

Bedienanleitung für das Rechenprogramm "Heizwassernetz"

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, 2014

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung und Literaturbezüge	2
1 Allgemeine Hinweise zum Rechenprogramm	2
1.1 Laden und Start des Rechenprogramms	2
1.2 Bearbeitung des Programmlistings	3
1.3 Beispielabarbeitung	3
2 Ein- und Ausgabedaten	5
3 Berechnungsvarianten mit Unterprogrammen und Anwendungen am Beispiel_1	8
3.1 Netzstruktur (NETZ)	8
3.2 Verteilung der Masseströme im Netz (MASS)	10
3.3 Temperaturverteilung im Netz (TEMP)	12
3.4 Bestimmung der Einzelwiderstandsbeiwerte an Netzverzweigungen (ZETA)	19
3.5 Druckverluste der Teilstrecken (TEIDRUK)	23
3.6 Druckverluste der Abnehmer (ABNVER)	25
3.7 Mindestdifferenzdruck an der Einspeisestelle (DIFFE)	26
3.8 Reale Abnehmerdrücke und abzudrosselnde Drucküberschüsse (ABNÜB)	27
3.9 Druckverläufe im Netz (GRENZ)	30
Visuelle Darstellung der Druckverläufe	35

Wichtige Hinweise:

Alle in diesem Bericht und dem zugehörigen Rechenprogramm enthaltenen Angaben, Daten, Berechnungsverfahren usw. wurden vom Autor mit bestem Wissen erstellt und sorgfältig geprüft. Dennoch sind inhaltliche Fehler nicht vollständig auszuschließen, deshalb erfolgen alle Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung und Garantie des Autors. Er übernimmt keinerlei Verantwortung und Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen und Einspeicherung sowie Verarbeitung in elektronischen Systemen, die über die Eigennutzung hinausgehen.

Das vorgestellte Berechnungsmodell ist als Testfassung zu verstehen. Es sind zwar vielfältige Plausibilitätsprüfungen eingebaut, die aber keineswegs vollständig sind, sodass die fachkompetente Nutzung unerlässlich ist. Alle Interessierten sind eingeladen, an der Weiterentwicklung mitzuwirken.

Viel Erfolg bei der Anwendung!

Vorbemerkung und Literaturbezüge

Die Grundlagen des Rechenprogramms "Heizwassernetz" sind Bestandteil des Buches:

- [1] Glück, B.: Heizwassernetze für Wohn- und Industriegebiete.
Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1985
Frankfurt /M: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH 1985,
ISBN 3-8022-0095-0 <http://berndglueck.de/Heizwassernetze>

Weitere spezielle Grundlagen zur Druckverlustberechnung, zur Bereitstellung der Stoffwerte von Wasser und zur Berechnung des Temperaturverlaufs in wasserdurchströmten Rohren sind aus den nachfolgenden Büchern entnehmbar:

- [2] Glück, B.: Hydrodynamische und gasdynamische Rohrströmung; Druckverluste (Reihe: Bausteine der Heizungstechnik). Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1988, ISBN 3-345-00222-1 <http://berndglueck.de/Druckverluste>
- [3] Glück, B.: Zustands- und Stoffwerte; Verbrennungsrechnung (Reihe: Bausteine der Heizungstechnik). Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1986, ISBN 3-345-00228-0; Berlin: Marhold-Verlag 1986
2. überarbeitete und erweiterte Auflage
Berlin: Verlag für Bauwesen 1991, ISBN 3-345-00487-9
<http://berndglueck.de/Stoffwerte>
- [4] Wärmeübertragung; Wärmeabgabe von Raumheizflächen und Rohren (Reihe: Bausteine der Heizungstechnik). Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1989, ISBN 3-345-00310-4
2. Auflage Berlin: Verlag für Bauwesen 1990, ISBN 3-345-00426-7
<http://berndglueck.de/Waermeuebertragung>

1 Allgemeine Hinweise zum Rechenprogramm

Bisher wurde für die auf der Website <http://berndglueck.de> vorgestellten Rechenprogramme die Programmierumgebung **VISUALBASIC.NET STANDARD** verwendet. Leider war diese für das Betriebssystem Windows 8.1 nicht mehr verfügbar. Deshalb kam für das Rechenprogramm "Heizwassernetz" die neue Programmierumgebung **MICROSOFT Visual Basic 2010 Express**, die aus dem Internet kostenlos downloadbar ist, zum Einsatz.

Selbstverständlich kann das Rechenprogramm als **Heizwasernetz_2014.exe** abgearbeitet werden. Erfolgt die Programmabarbeitung aber in der Programmierumgebung, sind mögliche Fehlbedienungen und/oder noch vorhandene Programmfehler durch Nutzung des Debuggers relativ leicht auffindbar.

Auf jegliche Spezialsoftware, die einige wesentliche Programmiererleichterungen – beispielsweise bei der Erzeugung von Ausgabetabellen – bewirkt hätten, wurde bewusst verzichtet. Es werden lediglich Verbindungen zu **MICROSOFT WORD** hergestellt.

Allgemeine **Grundlagen für die Programmanwendung** finden sich [hier](#).

1.1 Laden und Start des Rechenprogramms

Die unter <http://berndglueck.de/Heizwassernetz> stehende komprimierte Datei "**Wassernetz.zip**" ist nach dem Download zu extrahieren und in ein eigenes Verzeichnis (Ordner) – beispielsweise "**Heizwassernetze**" – auf die Festplatte zu kopieren. Im genannten Ordner befinden sich dann:

- **Beispiel_1** (Beispiel_1 als Unterordner)
- **Heizwassernetz_2014** (Rechenprogramm als Unterordner mit allen Entwicklungsdateien)
- **Heizwassernetz_2014.exe** (Rechenprogramm als Datei zur sofortigen Nutzung)
- **Heizwassernetz_2014.sin** (Rechenprogramm als Datei zur Verwendung in der Programmierungsumgebung Visual Basic 2010 Express; Unterordner **Heizwassernetz_2014** muss verfügbar sein!)

Hinweis zur Bildschirmeinstellung

Eine gut lesbare Darstellung erreicht man mit der Auflösung 1920×1080 Pixel und der Skalierungsstufe 125 %. Weg zur Einstellung bei WINDOWS 8.1:

SYSTEMSTEUERUNG $\Rightarrow$ DARSTELLUNG UND ANPASSUNG $\Rightarrow$ ANZEIGE
 $\Rightarrow$ HÄKCHEN BEI MANUELLE SKALIERUNGSSTUFE $\Rightarrow$ 125 % $\Rightarrow$ ÜBERNEHMEN.

- Die Programmabarbeitung erfolgt in der Regel ohne Entwicklungsumgebung:

Ordner "**Heizwassernetze**" öffnen $\Rightarrow$ Datei "**Heizwassernetz_2014.exe**" mit Doppelklick starten

Zu Beginn wird in einem Fenster ein Pfad für das zu bearbeitende Beispiel angegeben. Dieser Vorschlag ist in der Regel mit dem selbst gewählten Pfad zu überschreiben! Ist das Beispiel noch nicht vorhanden, so muss der Ordner – beispielsweise Beispiel_xy – dafür **vorher** angelegt werden. In diesem wird dann automatisch die Datei **Objektdaten.dat** angelegt.

1.2 Bearbeitung des Programmlistings

Im Ordner "**Heizwassernetze**" ist – wie oben bereits mitgeteilt – auch der Quellcode "**Heizwassernetz_2014.sin**" enthalten. Um diesen anzuzeigen ist die Entwicklungsumgebung Visual Basic 2010 Express zu laden und beispielsweise "**Heizwassernetz_2014.sin**" mit Doppelklick zu starten.

Über "Ansicht" und "Projektmappen-Explorer" findet man Form1. In ihr sind die Algorithmen für die Eingabe, die Berechnung und den Ausgabedruck enthalten. Form 2 beinhaltet die Diagrammdarstellung des Druckverlaufs. Aus den Programmlistings sind alle inhaltlichen Details – gut strukturiert und mit zahlreichen Kommentaren versehen – ersichtlich.

- Der Algorithmus kann nach den entsprechenden Programmierregeln geändert werden.
- Die Programmabarbeitung in der Entwicklungsumgebung ist mit und ohne spezieller Verfolgungsstrategie möglich:

$\Rightarrow$ Menüleiste "**Debuggen**" Einfachklick $\Rightarrow$ "**Debugging starten**" Einfachklick

1.3 Beispielabarbeitung

1. **START** drücken und Beispiel mit Pfad und Ordner eingeben.
2. Eventuell vorhandenes Beispiel **LADEN** oder **LÖSCHEN ALLER DATEN** vornehmen. Neue Zahleneingaben sind gemäß Beschreibung auf der Bedienoberfläche (Maske) vorzunehmen.
3. Die Teilstrecken sind einzeln zu bearbeiten:

Teilstreckennummer i eintragen und **ANZEIGEN** und **EINGEBEN einzelner TS** drücken. Alle vorhandenen Daten werden angezeigt. Sie können gelöscht (blank), überschrieben und/

oder ergänzt werden. Jede Änderung ist zwischenspeichern. Dazu muss **LESEN und ZWISCHENSPEICHERN einzelner TS** aktiviert werden. Will man vor dem Eintragen neuer Daten alle bisher gespeicherten Werte löschen, dann **LÖSCHEN einzelner TS** drücken. Sind alle Teilstreckenwerte eingegeben und zwischengespeichert, dann **SPEICHERN** aktivieren. Die Daten werden dann in die Datei **Objektdaten.dat** geschrieben.

Die Teilstreckennummerierung darf Lücken aufweisen.

4. Die Abnehmer sind einzeln zu bearbeiten:

Teilstreckennummer Abn eintragen und **ANZEIGEN und EINGEBEN einzelner Abn** drücken. Alle vorhandenen Daten werden angezeigt. Sie können gelöscht (blank), überschrieben und/oder ergänzt werden. Jede Änderung ist zwischenspeichern. Dazu muss **LESEN und ZWISCHENSPEICHERN einzelner Abn** aktiviert werden. Will man vor dem Eintragen neuer Daten alle bisher gespeicherten Werte löschen, dann **LÖSCHEN einzelner Abn** drücken. Sind alle Abnehmerwerte eingegeben und zwischengespeichert, dann **SPEICHERN** aktivieren. Die Daten werden dann in der Datei **Objektdaten.dat** geschrieben.

Die Abnehmernummerierung darf Lücken aufweisen.

5. Allgemeine Netzdaten sind einzutragen und durch **SPEICHERN** in der Datei **Objektdaten.dat** zu fixieren.
6. Welche Eingabedaten notwendig sind, hängt von der gewählten Berechnungsvariante ab. Es ist gleichgültig, ob man die Eingabedaten zu Beginn komplett einträgt oder variantenspezifisch ergänzt. **Jede Änderung der Eingabedaten erfordert eine Neuberechnung des Beispiels.**
7. Das Rechenprogramm ist modulförmig aufgebaut. Es wird empfohlen auch die Abarbeitung abschnittsweise, in der **angegebenen Reihenfolge** vorzunehmen. D. h., die in der Maske rechtsstehenden Berechnungsvarianten (Checkboxen) sind der Reihe nach zu markieren. Danach **RECHNEN** drücken.
8. Vor jedem Modulaufruf werden evtl. früher gewonnene Ergebnisse der nachfolgenden Module gelöscht, um stets aktuelle Ergebnisse (z. B. nach vorgenommenen Parameteränderungen) zu gewährleisten.
9. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert einen kompletten Ausdruck der Eingabewerte und der berechneten Größen. **Die umfassenden Ergebnisse für die Teilstrecken und Abnehmer sind anhand des Rechnerausdruckes auf Plausibilität zu prüfen.** Es wird empfohlen dies nach jedem Modulaufruf vorzunehmen.
10. Das Unterprogramm NETZ sollte zu Beginn als Einzelmodul bearbeitet und anschließend der Ausdruck sorgfältig auf Fehlerfreiheit überprüft werden, da die Netzstruktur die Grundlage für alle weiteren Berechnungen darstellt. Wegen des gewollten Variantenreichtums ist leider eine automatisierte Eingabekontrolle unmöglich.
11. Markante Rechenergebnisse zur Netzstruktur werden in der Bedienoberfläche angezeigt. Es handelt sich dabei um:

imax	höchste Teilstreckennummer	iemax	Anzahl der echten Teilstrecken
Abmax	höchste Abnehmernummer	Abemax	Anzahl der echten Abnehmer
		Knomax	höchste Knotenzahl.

Bei richtiger Eingabe muss gelten: $iemax = Abemax + Knomax$

Die Gestaltungen der **Bedienoberfläche** ist nachfolgend gezeigt:

Bild 1.1 Bedienoberfläche des Rechenprogramms "Heizwassernetz"

2 Ein- und Ausgabedaten

Anschließend werde die Gesamtheit aller Eingaben vorgestellt. Die Zuordnung zu den Berechnungsvarianten erfolgt später. Bild 2.1 zeigt beispielhaft eine Netzstruktur.

Das Netz darf nur eine Einspeisung besitzen, kann aus maximal 200 Teilstrecken, 90 Abnehmern und 100 Knoten bestehen.

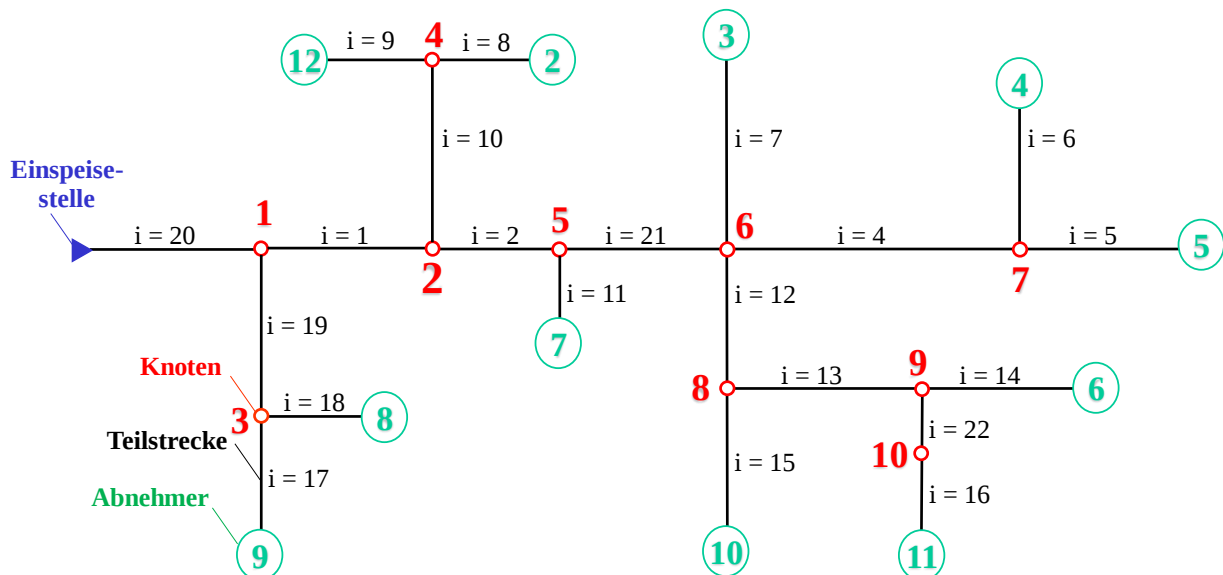


Bild 2.1 Rohrnetz mit Teilstreckennummern i , Abnehmernummern Abn und Knotennummern Kno , welches Grundlage für das später vorgestellte Beispiel ist

Alle i und Abn sind einzugeben, die roten Knotennummern Kno werden durch das Rechenprogramm selbsttätig ermittelt. Es gelten beispielsweise für die Struktureingabe:

$i = 21 \Rightarrow x(21) = 7; y(21) = 4; z(21) = 12; Abn(21) = \text{blank}$

$i = 18 \Rightarrow x(18) = y(18) = z(18) = \text{blank}; Abn(18) = 8$

$i = 20 \Rightarrow x(20) = \text{blank}; y(20) = 1; z(20) = 19; Abn(20) = 99$

(Einspeisestelle wird durch $Abn = 99$ gekennzeichnet).

blank bedeutet keine Eingabe,
auch keine Leertaste drücken

Netzstruktur und spezielle Teilstreckendaten

i	-	Rohrnetzteilstrecke (besteht aus Vor- und Rücklaufabschnitt jeweils gleicher Länge und Durchmesser) Die Teilstrecke (TS) – es wird im Weiteren stets der Vorlauf betrachtet – führt zu einem Knoten oder Abnehmer. Die Einspeiseteilstrecke muss stets zu einem Knoten führen, d. h., das Netz muss mehr als eine TS aufweisen. Die Nummerierung ist beliebig, sodass nachträgliche Einfügungen leicht möglich sind.
x(i)	-	Nummer der von i am Knoten nach links abgehenden TS
y(i)	-	Nummer der von i am Knoten gerade abgehenden TS
z(i)	-	Nummer der von i am Knoten nach rechts abgehenden TS
l(i)	m	Teilstreckenlänge (nur Vorlauf; bei unterschiedlichen Längen des Vor- und Rücklaufes den Mittelwert aus beiden eingeben)
tu(i)	°C	Temperatur der Teilstreckenumgebung
alphaa(i)	W/(m²K)	Wärmeübergangskoeffizient (Konvektion + Strahlung) an der Teilstreckenaußen-seite (Rohr bzw. Dämmung) {siehe ggf. [4]}
H(i)	m	Höhe am Ende der Teilstrecke i
ZetaVq ZetaRq	- -	Summe aller Einzelwiderstandsbeiwerte im Vor- bzw. Rücklauf der Teilstrecke i Hinweise: [2, Seiten 60ff., 458ff., 482]. Nach [2, Seite 61] gelten: • Bei Verengungen (Blenden, Ventilen usw.) wird auf die Geschwindigkeit im Rohrquerschnitt bezogen. • Bei Durchmesseränderungen wird der ζ-Wert stets der Rohrteilstrecke mit dem kleineren Durchmesser zugeordnet. (Im Bild die Erweiterung der Teilstrecke i = 3 und die Verkleinerung der Teilstrecke i = 5).  Beachte: Die Anteile der Einzelwiderstände infolge von Verzweigungen oder Vereinigungen beziehen sich stets auf die abgehenden bzw. zuführenden Rohrteilstrecken und nicht auf die Hauptrohrleitung. Sie werden programmintern selbstständig bestimmt und dann den Eingabewerten ZetaVq bzw. ZetaRq zuaddiert. Ergebnisse sind die programminternen Größen ZetaV und ZetaR. Hinweis: Druckverluste der Wärmebereitstellungsanlage als ζ-Wert eingeben oder besser bereits vom Förderdruck der Umwälzpumpe subtrahieren (siehe DpP).
di(i)	mm	Rohrinnendurchmesser
da(i)	mm	Rohraußendurchmesser
lamR(i)	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand
DV(i)	mm	Dämmdicke des Vorlaufs
DR(i)	mm	Dämmdicke des Rücklaufs
lamD(i)	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der Dämmung

