeiste Wassermenge, die durch einen Zähler erfasst wird, an dem nicht nur das Kesselhaus angeschlossen ist.

Es wird gemäß Kapitel 2.1.7 mit einem mittleren Wasserverlust von 1 m³/Tag gerechnet. Dafür werden Wasser- und Abwasserkosten berechnet. Der Preis je m³ Wasser beträgt 1,50 €/m³, Abwasserkosten betragen 3,07 €/m³. Die dabei entstehenden Kosten belaufen sich auf:

- 365 m³ · (1,50 + 3,07) €/m³ = 1668 €/a.

4.4 Wartungs- und Reparaturkosten

Die Wartungs- und Reparaturkosten werden getrennt für die Zentrale und das Netz erfasst.

4.4.1 Kosten für die Zentrale

Die Kosten, die in der Zentrale anfallen, sind sehr vielfältig. Von sich jährlich wiederholenden Kosten wie Wartungskosten, bis hin zu einmaligen Kosten für Schädlingsbekämpfung, ist das Spektrum weit gestreut.

Bei der Auswertung wurden alle vorliegenden Rechnungen der letzen sechs Jahre eingesehen, zugeordnet und in einer Excel-Tabelle ausgewertet. Dabei wurden die verschiedenen Kostenarten in Gruppen zusammengefasst und ein jährlicher Durchschnittswert ermittelt.

Anschließend wurde eine Inflationsbereinigung durchgeführt, wobei die Inflationsrate mit 2,5 %/a angesetzt worden ist. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Nr.	Beschreibung	Gemittelte Kosten in €/a	Anteil
1	Kosten durch Wartungsverträge der drei Brenner und Kessel durch die Firma ELCO, umfasst eine jährliche Wartung und Behebung von auftretenden Störungen.	5733,27	0,41
2	Kosten durch Extrareparaturen an der Kesselanlage, die nicht im Wartungsvertrag enthalten sind durch die Firma ELCO.	2550,20	0,18
3	Kosten durch Reparaturen an den Netzpumpen und der Hydraulik.	2354,96	0,17
4	Kosten für TÜV Messungen.	745,58	0,05
5	Kosten für Chemikalien für die Druckhaltestation.	669,05	0,05
6	Sonstige Kosten z.B. Ölbetriebzubehör, Elektrozubehör, Industriebedarf, diverse Reparaturen und Instandhaltung des Kesselhauses.	1900,19	0,14

Tabelle 6 Gliederung der Kesselhauskosten

Die Addition der einzelnen Kosten ergibt durchschnittliche Gesamtkosten von 13.953 €/a. Die Auswertung ergab, dass der Hauptteil der Kosten durch die Wartung und Reparatur der Brenner entsteht. Dieser Anteil beträgt ca. 59 % der Gesamtkosten.

4.4.2 Kosten des Nahwärmenetzes

Die Kosten, die eindeutig dem Verteilnetz zuordenbar sind, variieren stark – jährlich und monatlich – da sie größtenteils durch Schäden (Rohrbrüche) verursacht werden.

Unfangreiche Sanierungen gab es seit über dreißig Jahren kaum. Es werden nur Kosten berücksichtigt, die zwingend nötig sind, um dass Rohrnetz funktionstüchtig zu halten. Um eine Kostengrundlage für spätere Betrachtungen zu bilden, mussten die Kosten für Schäden abgeschätzt werden. Dies basierte auf Grundlage von Gesprächen mit dem zuständigen Personal.

Dabei ergab sich, dass es keinen Pauschalwert für Schäden gibt, aber die meisten ca. mit 7000 € anzusetzen sind. Da im Durchschnitt zwei Rohrbrüche im Jahr auftreten, kann man von durchschnittlichen Kosten von 14.000 € pro Jahr ausgehen.

Erwähnenswert ist, dass diese Kosten größtenteils von einer Versicherung getragen werden. Da aber für diesen Schutz auch eine entsprechende Versicherungsgebühr gezahlt wird, werden die geschätzten Kosten in der Gesamtkostenbetrachtung in voller Höhe mit berücksichtigt.