Abnehmermassenströme und spezielle Abnehmerdaten

Abn	-	Abnehmernummer Die Nummerierung ist beliebig, sodass nachträgliche Einfügungen leicht möglich sind.
-----	---	---

m(Abn)	kg/s	Massestrom, der durch den Abnehmer fließt (Eintrittsstrom = Austrittsstrom)
tRA(Abn)	°C	Temperatur am Abnehmeraustritt
kvA(Abn)	m³/h	Durchflussbeiwert (Angabe nicht erforderlich, wenn DpA(Abn) Eingabe erfolgt) Weiterführende Details finden sich in [2, Seiten 61/62]: Der 1953 von der Firma Mason-Neilan Regulator Co., Bosten eingeführte Ventilkoeffizient Cv hat sich im Bereich der Regelungstechnik mit metrischen Maßeinheiten als kv-Wert rasch durchgesetzt und fand Eingang in einschlägigen Normen als zugeschnittene Größengleichung. Er gibt den Wasserdurchfluss in m³/h bei einer Dichte von 1000 kg/m³ und einer Druckdifferenz von 1 bar an. In der allgemeinen Strömungslehre ist er nicht gebräuchlich. Setzt man die Größen in SI-Einheiten in eine allgemeingültige Druckverlustgleichung ein, so hat der kv-Wert die Dimension einer Fläche. Physikalisch ist darunter eine korrigierte Durchströmfläche zu verstehen, die durch Strahleinschnürung, Wirbelbildung usw. kleiner als der geometrisch engste Querschnitt ist. Jedoch hat sich auch mit Einführung der SI-Einheiten diese allgemeingültige, wissenschaftlich korrekte Darstellung nicht durchgesetzt. Zwischen dem oben definierten kv-Wert in m³/h und dem allgemeingültigen kv-Wert in mm² gilt die Umrechnung: $kv_{mm^2} \approx 28 kv_{m^3/h}$.
DpA(Abn)	kPa	Abnehmerdifferenzdruck (Druckverlust des Abnehmers) (Angabe nicht erforderlich, wenn kvA(Abn) Eingabe erfolgt) Hinweis: Bei Eingabe von kvA und DpA hat DpA-Eingabe Vorrang!

Allgemeine Netzdaten

eps	mm	Rohrrauigkeit (z. B. Stahlrohre für Heizwasser eps = 0,045 mm)
tVEin	°C	Vorlauftemperatur an der Einspeisestelle
H0	m	Höhe an der Einspeisestelle (H0 muss mit H(i) korrespondieren)
pSAuf	kPa	Auflastdruck bei Saugdruckhaltung *)
pEAuf	kPa	Auflastdruck bei Enddruckhaltung *)
pMAuf	kPa	Auflastdruck bei symmetrischer Mitteldruckhaltung *)

Druckschaubild an der Einspeisestelle

Anschluss bei Enddruckhaltung

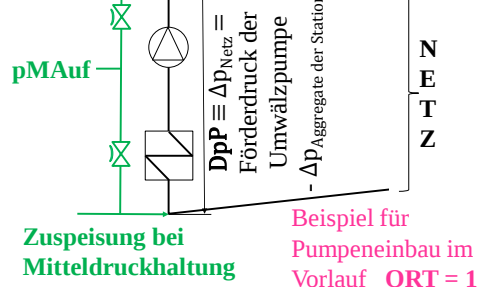
pEAuf



Druckschaubild an der Einspeisestelle

Abspeisung bei Mitteldruckhaltung

pMAuf



*) Es ist stets nur eine Größe einzugeben. Bei Mehrfacheingaben findet nur die erstbenannte Größe in der o. g. Reihenfolge Beachtung.

Detaillierte Erklärungen zu den Schaltungen finden sich in [1]. Bei der Mitteldruckhaltung wird vereinfacht eine symmetrische Druckbildung angenommen.

ORT	-	Einbauort der Netzumwälzpumpe (1 Vorlauf; 2 Rücklauf) {siehe auch Bild ↑}
DpP	kPa	Netzdruck $\equiv$ vorgegebener Netzdifferenzdruck {siehe auch Bild ↑}

Die Ergebnisse des Rechenprogramms werden durch Aktivierung von **DRUCK** ausgegeben. In den entsprechenden Ausdrucken erfolgt die Beschreibung der Größen.

3 Berechnungsvarianten mit Unterprogrammen und Anwendungen am Beispiel_1

Die im Bild 2.1 vorgestellte Netzstruktur sei die Abstraktion eines Heizwassernetzes in einem kleinen Industriekomplex. Das Netz sei historisch gewachsen und ist somit nicht nach einheitlichen Gesichtspunkten geplant. Damit ist es variantenreich und für Nachrechnungen interessant. Es werden der Reihe nach die möglichen Berechnungsvarianten (Module) abgearbeitet, wobei jeweils eine kurze Vorstellung der Algorithmen mit Bezug auf [1 ... 4] erfolgt. Der Gesamtalgorithmus ist dem Programmlisting zu entnehmen (aus Abschnitt 1.2 geht die Einsichtnahme hervor). Die zur Abarbeitung der Berechnungsvarianten notwendigen Eingaben werden benannt.

3.1 Netzstruktur (NETZ)

Der Algorithmus entspricht im Wesentlichen [1, Seite 31, Flussbild 1.2.-1], wobei es eine Abweichung bezüglich der Kennzeichnung der Einspeisestelle (Abnehmernummer Abn(i) = 99) gibt.

Realisiertes Unterprogramm NETZ zur Ermittlung der Programmstruktur:

```

Sub NETZ()
    Kno = 0 : Knomax = 0 : HZ = 0
    For Me.i = 1 To imax
        If ireal(i) > 0 Then
            If Ab(i) = 99 Then
                Kno = 1          'Dies ist der erste Knoten.
                ikno(1) = i
            End If
        End If
    Next i
    If Kno = 0 Then ooo = "Netzeinspeisung fehlt!" : GoTo Label_Netz
    For Me.Knoten = 1 To (imax - Abemax)
        i = ikno(Knoten)
        For Me.HZ = 1 To 3
            If HZ = 1 Then xq = x(i)
            If HZ = 2 Then xq = y(i)
            If HZ = 3 Then xq = z(i)
            If xq > 0 Then
                If Ab(xq) > 0 And Ab(xq) < 91 Then
                    Abn = Ab(xq)
                    iab(Abn) = xq
                Else
                    Kno = Kno + 1 'Festlegen der nächsten Knotennummer.
                    ikno(Kno) = xq
                End If
            End If
        Next HZ
    Next Knoten
    Knomax = Kno
    If iemax <> Knomax + Abemax Then ooo = "Echte Teilstreckenzahl muss Knoten-
                                         plus Abnehmerzahl sein!"
Label_Netz:
    Call Speichern_Objektdaten()
End Sub

```

Die selbsttätige Knotennummerierung erfolgt so, dass mit aufsteigender Knotenzahl 1 ... Knomax Berechnungen von der Einspeisestelle zu den Abnehmern vorgenommen werden können, so beispielsweise die Ermittlung der Vorlauftemperatur über alle Teilstrecken. Andererseits ist auch die Betrachtung von der Netzperipherie zur Einspeisung möglich, beispielsweise bei der Ermittlung der Masseströme in den Teilstrecken bei determinierten Abnehmerströmen.

Notwendige Eingabedaten für die Netzstruktur: i; x(i); y(i); z(i); Abn(i).

Nach gewissenhafter Eingabe – die etwas mühevoll ist – kann durch Setzen eines Häkchens bei **NETZ** und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung der Struktur erfolgen.

Die anschließende Aktivierung **DRUCK** liefert nachfolgendes WORD-Dokument.

Objektbezeichnung: C:\SD\FE_TGA\Heizwassernetze\Beispiel_1\

Teilstrecken-, Abnehmer- und Netzkonfigurationsdaten:

Das Netz besitzt 21 Teilstrecken, 11 Abnehmer und 10 Knoten.

Kennwerte der Teilstrecken:

i	x	y	z	Ab	l	tu	alphaa	H	ZetaVq	ZetaRq	di	da	lamR	DV	DR	lamD	Kno
-	-	-	-	-	m	°C	W/(m²K)	m	-	-	mm	mm	W/(mK)	mm	mm	W/(mK)	-
1	10	2															2
2		11															5
4	6	5															7
5				5													
6				4													

7				3													
8				2													
9				12													
10	9		8														4
11				7													

12	13	15															8
13		14	22														9
14				6													
15				10													
16				11													

17				9													
18				8													
19	18	17															3
20		1	19	99													1
21	7	4	12														6

22		16															10

i Nummer der Teilstrecke; x linker Abzweig von i; y Durchgang von i; z rechter Abzweig von i
 Ab Abnehmernummer am Ende von i; Ab(i) = 99 bedeutet Netzeinspeisung am Anfang von i
 l Länge von i, tu Umgebungstemperatur von i
 alphaa Wärmeübergangskoeffizient Rohr- oder Dämmflächen entlang i; H Höhe am Ende von i
 ZetaVq/ZetaRq Einzelwiderstandsbeiwert von i im Vor-/Rücklauf ohne Verzweigungsverluste
 di/da Rohrdurchmesser von i; lamR Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand von i
 DV/DR Dämmdicke des Vor-/Rücklaufes von i; lamD Wärmeleitfähigkeit der Dämmung von i
 Kno ermittelte Knotennummer am Ende der Teilstrecke i

Teilstrecken ikno die zum Knoten Kno bzw. iab die zum Abnehmer Abn führen:

Kno	ikno(Kno)	Abn	iab (Abn)
-	-	-	-
1	20		
2	1	2	8
3	19	3	7
4	10	4	6
5	2	5	5
6	21	6	14
7	4	7	11
8	12	8	18
9	13	9	17
10	22	10	15
		11	16
		12	9

Kontrolle:

Die sorgfältige Überprüfung der von NETZ getroffenen Zuordnungen ikno(Kno) und iab(Abn) bestätigt die Richtigkeit mit der Struktureingabe und dem Algorithmus.

3.2 Verteilung der Masseströme im Netz (MASS)

Der Algorithmus entspricht im Wesentlichen [1, Seite 32, Flussbild 1.2.-2].

Realisiertes Unterprogramm MASS zur Ermittlung der Massestromverteilung:

```

Sub MASS()
  For Me.i = 1 To 200
    mq(i) = -1000
  Next i
  For Me.Abn = 1 To Abmax
    i = iab(Abn)
    If i > 0 Then
      If m(Abn) < 0 Then ooo = "Abnehmer Abn = " + Abn.ToString + " hat
                              einen negativen Massestrom!" : GoTo Label_Mass
      mq(i) = m(Abn) 'Zuweisung der Abnehmermasseströme
                     an die TS zum Abnehmer iab(Abn)
    End If
  Next Abn
  For Me.Kno = Knomax To 1 Step -1
    i = ikno(Kno)
    If x(i) < 0 Then mx = 0 Else mx = mq(x(i))
    If y(i) < 0 Then my = 0 Else my = mq(y(i))
    If z(i) < 0 Then mz = 0 Else mz = mq(z(i))
    mq(i) = mx + my + mz
  Next Kno
  mEin = mq(ikno(1))
Label_MASS:
  Call Speichern_Objektdaten()
End Sub

```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm MASS: m(Abn). {NETZ ist Voraussetzung!}

Nach Eingabe aller Abnehmermasseströme m(Abn) kann durch Setzen eines Häkchens bei MASS und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung Masseströme in den Teilstrecken der Struktur erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert:

Kennwerte der Abnehmer:

Abn	m	tRA	kvA	DpA
-	kg/s	°C	m³/h	kPa
2	0,710			
3	0,790			
4	0,400			
5	1,000			
6	1,600			
7	0,870			
8	0,110			
9	4,000			
10	0,480			
11	0,320			
12	0,200			

Abn Abnehmernummer zu der die Teilstrecke i = iab(Abn) führt. Es besteht Identität: Abn = Ab(i)
 m Massestrom des Abnehmers; tRA Rücklauftemperatur am Abnehmeraustritt
 kvA Durchflusskoeffizient des Abnehmers; DpA Differenzdruck des Abnehmers

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	mq	DtV	...
-	kg/s	K	
1	6,370		
2	5,460		
4	1,400		
5	1,000		
6	0,400		

7	0,790		
8	0,710		
9	0,200		
10	0,910		
11	0,870		

12	2,400		
13	1,920		
14	1,600		
15	0,480		
16	0,320		

17	4,000		
18	0,110		
19	4,110		
20	10,480		
21	4,590		

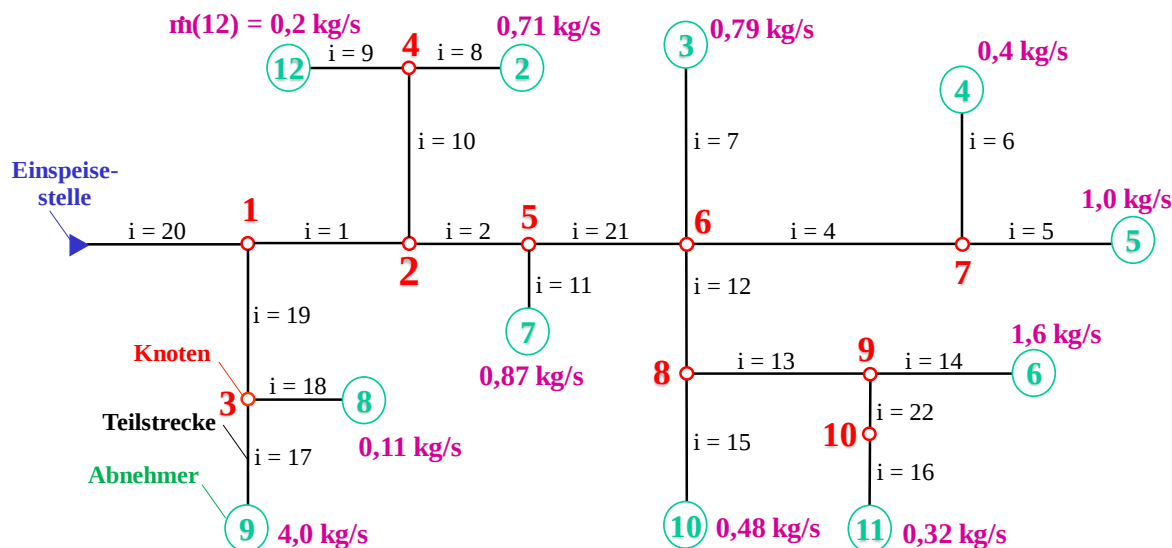
22	0,320		

i Teilstreckennummer; mq Massestrom in der Teilstrecke
DtV/DtR Temperaturabfall im Vorlauf/Rücklauf von i
tVm/tRm mittlere Wassertemperatur im Vorlauf/Rücklauf von i
QV/QR Wärmeverlust des Vorlaufs/Rücklaufs von i an die Umgebung
ZetaV/ZetaR Gesamtwiderstandsbeiwert (einschließlich Verzweigungen) im Vorlauf/Rücklauf von i
DpV/DpR Druckverlust im Vorlauf/Rücklauf von i
wV/wR mittlere Geschwindigkeit im Vorlauf/Rücklauf von i
di Rohrrinnendurchmesser von i

Ergebnisse an der Einspeisestelle:

tVEin	tREin	mEin	VEin	DpEin	pSAuf	pEAuf	pMAuf	pVEin	pREin
°C	°C	kg/s	m³/h	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
		10,48							

tVEin/tREin Vor-/Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle
mEin/VEin Masse-/Volumenstrom an der Einspeisestelle
DpEin Mindestdifferenzdruck an der Einspeisestelle
pSAuf Auflastdruck der Saugdruckhaltung an der Einspeisestelle
pEAuf Auflastdruck der Enddruckhaltung an der Einspeisestelle
pMAuf Auflastdruck der Mitteldruckhaltung an der Einspeisestelle
pVEin/pREin Vor-/Rücklaufdruck an der Einspeisestelle

**Bild 3.1** Rohrnetz nach Bild 2.1 mit eingetragenen Masseströmen der Abnehmer**Kontrolle:**

Die vom Unterprogramm MASS den Teilstrecken i zugeordneten Masseströme sind richtig, wie Überprüfungen sofort zeigen! Z. B.: $mq(12) = (1,6 + 0,48 + 0,32) \text{ kg/s} = 2,4 \text{ kg/s}$.

3.3 Temperaturverteilung im Netz (TEMP)

Der Grundalgorithmus basiert auf [1, Seite 55, Flussbild 2.2.-1]; Ergänzungen nach [4, Gl. (5.20)].