4.5 Lohnkosten

Da die gesamte Nahwärmeversorgung beaufsichtigt und verwaltet werden muss sowie außerdem immer kleine Arbeiten notwendig sind, wie z. B. die Nachfüllung von Chemikalien, ist ein gewisser Personalaufwand immer erforderlich. Dieser lässt sich nur schwer abschätzen. Er wurde von Renke Wirdemann mit einer halben Facharbeiterstelle und mit Kosten von 16.000 € abgeschätzt.

Personalkosten der Verwaltung und Beaufsichtigung der Bauabteilung im Handwerkerhaus bleiben unberücksichtigt, da diese kaum erfassbar sind.

4.6 Zusammenfassung aller Kostenstellen

Fasst man alle Kostenstellen zusammen, ergibt sich Tabelle 7.

Kostenstelle	Kosten Pro Jahr [€]
Brennstoffkosten	484.982
Biowärmekosten	68.664
Hilfsenergiekosten	12.110
Hilfsstoffkosten	1668
Wartungs-/Reparaturkosten Zentrale	13.953
Wartungs-/Reparaturkosten Netz	14.000
Lohnkosten	16.000
Summe:	611.377

Tabelle 7 Kostenstellen betriebsbedingter Kosten

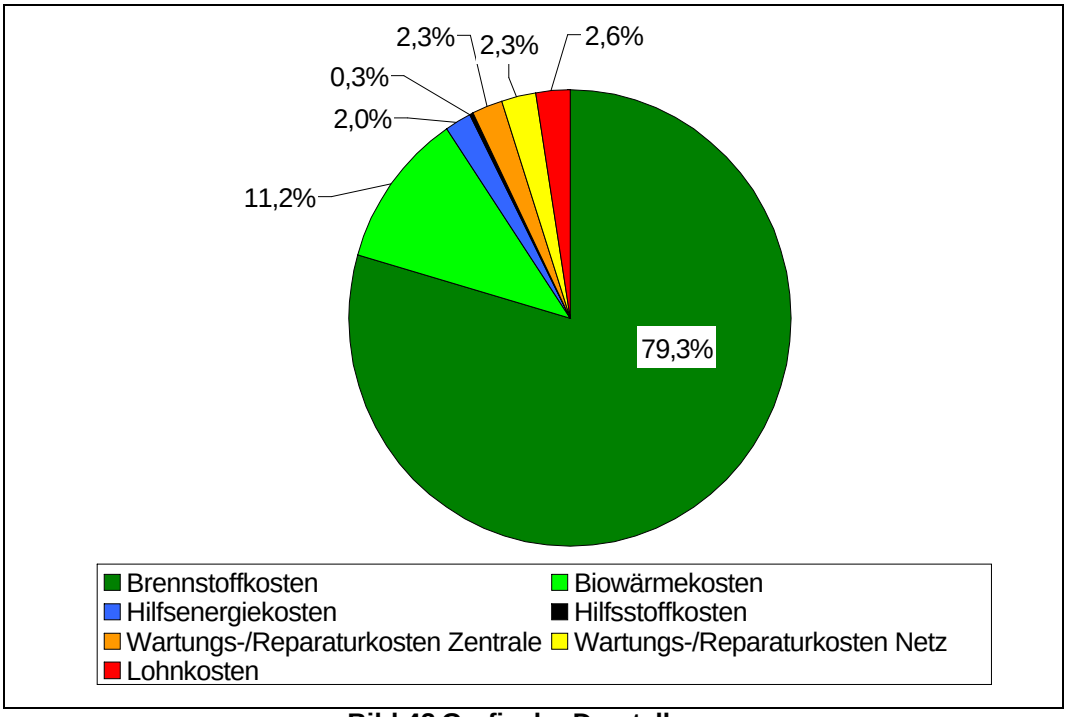


Bild 42 Grafische Darstellung

Aus dem Gesamtaufwand für den Betrieb der Nahwärme kann man die Kosten je Kilowattstunde Nahwärme ab Hausübergabe errechnen. Bei einer Abnahmemenge von 8480 MWh/a ergibt sich ein Nahwärmepreis von:

- 611.377 €/a / 8.520.000 kWh/a = 0,072 €/kWh.

5 Verbesserungsmöglichkeiten

Es soll hier keine Prognose bezüglich der Einsparungen gemacht werden, wohl aber soll dieses Kapitel dazu dienen, Anregungen für eventuelle Sanierungsmaßnahmen zu geben.

5.1 Verbesserung des Netzes

Eine Netzverbesserung setzt die Verringerung der Verteilverluste (absolut und ggf. im Verhältnis zum Gesamtaufwand) voraus. Zur Einschätzung des Netzes werden die Erkenntnisse über das Neuerkeröder Netz eingeordnet und mit typischen Werten verglichen

5.1.1 Einordnung der Kennwerte

Die Wärmeverluste über das Rohrnetz betragen rund 20% der gesamten Wärmeerzeugung. Bei guten Wärmenetzen liegen die Wärmeverluste über die Leitungen bei maximal 10 % der gesamten Wärmeerzeugung – das zeigen Auswertungen der AGFW (Arbeitsgemeinschaft Fernwärme).

Dabei ist zu betonen, dass das Leitungsnetz nicht schlecht gedämmt, sondern hauptsächlich lang ist. Oder anders ausgedrückt, es gibt bezogen auf die Verteilverluste eine zu geringe Abnehmerdichte.

Eine andere Möglichkeit die Wärmedichte einzuschätzen ist der Kennwert der "Trassenbelegung". In Deutschland liegt er durchschnittlich bei 4050 kWh/a je Meter Trasse. Ein Netz mit 800 kWh/a je Meter Trasse wird als untere Wirtschaftlichkeitsgrenze eingestuft. Basis ist die "verkaufte Energiemenge". In Neuerkerode ergibt sich ein Kennwert von:

- 8520 MWh/a Nutzwärmeabgabe / 3582 m = 2380 kWh/a je Meter Trasse.

Dieser Wert ist als unterdurchschnittlich, aber nicht kritisch einzustufen. Die KFW fordert für ihre Förderprogramme jedoch 3000 kWh/a je Meter Trasse.

5.1.2 Verteilverluste

Ergänzend zu den Kennwerten für die Leistungsdichte nach Kapitel 2.1.9 sollen Einzelauswertungen zu den Verteilverlusten – getrennt nach Heizkreisen folgen.

Die durchschnittlichen gemessenen Verteilverluste bezogen auf m² Nutzfläche (beheizte Gebäudefläche) gemittelt über das gesamte Netz betragen 46 kWh/(m²a). Stellt man diesem Wert den Heizwärmebedarf eines Niedrigenergie- oder Passivhauses gegenüber, stellt man fest, dass die Verlustwärme ausreichen würde, um diese Gebäude mit Heizwärme zu versorgen. Dieser Wert ist bereits heute höher als ein langfristig für Deutschland flächendeckend mögliches Endenergiepotenzial durch Biomasseeinsatz anstelle fossiler Energieträger in Höhe von 30 kWh/(m²a). Durchschnittliche Nahwärme-Verteilnetze erreichen Werte von 20 kWh/m²a.

Gebiet	Einheit	Nördlich der Wabe	Zentralgebiet	Kaiserwald	Gesamtgebiet
Nutzfläche	m²	14.849	18.534	12.457	45.840
Trassenlänge	m	2.098	2.436	2.630	7.164
Verteilverluste gesamt	MWh	613	712	769	2.094
Verteilverluste je m² Nutzfläche	kWh/m²a	41	38	62	46

Tabelle 8 Zusammenfassung der Verteilnetzkennwerte

Mit 62 kWh/m²a ist das Nahwärmeteilnetz "Kaiserwald" um rd. 50% schlechter als die anderen beiden Gebiete. Verglichen mit durchschnittlichen Wärmenetzen liegt dieser Wert sogar 300% darüber. Hier besteht dringen Handlungsbedarf.