Realisiertes Unterprogramm TEMP zur Ermittlung der stationären Temperaturverteilung im Netz:

```

Sub TEMP()
    'Berechnung aller Wärmedurchgangskoeffizienten -
    'Wärmeübergangswiderstand im Rohr wird vernachlässigt
    'Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ki (bezogen auf di)
    For Me.i = 1 To imax
        kV(i) = 0
        kR(i) = 0
        If ireal(i) = i Then
            If di(i) > 0 And lamR(i) > 0 And da(i) > 0 Then
                n0 = di(i) / 2 / lamR(i) * Math.Log(da(i) / di(i))
                If DV(i) > 0 Then DD = 2 * DV(i) + da(i) Else DD = da(i)
                n = n0 + di(i) / 2 / lamD(i)
                ' * Math.Log(DD / da(i)) + di(i) / DD / alphaa(i)

                kV(i) = 1 / n
                If DR(i) > 0 Then DD = 2 * DR(i) + da(i) Else DD = da(i)
                n = n0 + di(i) / 2 / lamD(i)
                ' * Math.Log(DD / da(i)) + di(i) / DD / alphaa(i)

                kR(i) = 1 / n
            End If
        End If
    Next i
    'Temperaturen im Vorlaufnetz
    If tVEin = -1000 Then ooo = "Netzvorlauftemperatur tVEin fehlt!
    'Keine TEMP Berechnung!" : GoTo label_TEMP

    For Me.Kno = 1 To Knomax
        i = ikno(Kno)
        If Kno = 1 Then teV(i) = tVEin
        expo = kV(i) * pi * di(i) / 4200
        If (expo > 0 And mq(i) > 0 And tu(i) > -1000) Then tk = (teV(i) - tu(i))
        ' * Math.Exp(-expo * l(i) / mq(i)) + tu(i) Else tk = teV(i)

        If x(i) > -1000 Then teV(x(i)) = tk
        If y(i) > -1000 Then teV(y(i)) = tk
        If z(i) > -1000 Then teV(z(i)) = tk
        taV(i) = tk
        tVK(Kno) = tk 'Knotenvorlauftemperatur
    Next Kno
    For Me.Abn = 1 To Abmax
        If iab(Abn) > 0 Then
            i = iab(Abn)
            expo = kV(i) * pi * di(i) / 4200
            If (expo > 0 And mq(i) > 0 And tu(i) > -1000) Then taV(i) = (teV(i)
            - tu(i)) * Math.Exp(-expo * l(i) / mq(i)) + tu(i) Else taV(i) = teV(i)
            tVA(Abn) = taV(i)
        End If
    Next Abn
    'Temperaturen im Rücklaufnetz
    For Me.Abn = 1 To Abmax
        If iab(Abn) > 0 Then
            i = iab(Abn)
            If tRA(Abn) = -1000 Then
                ooo = "Abnehmertemperatur von Abn = " + Abn.ToString + " fehlt!
                'Keine komplette TEMP Berechnung!" : GoTo label_TEMP
            Else
                teR(i) = tRA(Abn)
                expo = kR(i) * pi * di(i) / 4200
                If (expo > 0 And mq(i) > 0 And tu(i) > -1000) Then taR(i) = (teR(i)
                - tu(i)) * Math.Exp(-expo * l(i) / mq(i)) + tu(i) Else taR(i) = teR(i)
            End If
        End If
    Next Abn
End Sub

```

```

Next Abn
For Me.Kno = Knomax To 1 Step -1
  i = ikno(Kno)
  tk = 0      'tk ist eine Hilfsgröße zur Summenbildung
  If x(i) > -1000 Then tk = taR(x(i)) * mq(x(i))
  If y(i) > -1000 Then tk = tk + taR(y(i)) * mq(y(i))
  If z(i) > -1000 Then tk = tk + taR(z(i)) * mq(z(i))
  tk = tk / mq(i)
  tRK(Kno) = tk      'Knotenrücklauftemperatur nach dem Zusammenfluss
  teR(i) = tk
  expo = kR(i) * pi * di(i) / 4200
  If (expo > 0 And mq(i) > 0 And tu(i) > -1000) Then taR(i) = (teR(i) - tu(i))
    * Math.Exp(-expo * l(i) / mq(i)) + tu(i) Else taR(i) = teR(i)

Next Kno
'Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle
tREin = taR(ikno(1))
'Berechnung der Wärmeverluste
SumQV = 0      'Wärmeverlust Vorlaufnetz
SumQR = 0      'Wärmeverlust Rücklaufnetz
For Me.i = 1 To imax
  If ireal(i) = i Then
    QV(i) = mq(i) * 4200 * (teV(i) - taV(i)) : SumQV = SumQV + QV(i)
    QR(i) = mq(i) * 4200 * (teR(i) - taR(i)) : SumQR = SumQR + QR(i)
    tVm(i) = (teV(i) + taV(i)) / 2 : tRm(i) = (teR(i) + taR(i)) / 2
    DtV(i) = teV(i) - taV(i) : DtR(i) = teR(i) - taR(i)
  End If
Next i
'Volumenstrom an der Einspeisestelle
If ORT = 1 Then tt = tVEin : rho = 1006 - 0.26 * tt - 0.0022 * tt * tt :
  VEin = mEin * 3600 / rho
If ORT = 2 Then tt = tREin : rho = 1006 - 0.26 * tt - 0.0022 * tt * tt :
  VEin = mEin * 3600 / rho
If ORT > 2 Or ORT < 1 Then VEin = -1000
Label_TEMP:
Call Speichern_Objektdaten()
End Sub

```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm TEMP: tVEin; tRA(Abn); l(i); tu(i); alphaa(i); di(i); da(i), lamR(i); DV(i); DR(i); lamD(i); ORT. {NETZ und MASS sind Voraussetzung!}

Will man die Temperaturabfälle in den Teilstrecken nicht berechnen, sondern jeder Teilstrecke nur den Eintrittswert zuweisen, so genügt die Eingabe: tVEin; tRA(Abn); ORT.

Variante I:

Nach Eingabe dieses reduzierten Datensatzes kann durch Setzen eines Häkchens bei TEMP und das Drücken von RECHNEN die Ermittlung der Teilstreckentemperaturen erfolgen. Das Aktivieren von DRUCK liefert die nachfolgenden Auszüge:

Kennwerte der Abnehmer:

Abn	m	tRA	kvA	DpA
-	kg/s	°C	m³/h	kPa
2	0,710	40,0		
3	0,790	50,0		
4	0,400	50,0		
5	1,000	60,0		
6	1,600	55,0		

7	0,870	60,0		
8	0,110	50,0		
9	4,000	60,0		
10	0,480	65,0		
11	0,320	40,0		

12	0,200	60,0		

Abn Abnehmernummer zu der die Teilstrecke i = iab(Abn) führt. Es besteht Identität: Abn = Ab(i)
 m Massestrom des Abnehmers; tRA Rücklauftemperatur am Abnehmeraustritt
 kvA Durchflusskoeffizient des Abnehmers; DpA Differenzdruck des Abnehmers

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	mq	DtV	DtR	tVm	tRm	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
1	6,370	0,0	0,0	120,0	54,0	0	0							
2	5,460	0,0	0,0	120,0	55,6	0	0							
4	1,400	0,0	0,0	120,0	57,1	0	0							
5	1,000	0,0	0,0	120,0	60,0	0	0							
6	0,400	0,0	0,0	120,0	50,0	0	0							

7	0,790	0,0	0,0	120,0	50,0	0	0							
8	0,710	0,0	0,0	120,0	40,0	0	0							
9	0,200	0,0	0,0	120,0	60,0	0	0							
10	0,910	0,0	0,0	120,0	44,4	0	0							
11	0,870	0,0	0,0	120,0	60,0	0	0							

12	2,400	0,0	0,0	120,0	55,0	0	0							
13	1,920	0,0	0,0	120,0	52,5	0	0							
14	1,600	0,0	0,0	120,0	55,0	0	0							
15	0,480	0,0	0,0	120,0	65,0	0	0							
16	0,320	0,0	0,0	120,0	40,0	0	0							

17	4,000	0,0	0,0	120,0	60,0	0	0							
18	0,110	0,0	0,0	120,0	50,0	0	0							
19	4,110	0,0	0,0	120,0	59,7	0	0							
20	10,480	0,0	0,0	120,0	56,3	0	0							
21	4,590	0,0	0,0	120,0	54,8	0	0							

22	0,320	0,0	0,0	120,0	40,0	0	0							

Wärmeverluste: Vorlaufnetz 0 kW Rücklaufnetz 0 kW. Dies sind 0,0 % des Gesamtwärmestromes.

i Teilstreckennummer; mq Massestrom in der Teilstrecke; DtV/DtR Temperaturabfall im Vorlauf/Rücklauf von i
tVm/tRm mittlere Wassertemperatur im Vorlauf/Rücklauf von i
QV/QR Wärmeverlust des Vorlaufs/Rücklaufs von i an die Umgebung
ZetaV/ZetaR Gesamtwiderstandsbeiwert (einschließlich Verzweigungen) im Vorlauf/Rücklauf von i
DpV/DpR Druckverlust im Vorlauf/Rücklauf von i
wV/wR mittlere Geschwindigkeit im Vorlauf/Rücklauf von i; di Rohrrinnendurchmesser von i

Ergebnisse der Knoten:

Kno	tVK	tRK	DpK
-	°C	°C	kPa
1	120,0	56,3	
2	120,0	54,0	
3	120,0	59,7	
4	120,0	44,4	
5	120,0	55,6	

6	120,0	54,8	
7	120,0	57,1	
8	120,0	55,0	
9	120,0	52,5	
10	120,0	40,0	

Kno Knotennummer; tVK/tRK Vorlauf-/Rücklaufftemperatur am Knoten
DpK Differenzdruck am Knoten

Ergebnisse der Abnehmer:

Abn	tVA	tRA	DpAq
-	°C	°C	kPa
2	120,0	40,0	
3	120,0	50,0	
4	120,0	50,0	
5	120,0	60,0	
6	120,0	55,0	

7	120,0	60,0	
8	120,0	50,0	
9	120,0	60,0	
10	120,0	65,0	
11	120,0	40,0	

12	120,0	60,0	

Abn Abnehmernummer; tVA/tRA Vorlauf-/Rücklaufftemperatur am Abnehmer
DpA geforderter Differenzdruck am Abnehmer

Ergebnisse an der Einspeisestelle:

tVEin	tREin	mEin	VEin
°C	°C	kg/s	m³/h
120,0	56,3	10,48	

tVEin/tREin Vor-/Rücklaufftemperatur an der Einspeisestelle
mEin/VEin Masse-/Volumenstrom an der Einspeisestelle

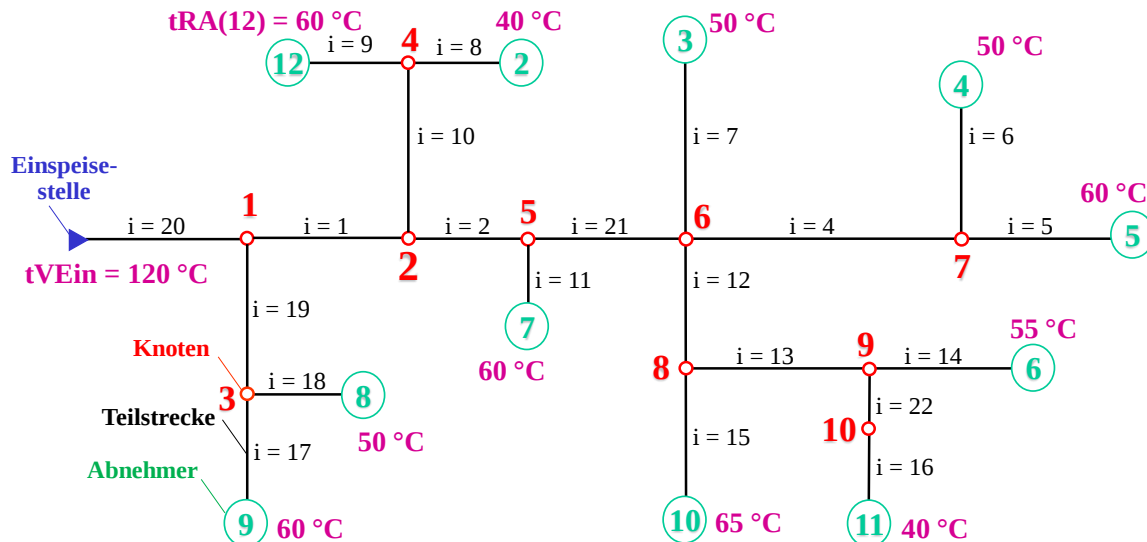
Kontrolle:

Bild 3.2 Rohrnetz nach Bild 2.1 mit eingetragenen Rücklauftemperaturen der Abnehmer sowie der Vorlaufteinspeisetemperatur

Die vom Unterprogramm TEMP den Teilstrecken i zugeordneten Temperaturen sind richtig, wie stichprobenhafte Überprüfungen zeigen!

Die Vorlauftemperaturen aller Teilstrecken und Knoten betragen 120 °C.

Die Rücklauftemperaturen ergeben sich unter Beachten der Masseströme z. B.:

$tRm(16) = 40\text{ °C}$; $tRm(22) = 40\text{ °C}$; $tRK(10) = 40\text{ °C}$;

$tRK(9) = (40\text{ °C} \cdot 0,32\text{ kg/s} + 55\text{ °C} \cdot 1,6\text{ kg/s}) / 1,92\text{ kg/s} = 52,5\text{ °C}$; $tRm(13) = 52,5\text{ °C}$.

Variante II:

Zur genauen Berechnung des Temperaturabfalls in den Teilstrecken sind die o. g. detaillierten Dateneingaben erforderlich. Sie werden nachfolgend bei den speziellen Teilstreckendaten benannt und die Berechnung wiederholt.

Teilstrecken-, Abnehmer- und Netzkonfigurationsdaten:

Das Netz besitzt 21 Teilstrecken, 11 Abnehmer und 10 Knoten.

Kennwerte der Teilstrecken:

i	x	y	z	Ab	l	tu	alphaa	H	ZetaVq	ZetaRq	di	da	lamR	DV	DR	lamD	Kno
-	-	-	-	-	m	°C	W/(m²K)	m	-	-	mm	mm	W/(mK)	mm	mm	W/(mK)	-
1	10	2			115,0	-15,0	25,0		3,00	3,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	2
2		21	11		85,0	15,0	7,0		5,50	5,50	82,5	88,9	50,00	80	80	0,040	5
4	6	5			200,0	-15,0	25,0		3,80	4,10	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	7
5				5	110,0	-15,0	25,0		13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
6				4	100,0	-15,0	25,0		12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
7				3	100,0	-15,0	25,0		13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
8				2	65,0	15,0	7,0		9,00	9,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
9				12	75,0	15,0	7,0		8,00	8,00	35,9	42,4	50,00	40	40	0,040	
10	9		8		125,0	15,0	7,0		6,00	6,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	4
11				7	45,0	15,0	7,0		8,00	8,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
12	13	15			90,0	18,0	7,0		4,00	4,00	70,3	76,1	50,00	100	100	0,040	8
13		14	22		135,0	15,0	7,0		4,50	4,50	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	9
14				6	105,0	18,0	7,0		12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	
15				10	90,0	15,0	7,0		11,00	11,00	43,1	48,3	50,00	80	60	0,040	
16				11	55,0	20,0	7,0		9,00	9,00	35,9	42,4	50,00	50	50	0,040	
17				9	75,0	20,0	7,0		10,00	10,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	
18				8	70,0	20,0	7,0		7,50	7,50	27,2	33,7	50,00	40	0	0,040	
19	18	17			110,0	-15,0	25,0		6,00	6,00	82,5	88,9	50,00	120	120	0,040	3
20		1	19	99	220,0	-15,0	25,0		5,00	5,00	107,1	114,3	50,00	150	150	0,040	1
21	7	4	12		110,0	10,0	7,0		4,00	4,00	82,5	88,9	50,00	100	80	0,040	6
22		16			40,0	18,0	7,0		4,00	4,00	54,5	60,3	50,00	60	60	0,040	10

i Nummer der Teilstrecke; x linker Abzweig von i; y Durchgang von i; z rechter Abzweig von i
Ab Abnehmernummer am Ende von i; Ab(i) = 99 bedeutet Netzeinspeisung am Anfang von i

l Länge von i, tu Umgebungstemperatur von i
 alphaa Wärmeübergangskoeffizient Rohr- oder Dämmbaufläche entlang i; H Höhe am Ende von i
 ZetaVq/ZetaRq Einzelwiderstandsbeiwert von i im Vor-/Rücklauf ohne Verzweigungsverluste
 di/da Rohrdurchmesser von i; lamR Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand von i
 DV/DR Dämmdicke des Vor-/Rücklaufes von i; lamD Wärmeleitfähigkeit der Dämmung von i
 Kno ermittelte Knotennummer am Ende der Teilstrecke i

Teilstrecken ikno die zum Knoten Kno bzw. iab die zum Abnehmer Abn führen:

Kno	ikno(Kno)	Abn	iab(Abn)
-	-	-	-
1	20		
2	1	2	8
3	19	3	7
4	10	4	6
5	2	5	5

6	21	6	14
7	4	7	11
8	12	8	18
9	13	9	17
10	22	10	15

		11	16
		12	9

Kennwerte der Abnehmer:

Abn	m	tRA	kvA	DpA
-	kg/s	°C	m³/h	kPa
2	0,710	40,0		
3	0,790	50,0		
4	0,400	50,0		
5	1,000	60,0		
6	1,600	55,0		

7	0,870	60,0		
8	0,110	50,0		
9	4,000	60,0		
10	0,480	65,0		
11	0,320	40,0		

12	0,200	60,0		

Abn Abnehmernummer zu der die Teilstrecke i = iab(Abn) führt. Es besteht Identität: Abn = Ab(i)
 m Massestrom des Abnehmers; tRA Rücklaufftemperatur am Abnehmeraustritt
 kvA Durchflusskoeffizient des Abnehmers; DpA Differenzdruck des Abnehmers

Kennwerte des Netzes:

eps	tVEin	H0	pSAuf	pEAuf	pMAuf	ORT	DpP
mm	°C	m	kPa	kPa	kPa	-	kPa
	120,0					1	

eps Rohrraumigkeit

tVEin Netzvorlauftemperatur; H0 Höhe an Einspeisestelle
 pSAuf/pEAuf/pMAuf Auflastdrücke der Druckhaltung
 ORT/DpP Einbauort Pumpe/vorgegebener Netzdifferenzdruck