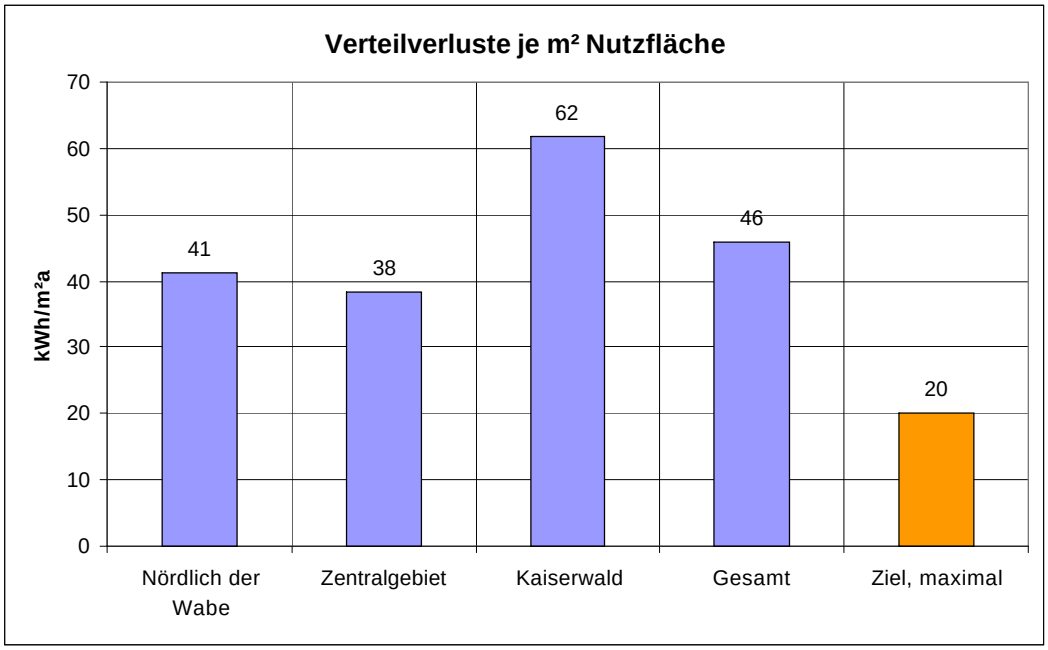


Bild 43 Verteilverluste je m² Nutzfläche

5.1.3 Maßnahmen

Kurzfristig sind keine Maßnahmen denkbar, denn der Dämmstandard des Netzes ist ausreichend gut. Es kann hier nur die Empfehlung gegeben werde, dass alle Fehlstellen in der Dämmung, welche zugänglich sind, umgehend mit Dämmung versehen werden.

Langfristig können die Verteilverluste vermindert werden, indem:

- das Netz ganz oder in Teilen komplett abgeschaltet wird
- das Netz ganz oder in Teilen bei der Sanierung geringer dimensioniert und besser gedämmt wird
- die Netztemperatur gesenkt wird

5.2 Verbesserung der Kessel

Die Wärmeerzeuger sind in einem sehr guten Zustand und weisen – für Niedertemperaturkessel – extrem gute Wirkungsgrade und geringe Oberflächenverluste auf.

Als Empfehlung kann hier folgendes gegeben werden:

- Ersatz eines Kessel durch Brennwerttechnik (bei feuerungstechnischen Wirkungsgraden von ca. 92 % statt 86 % ca. 600 MWh/a Ersparnis), in Verbindung mit einer Umstellung auf Grundlast mit Brennwerttechnik und Spitzenlast sowie Notbetrieb mit einem der beiden alten Kessel

Sollen diese Maßnahmen umgesetzt werden, so muss die Rücklauftemperatur so niedrig wie möglich sein. Es sind vermutlich zunächst Gebäude zu modernisieren, um deren Netztemperatur senken zu können.

Generell kann selbstverständlich über eine komplett andere Art der Versorgung nachgedacht werden. Das ist Ziel eines Nachfolgeprojektes.

5.3 Verbesserung der Biowärmeeinspeisung

Es sind Maßnahmen zu erarbeiten, die Biowärmeeinspeisung insgesamt zu erhöhen; jedoch nicht um Verluste auszugleichen, die ansonsten gar nicht vorhanden wären, v. a. in der nächtlichen Heizpause. Im Rahmen der Bestandsaufnahme konnte dieses Problem noch nicht gelöst werden.

5.4 Verbesserung der Hilfsenergien

Maßnahmen zu Einsparung an Pumpenstrom bzw. Gebläsestrom könnten sein:

- Reduzierung der Pumpenleistung, z.B. durch Verwendung von Hocheffizienzpumpen
- Anpassen der Pumpe auf Sommer / Winterfahrweise oder Umschaltung zwischen verschieden großen Pumpen
- Installation einer Schlechtpunktregelung (Anpassung der Fahrweise auf die vorherrschenden Verhältnisse, Senkung der Energieverluste und Hilfsenergieverbrauchs auf ein Minimum)
- Installation von Differenzdruckreglern an den Hausübergabestationen

Der Einbau hocheffizienter Pumpen reduziert den Stromverbrauch im Schnitt um 60 … 70 %.

5.5 Sonstiges

Das Projekt hat gezeigt, dass die Gebäudewärmeabnahme teilweise unkontrolliert ist. Es ergibt sich ein Sommerverbrauch. Abhilfe kann die Umstellung auf Abnehmerkompaktstationen sein, um ungewollte Zirkulation durch die Heizkreise zu vermeiden. Dieser Schritt setzt voraus, dass die Stationen dann aber noch mindestens 15 bis 20 Jahre genutzt werden.

Auch andere – gering investive – Maßnahmen zur kontrollierten Komplettabschaltung sind denkbar, z.B. eine Netztrennung per Schieber (manuell) oder per Magnetventil. Alle Gebäude, die in Punkto Heizverbrauch ausgewertet werden konnten, zeigten Sommerverbrauch.

Bei einer Fläche von ca. 40.000 m² (mindestens alle Wohnbauten und ähnliche) und einer Sommerleistung von ca. 3 … 5 W/m² (1 – 10 W/m²) sowie 90 Sommertagen ergibt sich eine Einsparung von: 260 … 430 MWh/a oder 3 … 5 % der gelieferten Nahwärme. Die ausreichende Versorgung für die Trinkwarmwasserbereitung ist in jedem Fall zu überprüfen.

6 Ausblick und Anhang

Zum Abschluss des Berichtes soll ein Aus- bzw. Überblick zur Verwendung der Erkenntnisse in den anderen Teilberichten sowie über die Anhänge zu diesem Bericht gegeben werden.

6.1 Ausblick auf die anderen Teilberichte

01 "Übersichtsbericht"	Wiedergabe der wichtigen Erkenntnisse dieses Berichtes in der Zusammenfassung
02 "Mediengrunddaten"	Nahwärmebilanz als Grundlage für den Nahwärmepreis und die Gesamtbilanz Neuerkerodes Ermittlung von Primär- und CO_2-Faktoren anhand der Bilanz
03 "Investition und Instandhaltung"	---
04 "Gebäude"	---
05 "Nahwärme"	---
06 "Dampf"	---
07 "Elektroverbraucher"	---

6.2 Überblick über die Anlagen zu diesem Teilbericht

A Übersichtbericht

- Bericht als PDF

B Berechnungen, Bilder, Tabellen

- Bilder: Grafiken für den Bericht

C Fotos

- Abgasanlage, Biogasanlage, Brenner, Gasleitungen, Kesselhausleitungen, Öltanks, Pumpen, Regelung, Rohrbruch, Thermographie, Tresse, Warmwasserkessel

D Diplomarbeit Renke Wirdemann

- Diplomarbeit als Datei
- Berechnungen Erzeuger
- Berechnungen Netz
- Berechnungen Wartungskosten
- Grafiken: Übergabestationen, Anlagenschema

E Netzplan

- Trassenplan als Foto

Alle weitere Quellen zu den hier verfassten Texten finden sich in den Anlagen.