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	mq	DtV	DtR	tVm	tRm	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
1	6,370	0,1	0,1	119,8	53,4	3275	1663							82,5
2	5,460	0,1	0,0	119,7	55,1	2080	796							82,5
4	1,400	0,9	0,5	119,1	56,4	5144	2740							54,5
5	1,000	0,7	0,4	118,3	59,8	2813	1579							54,5
6	0,400	1,5	0,7	117,9	49,6	2549	1240							54,5

7	0,790	0,8	0,4	119,1	49,8	2573	1243							54,5
8	0,710	0,5	0,1	118,8	39,9	1414	340							43,1
9	0,200	2,0	0,9	118,0	59,6	1683	728							35,9
10	0,910	0,7	0,2	119,4	44,0	2735	760							43,1
11	0,870	0,3	0,1	119,5	59,9	986	424							43,1

12	2,400	0,2	0,1	119,4	54,7	1725	623							70,3
13	1,920	0,3	0,1	119,2	52,3	2623	1092							54,5
14	1,600	0,3	0,1	118,9	54,9	1976	841							54,5
15	0,480	0,8	0,4	119,0	64,8	1551	856							43,1
16	0,320	0,8	0,2	118,0	39,9	1048	213							35,9

17	4,000	0,1	0,0	119,7	60,0	1542	619							82,5
18	0,110	2,8	3,2	118,3	48,4	1313	1471							27,2
19	4,110	0,2	0,1	119,8	59,6	2827	1564							82,5
20	10,480	0,1	0,1	119,9	55,8	5759	3020							107,1

i	mq	DtV	DtR	tVm	tRm	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
21	4,590	0,1	0,1	119,6	54,2	2487	1136							82,5
22	0,320	0,7	0,1	118,7	39,8	874	189							54,5

Wärmeverluste: Vorlaufnetz 49 kW Rücklaufnetz 23 kW. Dies sind 2,5 % des Gesamtwärmestromes.

i Teilstreckennummer; mq Massestrom in der Teilstrecke; DtV/DtR Temperaturabfall im Vorlauf/Rücklauf von i
tVm/tRm mittlere Wassertemperatur im Vorlauf/Rücklauf von i
QV/QR Wärmeverlust des Vorlaufs/Rücklaufs von i an die Umgebung
ZetaV/ZetaR Gesamtwiderstandsbeiwert (einschließlich Verzweigungen) im Vorlauf/Rücklauf von i
DpV/DpR Druckverlust im Vorlauf/Rücklauf von i
wV/wR mittlere Geschwindigkeit im Vorlauf/Rücklauf von i; di Rohrrinnendurchmesser von i

Ergebnisse der Knoten:

Kno	tVK	tRK	DpK	pKV	pKR	pK0
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa
1	119,9	55,8				
2	119,7	53,5				
3	119,7	59,6				
4	119,0	44,1				
5	119,7	55,1				
6	119,5	54,2				
7	118,7	56,7				
8	119,4	54,7				
9	119,0	52,3				
10	118,4	39,8				

Kno Knotennummer; tVK/tRK Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Knoten
DpK Differenzdruck am Knoten
pKV/pKR/pK0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Knoten

Ergebnisse der Abnehmer:

Abn	tVA	tRA	DpAq	DpAr	DpAUE	pAV	pAR	pA0	QAbn
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kW
2	118,6	40,0							234,3
3	118,8	50,0							228,1
4	117,1	50,0							112,8
5	118,0	60,0							243,5
6	118,7	55,0							428,3
7	119,4	60,0							217,0
8	116,9	50,0							30,9
9	119,6	60,0							1001,5
10	118,6	65,0							108,0
11	117,6	40,0							104,3
12	117,0	60,0							47,9

Abn Abnehmernummer; tVA/tRA Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Abnehmer
DpAq geforderter Differenzdruck am Abnehmer
DpAr real vorhandener Differenzdruck am Abnehmer; DpAUE abzudrosselnder Differenzdruck am Abnehmer
pAV/pAR/pA0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Abnehmer; QAbn Wärmestromaufnahme des Abnehmers

Ergebnisse an der Einspeisestelle:

tVEin	tREin	mEin	VEin	DpEin	pSAuf	pEAuf	pMAuf	pVEin	pREin
°C	°C	kg/s	m³/h	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
120,0	55,7	10,48	40,0						

tVEin/tREin Vor-/Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle
mEin/VEin Masse-/Volumenstrom an der Einspeisestelle
DpEin Minstdifferenzdruck an der Einspeisestelle
pSAuf Auflastdruck der Saugdruckhaltung an der Einspeisestelle
pEAuf Auflastdruck der Enddruckhaltung an der Einspeisestelle
pMAuf Auflastdruck der Mitteldruckhaltung an der Einspeisestelle
pVEin/pREin Vor-/Rücklaufdruck an der Einspeisestelle

Wärmeströme:

Einspeisung: 2828,7 kW Netzverluste: 72,1 kW Abnehmer: 2756,6 kW

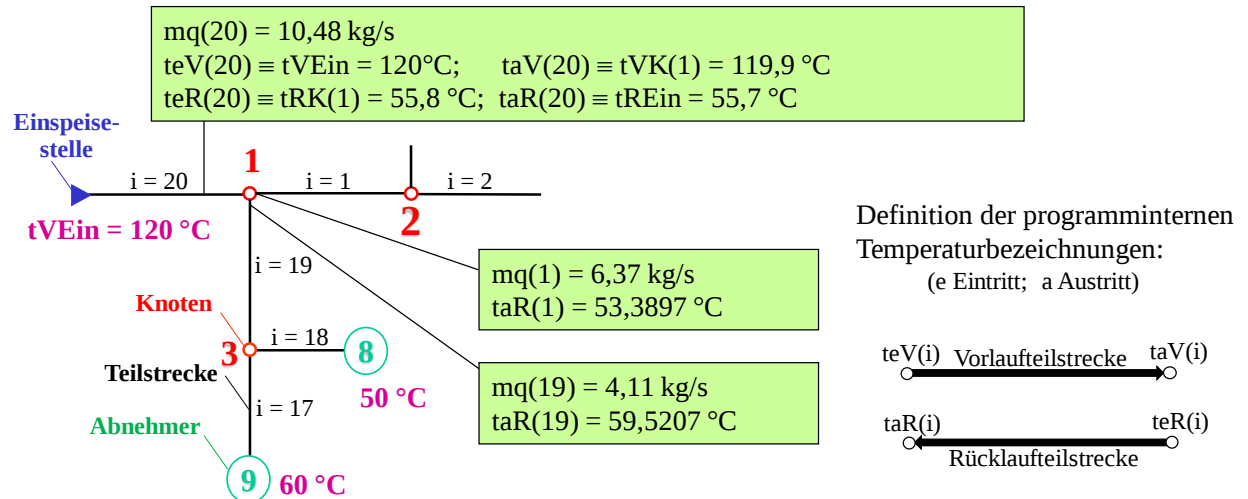
Kontrolle:

Bild 3.3 Teil des Rohrnetzes nach Bild 2.1 mit eingetragenen Parametern zur Nachrechnung der Temperaturänderungen im Vor- und Rücklauf der Teilstrecke $i = 20$

Die **Vorlauf Temperaturänderung der Teilstrecke $i = 20$** wird beispielhaft nachgerechnet.

Der Wärmedurchgangskoeffizient bezogen auf den inneren Rohrdurchmesser beträgt nach [4, Gl. (5.20)]:

$$k_i = \left\{ \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_i}{2 \lambda m R} \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{d_i}{2 \lambda m D} \ln \frac{d_a + 2 DV}{d_a} + \frac{d_i}{(d_a + 2 DV) \alpha_a} \right\}^{-1}.$$

Der innere Wärmeübergangswiderstand wird vernachlässigt ($1/\alpha_i = 0$):

$$kV(20) = \left\{ 0 + \frac{0,1071}{2 \cdot 50} \ln \frac{0,1143}{0,1071} + \frac{0,1071}{2 \cdot 0,04} \ln \frac{0,1143 + 2 \cdot 0,150}{0,1143} + \frac{0,1071}{(0,1143 + 2 \cdot 0,150) 25} \right\}^{-1} \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$kV(20) = 0,5766 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Interne Programmanzeige: 0,576567.

Bei konstantem Wärmedurchgangskoeffizienten gilt nach [4, Gl. (7.39)] für die Austrittstemperatur der Vorlaufteilstrecke $i = 20$:

$$t_{aV,i} = (t_{eV,i} - t_{u,i}) e^{-\frac{k_i \pi d_i l_i}{\dot{m}_i c}} + t_{u,i}$$

$$t_{aV}(20) = (120^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C})) e^{-\frac{0,5766 \pi 0,1071 \cdot 220}{10,48 \cdot 4200}} + (-15^\circ\text{C}) = 119,87^\circ\text{C} \equiv t_{VK}(1)$$

Rechnerausdruck: 119,9 °C.

Die **Rücklauf Temperaturänderung der Teilstrecke $i = 20$** berechnet sich aus der Knotentemperatur am Knoten 1. Diese ergibt sich aus der Wärmestrombilanz mit den Austrittstemperaturen (programminterne Anzeigen) aus den Teilstrecken $t_{aR}(1) = 53,3897^\circ\text{C}$, $t_{aR}(19) = 59,5207^\circ\text{C}$ zu:

$$t_{RK}(1) = (53,3897^\circ\text{C} \cdot 6,37 \text{ kg/s} + 59,5207^\circ\text{C} \cdot 4,11 \text{ kg/s}) / 10,48 \text{ kg/s} = 55,79^\circ\text{C}.$$

Da für die Rücklaufteilstrecke die gleichen Parameter wie für die Vorlaufteilstrecke gelten, folgt:

$$t_{aR}(20) = (55,79^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C})) e^{-\frac{0,5766 \pi 0,1071 \cdot 220}{10,48 \cdot 4200}} + (-15^\circ\text{C}) = 55,72^\circ\text{C} \equiv t_{REin}$$

Rechnerausdruck: 55,7 °C.

Hinweis: Die Vergleiche mit $t_{VK}(1)$ und t_{REin} sind notwendig, da die Teilstreckenein- und -austrittstemperaturen nicht gespeichert und ausgedruckt werden.

3.4 Bestimmung der Einzelwiderstandsbeiwerte an Netzverzweigungen (ZETA)

Grundsätzlich sind die Einzelwiderstandsbeiwerte der Teilstrecken ohne Verzweigungen getrennt für den Vor- und Rücklauf als ZetaVq und ZetaRq einzugeben. Da die Berechnung der Einzelwiderstandsbeiwerte für Verzweigungen sehr komplex ist, wird diese Ermittlung vom Rechenprogramm übernommen. Der Algorithmus entspricht im Wesentlichen [1, Seite 179, Flussbild 5.1.-2]. Die Addition der eingegebenen Werte plus die Anteile der Verzweigungen ergibt dann die Größen ZetaV und ZetaR für den später folgenden Berechnungsgang "Druckverluste der Teilstrecken". – Die Berechnungsgleichungen sind so aufbereitet worden, dass stets Verhältnisswerte der Geschwindigkeiten (z. B. $w_{\text{gesamt}}/w_{\text{Abzweig}}$) oder der Volumenströme in Ansatz kommen. Da weiterhin wegen des relativ geringen Einflusses die Temperaturen der Teilströme und damit die Dichteunterschiede unberücksichtigt bleiben, finden vereinfacht statt der Volumenstromverhältnisse die Massestromverhältnisse Verwendung (z. B. $\dot{m}_{\text{Durchgang}}/\dot{m}_{\text{gesamt}}$). Somit genügt es auch die Geschwindigkeiten als modifizierte Größen $w = \dot{m}/d_1^2$ vorab für alle Teilstrecken zu ermitteln und in den Berechnungsgleichungen zu verwenden.

Realisiertes Unterprogramm ZETA zur Ermittlung der Gesamteinzelwiderstandsbeiwerte

```

Sub ZETA()
    'Einzelwiderstandsbeiwerte in den Teilstrecken -Ergänzung der Werte für Abzweige
    'Berechnung von Basiswerten für die Druckverlustberechnung der Teilstrecken
    For Me.i = 1 To imax
        If ireal(i) > 0 Then
            'modifizierte Geschwindigkeit, die nur zur Berechnung der Zeta-Werte von
            'Dichteunterschiede finden keine Beachtung
            w(i) = mq(i) / di(i) ^ 2
        End If
    Next i
    'Berechnung der Zetawerte von Abzweigen
    For Me.Kno = 1 To Knomax
        i = ikno(Kno)
        xq = x(i) : yq = y(i) : zq = z(i)
        If xq > 0 And yq > 0 And zq > 0 Then
            'Kreuzstück
            'Durchgang yq Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-26)
            ZZ = 0.4 * (1 - mq(yq) / mq(i)) ^ 2 * (w(i) / w(yq)) ^ 2
            ZetaV(yq) = ZetaVq(yq) + ZZ
            'Durchgang yq Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-25)
            ZZ = (w(i) / w(yq)) ^ 2 * (1 - (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
            ZZ = ZZ + ((w(i) / w(yq)) * (mq(yq) / mq(i)) - 1) ^ 2
            ZetaR(yq) = ZetaRq(yq) + ZZ
            'Abzweig(xq) Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-23)
            ZZ = 0.9 + (w(i) / w(xq)) ^ 2
            ZetaV(xq) = ZetaVq(xq) + ZZ
            'Abzweig(xq) Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-24)
            ZZ = 1 + (w(i) / w(xq)) ^ 2 * (1 - 8 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
            ZZ = ZZ / (3 + mq(yq) / mq(i))
            ZetaR(xq) = ZetaRq(xq) + ZZ
            'Abzweig(zq) Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-23)
            ZZ = 0.9 + (w(i) / w(zq)) ^ 2
            ZetaV(zq) = ZetaVq(zq) + ZZ
            'Abzweig(zq) Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-24)
            ZZ = 1 + (w(i) / w(zq)) ^ 2 * (1 - 8 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
            ZZ = ZZ / (3 + mq(yq) / mq(i))
            ZetaR(zq) = ZetaRq(zq) + ZZ
        ElseIf xq > 0 And yq > 0 And zq < 0 Then
            'Durchgang yq Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-26)
            ZZ = 0.4 * (1 - mq(yq) / mq(i)) ^ 2 * (w(i) / w(yq)) ^ 2
            ZetaV(yq) = ZetaVq(yq) + ZZ
        End If
    Next Kno
End Sub

```

```

'Durchgang yq Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-25)
ZZ = (w(i) / w(yq)) ^ 2 * (1 - (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
      + ((w(i) / w(yq)) * (mq(yq) / mq(i)) - 1) ^ 2
ZetaR(yq) = ZetaRq(yq) + ZZ
'Abzweig(xq) Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-23)
ZZ = 0.9 + (w(i) / w(xq)) ^ 2
ZetaV(xq) = ZetaVq(xq) + ZZ
'Abzweig(xq) Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-22)
If w(i) / w(xq) * (1 - mq(yq) / mq(i)) < 0.13 Then
    ZZ = 1 + (w(i) / w(xq)) ^ 2 * (1 - 2 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
Else
    ZZ = 1 + (w(i) / w(xq)) ^ 2 * (1 - 2 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
    ZZ = 0.6 / (1 - mq(yq) / mq(i))^0.25 / (w(i) / w(xq))^0.25 * ZZ
End If
ZetaR(xq) = ZetaRq(xq) + ZZ
ElseIf xq < 0 And yq > 0 And zq > 0 Then
'Durchgang yq Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-26)
ZZ = 0.4 * (1 - mq(yq) / mq(i)) ^ 2 * (w(i) / w(yq)) ^ 2
ZetaV(yq) = ZetaVq(yq) + ZZ
'Durchgang yq Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-25)
ZZ = (w(i) / w(yq)) ^ 2 * (1 - (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
      + ((w(i) / w(yq)) * (mq(yq) / mq(i)) - 1) ^ 2
ZetaR(yq) = ZetaRq(yq) + ZZ
'Abzweig(zq) Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-23)
ZZ = 0.9 + (w(i) / w(zq)) ^ 2
ZetaV(zq) = ZetaVq(zq) + ZZ
'Abzweig(zq) Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-22)
If w(i) / w(zq) * (1 - mq(yq) / mq(i)) < 0.13 Then
    ZZ = 1 + (w(i) / w(zq)) ^ 2 * (1 - 2 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
Else
    ZZ = 1 + (w(i) / w(zq)) ^ 2 * (1 - 2 * (mq(yq) / mq(i)) ^ 2)
    ZZ = 0.6 / (1 - mq(yq) / mq(i))^0.25 / (w(i) / w(zq))^0.25 * ZZ
End If
ZetaR(zq) = ZetaRq(zq) + ZZ
ElseIf xq > 0 And yq < 0 And zq > 0 Then
'Gegenlauf xq Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-28)
ZZ = 0.3 + (w(i) / w(xq)) ^ 2 'Näherung; exakt:[2, Gl.(4.47)]
ZetaV(xq) = ZetaVq(xq) + ZZ
'Gegenlauf xq Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-27)
ZZ = (w(i) / w(xq)) ^ 2 + (mq(i) / mq(xq))^2 + 3 * (1 - mq(i) / mq(xq))
ZetaR(xq) = ZetaRq(xq) + ZZ
'Gegenlauf zq Vorlauf (Trennung) Gl. (5.1.-28)
ZZ = 0.3 + (w(i) / w(zq)) ^ 2
ZetaV(zq) = ZetaVq(zq) + ZZ
'Gegenlauf zq Rücklauf (Vereinigung) Gl. (5.1.-27)
ZZ = (w(i) / w(zq)) ^ 2 + (mq(i) / mq(zq))^2 + 3 * (1 - mq(i) / mq(zq))
ZetaR(zq) = ZetaRq(zq) + ZZ
ElseIf xq > 0 And yq < 0 And zq < 0 Then
'Alleiniger Abzweig xq Vorlauf (Trennung)
ZZ = 1.2
ZetaV(xq) = ZetaVq(xq) + ZZ
'Alleiniger Abzweig xq Rücklauf (Vereinigung)
ZZ = 1.2
ZetaR(xq) = ZetaRq(xq) + ZZ
ElseIf xq < 0 And yq < 0 And zq > 0 Then
'Alleiniger Abzweig zq Vorlauf
ZZ = 1.2
ZetaV(zq) = ZetaVq(zq) + ZZ
'Alleiniger Abzweig zq Rücklauf
ZZ = 1.2
ZetaR(zq) = ZetaRq(zq) + ZZ
ElseIf xq < 0 And yq > 0 And zq < 0 Then
'Alleiniger Durchgang yq Vorlauf
ZetaV(yq) = ZetaVq(yq)

```

```

'Alleiniger Abzweig yq Rücklauf
ZetaR(yq) = ZetaRq(yq)
End If
Next Kno
i = ikno(1) : ZetaV(i) = ZetaVq(i) : ZetaR(i) = ZetaRq(i)
Call Speichern_Objektdaten()
End Sub

```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm ZETA: ZetaVq(i); ZetaRq(i); di(i). {NETZ und MASS sind Voraussetzung!}

Nach Eingabe dieses Datensatzes, Setzen eines Häkchens bei ZETA und das Drücken von **RECH-NEN** erfolgt die Ermittlung aller ζ -Werte. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert den Auszug:

Kennwerte der Teilstrecken:

i	x	y	z	Ab	l	tu	alphaa	H	ZetaVq	ZetaRq	di	da	lamR	DV	DR	lamD	Kno
-	-	-	-	-	m	°C	W/(m²K)	m	-	-	mm	mm	W/(mK)	mm	mm	W/(mK)	-
1	10	2			115,0	-15,0	25,0		3,00	3,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	2
2		21	11		85,0	15,0	7,0		5,50	5,50	82,5	88,9	50,00	80	80	0,040	5
4	6	5			200,0	-15,0	25,0		3,80	4,10	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	7
5				5	110,0	-15,0	25,0		13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
6				4	100,0	-15,0	25,0		12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
7				3	100,0	-15,0	25,0		13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
8				2	65,0	15,0	7,0		9,00	9,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
9				12	75,0	15,0	7,0		8,00	8,00	35,9	42,4	50,00	40	40	0,040	
10	9		8		125,0	15,0	7,0		6,00	6,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	4
11				7	45,0	15,0	7,0		8,00	8,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
12	13	15			90,0	18,0	7,0		4,00	4,00	70,3	76,1	50,00	100	100	0,040	8
13		14	22		135,0	15,0	7,0		4,50	4,50	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	9
14				6	105,0	18,0	7,0		12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	
15				10	90,0	15,0	7,0		11,00	11,00	43,1	48,3	50,00	80	60	0,040	
16				11	55,0	20,0	7,0		9,00	9,00	35,9	42,4	50,00	50	50	0,040	
17				9	75,0	20,0	7,0		10,00	10,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	
18				8	70,0	20,0	7,0		7,50	7,50	27,2	33,7	50,00	40	0	0,040	
19	18	17			110,0	-15,0	25,0		6,00	6,00	82,5	88,9	50,00	120	120	0,040	3
20		1	19	99	220,0	-15,0	25,0		5,00	5,00	107,1	114,3	50,00	150	150	0,040	1
21	7	4	12		110,0	10,0	7,0		4,00	4,00	82,5	88,9	50,00	100	80	0,040	6
22		16			40,0	18,0	7,0		4,00	4,00	54,5	60,3	50,00	60	60	0,040	10

i Nummer der Teilstrecke; x linker Abzweig von i; y Durchgang von i; z rechter Abzweig von i
 Ab Abnehmernummer am Ende von i; Ab(i) = 99 bedeutet Netzeinspeisung am Anfang von i
 l Länge von i, tu Umgebungstemperatur von i
 alphaa Wärmeübergangskoeffizient Rohr- oder Dämmaußenfläche entlang i; H Höhe am Ende von i
 ZetaVq/ZetaRq Einzelwiderstandsbeiwert von i im Vor-/Rücklauf ohne Verzweigungsverluste
 di/da Rohrdurchmesser von i; lamR Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand von i
 DV/DR Dämmdicke des Vor-/Rücklaufes von i; lamD Wärmeleitfähigkeit der Dämmung von i
 Kno ermittelte Knotennummer am Ende der Teilstrecke i

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	m _q	DtV	DtR	t _{Vm}	t _{Rm}	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
1	6,370	0,1	0,1	119,8	53,4	3275	1663	3,06	3,77					82,5
2	5,460	0,1	0,0	119,7	55,1	2080	796	5,51	5,86					82,5
4	1,400	0,9	0,5	119,1	56,4	5144	2740	4,20	6,27					54,5
5	1,000	0,7	0,4	118,3	59,8	2813	1579	13,06	13,96					54,5
6	0,400	1,5	0,7	117,9	49,6	2549	1240	25,15	12,45					54,5
7	0,790	0,8	0,4	119,1	49,8	2573	1243	20,33	18,98					54,5
8	0,710	0,5	0,1	118,8	39,9	1414	340	10,94	11,44					43,1
9	0,200	2,0	0,9	118,0	59,6	1683	728	18,27	28,02					35,9
10	0,910	0,7	0,2	119,4	44,0	2735	760	10,55	5,41					43,1
11	0,870	0,3	0,1	119,5	59,9	986	424	11,83	7,82					43,1
12	2,400	0,2	0,1	119,4	54,7	1725	623	6,83	6,49					70,3
13	1,920	0,3	0,1	119,2	52,3	2623	1092	5,96	5,54					54,5
14	1,600	0,3	0,1	118,9	54,9	1976	841	12,02	12,44					54,5
15	0,480	0,8	0,4	119,0	64,8	1551	856	11,90	14,78					43,1
16	0,320	0,8	0,2	118,0	39,9	1048	213	9,00	9,00					35,9
17	4,000	0,1	0,0	119,7	60,0	1542	619	10,00	10,06					82,5
18	0,110	2,8	3,2	118,3	48,4	1313	1471	24,90	-6,25					27,2
19	4,110	0,2	0,1	119,8	59,6	2827	1564	9,19	7,09					82,5
20	10,480	0,1	0,1	119,9	55,8	5759	3020	5,00	5,00					107,1
21	4,590	0,1	0,1	119,6	54,2	2487	1136	4,01	4,42					82,5
22	0,320	0,7	0,1	118,7	39,8	874	189	40,90	-3,80					54,5

3.5 Druckverluste der Teilstrecken (TEIDRUK)

Zu Beginn werden die Stoffwerte Dichte und kinematische Viskosität in Abhängigkeit der mittleren Teilstreckentemperaturen nach [3] ermittelt. Es schließen sich die Berechnungen der Geschwindigkeit und der Reynoldszahl an. Zur Berechnung des Rohrreibungsbeiwertes dient der Kernalgorithmus nach [1, Seite 177, Flussbild 5.1.-1]. Für turbulente Rohrströmung erfolgt eine iterative Lösung der PRANDTL-COLEBROOKSchen Gleichung. Schließlich werden die Druckverluste der Teilstrecken getrennt für Vor- und Rücklauf bestimmt.

Realisiertes Unterprogramm TEIDRUK zur Ermittlung der Druckverluste in den Teilstrecken:

```
Sub TEIDRUK()
    'Ermittlung der Teilstreckendifferenzdrücke
    For Me.i = 1 To imax
        If ireal(i) > 0 Then
            tt = tVm(i)
            ZG = 1
        Sprung:
            'Betrachtung der Vorlaufteilstrecke
            rho = 1006 - 0.26 * tt - 0.0022 * tt ^ 2
            ny = 1 / (556272.7 + 19703.39 * tt + 124.4091 * tt^2 - 0.3770952 * tt ^ 3)
            wm = 4 * mq(i) / (pi * di(i) ^ 2) / rho
            Re = wm * di(i) / ny
            If Re < 2300 Then
                lam = 64 / Re
            Else
                CC = eps / (3.71 * di(i))
                lamq = 6.5
                Do
                    lamq0 = lamq
                    lamq = -2 * 0.4343 * Math.Log(CC + 2.51 * lamq0 / Re)
                Loop Until Math.Abs(lamq - lamq0) < 0.00001
                lam = 1 / lamq / lamq
            End If
            If ZG = 1 Then lambdaV = lam : wV(i) = wm : rhoV(i) = rho : ZG = 2 :
                tt = tRm(i) : GoTo Sprung
            If ZG = 2 Then lambdaR = lam : wR(i) = wm : rhoR(i) = rho
            End If
            DpV(i) = 0.5 * rhoV(i) * wV(i) ^ 2 * (lambdaV * l(i) / di(i) + ZetaV(i))
            DpR(i) = 0.5 * rhoR(i) * wR(i) ^ 2 * (lambdaR * l(i) / di(i) + ZetaR(i))
            If DpR(i) < 0 Then DpR(i) = 0
            'Sicherheit: 0 bei einem negativen
            Einzelwiderstandsbeiwert infolge Saugens an Vereinigungen
        Next i
    Call Speichern_Objektdaten()
End Sub
```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm TEIDRUK: eps. {NETZ, MASS, TEMP und ZETA sind Voraussetzung!}

Nach Eingabe der Rohrrauigkeit kann durch Setzen eines Häkchens bei TEIDRUK und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung aller Teilstreckendruckverluste erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert den nachfolgenden Auszug:

Kennwerte des Netzes:

eps mm	tVEin °C	H0 m	pSAuf kPa	pEAuf kPa	pMAuf kPa	ORT -	DpP kPa
0,045	120,0					1	

eps Rohrrauigkeit
tVEin Netzvorlauftemperatur; H0 Höhe an Einspeisestelle
pSAuf/pEAuf/pMAuf Auflastdrücke der Druckhaltung
ORT/DpP Einbauort Pumpe/vorgegebener Netzdifferenzdruck

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	mq	DtV	DtR	tVm	tRm	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
1	6,370	0,1	0,1	119,8	53,4	3275	1663	3,06	3,77	21,27	21,91	1,26	1,21	82,5
2	5,460	0,1	0,0	119,7	55,1	2080	796	5,51	5,86	13,44	13,67	1,08	1,04	82,5
4	1,400	0,9	0,5	119,1	56,4	5144	2740	4,20	6,27	15,42	16,34	0,64	0,61	54,5
5	1,000	0,7	0,4	118,3	59,8	2813	1579	13,06	13,96	5,51	5,75	0,45	0,44	54,5
6	0,400	1,5	0,7	117,9	49,6	2549	1240	25,15	12,45	1,09	0,96	0,18	0,17	54,5
7	0,790	0,8	0,4	119,1	49,8	2573	1243	20,33	18,98	3,70	3,77	0,36	0,34	54,5
8	0,710	0,5	0,1	118,8	39,9	1414	340	10,94	11,44	5,64	6,01	0,52	0,49	43,1
9	0,200	2,0	0,9	118,0	59,6	1683	728	18,27	28,02	1,52	1,80	0,21	0,20	35,9
10	0,910	0,7	0,2	119,4	44,0	2735	760	10,55	5,41	15,35	15,04	0,66	0,63	43,1
11	0,870	0,3	0,1	119,5	59,9	986	424	11,83	7,82	6,58	5,92	0,63	0,61	43,1
12	2,400	0,2	0,1	119,4	54,7	1725	623	6,83	6,49	6,47	6,54	0,66	0,63	70,3
13	1,920	0,3	0,1	119,2	52,3	2623	1092	5,96	5,54	20,25	20,57	0,87	0,83	54,5
14	1,600	0,3	0,1	118,9	54,9	1976	841	12,02	12,44	12,91	13,23	0,73	0,70	54,5
15	0,480	0,8	0,4	119,0	64,8	1551	856	11,90	14,78	3,50	3,78	0,35	0,34	43,1
16	0,320	0,8	0,2	118,0	39,9	1048	213	9,00	9,00	2,49	2,71	0,33	0,32	35,9
17	4,000	0,1	0,0	119,7	60,0	1542	619	10,00	10,06	7,99	8,00	0,79	0,76	82,5
18	0,110	2,8	3,2	118,3	48,4	1313	1471	24,90	-6,25	1,88	1,47	0,20	0,19	27,2
19	4,110	0,2	0,1	119,8	59,6	2827	1564	9,19	7,09	10,64	10,07	0,82	0,78	82,5
20	10,480	0,1	0,1	119,9	55,8	5759	3020	5,00	5,00	28,75	28,86	1,23	1,18	107,1
21	4,590	0,1	0,1	119,6	54,2	2487	1136	4,01	4,42	11,17	11,49	0,91	0,87	82,5
22	0,320	0,7	0,1	118,7	39,8	874	189	40,90	-3,80	0,59	0,18	0,15	0,14	54,5

Wärmeverluste: Vorlaufnetz 49 kW Rücklaufnetz 23 kW. Dies sind 2,5 % des Gesamtwärmestromes.

i Teilstreckennummer; mq Massestrom in der Teilstrecke; DtV/DtR Temperaturabfall im Vorlauf/Rücklauf von i
tVm/tRm mittlere Wassertemperatur im Vorlauf/Rücklauf von i
QV/QR Wärmeverlust des Vorlaufs/Rücklaufs von i an die Umgebung
ZetaV/ZetaR Gesamtwiderstandsbeiwert (einschließlich Verzweigungen) im Vorlauf/Rücklauf von i
DpV/DpR Druckverlust im Vorlauf/Rücklauf von i
wV/wR mittlere Geschwindigkeit im Vorlauf/Rücklauf von i; di Rohrrinnendurchmesser von i

Kontrolle:

Einspeisestelle

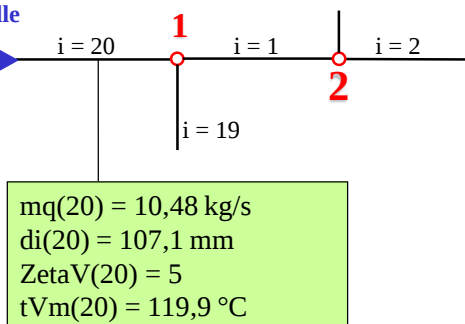


Bild 3.5 Teil des Rohrnetzes nach Bild 2.1 mit eingetragenen Parametern zur Nachrechnung des Teilstreckendruckverlustes im Vorlauf der Teilstrecke i = 20

Der **Vorlaufabschnitt der Teilstrecke i = 20** wird beispielhaft nachgerechnet. Es gelten:

Dichte: $\rho = 943 \text{ kg/m}^3$

Interne Programmanzeige: $\rho = 943,2$

kinematische Viskosität: $\nu = 0,246 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Interne Programmanzeige: $\nu = 0,00000024640$

Geschwindigkeit:

$$wV(20) = \frac{4 \dot{m}}{\rho \pi d_i^2} = \frac{4 \cdot 10,48}{943 \pi 0,1071^2} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,234 \text{ m/s}$$

Rechnerausdruck: 1,23 m/s

Interne Programmanzeige: $w = 1,2334$

Reynoldszahl:

$$\text{Re} = \frac{w d_i}{\nu} = \frac{1,23 \cdot 0,1071}{0,000000246} = 535500$$

Interne Programmanzeige: $\text{Re} = 536096$

Der Rohrreibungsbeiwert für $\text{Re} = 535500$ und $\varepsilon/d_i = 0,045/107,1 = 0,00042$ folgt aus Diagramm [1, Bild 5.1-3] zu $\lambda = 0,017$.

Interne Programmanzeige: $\lambda = 0,017073$

Damit ergibt sich der Druckverlust zu:

$$\Delta pV(20) = \underbrace{\frac{\rho}{2}}_{\text{Staudruck}} w^2 \left(\lambda \frac{l}{d_i} + \zeta \right) = \frac{943}{2} 1,234^2 \left(0,017 \frac{220}{0,1071} + 5 \right) \text{ Pa} = 28,66 \text{ kPa}$$

Rechnerausdruck: 28,75 kPa

Die Abweichung von 0,3 % erklärt sich aus der Ungenauigkeit der Diagrammablesung von λ .

3.6 Druckverluste der Abnehmer (ABNVER)

Hierbei handelt es sich um die bei den Abnehmermassenströmen notwendigerweise auftretenden Druckverluste $Dp_{Aq}(Abn)$ (Mindestdruckdifferenz über jeden Abnehmer beim vorgegebenen Massestrom). Dieser Wert kann direkt als $Dp_A(Abn)$ eingegeben werden, sodass nur eine Zuweisung $Dp_{Aq}(Abn) = Dp_A(Abn)$ erfolgt. Wird aber der Durchflussbeiwert $kv_A(Abn)$ benannt, was bei einigen Aggregaten – beispielsweise Wärmeübertragern oder vorgefertigten Abnahmestationen – üblich ist, muss daraus $Dp_{Aq}(Abn)$ bestimmt werden. Bei versehentlichen Doppelangaben hat die Eingabe $Dp_A(Abn)$ Vorrang. Der Algorithmus des sehr kleinen Unterprogramms ist in [1, Seite 183, Flussbild 5.1.-4] dargestellt.

Realisiertes Unterprogramm ABNVER zur Berechnung der Abnehmerdruckverluste:

```
Sub ABNVER()
    'Ermittlung der Abnehmerdifferenzdrücke
    'Bei Doppelangabe hat vorgegebener Differenzdruck Vorrang
    For Me.Abn = 1 To Abmax
        If iab(Abn) > 0 Then
            tt = (tVA(Abn) + tRA(Abn)) / 2 : rhoA = 1006 - 0.26 * tt - 0.0022 * tt^2
            If DpA(Abn) > 0 Then
                DpAq(Abn) = DpA(Abn)
            ElseIf kvA(Abn) > -1000 Then
                DpAq(Abn) = 1 / rhoA * (mq(Abn) * 1000000 / 28 / kvA(Abn)) ^ 2
            End If
        End If
    Next Abn
    Call Speichern_Objektdaten()
End Sub
```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm ABNVER: $Dp_A(Abn)$ oder $kv_A(Abn)$. {NETZ, MASS und TEMP sind Voraussetzung!}

Nach entsprechender Eingabe kann durch Setzen eines Häkchens bei ABNVER und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung aller Abnehmerdruckverluste erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert die nachfolgenden Auszüge:

Kennwerte der Abnehmer:

Abn	m	tRA	kvA	DpA
-	kg/s	°C	m³/h	kPa
2	0,710	40,0		50,0
3	0,790	50,0		55,0
4	0,400	50,0	2,500	
5	1,000	60,0	6,500	
6	1,600	55,0	7,000	
7	0,870	60,0		32,0
8	0,110	50,0		55,0
9	4,000	60,0		106,0
10	0,480	65,0	3,000	
11	0,320	40,0		22,0
12	0,200	60,0		25,0

Abn Abnehmernummer zu der die Teilstrecke
i = iab(Abn) führt. Es besteht Identität:
Abn = Ab(i)
m Massestrom des Abnehmers
tRA Rücklaufstemperatur am Abnehmeraus-
tritt
kvA Durchflusskoeffizient des Abnehmers
DpA Differenzdruck des Abnehmers

Ergebnisse der Abnehmer:

Abn	tVA	tRA	DpAq	DpAr	DpAUE	pAV	pAR
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
2	118,6	40,0	50,00				
3	118,8	50,0	55,00				
4	117,1	50,0	33,70				
5	118,0	60,0	31,27				
6	118,7	55,0	68,93				
7	119,4	60,0	32,00				
8	116,9	50,0	55,00				
9	119,6	60,0	106,00				
10	118,6	65,0	33,89				
11	117,6	40,0	22,00				
12	117,0	60,0	25,00				

Abn Abnehmernummer; tVA/tRA Vorlauf-/Rücklaufstemperatur am Ab-
nehmer
DpAq geforderter Differenzdruck am Abnehmer
DpAr real vorhandener Differenzdruck am Abnehmer
DpAUE abzudrosselnder Differenzdruck am Abnehmer
pAV/pAR/pA0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Abnehmer
QAbn Wärmestromaufnahme des Abnehmers

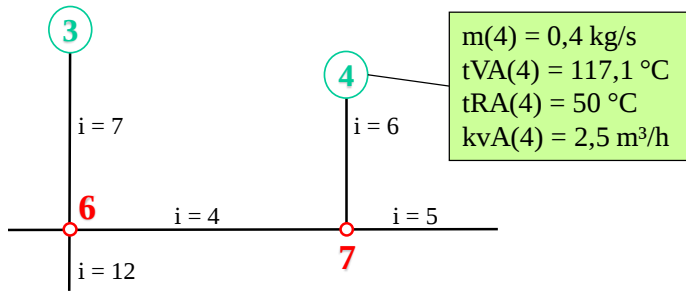
Kontrolle:

Bild 3.6 Teil des Rohrnetzes nach Bild 2.1 mit eingetragenen Parametern zur Druckverlustberechnung für Abnehmer Abn = 4

Der Druckverlust für **Abnehmer Abn = 4** wird beispielhaft nachgerechnet. Es gelten:

Mittlere Temperatur des Abnehmers: 84 °C

Dichte: $\rho = 969 \text{ kg/m}^3$

Interne Programmanzeige: $\rho = 968,9$

Druckverlust nach [2, Seite 62, Gl. (4.9) oder Seite 482, Bild 23] als zugeschnittene Größengleichung:

$$\Delta p_{Aq}(4) = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\dot{m}}{kvA \cdot 28 \cdot 10^{-6}} \right)^2 = \frac{1}{969} \left(\frac{0,4}{2,5 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} \right)^2 \text{ Pa} = 33698 \text{ Pa}$$

Rechnerausdruck: 33,70 kPa

3.7 Mindestdifferenzdruck an der Einspeisestelle (DIFFE)

Nach der Kenntnis der Teilstrecken- und Abnehmerdruckverluste erfolgt die Ermittlung des notwendigen Differenzdruckes an der Einspeisestelle Dp_{Ein} . Hierbei erfolgt eine Aufsummierung der Druckverluste von der Netzperipherie (Abnehmern) über die Knoten bis zur Einspeisestelle, wobei an den Netzknoten stets mit den jeweils höchsten Differenzdrücken weitergearbeitet wird.

Das Netz ist bei dieser Betrachtung hydraulisch nicht abgeglichen!

Der Algorithmus des Unterprogramms entspricht [1, Seite 199, Flussbild 5.1.-7].

Realisiertes Unterprogramm DIFFE zur Berechnung des notwendigen Einspeisedifferenzdruckes:

```
Sub DIFFE()
    'Ermittlung des Einspeisedifferenzdruckes und der Knotendifferenzdrücke mit der
    'Hilfsgröße HG(i)
    For Me.Abn = 1 To Abmax
        If iab(Abn) > 0 Then
            i = iab(Abn)
            HG(i) = DpV(i) + DpR(i) + DpAq(Abn)
        End If
    Next Abn
    For Me.Kno = Knomax To 1 Step -1
        i = ikno(Kno)
        xq = x(i) : yq = y(i) : zq = z(i)
        If xq < 0 Then a = 0 Else a = HG(xq)
        If yq < 0 Then b = 0 Else b = HG(yq)
        If zq < 0 Then c = 0 Else c = HG(zq)
        DpK(Kno) = a
        If b > DpK(Kno) Then DpK(Kno) = b
        If c > DpK(Kno) Then DpK(Kno) = c
        HG(i) = DpK(Kno) + DpV(i) + DpR(i)
    Next Kno
    i = ikno(1)
    DpEin = HG(i)
    Call Speichern_Objektdaten()
End Sub
```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm DIFFE: keine. {NETZ, MASS, TEMP, ZETA, TEIDRUK und ABNVER sind Voraussetzung!}

Nach entsprechender Eingabe kann durch Setzen eines Häkchens bei DIFFE und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung der Mindesteinspeisedruckdifferenz erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert die nachfolgenden Auszüge:

Ergebnisse der Knoten:

Kno	tVK	tRK	DpK	pKV	pKR	pK0
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa
1	119,9	55,8	241,86			
2	119,7	53,5	198,67			
3	119,7	59,6	121,99			
4	119,0	44,1	61,64			
5	119,7	55,1	171,57			

6	119,5	54,2	148,90			
7	118,7	56,7	42,53			
8	119,4	54,7	135,89			
9	119,0	52,3	95,07			
10	118,4	39,8	27,19			

Kno Knotennummer; tVK/tRK Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Knoten
 DpK Differenzdruck am Knoten
 pKV/pKR/pK0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Knoten

Ergebnisse an der Einspeisestelle:

tVEin	tREin	mEin	VEin	DpEin	pSAuf	pEAuf	pMAuf	pVEin	pREin
°C	°C	kg/s	m³/h	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
120,0	55,7	10,48	40,0	299,46					

tVEin/tREin Vor-/Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle
 mEin/VEin Masse-/Volumenstrom an der Einspeisestelle
 DpEin Minstdifferenzdruck an der Einspeisestelle
 pSAuf Auflastdruck der Saugdruckhaltung an der Einspeisestelle
 pEAuf Auflastdruck der Enddruckhaltung an der Einspeisestelle
 pMAuf Auflastdruck der Mitteldruckhaltung an der Einspeisestelle
 pVEin/pREin Vor-/Rücklaufdruck an der Einspeisestelle

Kontrolle:

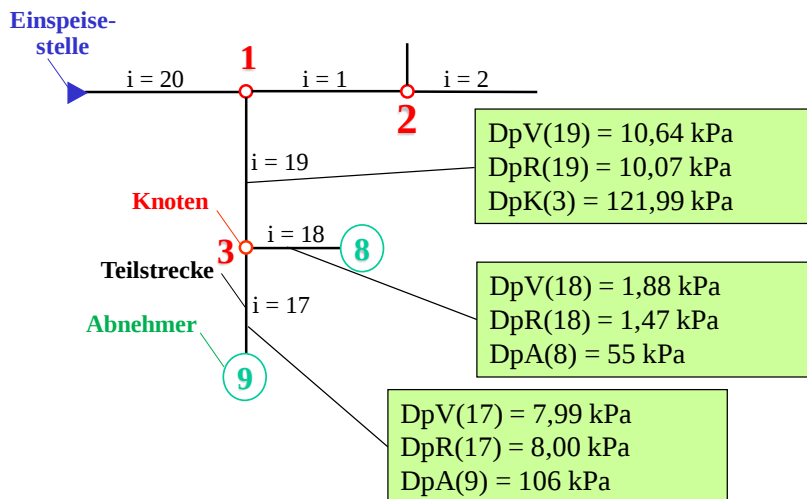


Bild 3.7 Teil des Rohrnetzes nach Bild 2.1 mit eingetragenen Druckverlusten in ausgewählten Teilstrecken und Abnehmern sowie der Druckdifferenz am Knoten Kno = 3

Es ist sofort die richtige Arbeitsweise des Algorithmus zu erkennen:

$$DpV(17) + DpR(17) + DpA(9) = 121,99 \text{ kPa} > DpV(18) + DpR(18) + DpA(8) = 58,35 \text{ kPa}$$

$$DpK(3) = 121,99 \text{ kPa.}$$

3.8 Reale Abnehmerdrücke und abzudrosselnde Drucküberschüsse (ABNÜB)

Der Mindesteinspeisedruck durch die Druckverluste im Netz ist bekannt. Hier im Beispiel gilt $DpEin = 299,46 \text{ kPa}$. Der am Netzeintritt bereitgestellte Differenzdruck DpP muss gleich oder größer sein.

Bei der Ermittlung des tatsächlich verfügbaren Differenzdruckes ist folgendermaßen vorzugehen:

Förderdruck der Umwälzpumpe bei der Installation der Pumpe im Vorlauf (ORT = 1) und dem ermittelten Volumenstrom $VEin = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ gemäß Pumpenkennliniendiagramm z. B.	380,00 kPa
Druckverlust in der Wärmebereitstellungszentrale ("Eigenverbrauch") z. B.	-60,00 kPa
Bereitgestellter Differenzdruck für das Netz $DpP (> DpEin)$	320,00 kPa

Dieser Wert ist als "Vorgabe Netzdruck" DpP in der Bedienoberfläche bei den allgemeinen Netzdaten einzugeben.

Mit dem Unterprogramm ABNÜB können dann die tatsächlich vorhandenen Differenzdrücke und die abzudrosselnden Drucküberschüsse bestimmt werden, um ein hydraulisch abgeglichenes Netz zu erreichen.

Der Algorithmus des Unterprogramms entspricht [1, Seite 199, Flussbild 5.1.-8].

Realisiertes Unterprogramm ABNÜB zur Berechnung der realen Druckdifferenzen an den Abnehmern:

```

Sub ABNUB()
    'Ermittlung der realen Abnehmerdrücke und der verbleibenden Überdrücke
    i = ikno(1)
    HG(i) = DpEin - DpV(i) - DpR(i)
    For Me.Kno = 1 To Knomax
        i = ikno(Kno)
        xq = x(i) : yq = y(i) : zq = z(i)
        DpK(Kno) = HG(i) 'Knotendifferenzdruck
        If xq > 0 Then HG(xq) = DpK(Kno) - DpV(xq) - DpR(xq)
        If yq > 0 Then HG(yq) = DpK(Kno) - DpV(yq) - DpR(yq)
        If zq > 0 Then HG(zq) = DpK(Kno) - DpV(zq) - DpR(zq)
    Next Kno
    For Me.Abn = 1 To Abmax
        If iab(Abn) > 0 Then
            i = iab(Abn)
            DpAr(Abn) = HG(i)
            DpAue(Abn) = DpAr(Abn) - DpAq(Abn)
        End If
    Next Abn
    Call Speichern_Objektdaten()
End Sub

```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm ABNÜB: DpP . {NETZ, MASS, TEMP, ZETA, TEIDRUK und ABNVER sind Voraussetzung! Zwischengeschaltete Berechnung DIFFE ist schadlos möglich.}

Nach entsprechender Eingabe kann durch Setzen eines Häkchens bei ABNÜB und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung aller Abnehmerdifferenzdrücke erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert die nachfolgenden Auszüge:

Kennwerte des Netzes:

eps mm	tVEin °C	H0 m	pSAuf kPa	pEAuf kPa	pMAuf kPa	ORT -	DpP kPa
0,045	120,0					1	320,0

eps Rohrrauigkeit
tVEin Netzvorlauftemperatur
H0 Höhe an Einspeisestelle
pSAuf/pEAuf/pMAuf Auflastdrücke der Druckhaltung
ORT/DpP Einbaort Pumpe/vorgegebener Netzdruck

Ergebnisse der Knoten:

Kno -	tVK °C	tRK °C	DpK kPa	pKV kPa	pKR kPa	pK0 kPa
1	119,9	55,8	262,40			
2	119,7	53,5	219,21			
3	119,7	59,6	241,69			

Kno Knotennummer
tVK/tRK Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Knoten
DpK Differenzdruck am Knoten
pKV/pKR/pK0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Knoten

Kno	tVK	tRK	DpK	pKV	pKR	pK0
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa
4	119,0	44,1	188,82			
5	119,7	55,1	192,11			
6	119,5	54,2	169,44			
7	118,7	56,7	137,68			
8	119,4	54,7	156,43			
9	119,0	52,3	115,61			
10	118,4	39,8	114,83			

Kno Knotennummer

tVK/tRK Vorlauf-/Rücklauf-temperatur am Knoten

DpK Differenzdruck am Knoten

pKV/pKR/pK0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Knoten

Ergebnisse der Abnehmer:

Abn	tVA	tRA	DpAq	DpAr	DpAUE	pAV	pAR	pA0	QAbn
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kW
2	118,6	40,0	50,00	177,18	127,18				234,3
3	118,8	50,0	55,00	161,97	106,97				228,1
4	117,1	50,0	33,70	135,63	101,93				112,8
5	118,0	60,0	31,27	126,43	95,16				243,5
6	118,7	55,0	68,93	89,46	20,54				428,3
7	119,4	60,0	32,00	179,61	147,61				217,0
8	116,9	50,0	55,00	238,34	183,34				30,9
9	119,6	60,0	106,00	225,69	119,69				1001,5
10	118,6	65,0	33,89	149,14	115,26				108,0
11	117,6	40,0	22,00	109,64	87,64				104,3
12	117,0	60,0	25,00	185,50	160,50				47,9

Abn Abnehmernummer; tVA/tRA Vorlauf-/Rücklauf-temperatur am Abnehmer

DpAq geforderter Differenzdruck am Abnehmer

DpAr real vorhandener Differenzdruck am Abnehmer; DpAUE abzudrosselnder Differenzdruck am Abnehmer

pAV/pAR/pA0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Abnehmer; QAbn Wärmestromaufnahme des Abnehmers

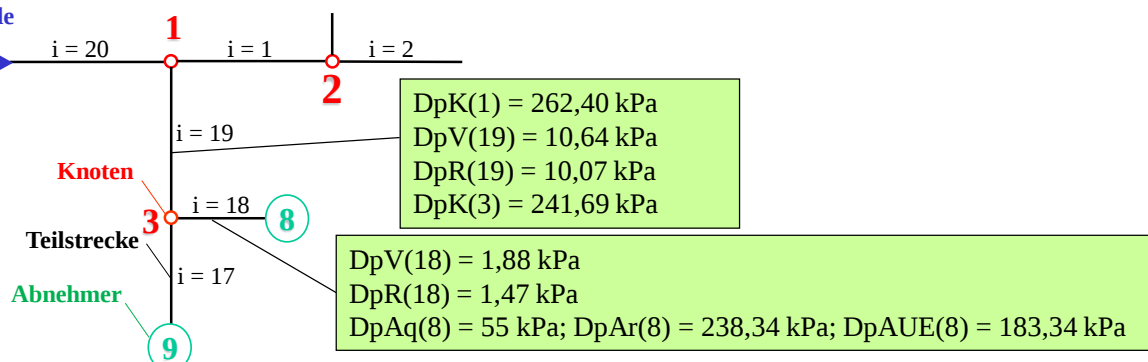
Kontrolle:Einspeise-
stelle

Bild 3.8 Teil des Rohrnetzes nach Bild 2.1 mit eingetragenen Druckverlusten in ausgewählten Teilstrecken und am Abnehmer Abn = 8 sowie der neu ermittelten Druckdifferenz am Knoten Kno = 3 im Ergebnis der Nachrechnung mit ABNÜB

Die stichprobenweise Überprüfung zeigt die Richtigkeit des Algorithmus:

Differenzdruck am Knoten Kno = 3:

$$DpK(3) = DpK(1) - DpV(19) - DpR(19) = (262,40 - 10,64 - 10,07) \text{ kPa} = 241,69 \text{ kPa}$$

Realer Differenzdruck am Abnehmer Abn = 8:

$$DpAr(8) = DpK(3) - DpV(18) - DpR(18) = (241,69 - 1,88 - 1,47) \text{ kPa} = 238,34 \text{ kPa}$$

Drucküberschuss (abzudrosselnder Differenzdruck) am Abnehmer Abn = 8:

$$DpAUE(8) = DpAr(8) - DpAq(8) = (238,34 - 55) \text{ kPa} = 183,34 \text{ kPa}.$$

Eine weitere, einfache Überprüfung ist anhand von Abnehmer Abn = 6 möglich, da dort der kleinste Drucküberschuss mit 20,54 kPa auftritt. Er entspricht logischer Weise

$$DpAUE(6) = DpP - DpEin = (320 - 299,46) \text{ kPa} = 20,54 \text{ kPa}.$$

3.9 Druckverläufe im Netz (GRENZ)

Mit dem Unterprogramm GRENZ werden die tatsächlichen Druckverläufe im Netz unter Beachtung der Höhenunterschiede und des Auflastdruckes der Druckhaltung ermittelt. Dabei wird zwischen Saug-, End- und symmetrischer Mitteldruckhaltung unterschieden. (Asymmetrische Mitteldruckhaltungen müssten programmintern berücksichtigt werden.)

Der Algorithmus des Unterprogramms entspricht **nicht** [1, Flussbild 5.5.-1] sondern wurde speziell für das vorliegende Rechenprogramm entwickelt.

Bei den **Betriebsdruckverläufen** wird vom Auflastdruck, der gewählten Druckhaltung, den Druckverlusten in den Teilstrecken $DpV(i)$ sowie $DpR(i)$, den Höhenkoordinaten $H(i)$ sowie $H0$ und den mittleren Dichten in den Teilstrecken $\rho V(i)$ sowie $\rho R(i)$ – entsprechend den Teilstreckentemperaturen $tVm(i)$ sowie $tRm(i)$ – ausgegangen. Damit können die vertikalen Wassersäulen der entsprechend orientierten Teilstrecken für den Vor- und Rücklauf getrennt Berücksichtigung finden.

Dadurch ergeben sich bei Höhenunterschieden zwischen Einspeisestelle und Abnehmern mitunter andere Differenzdrücke an den Abnehmern als unter $DpAr(ABn)$ ausgewiesen. Bei der bisherigen Rechnung wurden – wie bei Fernheiznetzen üblich – die Druckverluste im Netz gleich der Einspeisedruckdifferenz gesetzt. Nunmehr findet aber auch der thermodynamische Umtriebsdruck (Schwerkraftdruck infolge von Dichteunterschieden) Beachtung. Somit entstehen bei hochliegenden Abkühlpunkten zusätzliche Umtriebsdrücke und umgekehrt. Diese sind beispielsweise bei Wasserheizungen in hohen Gebäuden als Störeinflüsse unbedingt zu beachten. Bei Schwerkraftheizungen stellen sie den alleinigen Umtriebsdruck dar. **Bei großflächigen Heizwassernetzen (Fernheizungen) sind diese Einflüsse in der Regel marginal und werden durch die Abnehmerregelungen kompensiert.** Im Abschnitt Kontrolle werden die Abweichungen demonstriert.

Zur Ermittlung des **Ruhedruckverlaufs** wird in den Teilstrecken des Vor- und Rücklaufs eine einheitliche Wasserdichte von 1000 kg/m^3 angenommen. Außerdem seien geöffnete Absperrorgane an der Einspeisestelle und an den Abnehmern vorausgesetzt.

Realisiertes Unterprogramm GRENZ zur Berechnung der realen Druckdruckverläufe im Netz:

```
Sub GRENZ()
  If pSAuf > 0 Then
    pVEin = pSAuf + DpP
    p0Ein = pSAuf
    pREin = pSAuf
  ElseIf pEAuf > 0 Then
    pVEin = pEAuf
    p0Ein = pEAuf
    pREin = pEAuf - DpP
  ElseIf pMAuf > 0 Then
    pVEin = pMAuf + DpP / 2
    p0Ein = pMAuf
    pREin = pMAuf - DpP / 2
  End If
  'Betriebsdrücke im Vorlaufnetz
  For Me.Kno = 1 To Knomax
    i = ikno(Kno)
    If Kno = 1 Then peV(i) = pVEin : HTSein(i) = H0
    'HTSein(i) Höhe Teilstrecke i am Anfang
    n = peV(i) - DpV(i) - (H(i) - HTSein(i)) * rhoV(i) * g
    If x(i) > -1000 Then peV(x(i)) = n : HTSein(x(i)) = H(i)
    If y(i) > -1000 Then peV(y(i)) = n : HTSein(y(i)) = H(i)
    If z(i) > -1000 Then peV(z(i)) = n : HTSein(z(i)) = H(i)
    pKV(Kno) = n    'Knotenvorlaufdruck im Betriebszustand
```

```

Next Kno
For Me.Abn = 1 To Abmax
  If iab(Abn) > 0 Then
    i = iab(Abn)
    pAV(Abn) = peV(i) - DpV(i) - (H(i) - HTSein(i)) * rhoV(i) * g
  End If
Next Abn
'Betriebsdrücke im Rücklaufnetz (Betrachtung geht von Einspeisestelle aus
                                peR(i) gegenläufig zu teR(i) definiert!)

For Me.Kno = 1 To Knomax
  i = ikno(Kno)
  If Kno = 1 Then peR(i) = pREin
  n = peR(i) + DpR(i) - (H(i) - HTSein(i)) * rhoR(i) * g
  If x(i) > -1000 Then peR(x(i)) = n
  If y(i) > -1000 Then peR(y(i)) = n
  If z(i) > -1000 Then peR(z(i)) = n
  pKR(Kno) = n      'Knotenrücklaufdruck im Betriebszustand
Next Kno
For Me.Abn = 1 To Abmax
  If iab(Abn) > 0 Then
    i = iab(Abn)
    pAR(Abn) = peR(i) + DpR(i) - (H(i) - HTSein(i)) * rhoR(i) * g
  End If
Next Abn
'Ruhedrücke im Netz (Dichte 1000 kg/m³, alle Absperrorgane geöffnet,
                                Pumpe außer Betrieb)

For Me.Kno = 1 To Knomax
  i = ikno(Kno)
  If Kno = 1 Then peV(i) = p0Ein
  n = peV(i) - (H(i) - HTSein(i)) * 1000 * g
  If x(i) > -1000 Then peV(x(i)) = n
  If y(i) > -1000 Then peV(y(i)) = n
  If z(i) > -1000 Then peV(z(i)) = n
  pK0(Kno) = n      'Knotendruck im Ruhezustand
Next Kno
For Me.Abn = 1 To Abmax
  If iab(Abn) > 0 Then
    i = iab(Abn)
    pA0(Abn) = peV(i) - (H(i) - HTSein(i)) * 1000 * g
  End If
Next Abn
Call Speichern_Objektdaten()
End Sub
End Sub

```

Notwendige Eingabedaten für Unterprogramm GRENZ: H(i), H0, pSAuf oder pEAuf oder pMAuf. {NETZ, MASS, TEMP, ZETA, TEIDRUK, ABNVER und ABNÜB sind Voraussetzung! Zwischengeschaltete Berechnung DIFFE ist schadlos möglich.}

Nach entsprechender Eingabe kann durch Setzen von Häkchen bei allen Unterprogrammen und das Drücken von **RECHNEN** die Ermittlung aller Knoten und Abnehmerdrücke für den Betriebs- und Ruhezustand des Netzes erfolgen. Das Aktivieren von **DRUCK** liefert den nachfolgenden Gesamtausdruck des kompletten Beispiels.

Objektbezeichnung: C:\SD\FE_TGA\Heizwassernetze\Beispiel_1

Teilstrecken-, Abnehmer- und Netzkonfigurationsdaten:

Das Netz besitzt 21 Teilstrecken, 11 Abnehmer und 10 Knoten.

Kennwerte der Teilstrecken:

i	x	y	z	Ab	l	tu	alphaa	H	ZetaVq	ZetaRq	di	da	lamR	DV	DR	lamD	Kno
-	-	-	-	-	m	°C	W/(m²K)	m	-	-	mm	mm	W/(mK)	mm	mm	W/(mK)	-
1	10	2			115,0	-15,0	25,0	250,0	3,00	3,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	2
2		21	11		85,0	15,0	7,0	250,0	5,50	5,50	82,5	88,9	50,00	80	80	0,040	5
4	6	5			200,0	-15,0	25,0	250,0	3,80	4,10	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	7
5				5	110,0	-15,0	25,0	250,0	13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	

i	x	y	z	Ab	l	tu	alphaa	H	ZetaVq	ZetaRq	di	da	lamR	DV	DR	lamD	Kno
-	-	-	-	-	m	°C	W/(m²K)	m	-	-	mm	mm	W/(mK)	mm	mm	W/(mK)	-
6				4	100,0	-15,0	25,0	250,0	12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
7				3	100,0	-15,0	25,0	270,0	13,00	13,00	54,5	60,3	50,00	80	80	0,040	
8				2	65,0	15,0	7,0	280,0	9,00	9,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
9				12	75,0	15,0	7,0	280,0	8,00	8,00	35,9	42,4	50,00	40	40	0,040	
10	9		8		125,0	15,0	7,0	270,0	6,00	6,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	4
11				7	45,0	15,0	7,0	250,0	8,00	8,00	43,1	48,3	50,00	50	50	0,040	
12	13	15			90,0	18,0	7,0	250,0	4,00	4,00	70,3	76,1	50,00	100	100	0,040	8
13		14	22		135,0	15,0	7,0	250,0	4,50	4,50	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	9
14				6	105,0	18,0	7,0	250,0	12,00	12,00	54,5	60,3	50,00	80	60	0,040	
15				10	90,0	15,0	7,0	230,0	11,00	11,00	43,1	48,3	50,00	80	60	0,040	
16				11	55,0	20,0	7,0	240,0	9,00	9,00	35,9	42,4	50,00	50	50	0,040	
17				9	75,0	20,0	7,0	230,0	10,00	10,00	82,5	88,9	50,00	100	100	0,040	
18				8	70,0	20,0	7,0	240,0	7,50	7,50	27,2	33,7	50,00	40	0	0,040	
19	18	17			110,0	-15,0	25,0	240,0	6,00	6,00	82,5	88,9	50,00	120	120	0,040	3
20		1	19	99	220,0	-15,0	25,0	250,0	5,00	5,00	107,1	114,3	50,00	150	150	0,040	1
21	7	4	12		110,0	10,0	7,0	248,0	4,00	4,00	82,5	88,9	50,00	100	80	0,040	6
22		16			40,0	18,0	7,0	245,0	4,00	4,00	54,5	60,3	50,00	60	60	0,040	10

i Nummer der Teilstrecke; x linker Abzweig von i; y Durchgang von i; z rechter Abzweig von i
 Ab Abnehmernummer am Ende von i; Ab(i) = 99 bedeutet Netzeinspeisung am Anfang von i
 l Länge von i, tu Umgebungstemperatur von i
 alphaa Wärmeübergangskoeffizient Rohr- oder Dämmbaufläche entlang i; H Höhe am Ende von i
 ZetaVq/ZetaRq Einzelwiderstandsbeiwert von i im Vor-/Rücklauf ohne Verzweigungsverluste
 di/da Rohrdurchmesser von i; lamR Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand von i
 DV/DR Dämmdicke des Vor-/Rücklaufes von i; lamD Wärmeleitfähigkeit der Dämmung von i
 Kno ermittelte Knotennummer am Ende der Teilstrecke i

Teilstrecken ikno die zum Knoten Kno bzw. iab die zum Abnehmer Abn führen:

Kno	ikno(Kno)	Abn	iab(Abn)
-	-	-	-
1	20		
2	1	2	8
3	19	3	7
4	10	4	6
5	2	5	5
6	21	6	14
7	4	7	11
8	12	8	18
9	13	9	17
10	22	10	15
		11	16
		12	9

Kennwerte der Abnehmer:

Abn	m	tRA	kvA	DpA
-	kg/s	°C	m³/h	kPa
2	0,710	40,0		50,0
3	0,790	50,0		55,0
4	0,400	50,0	2,500	
5	1,000	60,0	6,500	
6	1,600	55,0	7,000	
7	0,870	60,0		32,0
8	0,110	50,0		55,0
9	4,000	60,0		106,0
10	0,480	65,0	3,000	
11	0,320	40,0		22,0
12	0,200	60,0		25,0

Abn Abnehmernummer zu der die Teilstrecke i = iab(Abn) führt. Es besteht Identität: Abn = Ab(i)
 m Massestrom des Abnehmers; tRA Rücklauftemperatur am Abnehmeraustritt
 kvA Durchflusskoeffizient des Abnehmers; DpA Differenzdruck des Abnehmers

Kennwerte des Netzes:

eps	tVEin	H0	pSAuf	pEAuf	pMAuf	ORT	DpP
mm	°C	m	kPa	kPa	kPa	-	kPa
0,045	120,0	250,0	1000,0			1	320,0

eps Rohrrauigkeit
 tVEin Netzvorlauftemperatur; H0 Höhe an Einspeisestelle
 pSAuf/pEAuf/pMAuf Auflastdrücke der Druckhaltung
 ORT/DpP Einbauort Pumpe/vorgegebener Netzdifferenzdruck

Ergebnisse der Teilstrecken:

i	mq	DtV	DtR	tVm	tRm	QV	QR	ZetaV	ZetaR	DpV	DpR	wV	wR	di
-	kg/s	K	K	°C	°C	W	W	-	-	kPa	kPa	m/s	m/s	mm
1	6,370	0,1	0,1	119,8	53,4	3275	1663	3,06	3,77	21,27	21,91	1,26	1,21	82,5
2	5,460	0,1	0,0	119,7	55,1	2080	796	5,51	5,86	13,44	13,67	1,08	1,04	82,5
4	1,400	0,9	0,5	119,1	56,4	5144	2740	4,20	6,27	15,42	16,34	0,64	0,61	54,5
5	1,000	0,7	0,4	118,3	59,8	2813	1579	13,06	13,96	5,51	5,75	0,45	0,44	54,5
6	0,400	1,5	0,7	117,9	49,6	2549	1240	25,15	12,45	1,09	0,96	0,18	0,17	54,5
7	0,790	0,8	0,4	119,1	49,8	2573	1243	20,33	18,98	3,70	3,77	0,36	0,34	54,5
8	0,710	0,5	0,1	118,8	39,9	1414	340	10,94	11,44	5,64	6,01	0,52	0,49	43,1
9	0,200	2,0	0,9	118,0	59,6	1683	728	18,27	28,02	1,52	1,80	0,21	0,20	35,9
10	0,910	0,7	0,2	119,4	44,0	2735	760	10,55	5,41	15,35	15,04	0,66	0,63	43,1
11	0,870	0,3	0,1	119,5	59,9	986	424	11,83	7,82	6,58	5,92	0,63	0,61	43,1
12	2,400	0,2	0,1	119,4	54,7	1725	623	6,83	6,49	6,47	6,54	0,66	0,63	70,3
13	1,920	0,3	0,1	119,2	52,3	2623	1092	5,96	5,54	20,25	20,57	0,87	0,83	54,5
14	1,600	0,3	0,1	118,9	54,9	1976	841	12,02	12,44	12,91	13,23	0,73	0,70	54,5
15	0,480	0,8	0,4	119,0	64,8	1551	856	11,90	14,78	3,50	3,78	0,35	0,34	43,1
16	0,320	0,8	0,2	118,0	39,9	1048	213	9,00	9,00	2,49	2,71	0,33	0,32	35,9
17	4,000	0,1	0,0	119,7	60,0	1542	619	10,00	10,06	7,99	8,00	0,79	0,76	82,5
18	0,110	2,8	3,2	118,3	48,4	1313	1471	24,90	-6,25	1,88	1,47	0,20	0,19	27,2
19	4,110	0,2	0,1	119,8	59,6	2827	1564	9,19	7,09	10,64	10,07	0,82	0,78	82,5
20	10,480	0,1	0,1	119,9	55,8	5759	3020	5,00	5,00	28,75	28,86	1,23	1,18	107,1
21	4,590	0,1	0,1	119,6	54,2	2487	1136	4,01	4,42	11,17	11,49	0,91	0,87	82,5
22	0,320	0,7	0,1	118,7	39,8	874	189	40,90	-3,80	0,59	0,18	0,15	0,14	54,5

Wärmeverluste: Vorlaufnetz 49 kW Rücklaufnetz 23 kW. Dies sind 2,5 % des Gesamtwärmestromes.

i Teilstreckennummer; mq Massestrom in der Teilstrecke; DtV/DtR Temperaturabfall im Vorlauf/Rücklauf von i
tVm/tRm mittlere Wassertemperatur im Vorlauf/Rücklauf von i
QV/QR Wärmeverlust des Vorlaufs/Rücklaufs von i an die Umgebung
ZetaV/ZetaR Gesamtwiderstandsbeiwert (einschließlich Verzweigungen) im Vorlauf/Rücklauf von i
DpV/DpR Druckverlust im Vorlauf/Rücklauf von i
wV/wR mittlere Geschwindigkeit im Vorlauf/Rücklauf von i; di Rohrdurchmesser von i

Ergebnisse der Knoten:

Kno	tVK	tRK	DpK	pKV	pKR	pK0
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa
1	119,9	55,8	262,40	1291,25	1028,86	1000,00
2	119,7	53,5	219,21	1269,98	1050,77	1000,00
3	119,7	59,6	241,69	1373,15	1135,33	1098,10
4	119,0	44,1	188,82	1069,50	871,52	803,80
5	119,7	55,1	192,11	1256,55	1064,44	1000,00
6	119,5	54,2	169,44	1263,88	1095,26	1019,62
7	118,7	56,7	137,68	1229,94	1092,29	1000,00
8	119,4	54,7	156,43	1238,90	1082,48	1000,00
9	119,0	52,3	115,61	1218,65	1103,04	1000,00
10	118,4	39,8	114,83	1264,36	1151,89	1049,05

Kno Knotennummer; tVK/tRK Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Knoten
DpK Differenzdruck am Knoten
pKV/pKR/pK0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Knoten

Ergebnisse der Abnehmer:

Abn	tVA	tRA	DpAq	DpAr	DpAUE	pAV	pAR	pA0	QAbn
-	°C	°C	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kW
2	118,6	40,0	50,00	177,18	127,18	971,25	780,20	705,70	234,3
3	118,8	50,0	55,00	161,97	106,97	1056,49	885,89	803,80	228,1
4	117,1	50,0	33,70	135,63	101,93	1228,85	1093,25	1000,00	112,8
5	118,0	60,0	31,27	126,43	95,16	1224,43	1098,04	1000,00	243,5
6	118,7	55,0	68,93	89,46	20,54	1205,73	1116,28	1000,00	428,3
7	119,4	60,0	32,00	179,61	147,61	1249,96	1070,35	1000,00	217,0
8	116,9	50,0	55,00	238,34	183,34	1371,27	1136,80	1098,10	30,9
9	119,6	60,0	106,00	225,69	119,69	1457,71	1239,72	1196,20	1001,5
10	118,6	65,0	33,89	149,14	115,26	1420,60	1278,52	1196,20	108,0
11	117,6	40,0	22,00	109,64	87,64	1308,21	1203,26	1098,10	104,3
12	117,0	60,0	25,00	185,50	160,50	975,30	776,91	705,70	47,9

Abn Abnehmernummer; tVA/tRA Vorlauf-/Rücklauftemperatur am Abnehmer
DpAq geforderter Differenzdruck am Abnehmer
DpAr real vorhandener Differenzdruck am Abnehmer; DpAUE abzudrosselnder Differenzdruck am Abnehmer
pAV/pAR/pA0 Vor-/Rücklauf-/Ruhedruck am Abnehmer; QAbn Wärmestromaufnahme des Abnehmers

Ergebnisse an der Einspeisestelle:

tVEin °C	tREin °C	mEin kg/s	VEin m³/h	DpEin kPa	pSAuf kPa	pEAuf kPa	pMAuf kPa	pVEin kPa	pREin kPa
120,0	55,7	10,48	40,0	299,46	1000,00			1320,00	1000,00

tVEin/tREin Vor-/Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle
 mEin/VEin Masse-/Volumenstrom an der Einspeisestelle
 DpEin Minstdifferenzdruck an der Einspeisestelle
 pSAuf Auflastdruck der Saugdruckhaltung an der Einspeisestelle
 pEAuf Auflastdruck der Enddruckhaltung an der Einspeisestelle
 pMAuf Auflastdruck der Mitteldruckhaltung an der Einspeisestelle
 pVEin/pREin Vor-/Rücklaufdruck an der Einspeisestelle

Wärmeströme:

Einspeisung: 2828,7 kW Netzverluste: 72,1 kW Abnehmer: 2756,6 kW

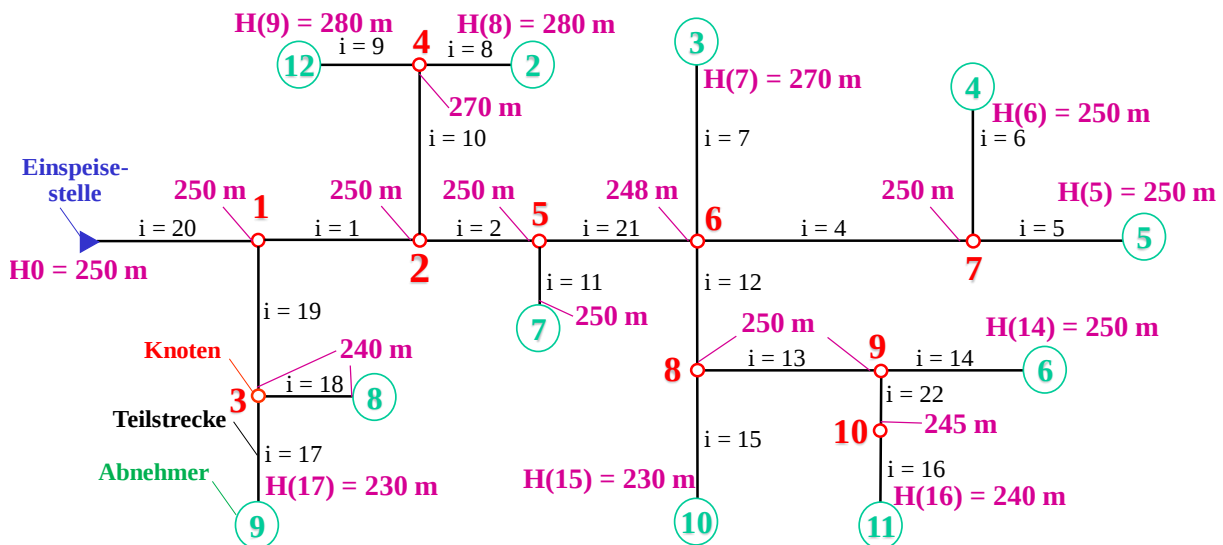
Kontrolle:

Bild 3.9 Rohrnetz nach Bild 2.1 mit eingetragenen Höhenkoordinaten zur Berechnung mit GRENZ

Die stichprobenweise Überprüfung zeigt die Richtigkeit des Algorithmus:

Auflastdruck der Druckhaltung: $p_{SAuf} = 1000 \text{ kPa}$

Vor-, Rücklauf- und Ruhedruck am Knoten Kno = 2:

$$p_{KV}(2) = p_{SAuf} + Dp_P - Dp_V(20) - Dp_V(1) = (1000 + 320 - 28,75 - 21,27) \text{ kPa} = 1269,98 \text{ kPa}$$

$$p_{KR}(2) = p_{SAuf} + Dp_R(20) + Dp_R(1) = (1000 + 28,86 + 21,91) \text{ kPa} = 1050,77 \text{ kPa}$$

$$p_{K0}(2) = p_{SAuf} = 1000 \text{ kPa}$$

Vor-, Rücklauf- und Ruhedruck am Abnehmer Abn = 2:

$$p_{AV}(2) = p_{KV}(2) - Dp_V(10) - Dp_V(8) - \rho_{\approx 120^\circ\text{C}} g (H(8) - H_0)$$

$$p_{AV}(2) \approx (1269,98 - 15,35 - 5,64 - 943 \cdot 9,81 \cdot 30 / 1000) \text{ kPa} = 971,47 \text{ kPa}$$

Rechnerausdruck: 971,25 kPa

$$p_{AR}(2) = p_{KR}(2) + Dp_R(10) + Dp_R(8) - \rho_{\approx 44^\circ\text{C}} g (H(8) - H_0)$$

$$p_{AR}(2) \approx (1050,77 + 15,04 + 6,01 - 990 \cdot 9,81 \cdot 30 / 1000) \text{ kPa} = 780,46 \text{ kPa}$$

Rechnerausdruck: 780,20 kPa

$$p_{K0}(2) = p_{SAuf} - \rho_0 g (H(8) - H_0) = (1000 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 30 / 1000) \text{ kPa} = 705,70 \text{ kPa.}$$

Rechnerausdruck: 705,70 kPa

Hinweis zur Diskrepanz zwischen Netzdrücken und Knoten- bzw. Abnehmerdifferenzdrücken:

Mit den Werten aus den Netzdruckverläufen gemäß Rechnerausdruck folgt der Differenzdruck am Abnehmer Abn = 2 zu

$$p_{AV(2)} - p_{AR(2)} = (971,25 - 780,20) \text{ kPa} = 191,05 \text{ kPa.}$$

Demgegenüber lieferte das Rechenprogramm zur Netzauslegung am Abnehmer Abn = 2 den realen Differenzdruck

$$Dp_{Ar(2)} = 177,18 \text{ kPa.}$$

Der Unterschied zwischen den beiden Werten

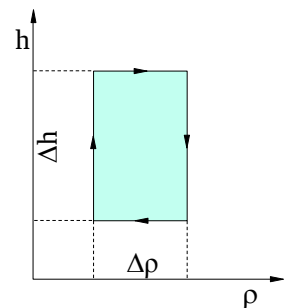
$$(191,05 - 177,18) \text{ kPa} = 13,87 \text{ kPa}$$

ergibt sich aus dem bei der üblichen Netzauslegung unberücksichtigten "Schwerkraftdruck".

Dieser berechnet sich aus dem bekannten Umlaufintegral zu

$$\begin{aligned} g \oint h \, d\rho &= -g \oint \rho \, dh \approx g \Delta h \Delta \rho \\ &= 9,81 \cdot 30 \cdot (990 - 943) / 1000 \text{ kPa} = 13,83 \text{ kPa.} \end{aligned}$$

Damit ist die Diskrepanz geklärt.

**Fazit:**

- Bei der Netzauslegung bleibt der thermodynamische Umtriebsdruck (Schwerkraftdruck), der positiv und negativ auf den Abnehmerdifferenzdruck wirken kann, unberücksichtigt!

Dies ist bei Fernheizungen üblich und wegen der Temperaturabhängigkeit bei unterschiedlichen Betriebszuständen auch gerechtfertigt.

- Die Anwendung des Unterprogramms GRENZ mit den Netzdruckverläufen bei Netzbetrieb und im Ruhezustand ist sinnvoll, um die Druckgrenzwerte im Netz bezüglich der zulässigen Druckstufe überprüfen zu können sowie gegen Dampfbildung und/oder Unterdruckbildung abgesichert zu sein.

Der Ruhedruckverlauf spiegelt das Geländeprofil direkt wider.

Bei auftretenden Höhenunterschieden wird der Einfluss der Druckhaltung besonders anschaulich gezeigt.

Die Wahl der Druckhaltung kann durch Variantenvergleiche optimiert werden.

Visuelle Darstellung der Druckverläufe

Notwendige Vorarbeiten für den Aufruf Diagramm: {NETZ, MASS, TEMP, ZETA, TEIDRUK, ABNVER, ABNÜB und GRENZ sind Voraussetzung! Zwischengeschaltete Berechnung DIFFE ist schadlos möglich.}

Die Verläufe des Vorlauf-, Rücklauf und Ruhedruckes können durch Aktivieren von **DIA-GRAMM** durch Öffnen eines neuen Monitorbildes (Inhalt von Form 2) visualisiert werden.

Einzugeben ist die Nummer des Abnehmers, beispielsweise Abn = 6. Nach Drücken des Buttons **DRUCKVERLÄUFE ANZEIGEN** beginnt der Aufbau des Diagramms.

- Zunächst sucht der Algorithmus den Weg vom Abnehmer zur Einspeisestelle, indem er die Knotennummern intern auflistet. Schließlich erfolgt das Aufsuchen des minimalen und maximalen Druckes. Diese Werte stellen vorübergehend die Ordinatengrenzwerte dar. Gleichzeitig wird mit der Teilung = 10 das Ordinatenetz berechnet. Die Teilung der Abszisse erfolgt gemäß der Knotenanzahl, die im Durchlauf betroffen sind.
- Die Druckverläufe werden mit unterschiedlichen Farben aufgezeichnet und zwischen der Einspeisestelle Ein und dem Abnehmer Abn = 6 über die dargestellten Knotenpunkte 1 2 5 6 8 9 die Druckverläufe aufgezeichnet. Die Richtigkeit des Weges ist im Netzmodell sofort überprüfbar.

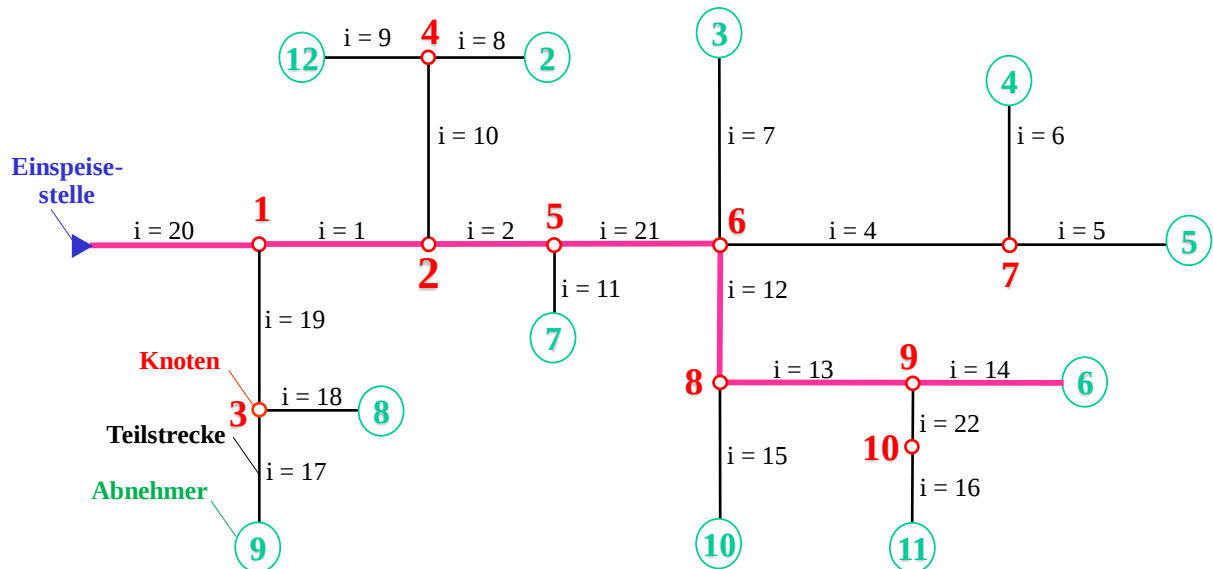


Bild 3.10 Rohrnetz nach Bild 2.1 mit dem eingetragenen Weg zum Abnehmer Abn = 6

- Abnehmerbezogen werden der notwendige Druckabfall $Dp_{Aq}(Abn = 6)$ braun und die abzudrosselnde Druckdifferenz $Dp_{AUE}(Abn = 6)$ grau dargestellt. In der Größe Dp_{AUE} sind im Gegensatz zum Rechnerausdruck die Druckdifferenzen infolge des Auftriebs berücksichtigt, um die optische Einpassung zu gewährleisten.

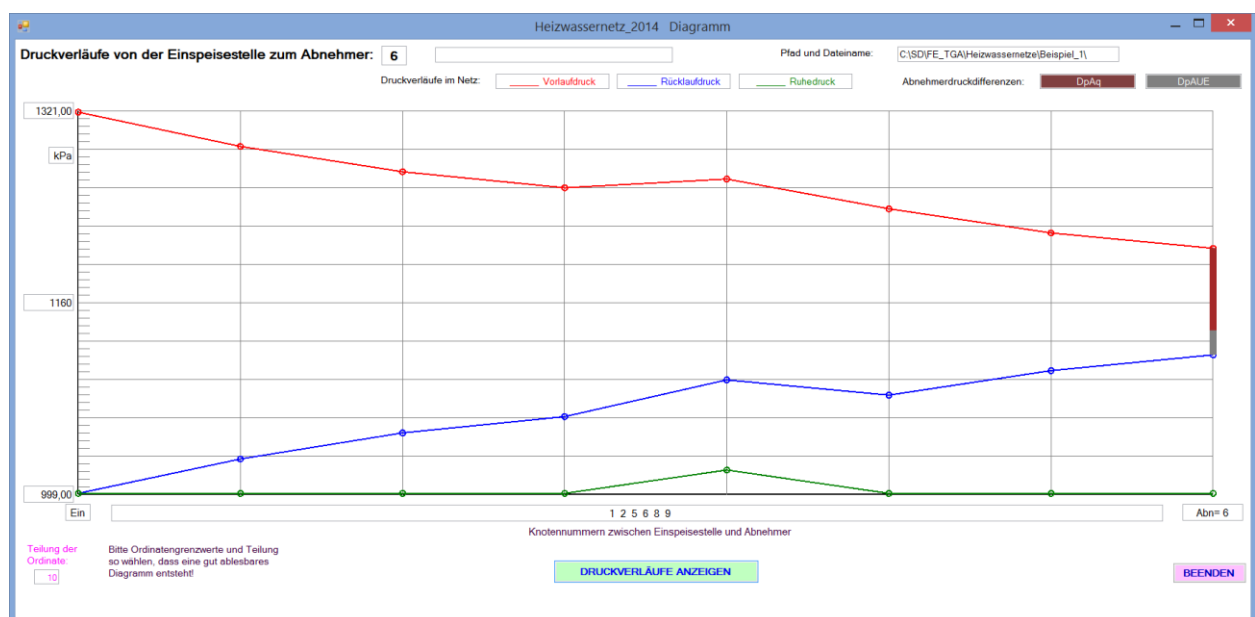


Bild 3.11 Druckverläufe im Netz von der Einspeisestelle zum Abnehmer Abn = 6 mit selbsttätig ermittelten Ordinatengrenzwerten und der intern vorgegebenen Teilung = 10

- Es dient der besseren Ablesbarkeit die Ordinatenwerte zu verändern. So überschreibt man beispielsweise 1321 mit 1400 und 999 mit 900 sowie die Teilung 10 mit 5 und aktiviert erneut **DRUCKVERLÄUFE ANZEIGEN**. Es ergibt sich Bild 3.12.

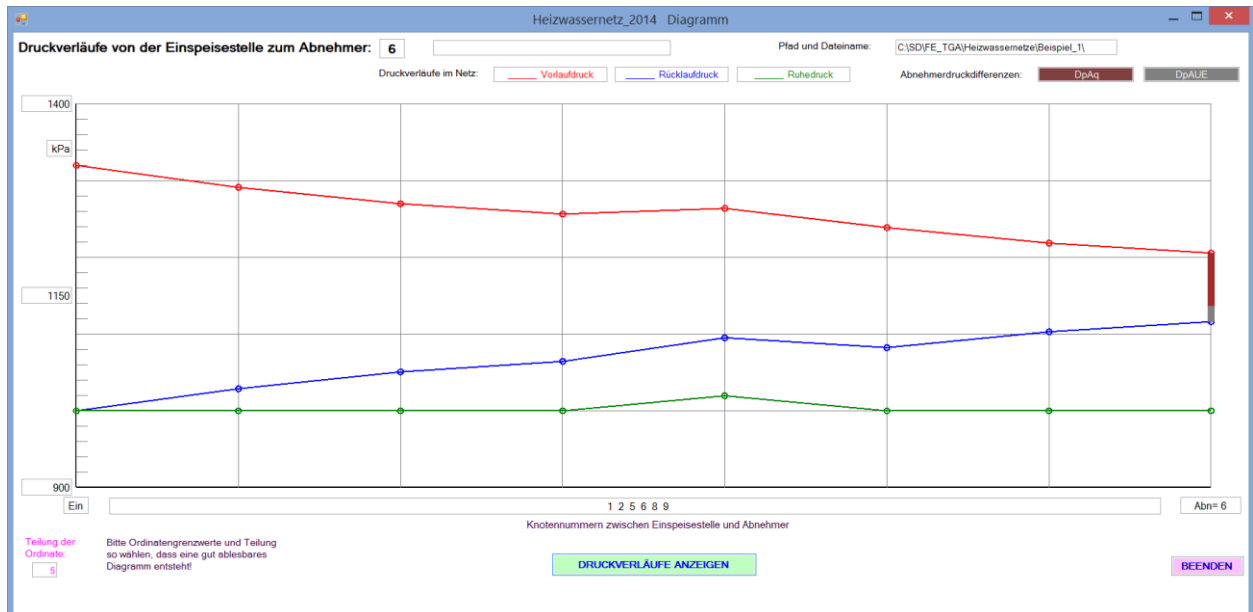


Bild 3.12 Druckverläufe im Netz von der Einspeisestelle zum Abnehmer Abn = 6 mit vorgegebenen Ordinatenwertgrenzen 1400 bzw. 900 kPa sowie der Teilung = 5

Wichtiger Hinweis:

Die Reihenfolge der Abarbeitung der Module liegt in der Verantwortung des Anwenders. Sie hat gewissenhaft entsprechend der Beschreibungen im vorgestellten Beispiel zu erfolgen. Der Diagrammaufruf ist nur bei kompletter Abarbeitung der Module einschließlich GRENZ sinnvoll!